



TUGAS AKHIR - TL 184834

STUDI VARIASI JENIS FLUKS TERHADAP KADAR Ni, KEKUATAN DAN PEROLEHAN SINTER PADA PROSES SINTERING BIJIH NIKEL LATERIT

PAMBAYUN INDRIA NINDHITA
NRP 0251154000031

Dosen Pembimbing :
Sungging Pintowantoro, Ph.D
Fakhreza Abdul, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TL 184834

**STUDI VARIASI JENIS FLUKS TERHADAP
KADAR Ni, KEKUATAN DAN PEROLEHAN
SINTER PADA PROSES SINTERING BIJIH NIKEL
LATERIT**

**PAMBAYUN INDRIA NINDHITA
NRP 0251154000031**

**Dosen Pembimbing :
Sungging Pintowantoro, Ph.D
Fakhreza Abdul, ST., MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL184834

STUDY OF VARIATION OF FLUX TYPES ON Ni CONTENT, SINTER STRENGTH AND YIELD IN SINTERING PROCESS OF LATERITE NICKEL ORE

PAMBAYUN INDRIA NINDHITA
NRP 0251154000031

Advisor:

Sungging Pintowantoro, Ph.D

Fakhreza Abdul, S.T., M.T

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

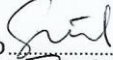

**STUDI VARIASI JENIS FLUKS TERHADAP KADAR NI,
KEKUATAN DAN PEROLEHAN SINTER PADA PROSES
SINTERING BIJIH NIKEL LATERIT**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:
PAMBAYUN INDRIA NINDHITA
NRP. 0251154000031

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sungging Pintowantoro, Ph.D.  (Pembimbing I)
2. Fakhreza Abdul, S.T., M.T.  (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI VARIASI JENIS FLUKS TERHADAP KADAR Ni, KEKUATAN DAN PEROLEHAN SINTER PADA PROSES SINTERING BIJIH NIKEL LATERIT

Nama Mahasiswa : Pambayun Indria Nindhita
NRP : 0251154000031
Jurusan : Departemen Teknik Material
Dosen Pembimbing I : Sungging Pintowantoro., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

Abstrak

Peningkatan produksi stainless steel menyebabkan peningkatan permintaan nikel. Namun sampai saat ini pemanfaatan bijih nikel masih berasal dari bijih nikel sulfida yang ketersediaanya di alam mulai menipis. Salah satu proses alternatif yang dikembangkan yaitu sintering-blast furnace untuk menghasilkan ferronikel dari bijih nikel laterit. Sintering adalah sebuah pre-treatment dengan mengagglomerasikan bijih nikel sehingga meningkatkan kekuatan dan mengurangi pengotor pada bijih nikel sebelum dimasukkan ke blast furnace. Feed material pada sintering adalah bijih nikel, fluks dan arang. Sehingga fluks menjadi salah satu faktor yang berperan dalam keberhasilan sintering. Maka dari itu, penelitian kali ini melakukan sintering bijih nikel laterit menggunakan bahan bakar arang dengan variasi jenis fluks. Fluks yang digunakan antara lain splitstone, limestone dan dolomite. Perhitungan kebutuhan fluks dan bahan bakar menggunakan neraca massa dan neraca panas. Feed material dimasukkan dalam furnace, lalu dipanaskan hingga temperatur 1200°C selama 4 jam. Kemudian dilakukan perhitungan perolehan sinter dan pengujian EDX, XRD serta drop test untuk mengetahui kadar nikel, senyawa dalam sinter serta kekuatan sinter. Kadar nikel tertinggi didapatkan oleh jenis fluks

limestone sebesar 3,07%. Kekuatan dan perolehan sinter tertinggi didapatkan oleh jenis fluks suplitstone sebesar 68,85% dan 67,95%.

Kata Kunci: *Sintering, Nikel Laterite, Fluks, Kekuatan Sinter, Perolehan Sinter*

STUDY OF VARIATION OF FLUX TYPES ON Ni CONTENT, SINTER STRENGTH AND YIELD IN SINTERING PROCESS OF LATERITE NICKEL ORE

Name : Pambayun Indria Nindhita
NRP : 0251154000031
Department : Materials Engineering Department
Advisor : Sungging Pintowantoro., Ph.D.
Co-Advisor : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

Abstract

Increasing stainless steel production has caused to an increasing in nickel demand. However, until now the use of nickel ore still comes from nickel sulfide ore, which is available in nature, is running low. One of the alternative processes developed is the sintering-blast furnace to produce ferronickel from laterite nickel ore. Sintering is a pre-treatment process with agglomeration of nickel ore so can increase strength and reduce impurities in nickel ore before being added to the blast furnace. Feed materials on sintering are nickel ore, flux, and charcoal. Flux is one of the factors that play a role in the success of sintering. So, this study conducted sintering of laterite nickel ore using charcoal with variations in the type of flux. Fluxes used include suplitstone, limestone, and dolomite. Calculation of flux and fuel requirements uses mass balance and heat balance. Feed material is included in the furnace, then heated to a temperature of 1200°C for 4 hours. After process then do calculation of yield sinter. Then the calculation of sinter using EDX test, XRD test, and drop tests were carried out to determine the nickel content, compounds in sinter, and sinter strength. The highest nickel content was obtained by the type of flux limestone of 3.07%. The highest strength was obtained

by the type of suplitstone flux of 68.85%. The highest and sintering gain strength was obtained by the type of suplitstone flux of 67.95%

Keywords: *Sintering, Nickel Laterite, Flux, Sinter Strength, Sinter Yield*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada Departemen Teknik Material FTI-ITS yang berjudul “Analisa Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kadar Ni, Kekuatan *Sinter* dan Perolehan *Sinter* Pada Proses *Sintering* Bijih Nikel Laterit”.

Dengan terbentuknya laporan tugas akhir ini, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama penyelesaian tugas akhir, diantaranya kepada:

1. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Agung Purniawan ST., M.Sc.Eng. sebagai Kepala Departemen Teknik Material ITS.
3. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Fakhreza Abdul, S.T. M.T yang telah membimbing penulis dengan sabar selama pengerjaan tugas akhir.

Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan tugas akhir.

Surabaya, 2019

Penulis,

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Nikel.....	5
2.2 Nikel Laterite	6
2.3 Arang	7
2.4 Fluks.....	8
2.5 <i>Sintering</i>	10
2.6 Ekstraksi Nikel Laterit	12
2.7 Termodinamika <i>Sintering</i> Laterit.....	14
2.8 Aerodinamika <i>Sintering</i>	19
2.9 Penelitian Sebelumnya.....	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Diagram Alir	23
3.2 Bahan Penelitian	25
3.3 Alat Penelitian.....	27
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	30
3.5 Neraca Massa <i>Sintering</i> Nikel Laterit.....	37
3.6 Rancangan Penelitian.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Karakterisasi Bahan Penelitian	39
4.2 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kadar Ni Terhadap Senyawa <i>Sinter</i>	43
4.3 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Senyawa <i>Sinter</i>	45
4.4 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kekuatan <i>Sinter</i>	50
4.5 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Perolehan <i>Sinter</i>	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik Persediaan dan Produksi Nikel.....	5
Gambar 2. 2	Profil Laterit di Alam	6
Gambar 2. 3	Batu Belah	10
Gambar 2. 4	Proses Difusi pada <i>Sintering</i>	10
Gambar 2. 5	Proses Pengolahan Nikel Laterit.....	14
Gambar 2. 6	Diagram Ellingham	16
Gambar 2. 7	Pengaruh Laju Alir Udara Pada Partikel	20
Gambar 3. 1	Diagram Alir	24
Gambar 3. 2	Bijih Nikel Laterit.....	25
Gambar 3. 3	Arang Kayu	25
Gambar 3. 4	<i>Suplitstonestone</i> asal Sulawesi	26
Gambar 3. 5	<i>Limestone</i> asal Gresik.....	26
Gambar 3. 6	<i>Dolomite</i>	27
Gambar 3. 7	<i>Sintering</i> Bed Furnace	27
Gambar 3. 8	Timbangan Digital.....	28
Gambar 3. 9	Ayakan 50 mesh	29
Gambar 3. 10	<i>Blower</i>	29
Gambar 3. 11	Susunan Peralatan <i>Sintering</i> (a) Furnace,.....	31
Gambar 3. 12	Alat uji <i>Drop Test</i>	31
Gambar 3. 13	Alat Uji EDX.....	33
Gambar 3. 14	Alat Uji XRD.....	34
Gambar 4. 1	Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel	40
Gambar 4. 2	Hasil Pengujian XRD pada Fluks.....	42
Gambar 4. 3	Pengaruh Variasi Jenis Fluks pada Kadar Nikel	43
Gambar 4. 4	Pengaruh Variasi Jenis Fluks pada Kadar Si	44
Gambar 4. 5	Hasil Pengujian XRD pada Sinter	46
Gambar 4. 6	Pengaruh Variasi Jenis Fluks pada Kekuatan Sinter.....	51
Gambar 4. 7	Pengaruh Variasi Jenis Fluks pada Perolehan Sinter.....	54

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Perbandingan Komposisi Arang, Kokas dan Batubara	7
Tabel 2. 2	Perbandingan Nilai Kalor Bahan Bakar	7
Tabel 2. 3	Parameter Kualitas Sinter	12
Tabel 3. 1	Dimensi <i>Sintering</i> Bed Furnace	28
Tabel 3. 2	Target <i>Sintering</i> Nikel Laterit.....	37
Tabel 3. 3	Perbandingan Komposisi Ore : Arang : Fluks	38
Tabel 3. 4	Stokiometri <i>Sintering</i>	38
Tabel 4. 1	Komposisi Bijih Nikel Hasil Pengujian EDX.....	39
Tabel 4. 2	Hasil Pengujian Proximate Analysis pada Arang.....	41
Tabel 4. 3	Hasil Pengujian EDX pada Fluks.....	41
Tabel 4. 4	Fasa yang Terdapat pada <i>Sinter</i>	47
Tabel 4. 5	Perhitungan Kekuatan <i>Sinter</i>	50
Tabel 4. 6	Perhitungan Perolehan <i>Sinter</i>	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel adalah logam yang memiliki kekuatan mekanik dan ketahanan yang tinggi pada lingkungan korosif serta temperatur tinggi. Sifat ini menjadikan nikel sebagai bahan baku pembentukan stainless steel, paduan super, baterai isi ulang serta proses electroplating (Barkas, 2010).

Berdasarkan ikatan di alam nikel dibagi menjadi dua, yaitu nikel sulfida dan nikel oksida. Nikel sulfida banyak terdapat di belahan bumi subtropis seperti Kanada dan Rusia. Sedangkan nikel oksida atau nikel laterit terbentuk di dekat permukaan akibat pelapukan ekstensif, dan terjadi secara melimpah di iklim tropis di sekitar khatulistiwa atau daerah gersang di Australia Barat tengah atau Afrika Selatan (Mudd, 2009). Cadangan nikel sulfida di alam sebesar 28% dan nikel laterit sebesar 72%. Namun pengolahan nikel yang berasal dari nikel sulfida sebesar 58% dan nikel laterit 42% (Dalvi, 2004). Berdasarkan data dari USGS (United States Geological Survey) pada 2018 cadangan nikel laterit di Indonesia menduduki peringkat tujuh dunia dengan cadangan nikel sebanyak 4,5 juta ton.

Nikel didapatkan dari pengolahan bijih nikel laterit yang dapat dilakukan dengan tiga metode, yaitu pirometalurgi, hidrometalurgi dan proses Caron. Salah satu pengolahan bijih nikel dengan metode pirometalurgi melalui proses *blast furnace*. Namun sebelum diproses dalam *blast furnace*, bijih nikel yang memiliki kekuatan rendah serta kandungan air yang tinggi harus melalui *pre-treatment*. Pada proses pirometalurgi, *pre-treatment* dapat mengurangi pengotor pada bijih, mengurangi konsumsi fluks dan mengurangi konsumsi bahan bakar pada proses *blast furnace*. Selain itu *pre-treatment* juga dapat mengoptimalkan laju perpindahan panas, mengurangi jumlah *slag* yang terbentuk serta meningkatkan umur refraktori *blast furnace*. Salah satu proses *pre-treatment* ialah *sintering* (Chatterjee, 1963).

Sintering adalah salah satu proses aglomerasi. Material yang *disintering* antara lain bijih besi, fluks, dan bahan bakar. Kualitas *sinter* ditinjau dari jumlah *sinter* yang dihasilkan, ukuran *sinter* serta kekuatan *sinter*. Kekuatan *sinter* yang telah dihasilkan dapat diukur melalui proses *droptest*. *Droptest* dilakukan sebagai simulasi jatuhnya *sinter* dari *conveyor* dan saat dimasukkan ke dalam *blast furnace*. *Droptest* dilakukan dengan standar India, yaitu IS 9963 (Gupta, 2015). Kualitas *sinter* yang baik salah satunya dipengaruhi oleh penggunaan fluks. Fluks memiliki fungsi sebagai pengikat pengotor pada proses reduksi serta menurunkan temperatur leleh dari bijih nikel (Feng, 2011)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Feng (2011), penggunaan *calcareous fluxes* pada proses *sintering* bijih besi dapat meningkatkan kekuatan serta kemampuan untuk memineralisasi *sinter* dibandingkan menggunakan *magnesian fluxes*. Penelitian yang dilakukan oleh yang dilakukan oleh Guo (2014) menunjukkan bahwa kandungan FeO pada hasil *sintering* nikel laterit limonitic mencapai titik optimum saat basisitas sebesar 1,3 dan % *yield sinter* meningkat dari 73% ke 80% saat basisitas mencapai 1,1-1,7 kemudian perolehan *sinter* akan menurun seiring bertambahnya basisitas. Maka dari itu, dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi fluks terhadap kadar Ni, kekuatan dan perolehan *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit. Bahan bakar yang digunakan adalah arang dan fluks yang digunakan adalah *suplitstone*, *limestone* dan *dolomite*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks terhadap kadar Ni *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks terhadap kandungan senyawa dalam *sinter* yang dihasilkan pada proses *sintering* bijih nikel laterit?
3. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks terhadap kekuatan *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit?

-
4. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks terhadap perolehan *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Komposisi mineral bijih nikel laterit, arang dan jenis fluks yang digunakan diasumsikan homogen.
2. Kadar air dalam bijih nikel laterit, arang dan jenis fluks yang digunakan diasumsikan homogen.
3. Temperatur di bagian luar dan bagian dalam *furnace* dianggap sama.
4. Laju aliran udara dianggap sama.
5. Desain *bed* dianggap baik.
6. Tebal *bed* dari *feed material* dianggap sama.
7. Fluks *suplitstone* berasal dari Sulawesi,
8. Fluks *limestone* berasal dari Gresik.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh variasi jenis fluks terhadap kadar Ni *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit.
2. Menganalisa pengaruh variasi jenis fluks terhadap kandungan senyawa dalam *sinter* yang dihasilkan pada proses *sintering* bijih nikel laterit.
3. Menganalisa pengaruh variasi jenis fluks terhadap kekuatan *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit.
4. Menganalisa pengaruh variasi jenis fluks terhadap perolehan *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi empiris dari parameter proses (variasi jenis fluks) yang optimal untuk meningkatkan kekuatan dan perolehan *sinter* serta

kadar nikel pada proses *sintering* bijih nikel laterit limonitik yang berasal dari Sulawesi Tenggara menggunakan *sintering furnace*.

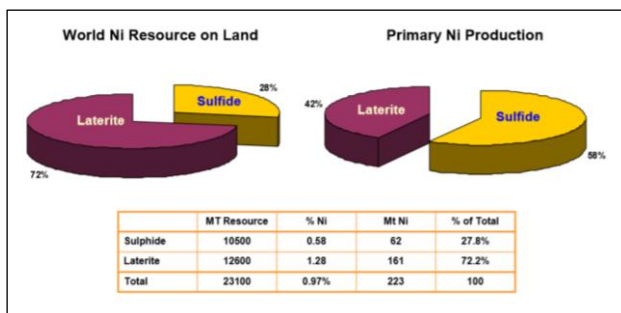
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nikel memiliki sifat tahan karat sehingga sering digunakan sebagai bahan paduan dengan baja untuk menghasilkan *stainless steel*. Nikel juga memiliki sifat ferromagnetic. Selain itu nikel digunakan pada bidang konstruksi, proses produksi bahan kimia, serta transportasi (Cutler, 1997).

Berdasarkan ikatan di alam nikel dibagi menjadi dua, yaitu nikel sulfida dan nikel oksida. Nikel Sulfida berasal dari proses vulkanik dan hidrotermal biasanya ditemukan berikatan dengan tembaga dan atau cobalt, dan terkadang logam mulia lainnya seperti emas atau platinum dan paladium. Nikel sulfida banyak terdapat di belahan bumi subtropis seperti Kanada dan Rusia. Sedangkan nikel oksida atau nikel laterit terbentuk di dekat permukaan akibat pelapukan ekstensif, dan terjadi secara melimpah di iklim tropis di sekitar khatulistiwa atau daerah gersang di Australia Barat tengah atau Afrika Selatan (Mudd, 2009). Nikel oksida juga terdapat di daerah khatulistiwa seperti Indonesia dan Filipina (Barkas, 2010).



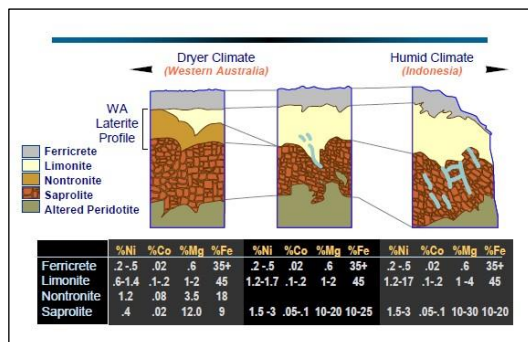
Gambar 2.1 Grafik Persediaan dan Produksi Nikel (Dalvi, 2004)

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa produksi nikel saat ini didominasi dari nikel sulfida sebesar 58% dan nikel laterite 42%.

Sedangkan persediaan nikel sulfida di alam hanya sebesar 28% dan nikel laterit sebesar 72% (Dalvi, 2004). Nikel sulfida tersusun atas *pentlandite* ($(\text{NiFe})_9\text{S}_8$), *pirhotite* (Fe_8S_9), dan *kalkopirit* (CuFeS_2). Kandungan nikel dari bijih sulfida sebesar 1,5% -3% Ni dan 0,05% -0,1% C (Crundwell, 2011).

2.2 Nikel Laterite

Nikel laterit banyak terdapat di daerah Australia dan Indonesia. Berdasarkan data dari USGS (United States Geological Survey) pada 2018 cadangan nikel laterit di Indonesia memiliki cadangan nikel sebesar 4,5 juta ton. Dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang menunjukkan karakteristik susunan nikel laterit di Australia dan Indonesia. Pada lapisan awal terdapat lapisan yang kaya silika dan yang kedua adalah lapisan limonit didominasi oleh *goethite* [$\text{Fe,Ni}(\text{OOH})$] dan *hematite* (Fe_2O_3). Lapisan berikutnya adalah saprolite ditunjukkan dengan kandungan *garnierite* ($\text{Mg}[\text{Ni,Co}]_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), yaitu lapisan yang kaya magnesium dan elemen basal (Crundwell, 2011). Lapisan nontronit hanya terdapat di Australia, lapisan ini sering disebut dengan “*dry laterites*” karena kandungan air rendah yang disebabkan kondisi iklim yang kering (Dalvi, 2004).



Gambar 2. 2 Profil Laterit di Alam (Dalvi, 2004)

2.3 Arang

Arang adalah residu padat yang terdiri dari karbon dan *ash* yang didapatkan dari proses pirolisis kayu pada kondisi terkendali di ruang tertutup. Arang memiliki kandungan sulfur dan fosfor rendah, kadar karbon tinggi, sedikit pengotor anorganik yang tidak reaktif serta struktur pori-pori yang stabil. Kandungan sulfur yang rendah menyebabkan arang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar yang lain (Babich A., 2010). Perbandingan komposisi antar bahan bakar terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Komposisi Arang, Kokas dan Batubara (Bruzual, 2014)

	Kokas	Batu bara	Arang
Fixed Carbon (wt%)	86,00	76,24	72,14
Oksigen (wt%)	0,00	2,13	7,07
Sulfur (wt%)	0,65	0,39	0,02
Moisture (wt%)	1,27	3,04	7,07
Ash (wt%)	10,56	9,73	0,5
Volatile (wt%)	0,98	7,29	15,81
Harga (USD/ton)	497,99	134,37	181,34

Selain memiliki kandungan sulfur yang rendah dari kokas, arang juga memiliki *heating value* yang lebih besar dari kokas. Nilai perbandingan *heating value* antar bahan bakar tertera pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Perbandingan Nilai Kalor Bahan Bakar (Susta, 2005)

Bahan Bakar	<i>Higher Heating Value</i> (kJ/kg)
Batu Bara Antrasit	32500 – 34000
Batu Bara Bituminus	17000 – 23250
Arang	29600
Kokas	28000 – 31000
Kayu	14000 - 17400

2.4 Fluks

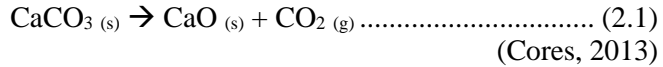
Fluks adalah zat yang ditambahkan untuk mengikat mineral yang tidak digunakan selama proses peleburan bijih yang akan membentuk *slag* yang dapat dipisahkan dari logam. *Slag* dapat dipisahkan dari logam karena memiliki kepadatan yang lebih rendah. Ikatan pada *slag* memiliki titik leleh lebih rendah dari logam, hal ini menyebabkan fluks bisa menyebabkan penurunan temperatur pada *ore* (Kokal H.R., 1994). Fluks yang biasa digunakan pada proses sintering antara lain:

2.4.1 *Limestone*

Limestone atau yang disebut juga dengan kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan salah satu mineral anorganik yang dikenal tersedia dengan harga murah secara komersial. Kalsium karbonat terdiri dari tiga jenis kristal, yaitu kalsit, aragonit and vaterite. Namun diantara ketiga jenis kristal, Jenis kalsit yang paling banyak tersedia di alam serta memiliki jenis kristal yang paling stabil sehingga sering digunakan pada dunia industri (Kirboga, 2013). Berdasarkan proses pembentukannya, *limestone* dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu *micrites*, *chalk*, *oolithic*, *biosparite* dan *tufa*. *Micrites limestone* terbentuk akibat endapan lumpur karbonat. *Chalk limestone* terbentuk akibat pelapukan cangkang dan algae. *Oolitic limestone* berbentuk bulat dengan diameter kurang dari 1mm. *Biosparite limestone* terbentuk akibat pelapukan skeleton dan tufa *limestone* terbentuk akibat presipitasi pada mata air (Oates, 1998).

Meski tampilan fisik dari *limestone* dan batu kapur sekilas sama, akan tetapi senyawa yang komponen penyusun dari *limestone* dan batu kapur berbeda. Kandungan utama pada *limestone* yaitu kalsium karbonat (CaCO_3) sekitar 55% - 95% dan kandungan magnesium karbonat (MgCO_3) kurang dari 10%, sedangkan kandungan utama pada batu kapur atau bisa disebut juga sebagai dolomit atau kalsium magnesium karbonat memiliki kandungan CaCO_3 kurang dari 55% dan MgCO_3 antara 10 - 45% (Lamar, 1938). Dekomposisi termal dari *limestone* terjadi pada

temperatur sekitar 650°C. Reaksi dekomposisi dapat dilihat pada Persamaan 2.1.



Dalam proses *sintering*, gas CO₂ digunakan sebagai reduktor. Gas CO₂ ini berguna untuk reaksi pembentukan gas CO (Reaksi Boudouard). Gas CO₂ diperoleh dari reaksi dekomposisi kalsium karbonat yang berlangsung secara spontan (Noviyanti, 2015).

2.4.2 Dolomit

Dolomit merupakan batu sedimen yang terbentuk secara alami. Dolomit memiliki komposisi kimia CaMg(CO₃)₂. Dolomit akan terdekomposisi secara langsung menjadi CaCO₃ dan CO₂ disertai dengan pembentukan MgO secara endotermik (Gupta, 2016). Reaksi dekomposisi dolomite terdapat pada Persamaan 2.2.



Pada temperatur yang lebih tinggi, CaCO₃ akan mulai terdekomposisi meskipun masih terdapat dolomit CaMg(CO₃)₂. Reaksi tersebut akan berlangsung pada temperatur 780°C – 785°C serta terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur 950°C – 960°C (Engler, 1989).

2.4.3 Suplitstone

Suplitstone adalah sebutan untuk batu belah yang memiliki ukuran 30mm – 50mm. Batu belah dibedakan penggunaannya berdasarkan ukuran. Batu *boulder* adalah batu belah dengan ukuran terbesar biasa digunakan sebagai konstruksi pengecoran dan pembetonan. Sedangkan batu suplit dapat digunakan sebagai dasar badan jalan sebelum dilakukan pengaspalan dan sebagai penyangga bantalan kereta api. Batu belah diambil dari daerah pegunungan dengan cara ditambang menggunakan alat berat

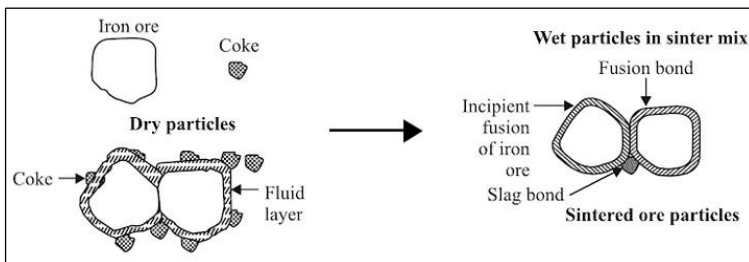
(Abdillah, 2016). Batu belah boulder dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Batu Belah
(Abdillah, 2016)

2.5 Sintering

Sintering adalah proses aglomerasi dengan cara memanaskan campuran bijih besi, fluks dengan bahan bakar pada temperatur sekitar 1300-1480°C. Tujuannya adalah mendapatkan *sinter* yang saling menyatu dengan ukuran sekitar 12-35 mm dan memiliki sifat kimia, fisik serta mekanik yang sesuai untuk diumpankan ke dalam *blast furnace*. (Gonzalez, et al, 2017). Material yang *disintering* dicampur menjadi satu dan ditambahkan air. Penambahan air bertujuan untuk menggumpalkan bahan *sinter*. Lalu menyalakan api dan menghidupkan *blower* sebagai pensuplai udara. Udara yang mengandung oksigen berfungsi agar api yang ada pada batu bara tetap menyala (Z. Ding, 2018).



Gambar 2. 4 Proses Difusi pada *Sintering* (Gupta, 2015)

Aglomerasi selama proses *sintering* terjadi secara difusi. Dapat dilihat pada Gambar 2.4, saat mendapatkan panas yang cukup dari proses pembakaran batu bara, bijih besi yang awalnya berbentuk padat perlahan akan mulai meleleh dan melebur pada permukaan bijih yang lain. Ikatan antar bijih disebut dengan *fusion bond*. Fluks akan mengikat oksida pengotor membentuk *slag bond*. *Slag bond* yang telah terbentuk akan berdifusi pada permukaan bijih (Gupta, 2015).

Untuk menentukan kualitas *sinter* dari proses *sintering* terdapat beberapa parameter, yaitu jumlah *sinter* yang dihasilkan, ukuran *sinter* dan kekuatan *sinter*. Proses *sintering* yang baik akan menghasilkan 65% *Yield sinter* dan 35% *return fines*. *Return fines* akan diumpankan kembali pada *bed* untuk mengalami proses *sintering* ulang. Perolehan %*yield sinter* didapatkan dari perhitungan pada Persamaan 2.3 (Gupta, 2015).

$$\% Yield = 100 \% - \frac{m_f}{m_o} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana,

% *Yield* = Perolehan *sinter* (kg)

M_f = Massa total *return fines* yang tersisa (kg)

m_o = Massa awal *feed material* (kg)

% *return fines* = massa *sinter* yang dapat disinter ulang (kg)

Kekuatan *sinter* yang telah dihasilkan dapat diukur melalui proses *droptest*. *Droptest* dilakukan sebagai simulasi jatuhnya *sinter* dari *conveyor* dan saat dimasukkan ke dalam *blast furnace*. *Droptest* dilakukan dengan standar India, yaitu IS 9963. Hasil *droptest* akan didapatkan *Shatter Index* dalam bentuk presentase. Nilai *shatter index* pada hasil *sinter* minimal 60%. Semakin tinggi nilai *shatter index* maka semakin tinggi kekuatan *sinter* (M. Bhavan, 1981). Perhitungan *Shatter index* terdapat pada Persamaan 2.4.

$$SI = \frac{w_2}{w_1} X 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana, $SI = \text{Shatter Index (\%)}$

$W1 = \text{Massa awal sinter (kg)}$

$W2 = \text{Massa sinter yang tertahan ayakan 5 mm (kg)}$

Parameter kualitas sinter dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Parameter Kualitas Sinter

No	Parameter	Nilai
1.	Kekuatan sinter	60%
3.	Yield sinter	65%

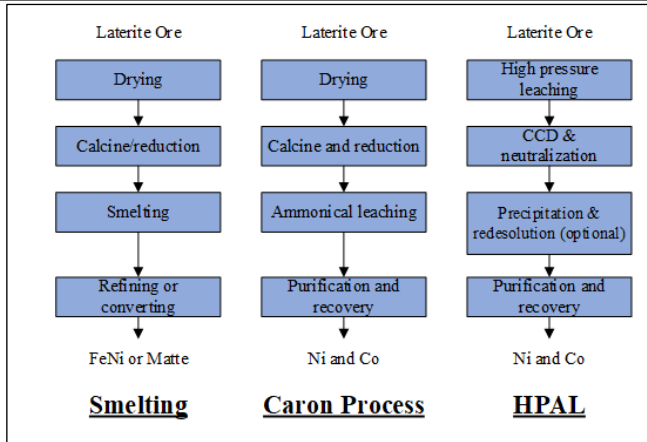
2.6 Ekstraksi Nikel Laterit

Bijih nikel laterite dapat diolah dengan tiga proses yang berbeda, yaitu proses pirometalurgi, proses hidrometalurgi dan proses Caron. Proses Caron merupakan gabungan antara proses pirometalurgi dan proses hidrometalurgi.

Pada Gambar 2.3 terdapat proses pengolahan nikel laterit dalam tiga metode yang berbeda dan proses yang berbeda antara lain:

1. Pirometalurgi memiliki empat langkah memproses nikel laterite. Proses *drying* bertujuan menghilangkan kandungan H_2O pada bijih nikel yang dilakukan dengan mengalirkan gas pembakaran pada temperatur $800^\circ C$. Kemudian proses *calcining* dilakukan dengan memanaskan *dried ore* menggunakan gas hidrokarbon dengan temperatur sekitar $700^\circ C$ agar menghasilkan *calcine* dengan temperatur $900^\circ C$ yang siap untuk diumpankan dalam *smelting furnace*. Kemudian *calcine* dilebur dalam *electric furnace* pada temperatur sekitar $1450^\circ C$ sehingga tereduksi menjadi ferronikel cair dan menghasilkan hasil samping berupa *slag* dan *offgas*. Selanjutnya dilakukan proses pemurnian (*refining*) pada ferronikel cair dengan menambahkan *limestone* dan menginjeksikan oksigen pada temperatur sekitar $1550^\circ C$ untuk menghilangkan unsur pengotor seperti sulfur dan fosfor yang tidak baik untuk logam dalam kadar yang berlebihan.

2. Hidrometalurgi dilakukan dengan metode High Pressure Acid Leaching (HPAL) proses menggunakan asam dan tekanan tinggi. *Leaching* dilakukan dengan melarutkan bijih laterit pada H_2SO_4 dengan temperatur sekitar $250^\circ C$ dan tekanan 50 bar. Setelah larut dalam bentuk *slurry*, dilakukan penetralan *slurry* dalam *stirred vertical tank* dengan ditambahkan air dan $CaCO_3$ hingga temperatur turun sampai sekitar $100^\circ C$ dan pH naik menjadi sekitar 7,5. Dari proses tersebut, sebagian *slurry* akan membentuk endapan. Hasil dari netralisasi dimasukkan dalam *autoclave* untuk dilakukan pengendapan (*precipitation*) dengan dialiri gas H_2S pada temperatur $80-120^\circ C$ dan tekanan 2 bar sehingga membentuk endapan NiS dan CoS serta hasil samping berupa larutan H_2SO_4 . Hasil samping yang masih terdapat kandungan Ni dan Co kembali dilakukan *leaching* dari awal agar didapat recovery yang tinggi (*purification*).
3. Proses caron memiliki empat tahap. Tahap pertama *drying* menggunakan udara panas dengan temperatur $1000^\circ C$ untuk menghilangkan kadar air. Kemudian dilakukan proses *calcining* pada temperatur $760^\circ C$ untuk mereduksi Ni dan Co. setelah Ni dan Co direduksi, dilakukan proses *leaching* menggunakan NH_3+CO_2 dan dialiri oksigen hingga temperaturnya $100^\circ C$. Larutan yang kaya akan Ni dan Co dilakukan proses recovery dari pengotor seperti Cu, Fe, dan Zn lalu Ni diendapkan dalam bentuk Ni karbonat ($3Ni(OH)_2 \cdot 2NiCO_3$) (Crundwell, 2011).



Gambar 2. 5 Proses Pengolahan Nikel Laterit (Dalvi, 2004)

Di China proses pembuatan *nickel pig iron* sudah dilakukan sejak 50 tahun yang lalu, namun belum dilakukan untuk komersial. Sampai akhirnya China menggunakan *blast furnace* untuk mengolah nikel laterit yang diimpor dari Indonesia dan Philipina. Proses pembuatan *nickel pig iron* sama seperti proses pembuatan *pig iron*, melalui proses *sintering* dan diumpankan ke dalam *blast furnace*. Perbedaannya hanya pada ore yang memiliki kandungan nikel lebih tinggi dan kandungan nikel pada *nickel pig iron* mencapai 10% (Yildirim, 2013).

2.7 Termodinamika Sintering Laterit

Energi bebas Gibbs (ΔG) adalah suatu ukuran dari *driving force* yang dapat membuat suatu reaksi terjadi. Untuk menghitung besarnya energi bebas Gibbs digunakan persamaan Gibbs yang terdapat pada Persamaan 2.5.

$$\Delta G = -T \cdot \Delta S + \Delta H \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

ΔG = perubahan energi Gibbs (J)

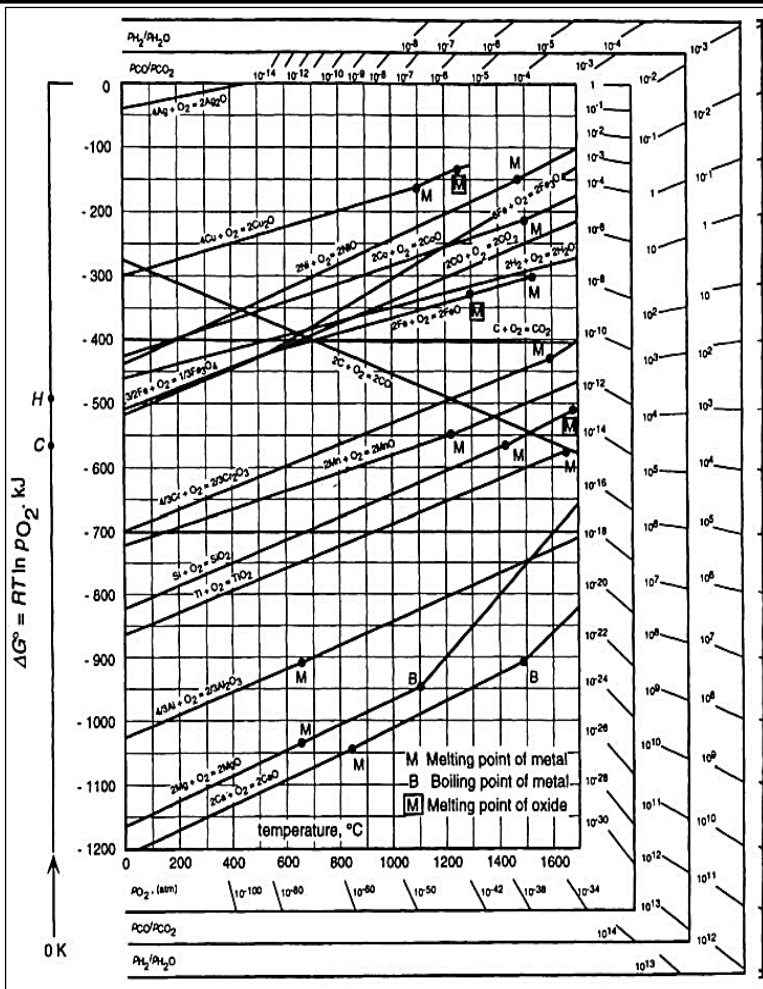
ΔH = perubahan entalpi reaksi (J)

ΔS = perubahan entropi reaksi (J/K)

T = temperatur absolut reaksi (K)

ΔG yang bernilai negatif menunjukkan bahwa suatu reaksi dapat terjadi secara spontan tanpa energi dari luar. Sementara itu reaksi yang memiliki ΔG positif menunjukkan reaksi tersebut tidak akan terjadi secara spontan. Entalpi adalah besaran dari energi yang dilepaskan ketika suatu reaksi berlangsung (panas dari suatu reaksi). Jika entalpinya bernilai negatif maka reaksi tersebut melepaskan energi (eksotermik), sedangkan jika bernilai positif maka reaksi tersebut membutuhkan energi (endotermik). Entropi adalah ukuran dari derajat ketidakteraturan suatu reaksi. Padatan memiliki bentuk yang teratur, cairan memiliki bentuk yang kurang teratur dan gas memiliki ketidakteraturan yang tinggi (Johansyah, 2012).

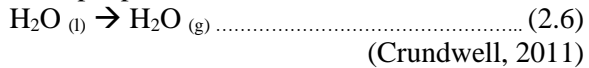
Diagram Ellingham merupakan sebuah diagram yang menyajikan data energi bebas suatu reaksi yang diplot dengan parameter energi bebas terhadap temperatur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Semakin tinggi garis reaksi pada diagram, maka logam bersifat mulia dan oksida dari logam ini tidak stabil sehingga mudah tereduksi. Semakin ke bawah garis reaksi menunjukkan logam semakin reaktif dan oksida dari logam semakin stabil sehingga sulit untuk direduksi. Suatu logam dapat digunakan untuk mereduksi oksida logam lain apabila garis oksida logam yang akan direduksi terletak di atas garis logam yang digunakan sebagai reduktor (Stratton, 2013).



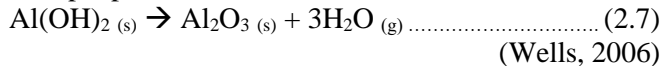
Gambar 2. 6 Diagram Ellingham
(Stratton, 2013)

Dalam proses *sintering*, terjadi beberapa reaksi yang melibatkan kandungan bijih nikel laterit limonitik, diantaranya:

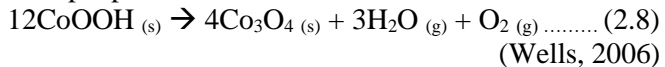
1. Reaksi penguapan air dari liquid menjadi gas pada temperatur sekitar 100°C terdapat pada Persamaan 2.6.



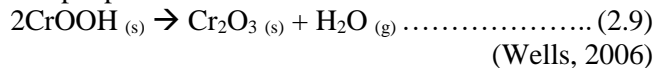
2. Dekomposisi termal dari *gibbsite* pada temperatur sekitar 200°C terdapat pada Persamaan 2.7.



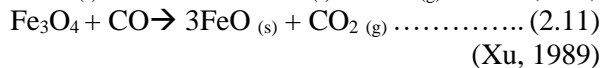
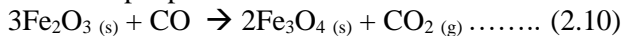
3. Dekomposisi termal dari *heterogenite* pada temperatur sekitar 300°C terdapat pada Persamaan 2.8.



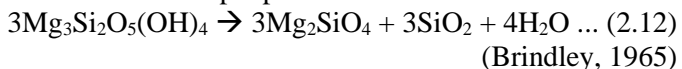
4. Dekomposisi termal *bracwellite* pada temperatur sekitar 440°C terdapat pada Persamaan 2.9.



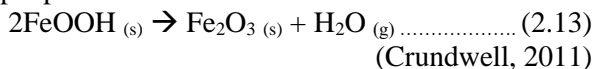
5. Reaksi *boudouard* hematite pada temperature sekitar 500°C sampai 800 °C terdapat pada Persamaan 2.10. dan 2.11.



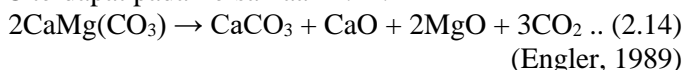
6. Dekomposisi *lizardite* menjadi *olivine* dan *quartz* pada temperatur 600°C terdapat pada Persamaan 2.12.



7. Dekomposisi termal dari *goethite* pada temperatur sekitar 700°C terdapat pada Persamaan 2.13.



8. Dekomposisi *dolomite* menjadi kalsit dan *lime* pada temperatur 780°C terdapat pada Persamaan 2.14.



-
9. Dekomposisi termal dari kalsit pada temperatur sekitar 650°C terdapat pada Persamaan 2.15.

$$\text{CaCO}_3 \text{ (s)} \rightarrow \text{CaO (s)} + \text{CO}_2 \text{ (g)} \dots\dots\dots (2.15)$$
 (Cores, 2013)
10. Pembentukan kalsium ferit pada temperatur sekitar 750°C terdapat pada Persamaan 2.16.

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ (s)} + \text{CaO (s)} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3.\text{CaO (s)} \dots\dots\dots (2.16)$$
 (Cores, 2013)
11. Pembentukan *silico-ferrite of calcium and aluminum* (SFCA) pada temperatur sekitar 1050°C terdapat pada Persamaan 2.17

$$\text{FeO.CaO (s)} + \text{SiO}_2 \text{ (s)} + \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ (s)} \rightarrow \text{FeO.CaO.SiO}_2.\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ (s)}$$
(2.17)
 (Nyembwe, 2011)
12. Dekomposisi termal dari kobalt oksida pada temperatur sekitar 700°C terdapat pada Persamaan 2.18

$$\text{Co}_3\text{O}_4 \text{ (s)} \rightarrow 3\text{CoO (s)} + 1/2\text{O}_2 \text{ (g)} \dots\dots\dots (2.18)$$
 (Wells, 2006)
13. Pembentukan *magnesium ferrite* pada temperatur sekitar 975°C terdapat pada Persamaan 2.19.

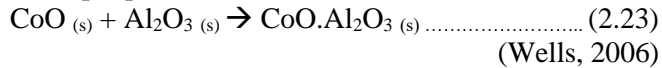
$$\text{MgO (s)} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ (s)} \rightarrow \text{MgO.Fe}_2\text{O}_3 \text{ (s)} \dots\dots\dots (2.19)$$
 (Susta, 2005)
14. Reaksi pembentukan *hedenbergite* pada temperatur 1050 °C terdapat pada Persamaan 2.20.

$$\text{FeSiO}_3 + \text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaFeSi}_2\text{O}_6 + \text{CO}_2 \dots (2.20)$$
 (Deer, 1977)
15. Reaksi pembentukan *diopside* pada temperatur 1050 °C terdapat pada Persamaan 2.21.

$$\text{MgSiO}_3 + \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaMgSiO}_6 + \text{CO}_2 \dots\dots (2.21)$$
 (Deer, 1977)
16. Pembentukan *magnesiocromit* pada temperatur sekitar 1100°C terdapat pada Persamaan 2.22.

$$\text{MgO (s)} + \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ (s)} \rightarrow \text{MgO.Cr}_2\text{O}_3 \text{ (s)} \dots\dots\dots (2.22)$$
 (Wells, 2006)
-

17. Pembentukan *cobalt aluminate* pada temperatur sekitar 1100°C terdapat pada Persamaan 2.23.



18. Pembentukan *dicalcium silicates* pada temperature 1100°C terdapat pada Persamaan 2.24.



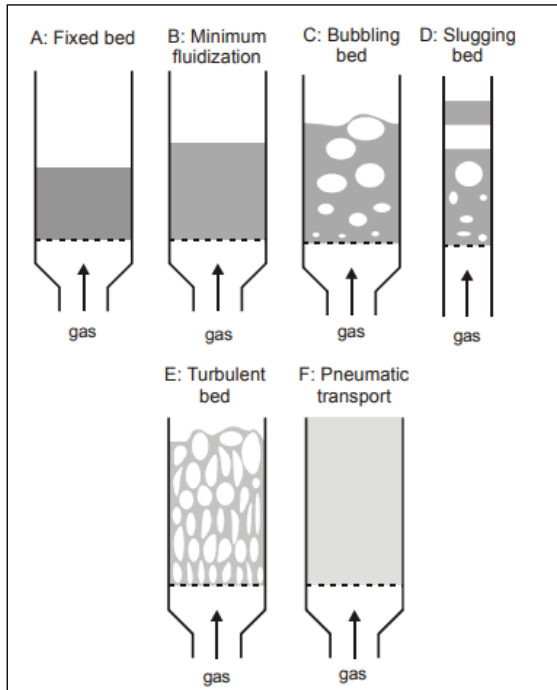
2.8 Aerodinamika Sintering

Fluidized digunakan secara luas di dunia industri untuk memisahkan partikel, operasi perpindahan massa dan panas serta proses katalitik. *Fluidized bed* biasanya berbentuk silinder dan berisi fluida berupa gas atau cairan. Dalam beberapa *fluidized bed* terdapat katalis untuk mempercepat reaksi. Terlepas untuk pemisahan partikel maupun reaksi, kunci utama dalam penggunaan fluidized bed adalah laju aliran yang optimal. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan pengaruh variasi laju udara. Pada bagian Gambar “A” menunjukkan laju aliran rendah sehingga partikel tetap berada pada posisi semula. Semakin ke kanan laju alir udara semakin tinggi sehingga menyebabkan perpindahan partikel. Saat laju alir udara tinggi dan partikel terangkat, daerah yang kosong akan mengalami *pressure drop*. Untuk mendapatkan laju aliran minimal dapat ditinjau dari *pressure drop*. Hal ini dapat ditentukan melalui persamaan Ergun yang terdapat pada Persamaan 2.25.

$$\Delta P = \left(\frac{150 \cdot \mu \cdot L}{D_p^2} \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} U_m \right) + \left(\frac{1,75 \cdot \rho \cdot L}{D_p} \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} U_m^2 \right) \dots\dots\dots (2.25)$$

- Dimana: ΔP = hilang tekan sepanjang *bed* (Pa)
 L = tinggi *bed* (m)
 μ = viskositas dinamik fluida (Pa.s)
 ε = fraksi rongga pada *bed*
 ρ = densitas fluida (kg/m³)
 D_p = diameter efektif partikel (m)
 U_m = kecepatan superfisial fluida (m/s)

Semakin besar laju alir udara maka semakin besar pula *pressure drop* yang dihasilkan serta viskositas meningkat. Semakin tinggi viskositas maka partikel akan semakin mudah untuk mengalir dan berikatan. Namun apabila terlalu besar partikel akan berpindah terlalu jauh dan tidak dapat berikatan (Ergun, 1952).



Gambar 2. 7 Pengaruh Laju Alir Udara Pada Partikel
(Kunii D., 1991)

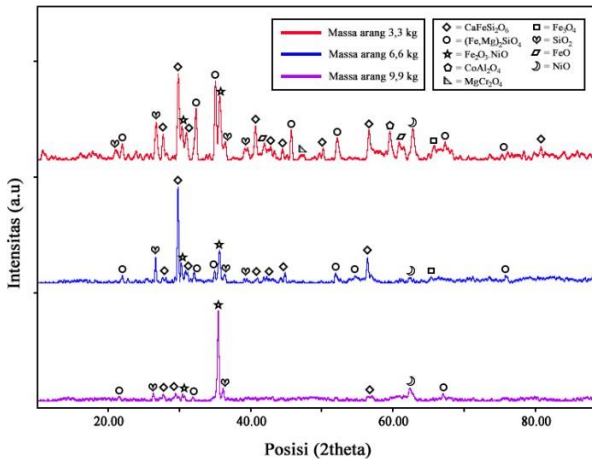
2.9 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Feng, Tahun 2011, semakin tinggi kandungan kalsium oksida seperti *limestone* pada fluks, maka semakin baik karakteristik hasil *sinter iron ore*. Sedangkan magnesium fluks seperti dolomit memiliki kemampuan mineralisasi, laju lelehan serta kekuatan yang rendah.

Hasil penelitian Li, Tahun 2013, kalsium oksida memiliki efek yang signifikan dalam perubahan fasa, mikrostruktur dan *fusion* temperatur. Kenaikan basisitas dari 0,5 sampai 1,0 meningkatkan pembentukan diopside. Diopsit merupakan silikat hasil ikatan antara fluks dan mineral pengotor yang memiliki titik leleh terendah dibandingkan dengan silikat lainnya. Basisitas optimal untuk nikel laterit saprolite sebesar 1,0. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Guo, Tahun 2014, menunjukkan bahwa kandungan FeO pada hasil *sintering* nikel laterit limonitic mencapai titik optimum saat basisitas sebesar 1,3. % *yield sinter* meningkat dari 73% ke 80% saat basisitas mencapai 1,1-1,7 kemudian perolehan *sinter* akan menurun seiring bertambahnya basisitas.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Umadevi, Tahun 2010, menunjukkan bawah partikel *limestone* yang optimum untuk proses *sintering* memiliki ukuran 1,25 sampai 1,55 mm. Semakin homogen ukuran *limestone* maka semakin baik pula kekuatan *sinter*. Hal ini disebabkan permeabilitas pada bed *sinter* semakin baik karena udara dapat menyebar secara merata dan meningkatkan proses reaksi. Hasil penelitian Yadav, Tahun 2002, menyebutkan bahwa penambahan magnesium oksida menyebabkan peningkatan pembentukan dikalsium silikat dan vitreous glass matrix. Dikalsium silikat memiliki struktur kristal yang berbahaya untuk kekuatan sinter. Pada penelitian yang dilakukan Yildirim, Tahun 2013, menyebutkan bahwa pada proses pengolahan bijih nikel dengan *induction furnace*, penambahan fluks CaO menyebabkan peningkatan presentase *recovery* metal karena efek penurunan temperatur *slag*.

Penelitian sintering bijih nikel laterit dengan arang dan *limestone* yang dilakukan oleh Rohman, Tahun 2019, dengan variabel massa arang menunjukkan bahwa semakin besar massa arang yang digunakan maka semakin tinggi kadar nikel yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena semakin banyak karbon yang mereduksi magnetit pada nikel ferrit, sehingga nikel ferit semakin murni. Hasil XRD pada penelitian yang dilakukan oleh Rohman, Pada 2019, dapat dilihat pada Gambar 2.8.

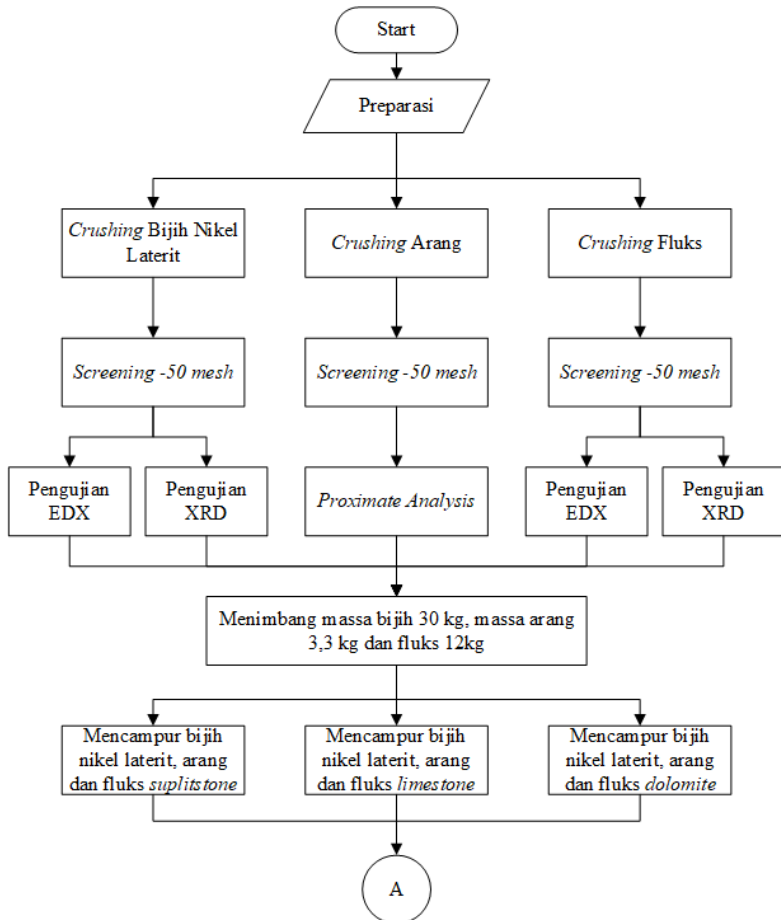


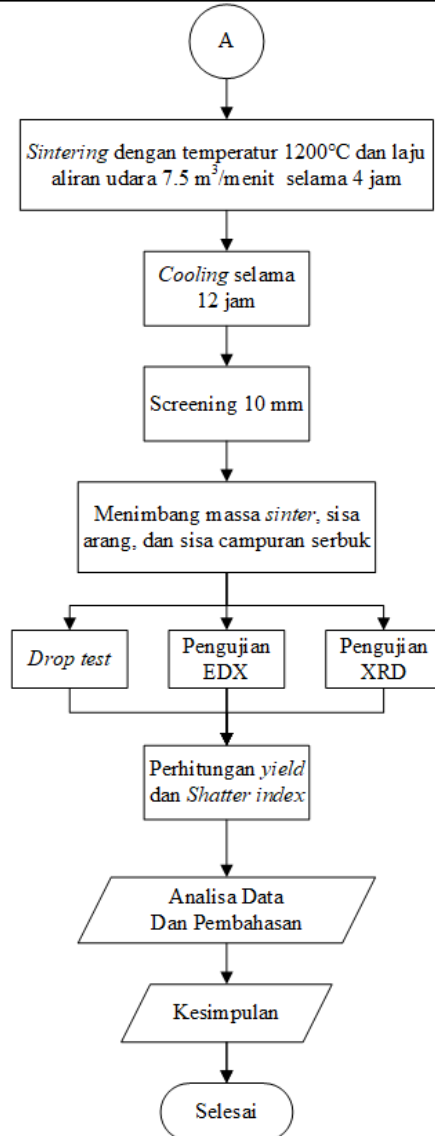
Gambar 2. 8 Hasil XRD sinter

Pada penelitian sintering bijih nikel laterit dengan arang dan *limestone* yang dilakukan oleh Yurisman, Tahun 2019, dengan variabel laju alir udara menunjukkan bahwa semakin besar laju alir udara yang digunakan maka semakin tinggi kadar nikel yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin tinggi suplai oksigen sehingga reaksi pada arang semakin sempurna.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



**Gambar 3. 1** Diagram Alir

3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan selama penelitian antara lain :

3.2.1 Bijih Nikel Laterit

Bijih nikel yang digunakan berasal dari daerah Sulawesi Tenggara. Bijih nikel dihancurkan sampai ukuran 50 mesh. Bijih nikel laterit yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Bijih Nikel Laterit

3.2.2 Arang

Arang merupakan bahan bakar dalam penelitian ini. Arang yang digunakan adalah arang kayu. Arang dihancurkan sampai ukuran 50mesh. Arang yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Arang Kayu

3.2.3 Fluks

Penelitian kali ini menggunakan fluks suplitstone dari Sulawesi, limestone dari Gresik dan dolomite. Fluks dihancurkan dan diayak hingga ukuran 50 mesh. Fluks yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.4., 3.5, dan 3.6.



Gambar 3. 4 *Suplitstone* asal Sulawesi



Gambar 3. 5 *Limestone* asal Gresik



Gambar 3. 6 *Dolomite*

3.3 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian antara lain:

3.3.1 Sintering Bed Furnace

Sintering Bed Furnace merupakan tungku yang digunakan untuk proses *sintering* nikel laterit menjadi *sinter ore*. *Sintering Bed Furnace* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.7. Sedangkan untuk dimensi *bed furnace* yang digunakan terdapat pada Tabel 3.1.



Gambar 3. 7 *Sintering Bed Furnace*

Tabel 3. 1 Dimensi *Sintering* Bed Furnace

Dimensi	Ukuran
Panjang bagian luar	172 cm
Panjang bagian dalam	152 cm
Lebar bagian luar	122 cm
Lebar bagian dalam	102 cm
Tinggi bagian luar	92 cm
Tinggi bagian dalam	67 cm

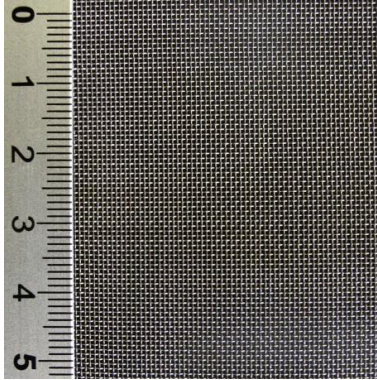
3.3.2 Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan dalam penelitian ini untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan yakni bijih nikel laterit, arang dan *limestone* yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.

**Gambar 3. 8** Timbangan Digital

3.3.3 Ayakan

Ayakan digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan ukuran butir dari bahan baku yang digunakan. Ayakan yang digunakan berukuran 50 mesh, ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Ayakan 50 mesh

3.3.4 Blower

Merupakan alat untuk menyuplai udara luar ke dalam *furnace*. *Blower* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.10



Gambar 3. 10 *Blower*

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Preparasi Material

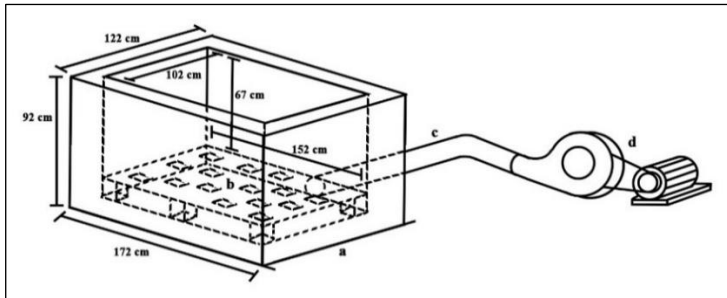
Langkah – langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu:

1. Menumbuk bijih nikel laterit, arang dan fluks kemudian mengayak hingga <50 mesh.
2. Melakukan pengujian EDX dan XRD pada bijih nikel laterit dan fluks
3. Melakukan pengujian *Promate Analysis* pada arang.
4. Menimbang bijih nikel laterit, arang dan fluks sesuai variabel.
5. Mencampurkan bijih nikel laterit dengan arang dan fluks yang telah ditimbang

3.4.2 Proses *Sintering*

Langkah – langkah yang dilakukan pada proses *sintering* bijih nikel laterit yaitu:

1. Memasang *blower* pada lubang alir udara menuju *furnace*
2. Mengguyurkan bensin pada arang kemudian memasukkan arang tersebut pada *sintering bed furnace*.
3. Memantikkan api pada arang di dalam *furnace* sembari menyalakan *blower* di kedua sisi luar *furnace*.
4. Memanaskan *furnace* hingga mencapai temperatur 1200°C selama 1 jam sembari memasukkan campuran bijih nikel laterit, arang dan fluks ke dalam *furnace*.
5. Melakukan *sintering* selama 4 jam.
6. Sampel hasil *sintering* didinginkan dalam *furnace* selama 12 jam.
7. Setelah proses pendinginan selesai, sampel dikeluarkan dari *furnace* dan ditimbang massanya berdasarkan ukuran *sinter*.
8. Selanjutnya dilakukan proses pengujian EDX, XRD dan *Drop Test* pada sampel.



Gambar 3. 11 Susunan Peralatan *Sintering* (a) Furnace, (b) Kolom udara, (c) Pipa Udara (d) Blower

3.4.3 Pengujian Sampel

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tujuan dari penelitian. Pengujian tersebut antara lain:

1. *Drop Test*



Gambar 3. 12 Alat uji *Drop Test*

Drop test digunakan untuk mensimulasikan jatuhnya *sinter* dari suatu conveyor ke lainya selama transportasi dari proses *sinter* ke blast furnace. Sampel yang digunakan yaitu *sinter* yang

memiliki ukuran 5 – 40 mm, dimasukkan kedalam suatu kontainer dan diangkat dengan ketinggian 2 m lalu dibiarkan jatuh bebas kebawah mengenai plat besi yang berada dibawahnya. Ukuran container yang digunakan yaitu 560 x 420 x 200 mm dan direkatkan pada suatu dudukan agar ketika sudah dijatuhkan kontainer lebih mudah untuk dinaikkan kembali seperti pada Gambar 3.12. Plat besi yang digunakan sebagai alas memiliki ketebalan 10 mm, lebar 1200 mm, panjang 1500 mm dan berada pada ketinggian 300 mm. Kontainer yang berisi *sinter* diangkat pada ketinggian 2 m yang dihubungkan dengan suatu beban yang membuat kontainer bisa terangkat lalu, dijatuhkan bebas mengenai plat besi. Sampel *sinter* yang keluar dari container dimasukkan kembali dan diulangi sebanyak 3 kali lalu sampel diayak dengan ukuran 5 mm. Hasil *sinter* yang tertahan di ayakan lalu ditimbang dan dihitung *shatter index* berdasarkan berat awal sebelum dilakukan *drop test*. Standar yang digunakan pada drop test yaitu IS: 3963 – 1981. Dari hasil *Drop test* nantinya akan didapatkan *shatter index* dalam bentuk persentase. Perhitungan *Shatter index* terdapat pada Persamaan 3.2.

$$SI = \frac{W_2}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana, SI = *Shatter Index* (%)

W1 = Massa awal sampel (kg)

W2 = Massa sampel yang tertahan ayakan 5 mm (kg)

Shatter Index menunjukkan ketahanan *sinter* untuk tidak pecah dengan adanya impak selama proses pengangkutan dan pengumpanan ke dalam blast furnace. Semakin tinggi *shatter index* maka semakin tinggi pula kekuatan *sinter* yang dihasilkan. Sesuai standar IS:9963 tahun 1981 tentang Drop test, nilai *shatter index* minimum yang dimiliki *sinter* berkualitas adalah lebih dari 60%.

2. Pengujian EDX

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy atau EDX adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa elemen atau karakteristik kimia dari suatu sampel. 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.



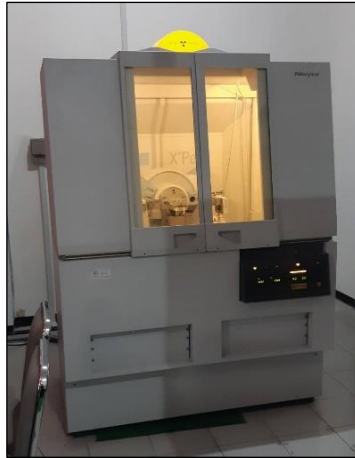
Gambar 3. 13 Alat Uji EDX

Hasil yang didapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik energi (KeV) dengan *counts*. Dari data grafik tersebut kita bisa melihat unsur-unsur yang terkandung di dalam suatu sampel beserta persentasenya. Alat yang digunakan untuk uji EDX ditunjukkan seperti pada Gambar 3.13.

3. Pengujian XRD

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dari sampel hasil reduksi dengan menggunakan alat XRD PAN *Analytical*. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 10^{-3} - 10 nm, berfrekuensi 10^{17} - 10^{20} Hz dan memiliki energi 10^3 - 10^6 eV. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde

yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Alat yang digunakan untuk uji XRD PAN *Analytical* ditunjukkan seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 14 Alat Uji XRD

4. Proximate Analysis

Untuk mengetahui kandungan arang 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*).

a. Moisture

Analisa kadar moisture dalam arang dilakukan dengan metode ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Bahan :

1. Udara kering
2. Pengereng, 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.
2. Mengambil sampel seberat 1 g dan diletakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.
3. Meletakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan (104°C – 110°C). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven dan dinginkan dengan pengering. Timbang segera kapsul bila telah mencapai temperatur ruangan.
4. Menghitung hasil analisa.

Perhitungan *moisture* terdapat pada Persamaan 3.3.

$$\text{Moisture, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

b. *Volatile Matter*

Analisa kadar *volatile matter* dalam arang 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. Persentase *weight loss* dikurangi persentase *moisture* sama dengan *volatile matter*.

Perhitungan *weight loss* terdapat pada Persamaan 3.4.

$$\text{Weight Loss, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

Perhitungan *volatile matter* terdapat pada Persamaan 3.5.

$$\text{Volatile Matter, \%} = C - D \dots \dots \dots (3.5)$$

Dimana,

C = Weight Loss (%)

D = *Moisture* (%)

c. *Ash*

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

Alat:

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

Prosedur:

1. Memasukkan 1 g sampel dalam kapsul dan ditimbang dan tutup. Letakkan kapsul dalam furnace dingin. Panaskan dengan 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 *ash* terdapat pada Persamaan 3.6.

$$\text{Ash, \%} = [(A - B) / C] \times 100 \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana,

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

B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)

C = berat sampel yang digunakan (gram)

d. Fixed Carbon

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

Perhitungan *fixed carbon* dapat dilihat pada Persamaan 3.7.

$$\text{Fixed Carbon, \%} = 100\% - [\text{moisture (\%)} + \text{ash (\%)} + \text{volatile matter (\%)}] \dots\dots\dots (3.7)$$

3.5 Neraca Massa Sintering Nikel Laterit

Proses *sintering* yang akan dilakukan memerlukan perhitungan massa bahan yang akan dikomposisikan (*feed material*). Perhitungan dilakukan berdasarkan persamaan reaksi yang terjadi pada proses *sintering* bijih nikel laterit. Perhitungan ini berpengaruh pada keberhasilan proses aglomerasi dan komposisi yang dihasilkan. Adapun bahan yang dikomposisikan adalah bijih nikel laterit, arang, dan fluks. Perhitungan untuk masing-masing massa bahan tersebut dilakukan dengan memperhatikan perilaku termal senyawa penyusunnya pada temperatur 1200 °C.

Komposisi massa arang dihitung berdasarkan kebutuhan karbon sebagai agen reduktor untuk mereduksi Fe₂O₃ dan dekomposisi CaCO₃ serta MgCO₃ pada temperatur tinggi. Desain target proses *sintering* ditentukan pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3. 2 Target Sintering Nikel Laterit

Target	Keterangan	Nilai	Satuan
Reaksi Reduksi	Fe ₂ O ₃ → Fe ₃ O ₄	100	Persen (%)
	Fe ₃ O ₄ → FeO	100	Persen (%)
Reaksi Dekomposisi	CaCO ₃ → CaO	100	Persen (%)
	MgCO ₃ → MgO	100	Persen (%)
Basisitas	Sinter	60	Persen (%)

Berdasarkan target proses reduksi briket tersebut, maka dilakukan perhitungan komposisi dengan neraca massa dan neraca panas dengan ditentukan sebagai basis adalah bijih nikel laterit sebesar 100 kg sehingga diperoleh perbandingan komposisi *ore*: arang : *limestone*, untuk masing-masing sebesar :

Tabel 3. 3 Perbandingan Komposisi Ore : Arang : Fluks

<i>Ore</i> (kg)	Arang (kg)	Fluks (kg)
100	11	39

Percobaan variasi jenis fluks berdasarkan penggunaan fluks pada penelitian sebelumnya. Dimana variasi jenis fluks yang digunakan adalah *limestone* dan *dolomite*.

3.6 Rancangan Penelitian

Berikut adalah rancangan penelitian yang dilakukan untuk proses *sintering* nikel laterit sesuai dengan perhitungan stoikiometri.

Tabel 3. 4 Stokiometri *Sintering*

Fluks	Massa Ore (kg)	Massa Fluks (kg)	Massa Arang (kg)	Pengujian
<i>Suplitstone</i>	30	12	3,3	1. Drop Test 2. EDX 3. XRD
<i>Limestone</i>	30	12	3,3	
<i>Dolomite</i>	30	12	3,3	

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan Penelitian

Pada penelitian kali ini telah dilakukan pengujian karakterisasi bahan yang digunakan, antara lain bijih nikel, arang, *limestone*, *dolomite*, dan *suplitstone*.

4.1.1 Karakterisasi Bijih Nikel Laterit

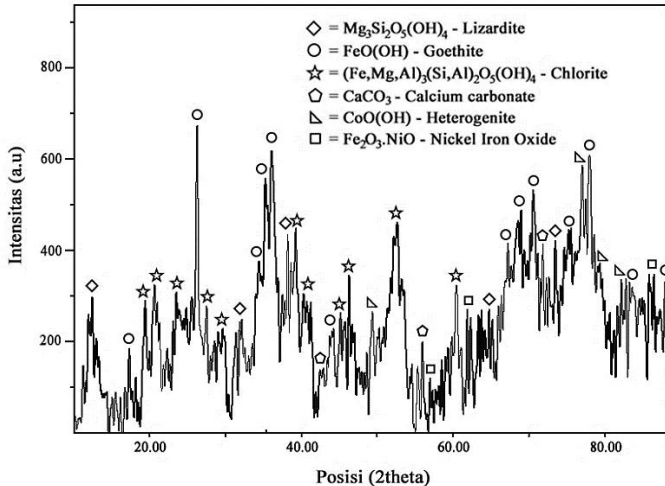
Pada penelitian kali ini menggunakan bijih nikel berasal dari Sulawesi Tenggara. Bijih nikel hasil sampling dihaluskan dan diayak dengan ukuran 300 μm . Pengujian komposisi dilakukan menggunakan EDX dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Komposisi Bijih Nikel Hasil Pengujian EDX

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	Co	P	O
%wt	1.59	42.0	17.7	5.91	3.36	2.50	1.29	0.2	0.18	25.8

Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa bijih nikel memiliki kandungan Fe cukup tinggi sebesar 42,01%, Si sebesar 17,78%, Mg sebesar 5,91%, Ca sebesar 3,36%, Al sebesar 2,50%, dan kandungan nikel sebesar 1,59%. Hasil pengujian ini akan digunakan sebagai dasar perhitungan neraca massa proses *sintering*.

Selain pengujian komposisi juga dilakukan pengujian dengan XRD untuk mengetahui fasa yang terdapat pada bijih nikel. Pengujian menggunakan XRD PAN Analytical. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1,54056 Å.



Gambar 4. 1 Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel

Pengujian XRD menghasilkan peak senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada bijih nikel laterit. Hasil pengujian XRD fasa yang terdapat pada bijih nikel laterit adalah *lizardite* [$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$], *goethite* ($FeOOH$), *chlorite* [$(Fe,Mg,Al)_3(Si,Al)_2O_5(OH)_4$] dan *Nickel Iron Oxide* ($Fe_2O_3.NiO$).

4.1.2 Karakterisasi Arang

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian kali ini adalah arang yang berasal dari Kenjeran, Surabaya. Selain sebagai bahan bakar, arang juga digunakan sebagai penyedia gas reduktor berupa CO pada proses *sintering*. Maka dilakukan pengujian *proximate analysis* untuk menentukan kadar *moisture*, *ash*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Pengujian *proximate* dilakukan berdasarkan standar ASTM D 3173-02. Hasil pengujian *proximate analysis* arang yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Proximate Analysis pada Arang.

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
Kelembapan Total (<i>Moisture</i>)	0	%, ar	ASTM D3302-02
Kadar Abu (<i>Ash</i>)	1,7	%, ar	ASTM D3174-02
Kadar Karbon Tetap (<i>Fixed Carbon</i>)	61,8	%, adb	ASTM D3175-02
Kadar Zat yang mudah menguap (<i>Volatile Matter</i>)	36,5	%, adb	ASTM D3172-02
Nilai Kalori	7044	cal/gr, adb	ASTM D5865-03

Dari hasil pengujian proximate analysis dapat diketahui arang yang digunakan memiliki kadar abu sebesar 1,7%, kadar *volatile matter* sebesar 36,5%, kadar karbon sebesar 61,8%, dan kalori yang dihasilkan sebesar 7044 cal/gr. Hasil dari pengujian ini akan digunakan sebagai dasaran dalam perhitungan neraca panas.

4.1.3 Karakterisasi Fluks

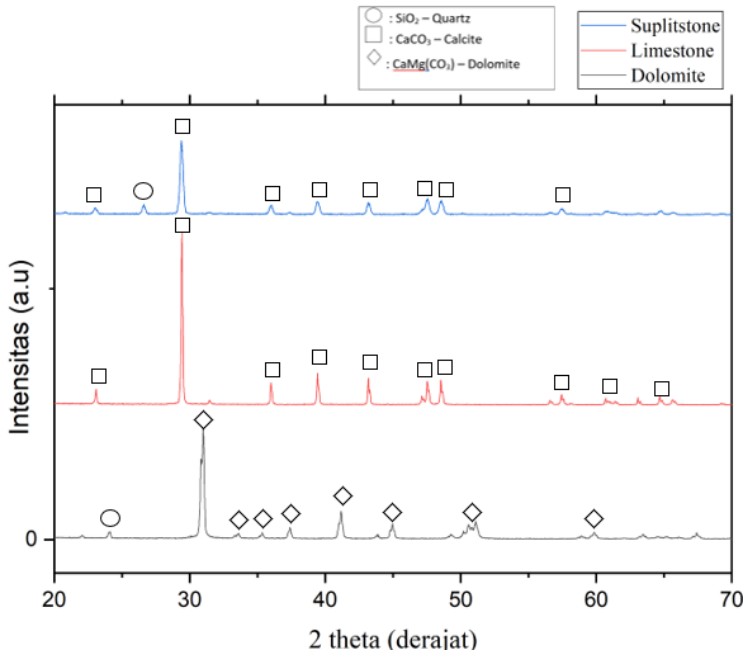
Dalam penelitian kali ini digunakan tiga jenis fluks yang berbeda, yaitu *suplittestone*, *limestone* dan *dolomite*. Fluks berfungsi sebagai pengikat mineral yang tidak digunakan. Maka dari itu dilakukan pengujian EDX untuk mengetahui komposisi pada fluks. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian EDX pada Fluks

Fluks	Unsur (% wt)				
	Ca	Mg	C	Si	O
<i>Suplittestone</i>	44.01	0.57	12.02	6.51	35.93
<i>Limestone</i>	52.85	0.45	3.39	0.23	41.88
<i>Dolomite</i>	41.37	12.97	4.02	0.5	40.65

Selain itu juga dilakukan pengujian XRD untuk mengetahui fasa yang terdapat pada masing-masing fluks.

Pengujian menggunakan XRD PAN Analytical. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 20° sampai 70° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar $1,54056 \text{ \AA}$. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.2.

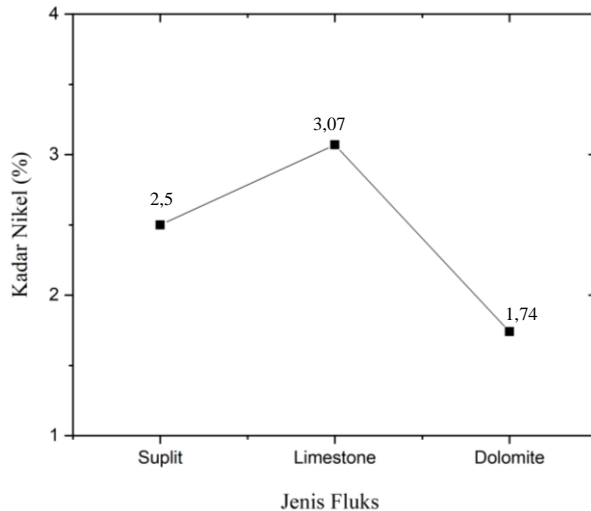


Gambar 4. 2 Hasil Pengujian XRD pada Fluks

Dari hasil pengujian XRD pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa fluks *suplitstone* memiliki fasa berupa kalsit (CaCO_3) dan *quartz* (SiO_2), dengan kalsit yang menjadi peak tertinggi dan terbanyak. Hal ini menjadikan *suplitstone* termasuk ke dalam jenis fluks *limestone* karena fasa dominan yang terbentuk adalah kalsit dan memiliki kandungan dolomit kurang dari 10% (Lamar, 1938). Fluks *limestone* memiliki fasa kalsit (CaCO_3). Pada fluks *dolomite* memiliki fasa *dolomite* ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)$) dan SiO_2 dengan $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ sebagai peak tertinggi dan terbanyak.

4.2 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kadar Ni Terhadap Senyawa *Sinter*

Variasi jenis fluks mempengaruhi kadar nikel pada *sinter* yang dihasilkan. Pengaruh variasi jenis fluks terhadap kadar nikel dapat dilihat pada Gambar 4.4.

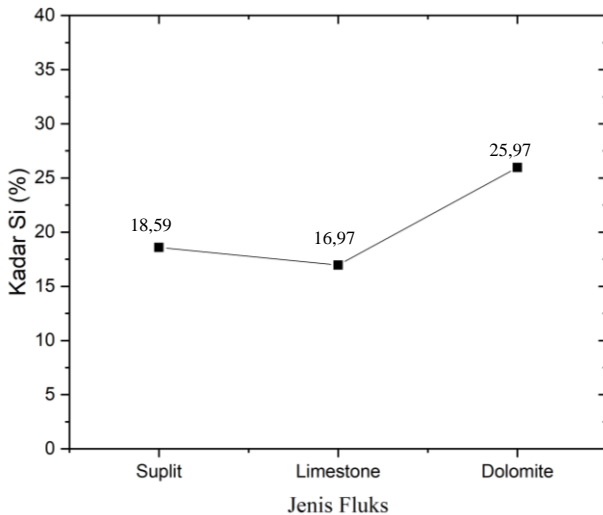


Gambar 4. 3 Pengaruh Variasi Jenis Fluks pada Kadar Nikel

Pada Gambar 4.4 dapat diketahui pada hasil *sintering* menggunakan fluks *suplimestone* pada temperatur 1200°C dan waktu proses selama 4 jam menghasilkan kadar nikel sebesar 2,5%. Pada hasil *sintering* menggunakan fluks *limestone* pada temperatur 1200°C dan waktu proses selama 4 jam menghasilkan kadar nikel sebesar 3,07%. Pada hasil *sintering* menggunakan fluks *dolomite* pada temperatur 1200°C dan waktu proses selama 4 jam menghasilkan kadar nikel sebesar 1,74%. Kalsium oksida (CaO), yang dihasilkan dari proses dekomposisi kalsit (CaCO₃) pada temperatur 550°C, memiliki peranan penting pada proses *sintering* karena mudah berikatan dengan oksida lain pada *feed material* (Cores, 2013). Hasil reaksi dekomposisi melepaskan ikatan OH

dan gas karbon dioksida. Seperti lepasnya H_2O pada reaksi dekomposisi *lizardite* dan *goethite*, maupun gas karbon dioksida pada dekomposisi fluks. Hal ini menjadikan kadar nikel pada sinter meningkat karena pembagi massa menjadi berkurang.

Kadar magnesium oksida (MgO) yang tinggi pada dolomite menyebabkan Mg^{2+} mensubstitusi Fe^{2+} pada magnetit (Fe_3O_4) membentuk magnesio ferrit ($MgFe_2O_4$) dan sebagian yang lain akan berikatan dengan membentuk SFCA dan gelas (U.S. Yadav, 2002). Ikatan magnesio-ferrit memiliki sifat material refraktori dan memiliki titik leleh diatas $1760^\circ C$ bersifat lebih stabil dan sulit untuk berikatan dengan oksida lain, sehingga akan menurunkan *slag bond* yang terbentuk (Sakar, 2017).



Gambar 4. 4 Pengaruh Variasi Jenis Fluks pada Kadar Si

Dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 dapat dibandingkan bahwa semakin tinggi kandungan SiO_2 maka semakin rendah kandungan Ni pada *sinter*. Jumlah SiO_2 yang tinggi disebabkan karena SiO_2 tidak terikat oleh kalsium ferrit akibat pembentukan magnesioferrit (Cores, 2013). Selain itu, SiO_2 termasuk salah satu senyawa yang

sulit untuk direduksi. Hal ini disebabkan karena reduksi SiO₂ dengan gas CO memiliki energi Gibbs yang positif dan cukup tinggi (Yopy, 2014). Reaksi reduksi SiO₂ dapat dilihat pada Persamaan 4.1.

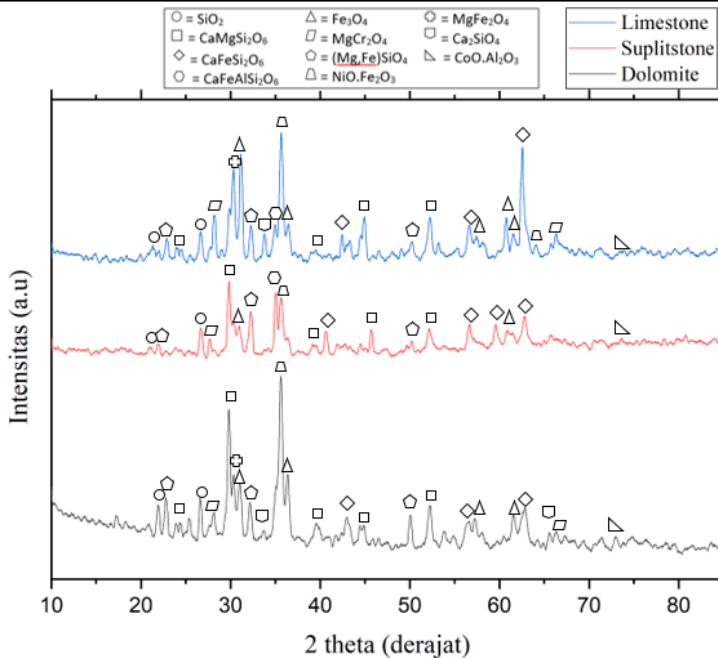


Sehingga kandungan SiO₂ pada *sinter* yang tidak tereduksi akan menambah persentase massa dan menyebabkan penurunan kadar nikel.

Kadar kalsium oksida pada fluks juga berpengaruh pada nikel yang dihasilkan. Semakin tinggi kadar kalsium oksida maka akan semakin tinggi pula kadar nikel yang dihasilkan, namun hanya mencapai titik tertentu. Hal ini disebabkan kalsium karbonat terdekomposisi pada temperatur rendah menghasilkan kalsium oksida, sehingga kalsium oksida dapat mengikat oksida lain (Nyembwe, 2011)

4.3 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Senyawa *Sinter*

Setelah dilakukan proses *sintering* dengan temperatur 1200°C selama 4 jam dengan variasi jenis fluks maka hasil *sintering* dapat dilakukan pengujian menggunakan mesin XRD PAN Analytical. Pengujian dengan mesin XRD untuk mengetahui fasa yang terdapat pada hasil *sinter*. Analisa hasil XRD menggunakan aplikasi *PDF-2 Release 2011*. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 10° sampai 85° dan menggunakan panjang gelombang CuKα sebesar 1,54056 Å. Hasil identifikasi fasa pada *sinter* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.5 Hasil Pengujian XRD pada *Sinter*

Fasa yang teridentifikasi dari hasil pengujian XRD dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Fasa yang Terdapat pada *Sinter*

No	Senyawa	Fasa
1.	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	<i>Diopside</i>
2.	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	<i>Hedenbergite</i>
3.	$\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	<i>Nickel Ferrit</i>
4.	$\text{CaFeAlSi}_2\text{O}_6$	<i>Esseneite</i>
5.	$(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$	<i>Olivine</i>
6.	MgCr_2O_4	<i>Magnesiochromite</i>
7.	MgFe_2O_4	<i>Magnesioferrite</i>
8.	Fe_3O_4	<i>Magnetit</i>
9.	SiO_2	<i>Quartz</i>
10.	Ca_2SiO_4	<i>Dicalcium silicates</i>

Pada Gambar 4.3 menunjukkan fasa yang terbentuk pada hasil *sintering* dengan variasi jenis fluks. Fasa magnetit (Fe_3O_4) dari hasil *sintering* dengan fluks *dolomite* teridentifikasi pada puncak 20 31,95 ; 36,51 ; 58,15; 62,48, dari hasil *sintering* dengan fluks *limestone* teridentifikasi pada puncak 20 31,95 ; 36,51 ; 58,15 ; 60,68 ; 62,48, sedangkan pada hasil *sintering* dengan fluks *suplitstone* teridentifikasi pada puncak 20 31,95 ; 62,48. Fasa *magnetite* dihasilkan dari dekomposisi *goethite* (FeOOH) dari bijih nikel menjadi *magnetite* (Fe_2O_3) dan H_2O pada temperatur 700°C seperti pada Persamaan 2.13 (Crundwell, 2011). Kemudian *magnetite* mengalami reaksi *Boudouard* dengan gas CO pada temperatur 750°C sehingga terbentuk Fe_3O_4 . Sebagian Fe_3O_4 akan bereaksi dengan CO menghasilkan *wuestite* (FeO) dan gas CO_2 .

Lizardite ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) pada bijih nikel terdekomposisi pada temperatur 600°C menjadi Mg_2SiO_4 , SiO_2 dan H_2O . FeO hasil

reaksi Boudouard bereaksi dengan SiO_2 membentuk Fe_2SiO_4 , Mg_2SiO_4 dan Fe_2SiO_4 termasuk ke dalam golongan *olivine* (Deer, 1977). Dari Gambar 4.3 fasa *olivine* pada hasil *sinter* menggunakan fluks *limestone* dan *dolomite* ditunjukkan pada puncak 2 θ 23,65; 33,13; 34,89; 50,35 sedangkan pada hasil *sinter* dengan fluks *suplitstone* ditunjukkan pada puncak 2 θ 22,12; 33,13, dan 50,35.

Selain itu dekomposisi dari *lizardite* juga dapat menghasilkan MgSiO_3 yang akan berikatan dengan SiO_2 dan kalsium oksida, yang merupakan dekomposisi kalsit dari fluks, menjadi *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) pada temperatur 1050°C. Dari Gambar 4.3 fasa *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) pada hasil *sinter* menggunakan fluks *suplitstone* ditunjukkan pada puncak 2 θ 27,85; 30,27; 38,37; 46,15; 52,29. Fasa *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) pada hasil *sinter* menggunakan fluks *limestone* dan *dolomite* ditunjukkan pada puncak 2 θ 24,15; 27,85; 30,27; 38,37; 45,18; dan 52,29.

Heterogenite (CoOOH) pada bijih nikel terdekomposisi menjadi kobalt (III) oksida (Co_3O_4), air (H_2O) dan oksigen (O_2) pada temperatur 300°C. Selanjutnya kobalt (III) oksida (Co_3O_4) akan terdekomposisi menjadi kobalt (II) oksida (CoO) pada temperatur 700°C. Kobalt (II) oksida akan berikatan dengan aluminium oksida (Al_2O_3) pada temperatur 1100 °C membentuk kobalt (II) aluminium ($\text{CoO}.\text{Al}_2\text{O}_3$). Kobalt (II) aluminium terdapat pada puncak 2 θ 73,90.

FeO hasil reaksi *boudouard* yang tidak stabil akan bereaksi dengan SiO_2 membentuk fayalite (FeSiO_3) pada temperatur 1000°C. FeSiO_3 akan berikatan dengan kalsium oksida dan silikat (SiO_2) pada temperatur 1050°C dan menghasilkan *hedenbergite* ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) dan gas karbondioksida (CO_2). Dari Gambar 4.3 fasa *hedenbergite* ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) pada hasil *sinter* menggunakan fluks *suplitstone* ditunjukkan pada puncak 2 θ 41,03; 57,54; 60,02; dan 63,78. Fasa *hedenbergite* ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) pada hasil *sinter* menggunakan fluks *limestone* ditunjukkan pada puncak 2 θ 43,54 ; 57,54; 63,78 dan pada hasil *sinter* menggunakan fluks *dolomite* ditunjukkan pada puncak 2 θ 57,54; dan 63,78.

Wuestite (FeO) hasil rekasi boudouard akan berikatan dengan kalsium oksida dari fluks menjadi kalsium ferrite ($\text{FeO} \cdot \text{CaO}$) pada temperatur 900°C . Kemudian kalsium ferrit akan berikatan dengan gibbsite (Al_2O_3) dan SiO_2 pada temperatur 1050°C untuk membentuk *silico-ferrite of calcium and aluminum* yang pada pengujian XRD terbaca sebagai *esseneite*. *Esseneite* juga sebagai salah satu SFCA (*silico-ferrite of calcium and aluminum*). Dari Gambar 4.3 fasa *esseneite* ($\text{CaFeAlSi}_2\text{O}_6$) pada hasil *sinter* menggunakan fluks *suplitstone* ditunjukkan pada puncak 2θ 35;10. Fasa *esseneite* ($\text{CaFeAlSi}_2\text{O}_6$) pada hasil *sinter* menggunakan fluks *limestone* ditunjukkan pada puncak 2θ 35;10.

Pada hasil *sintering* dengan fluks *suplitstone* terdapat *nikel ferrit* ($\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) pada puncak 2θ 30,45; 35,65, pada hasil *sintering* dengan fluks *limestone* pada puncak 2θ 30,45; 35,65, ; 64,21, dan pada hasil *sintering* fluks *dolomite* pada puncak 2θ 30,45; 35,65.

Magnesium oksida hasil dekomposisi *dolomite* berikatan dengan magnetit (Fe_2O_3) pada temperatur 975°C dan membentuk senyawa *magnesioferrite* ($(\text{Mg},\text{Fe})\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). Pada Gambar 4.3 *magnesioferrite* ditunjukkan pada puncak 2θ 30,38.

Oksida selain oksida besi juga saling berikatan seperti, magnesium oksida (MgO) dengan Cr_2O_3 yang berikatan pada temperatur 1100°C . Pada Gambar 4.3 MgCr_2O_4 ditunjukkan pada puncak 2θ 44,03.

Fasa quartz (SiO_2) terdapat pada setiap hasil *sintering*. Pada hasil *sintering* fluks *suplitstone* dan *limestone* terdapat fasa quartz (SiO_2) pada puncak 2θ 21,90; 26;70, pada hasil *sintering* fluks *dolomite* dan fasa terdapat fasa quartz (SiO_2) pada puncak 2θ 20,05; 21,90; 26;70. Quartz (SiO_2) didapatkan dari hasil *lizardite* pada bijih nikel yang terdekomposisi pada temperatur 600°C serta dari fluks yang digunakan. Pada temperatur yang lebih tinggi SiO_2 tidak mengalami reduksi, tetapi dapat berikatan dengan oksida lain. Hal ini disebabkan karena reduksi SiO_2 dengan gas CO memiliki energi Gibbs yang positif dan cukup tinggi.

Kalsium oksida pada dolomit yang tersisa berikatan dengan SiO_2 pada temperatur 1100°C membentuk dikalsium oksida ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$). Pada hasil XRD dikalsium silikat terdapat pada puncak 2θ 34,65 dan 66,23.

Fasa yang terdapat pada *sinter* antara lain *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), *hedenbergite* ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$), *nickel ferrit* ($\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), *esseneite* ($\text{CaFeAlSi}_2\text{O}_6$), *olivine* ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$), *magnesiochromite* (MgCr_2O_4), *magnesioferrite* (MgFe_2O_4), *magnetit* (Fe_3O_4), *quartz* (SiO_2), *dicalcium silicates* (Ca_2SiO_4).

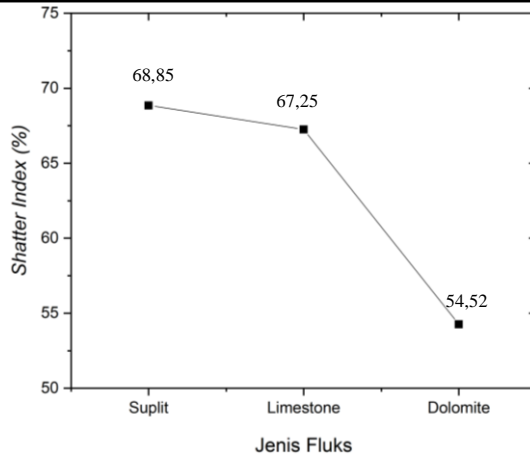
4.4 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kekuatan *Sinter*

Kekuatan *sinter* berdasarkan perbandingan massa *sinter* setelah dilakukan *droptest* dengan sebelum dilakukan *droptest*. Pengujian *droptest* menggunakan standar IS-9963. Setelah dilakukan proses *droptest* maka akan didapatkan massa *sinter* yang berukuran lebih dari 5mm. Kekuatan *sinter* disebut juga *shatter index*. Proses *sintering* dikatakan baik apabila memiliki nilai *shatter index* lebih dari 60%.

Perhitungan pengaruh variasi jenis fluks terhadap kekuatan *sinter* dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Perhitungan Kekuatan *Sinter*

Variabel	Massa Awal <i>Sinter</i> (kg)	Massa <i>Sinter</i> > 5mm setelah drop test (kg)	<i>Shatter Index</i> (%)
<i>Suplitstone</i>	7,224	4,974	68,85
<i>Limestone</i>	8,33	5,602	67,25
<i>Dolomite</i>	3,27	1,84	54,52



Gambar 4. 6 Pengaruh Variasi Jenis Fluks pada Kekuatan *Sinter*

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa hasil *sintering* dengan variasi jenis fluks *suplitstone* pada temperatur 1200°C dan proses *sintering* selama 4 jam memiliki shatter index sebesar 68,85%. Hal ini didapatkan karena massa *sinter* dengan variasi jenis fluks sebesar 7,224 kg dan setelah dilakukan proses droptest didapatkan massa *sinter* yang melebihi 5mm sebanyak 4,974 kg. Pada Gambar 4.6 dapat diketahui juga bahwa hasil *sintering* dengan variasi jenis fluks *limestone* pada temperatur 1200°C dan proses *sintering* selama 4 jam memiliki shatter index sebesar 67,25%. Hal ini didapatkan karena massa *sinter* dengan variasi jenis *limestone* sebesar 8,33 kg dan setelah dilakukan proses droptest didapatkan massa *sinter* yang melebihi 5mm sebanyak 5,602 kg. Pada Gambar 4.6 dapat diketahui juga bahwa hasil *sintering* dengan variasi jenis fluks *dolomite* pada temperatur 1200°C dan proses *sintering* selama 4 jam memiliki shatter index sebesar 54,52%. Hal ini didapatkan karena massa *sinter* dengan variasi jenis *limestone* sebesar 3,27 kg dan setelah dilakukan proses *droptest* didapatkan massa *sinter* yang melebihi 5mm sebanyak 1,84 kg.

Nilai shatter index minimal untuk hasil *sinter* dapat dikatakan baik sebesar 60% (Gupta, 2016). Nilai *shatter index* untuk hasil *sintering* dengan variasi jenis fluks *suplimestone* dan *limestone* lebih dari 60% dan selisih diantara keduanya tidak jauh berbeda. Hal ini disebabkan karena pada *suplimestone* dan *limestone* didominasi oleh fasa kalsit (CaCO_3). Kalsit pada temperatur 550°C terdekomposisi menjadi kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida (CO_2). Kalsium oksida mudah berikatan dengan oksida lain (Feng, 2011). Salah satunya reaksi kalsium oksida dengan magnetite (Fe_2O_3) pada temperatur 950°C membentuk kalsium ferrit ($\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{CaO}$) (pers 2.14). Kalsium ferrite yang telah terbentuk akan berikatan dengan oksida lain seperti SiO_2 dan Al_2O_3 pada temperatur 1050°C dengan membentuk *slag bond* berupa *silico-ferrite of calcium and aluminum* (SFCA). Dalam SFCA terdapat berbagai senyawa, seperti *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), *hedenbergite* ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$), *esseneite* ($\text{CaFeAlSi}_2\text{O}_6$), dan *olivine* ($(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$). *Diopside*, *hedenbergite*, dan *esseneite* yang termasuk ke dalam golongan *pyroxene* memiliki kekuatan sebesar 7 Mohs. (Rickman, 2008). Begitu juga dengan *olivine* memiliki kekuatan sebesar 7 Mohs (Il'ina, 2016). Dari data yang didapatkan bisa dikatakan bahwa kekuatan pada *sinter* dengan jenis fluks *suplimestone* dan *limestone* berasal dari SFCA. Semakin tinggi kadar kalsium menghasilkan SFCA semakin banyak sehingga meningkatkan kekuatan *sinter*.

Hasil *sinter* yang menggunakan fluks *dolomite* memiliki nilai shatter index 54,25%. Hal ini disebabkan *sinter* yang menggunakan fluks *dolomite* memiliki kandungan Magnesium oksida (MgO) lebih tinggi dibandingkan dengan fluks *limestone* maupun *suplimestone*. Magnesium oksida didapatkan dari hasil dekomposisi *dolomite* pada temperatur 750°C . Pada temperatur 975°C , sebagian Mg^{2+} pada magnesium oksida (MgO) akan mensubstitusi Fe^{2+} pada magnetit ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan membentuk magnesio ferrit ($\text{MgO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan sebagian yang lain akan berikatan dengan membentuk SFCA dan gelas (U.S. Yadav, 2002). Ikatan magnesio-ferrit akan membentuk fasa refraktori dan

memiliki titik leleh diatas 1760°C , sehingga pembentukan *magnesio ferrit* menyebabkan *slag bond* yang terbentuk menurun dan menurunkan produktifitas (Sakar, 2017). *Slag bond* yang mengandung SFCA berkurang sehingga kekuatan pada *sinter* pun berkurang. Selain itu, kadar MgO pada fluks yang tinggi juga menyebabkan terbentuknya kalsium silikat $\beta\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. Pada proses pendinginan, kalsium silikat akan berubah kristal dari $\beta\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ menjadi $\gamma\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ pada temperatur 697°C . Perubahan ini menyebabkan perubahan volume dan munculnya tegangan dalam. Hal ini menyebabkan *sinter* menjadi getas dan mudah berubah menjadi serbuk saat menerima beban. Sehingga penambahan Magnesium oksida dapat mengurangi kekuatan *sinter* (U.S. Yadav, 2002).

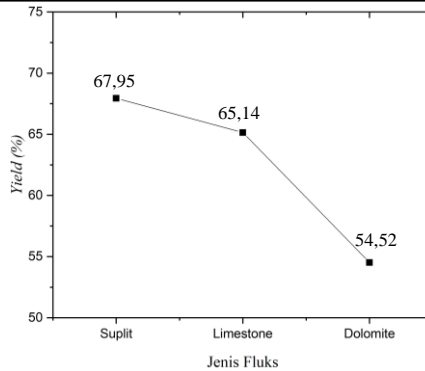
4.5 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Perolehan *Sinter*

Untuk mengetahui *sinter* yang dihasilkan (%*yield*) dari proses *sintering* dilakukan dengan membandingkan massa *return fines* yang dihasilkan dengan massa awal *feed material* yang digunakan. Proses *sintering* dikatakan baik apabila %*yield* yang dihasilkan lebih dari 65%.

Berdasarkan Persamaan 2.3 pengaruh variasi jenis fluks pada perolehan *sinter* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Perhitungan Perolehan *Sinter*

Variabel	Massa Awal <i>Feed Material</i> (kg)	<i>Return Fines</i> (kg)	% <i>yield sinter</i>
<i>Suplitstone</i>	45,3	14,52	67,95%
<i>Limestone</i>	45,3	15,79	65,14%
<i>Dolomite</i>	45,3	20,60	54,52%



Gambar 4. 7 Pengaruh Variasi Jenis Fluks pada Perolehan *Sinter*

Berdasarkan pada Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa *sinter* dengan variasi jenis fluks *suplitstone* setelah melalui proses *sintering* selama 4 jam pada temperatur 1200°C dan *feed material* sebanyak 45,3 kg menghasilkan *return fines* sebesar 14,52 kg dan %*yield* sebesar 67,95%. Pada Tabel 4.7 juga dapat diketahui bahwa *sinter* dengan variasi jenis fluks *limestone* setelah melalui proses *sintering* selama 4 jam pada temperatur 1200°C dan *feed material* sebanyak 45,3 kg menghasilkan *return fines* sebesar 15,79 kg dan %*yield* sebesar 65,14%.

Proses *sintering* dikatakan baik apabila %*yield* yang dihasilkan lebih dari 65% (Gupta, 2016). Biasanya %*yield* sinter untuk hasil *sintering* dengan variasi jenis fluks *suplitstone* dan *limestone* lebih dari 65% dan selisih diantara keduanya tidak jauh berbeda. Hal ini disebabkan oleh kandungan kalsit (CaCO_3) yang tinggi pada fluks *suplitstone*. Kalsit terdekomposisi pada temperatur 910°C menjadi kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida (CO_2) (pers 2.13). Kalsium oksida mudah berikatan dengan oksida lain (Feng, 2011). Salah satunya reaksi kalsium oksida dengan magnetite (Fe_2O_3) pada temperatur 950°C membentuk kalsium ferrit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$) (pers 2.14). Kalsium ferrite yang telah terbentuk akan berikatan dengan oksida lain seperti SiO_2 dan Al_2O_3 pada temperatur 1050°C dan membentuk *slag bond* berupa *silico-ferrite of calcium and aluminum* (SFCA). Semakin

banyak SFCA yang terbentuk maka semakin banyak *slag bond* yang dihasilkan. *Slag bond* adalah salah satu bentuk hasil aglomerasi. Maka semakin banyak SFCA yang terbentuk maka semakin banyak pula *yield sinter* yang dihasilkan.

Pada Tabel 4.7 dapat diketahui juga bahwa *sinter* dengan variasi jenis fluks *dolomite* setelah melalui proses *sintering* selama 4 jam pada temperatur 1200°C dan *feed material* sebanyak 45,3 kg menghasilkan *return fines* sebesar 20,60 kg dan %*yield* sebesar 54,52%. Hasil *sinter* yang menggunakan fluks *dolomite* memiliki nilai *yield* dibawah 65% karena *sinter* yang menggunakan fluks *dolomite* memiliki kandungan MgO lebih tinggi dibandingkan dengan fluks *limestone*. Magnesium oksida (MgO) dihasilkan salah satunya dari hasil dekomposisi *dolomite* pada temperatur 750°C (pers. 2.24). Pada temperatur 975°C, sebagian Mg²⁺ pada magnesium oksida (MgO) akan mensubstitusi Fe²⁺ pada magnetit (FeO.Fe₂O₃) dan membentuk magnesio ferrit ((Mg,Fe)O. Fe₂O₃) dan sebagian yang lain akan berikatan dengan membentuk SFCA dan gelas (U.S. Yadav, 2002). Ikatan magnesio-ferrit akan membentuk fasa refraktori dan memiliki titik leleh diatas 1760°C sehingga menurunkan SFCA dan *slag bond* yang terbentuk sehingga menurunkan produktifitas (Sakar, 2017). Sehingga dengan peningkatan kandungan magnesium oksida maka perolehan *sinter* semakin menurun.

(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. Fasa yang terbentuk pada *sinter* dengan variasi jenis fluks *suplitstone*, *limestone* dan *dolomite* adalah fasa *Diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), *Hedenbergite* ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$), *Nickel Ferrit* ($\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), *Esseneite* ($\text{CaFeAlSi}_2\text{O}_6$), *Magnesiochromite* (MgCr_2O_4), *Magnesioferrite* (MgFe_2O_4), *Olivine* ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$), *Magnetit* (Fe_3O_4), *Quartz* (SiO_2), dan *Dicalcium silicates* (Ca_2SiO_4).
2. Kadar Ni pada *sinter* dengan fluks *suplitstone* sebesar 2,5%, fluks *limestone* sebesar 3,07%, dan fluks *dolomite* sebesar 1,87%. Kadar Nikel tertinggi dihasilkan oleh jenis *sinter limestone* sebesar 3,07%
3. Nilai *shatter index* pada *sinter* dengan fluks *suplitstone* sebesar 68,85%, fluks *limestone* sebesar 67,25%, dan fluks *dolomite* sebesar 54,52%. Nilai *shatter index* tertinggi didapatkan oleh jenis *sinter suplitstone* sebesar 68,85%
4. Perolehan hasil *sinter* pada proses *sintering* dengan fluks *suplitstone* sebesar 67,95%, fluks *limestone* sebesar 65,14%, dan fluks *dolomite* sebesar 54,53%. Perolehan *sinter* tertinggi didapatkan oleh jenis *sinter suplitstone* sebesar 67,95%.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya antara lain:

1. Melakukan penelitian *sintering* bijih nikel laterit dengan penggunaan jenis fluks yang lain.

-
2. Melakukan penelitian *sintering* bijih nikel laterit dengan mempertimbangkan perbandingan komposisi *ore*, *limestone* dan arang.
 3. Melakukan penelitian *sintering* bijih nikel laterit dengan menggunakan *furnace* dengan laju aliran udara dari atas ke bawah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, R. F. M., 2016. **Sistem Klasifikasi Kualitas Batu Boulder Berdasarkan Tekstur Berbasis Pengolahan Citra Digital**. Journal of Information Technology and Computer science, Volume 1, p. 1.
- Babich A., D. S. M. F., 2010. **Charcoal Behaviour by Its Injection Into the Modern Blast Furnace**. ISIJ International, pp. 81-88.
- Barkas, J., 2010. **Drivers and Risks for Nickel Demand**. 7th International China Nickel Conference.
- Brindley, G. R. H., 1965. **Mechanism of formation of Jbrsterite and enstatite from serpentine**. Transformation Of Serpentine, pp. 189-196.
- Chatterjee, G. P., 1963. **Pretreatment of iron for steel production in the Durgapur steel project**. International symposium on recent developments in iron and steelmaking with special reference to Indian conditions.
- Cores, A., 2013. **Iron Ore Sintering**. Medellin, August, pp. 152-171.
- Crundwell, M., 2011. **Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metal**. Oxford: Elsevier.
- Cutler, P., 1997. **Nickel, Nickel Everywhere**. Materials world, pp. 542-544.
- Dalvi, W. B. R. O., 2004. **The Past and The Future of Nickel Laterites**. Ontario: INCO Limited.
- Deer, R., 1977. **Single-Chain Silicates**. 2nd ed. Manchester: Department of Geology.
- Engler, P., 1989. **Non-Isothermal, In Situ Xrd Analysis Of Dolomite Decomposition**. Thermochemica, Volume 140, pp. 67-76.

-
- Ergun, S., 1952. **Fluid Flow through Packed Columns**. Journal of Chemical Engineering Progress, Vol. 48, No. 2.
- Feng, G., 2011. **Sintering characteristics of fluxes and their structure optimization**. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials , p. 270.
- Guo, Enguang. **Sintering Process for Limonitic Nickel Laterite**. The Minerals, Metals, and Materials Society. p 623-631. 2014.
- Gupta, A. D., 2016. **The Effect Of Composition On The Decomposition Behaviour Of Dolomite Nuggets**. Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR), pp. Vol-2 Issue 3.
- Gupta, P. A. D., 2015. **Theory and Laboratory Experiments in Ferrous Metallurgy**. Delhi: PHI Learning Private Limited.
- Il'ina, L. 2016. **Increase in the Strength Characteristics of Portland Cement due to Introduction of the Compound Mineral Supplements**. AIP Conference Proceedings 1698.
- Johansyah, D., 2012. **Studi Pengaruh Proses Reduksi Pemangangan dan Waktu Pelindian Amonium Bikarbonat Terhadap Perolehan Nikel Dari Bijih Limonit**. Depok: Universitas Indonesia.
- Kirboga, S. O. M., 2013. **Effect of the Experimental Parameters on Calcium Carbonate Precipitation**. Chemical Engineering Transactions. AIDIC, p. Vol 32.
- Kokal H.R., M. R., 1994. **Fluxes for Metallurgy**. In Industrial Minerals and Rocks, pp. 661-675.
- Kunii D., L., 1991. **Fluidization Engineering**. Stoneham: Butterworth-Heinemann.
-

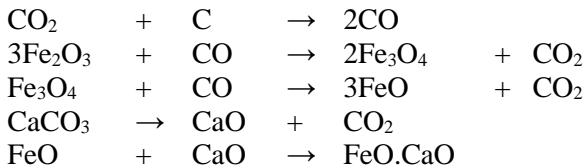
-
- Lamar, J. d. H. W., 1938. **A Summary Of The Uses Of Limestone and Dolomite**. Urbana: University Of Illinois.
- M. Bhavan, Z. B. S., 1981. **Method of Determination of Shatter Index of Iron Ore Lumps, Sinter and Pellets**. New Delhi: Indian Standart Institution.
- Mudd, G. M., 2009. **Nickel Sulfide Versus Laterite : The Hard Sustainability Challenge Remains**. 48th Annual Conference of Metallurgist.
- Noviyanti, J. 2015. **Karakterisasi Kalsium Karbonat dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa**. Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika, pp. 169-172.
- Nyembwe, M., 2011. **Study of reactions when fine iron ore is replaced with coarse ore using an infrared furnace and sinter pot test**. Pretoria: University of Pretoria.
- Oates, J., 1998. **Lime and Limestone Chemistry and Technology Production and Uses**. Damstard: Wiley, WCH.
- Rickman, D., 2008. **Some Expected Mechanical Characteristics of Lunar Dust: A Geological View**. AIP Conference Proceeding, Volume 969, p. 949.
- Rohman, Ari. 2019. **Analisis Pengaruh Variasi Massa Arang Terhadap Kadar Ni, Kekuatan Dan Perolehan Sinter Pada Proses Sintering Bijih Nikel Laterit Limonitik**. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sakar, R., 2017. **Refractory Technology Fundamentals and Applications**. London: CRC Press.
- Straka, T. J., 2017. **Charcoal as a Fuel in the Ironmaking and Smelting Industries**. Advances in Historical Studies , pp. 64-66.
- Stratton, P., 2013. **Ellingham Diagrams-Theis use and misuse**. International Heat Treatment and Surface Engineering.
-

-
- Susta, M. R., 2005. **Higher Calorific Values for Some Common Fuels a Coke, Oil, Wood, Hydrogen and Many More.** Switzerland: IMTE AG.
- U.S. Yadav, 2002. **Influence of magnesia on sintering characteristics of iron ore.** Raw material preparation for metallurgical industries, pp. 187-197.
- Wells, M., 2006. **Thermal and Mineral Properties of Al, Cr, Mn, Ni and Ti-Subttuent Geothite.** Virginia: The Clay Mineral Society.
- Xu, M, 1989. **Mechanism of Iron Catalysis of Carbon Monoxide Decomposition Refractories.** Journal Of The American Ceramic Society, Volume 72, pp. 110-115.
- Yildirim, H. 2013. **Nickel Pig Iron Production from Lateritic Ores.** Ferronickel Production and Operation, p. 237.
- Yopy, H. 2014. **Pengaruh Waktu Reduksi dan Komposisi Pelet Terhadap Persen Fe Metal dan Persen Ni FeNi Spons dari Bijih Nikel Limonit Menggunakan Simulator Rotary Kiln.** Cilegon: UNTIRTA.
- Yurisman, Alfin. 2019. **Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Perolehan Sinter, Kekuatan Sinter Dan Kadar Ni Sinter Pada Proses Sintering Bijih Nikel Laterit.** Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Z. Ding, 2018. **Iron Ore Sintering Subsection Temperature Model on the Airflow Rate by PID Control.** Singapore: Springer.
-

LAMPIRAN

A. Perhitungan Stokiometri Campuran *Sintering*

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 adalah sebagai berikut:

1. Bijih Nikel Laterit

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

Tabel 1. Hasil EDX Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	O
% Wt	1.59	42.01	17.78	5.91	2.36	2.5	1.29	25.89

2. Arang

Dari data pengujian *proximate analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi 61,80 %. Dari kadar unsur dalam laterit, maka jumlah Fe_2O_3 dan NiO diketahui dengan cara sebagai berikut:

- a. Berat CaO dalam laterit
- $$\begin{aligned} \% \text{Wt CaO} &= \frac{\text{Mr CaO}}{\text{Ar Ca}} \times \% \text{Wt Ca} \\ &= \frac{56}{40} \times 2,36 \% = 3,31 \% \end{aligned}$$
- b. Berat MgO dalam laterit
- $$\begin{aligned} \% \text{Wt MgO} &= \frac{\text{Mr MgO}}{\text{Ar Mg}} \times \% \text{Wt Mg} \\ &= \frac{40,3}{24,3} \times 5,91 \% = 9,80 \% \end{aligned}$$
- c. Berat SiO₂ dalam laterit
- $$\begin{aligned} \% \text{Wt SiO}_2 &= \frac{\text{Mr SiO}_2}{\text{Ar Si}} \times \% \text{Wt Si} \\ &= \frac{60}{28} \times 17,78 \% = 38,1 \% \end{aligned}$$
- d. Berat Al₂O₃ dalam laterit
- $$\begin{aligned} \% \text{Wt Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Mr Al}_2\text{O}_3}{\text{Ar Al}} \times \% \text{Wt Al} \\ &= \frac{102}{54} \times 2,5 \% = 4,72 \% \end{aligned}$$
- e. Berat Fe₂O₃ dalam laterit
- $$\begin{aligned} \% \text{Wt Fe}_2\text{O}_3 &= 100 \% - \% \text{Wt Al}_2\text{O}_3 - \% \text{Wt SiO}_2 \\ &\quad - \% \text{Wt CaO} - \% \text{Wt MgO} \\ &= 38,84 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh presentase Fe₂O₃ dan NiO dalam laterit. Jika diasumsikan dalam 100 kg *ore* maka diperoleh massa Fe₂O₃, CaO, MgO, SiO₂, dan Al₂O₃ yaitu sebagai berikut:

- a. Fe₂O₃ = 38,84 kilogram
 b. CaO = 3,31 kilogram
 c. MgO = 9,80 kilogram
 d. SiO₂ = 38,1 kilogram
 e. Al₂O₃ = 4,72 kilogram

Dari massa kedua senyawa maka diperoleh jumlah mol yang terkandung dalam laterit yaitu sebagai berikut:

- a. Fe₂O₃ = $\frac{\text{massa Fe}_2\text{O}_3}{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3}$
 = $\frac{38,84}{160}$
 = 0,243 kmol

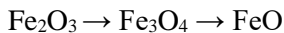
$$\begin{aligned} \text{b. } \text{CaO} &= \frac{\text{massa CaO}}{\text{Mr CaO}} \\ &= \frac{3,31}{56} \\ &= 0,059 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } \text{MgO} &= \frac{\text{massa MgO}}{\text{Mr MgO}} \\ &= \frac{9,80}{40,3} \\ &= 0,243 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } \text{SiO}_2 &= \frac{\text{massa SiO}_2}{\text{Mr SiO}_2} \\ &= \frac{38,1}{60} \\ &= 0,635 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. } \text{Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa Al}_2\text{O}_3}{\text{Mr Al}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{4,72}{102} \\ &= 0,046 \text{ kmol} \end{aligned}$$

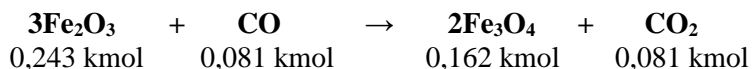
Dalam penelitian ini reduksi senyawa oksida dan reaksi dekomposisi pada laterit bertahap seperti berikut.

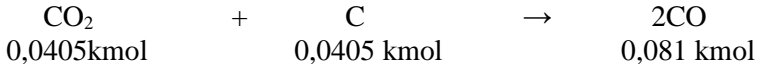
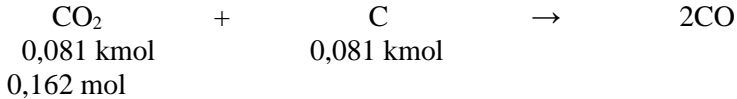
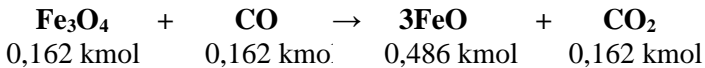
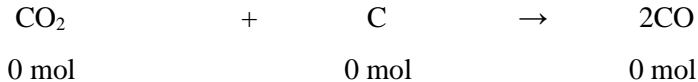
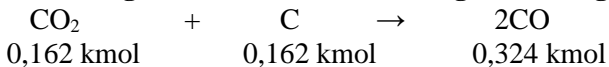


Dengan target reduksi $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 = 100 \%$
 reduksi $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} = 100 \%$

Dari skema reaksi di atas dapat diketahui berapa mol gas CO yang dibutuhkan untuk reaksi dan berapa mol C untuk bereaksi dengan CO₂ membentuk gas CO yang harus bereaksi dengan C arang.

a. Reaksi 1



Reaksi boudouard**Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 1 dengan C arang****b. Reaksi 2****Reaksi boudouard****Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 2 dengan C arang**

Total mol C = 0,0405 + 0,081 + 0,162 = 0,284 kmol

Massa C yang dibutuhkan = total mol C x Ar C
 = 0,283 kmol × 12.01115
 = 3,3 kilogram

Sehingga massa arang yang dibutuhkan = 3,3 kilogram

B. Perhitungan Kebutuhan *Limestone*

Dari data pengujian EDX, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam *limestone* :

Tabel 2. Hasil EDX *limestone*

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Calcium	Ca	43.01
2.	Magnesium	Mg	0.57
3.	Silicon	Si	6.51
4.	Aluminium	Al	2.43
5.	Oksigen	O	33.93

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam *limestone* adalah Calcium Carbonate (CaCO_3). Perhitungan kebutuhan fluks (*limestone*) mempertimbangkan nilai basisitas dari campuran.

$$\text{Basisitas} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

Menghitung basisitas *ore*:

$$\text{Basisitas ore} = \frac{3,31 + 9,80}{38,1 + 4,72} = 0,306$$

Menghitung basisitas *sinter*:

$$\text{Basisitas} = \frac{[(3,31 + 9,80) + (43,52\% \times \text{massa limestone})]}{[(38,1 + 4,72) + (18,54\% \times \text{massa limestone})]}$$

$$0,6 = \frac{[(3,31 + 9,80) + (43,52\% \times \text{massa limestone})]}{[(38,1 + 4,72) + (18,54\% \times \text{massa limestone})]}$$

$$25,692 - 13,11 = 32,4 \% \times \text{massa limestone}$$

$$\text{Massa limestone} = \frac{12,582}{32,4\%} = 39$$

$$\text{Massa limestone} = 39 \text{ kg pada setiap } 100 \text{ kg ore}$$

C. Perhitungan Neraca Energi

Untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar, dilakukan perhitungan neraca panas/energi terlebih dahulu. Sebelum melakukan perhitunggan neraca energi, perlu diketahui ΔH untuk

setiap senyawa dan setiap reaksi pada proses *sintering*. Berikut adalah C_p senyawa untuk perhitungan ΔH :

Tabel 3. C_p Senyawa Dalam Bijih Nikel Laterit dan *limestone*

	T^1	T^2	T^3	T^4	T^{-1}
Fe_2O_3	110.9362	16.02357	-3.064111	0.2253765	5.433677
FeO	45.7512	9.392765	-1.984067	0.21319475	-0.081265
CaO	49.95403	2.443958	-0.117352	0.01154675	-0.825097
MgO	47.25995	2.8408105	-0.290888333	0.026075	-1.053955
SiO ₂	58.7534	5.139625	-0.043794667	0.0063025	0.025601
Al ₂ O ₃	102.429	19.3749	-5.303633333	0.65704525	-3.007551
Cr ₂ O ₃	124.655	-0.1685225	1.90167	-0.2633675	-2.030501
CoO	43.65	11.191865	-5.631286667	1.63904025	0.532263
P ₂ O ₅	-	-0.000129267	-1.11469598	-	0.37723652
SO ₃	81.99008	0.311118	-0.040813333	0.0020735	-6.703688
Cl	42.6773	-2.504785	0.634873667	-	-2.09848
				0.04141025	
CaCO ₃	0.04975	-1287000	-	-	-
MgCO ₃	44.937	74.85425	-37.09137	2.994175	-0.629261
SiO ₂	58.7534	5.139625	-0.043794667	0.0063025	0.025601
K ₂ O	72.55098	20.695485	-0.242832333	0.054641	0.066026

Berikut adalah contoh perhitungan ΔH dengan $T_1 = 298$ K dan $T_2 = 1350$ K menggunakan C_p pada Tabel 3.

$$\Delta H = \int_{298\text{ K}}^{1350\text{ K}} C_p dT$$

$$\Delta H_{Fe_2O_3} = \int_{298\text{ K}}^{1350\text{ K}} 110,9362T^1 + 16,02357T^2 - 3,064111T^3 + 0,2253765T^4 + 5,433677T^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 73,092 \text{ KJ/mol}$$

Untuk setiap mol Fe_2O_3 didapatkan ΔH sebesar 73,092 KJ/mol dan pada bijih terdapat mol Fe_2O_3 sebesar 242.758 mol. Maka didapatkan entalpi sebesar 17.743,560 KJ. Untuk semua entalpi pada bijih nikel laterit dan *limestone* terdapat pada Tabel 4.

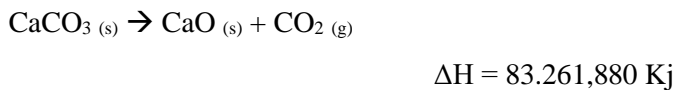
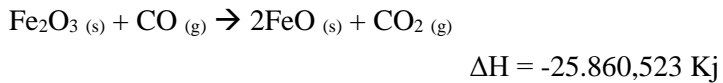
Tabel 4. Entalpi Senyawa Dalam Bijih Nikel Laterit

Senyawa	Entalpi (kJ)
Fe ₂ O ₃	17.743,559
FeO	28.358,991
NiO	8601,682
CaO	3212,387
MgO	12.461,862
SiO ₂	44.517,230
Al ₂ O ₃	5681,072
Cr ₂ O ₃	1611,011
CoO	19,793
P ₂ O ₅	690,667
SO ₃	618,601
Cl	214,607

Tabel 5. Entalpi Senyawa Dalam *Limestone*

Senyawa	Entalpi (kJ)
CaCO ₃	41.436,931
CaO	83.261,879
CaO	10.701,945
MgCO ₃	90,670
MgO	32.364,916
MgO	12.232,925
Al ₂ O ₃	2156,535
SiO ₂	6353,595
K ₂ O	370,282
Fe ₂ O ₃	978,300

Selain dari senyawa, terdapat juga entalpi dari reaksi yang terjadi pada proses *sintering*. Entalpi dari reaksi tersebut adalah:



Total dari semua entalpi dari proses *sintering* tersebut di konversikan menjadi kkal dengan 1 KJ = 0,239006 kkal. Hasil dari penjumlahannya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Total Kebutuhan Energi

No	Item	Energi yang dibutuhkan (kkal/100kg ore)
1	Panas untuk pemanasan bijih nikel	23.489,027
2	Panas untuk dekomposisi dan pemanasan <i>limestone</i>	45.587,516
Total		69.076,543

Dengan panas pembakaran karbon pada batu bara sebesar 7204 kkal/kg maka jumlah batu bara yang dibutuhkan dalam proses *sintering* sebesar = $\frac{69075,543 \text{ kkal}}{7204 \text{ kkal/kg}} = 9,8 \text{ kg}$

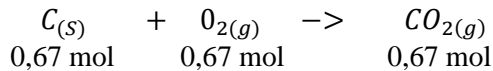
C. Perhitungan Laju Alir Udara

Dari kebutuhan arang yang dibutuhkan, dapat diketahui kebutuhan oksigen, kebutuhan udara serta laju alir udara.

Massa Arang : $9,8 + 3,3 = 13 \text{ Kg}$

%C pada Arang = 61,8 %

$$\text{Mol C dapat dihitung : } \frac{\%C \text{ pada arang} \times \text{Massa arang}}{\text{Ar C}} \\ = \frac{61,8\% \times 13}{12} = 0,67 \text{ mol}$$



$$\text{Massa O}_2 : \text{Mol O}_2 \times \text{Ar O}_2 = 0,67 \times 32 = 21,44 \text{ kg}$$

$$\text{Volume O}_2 = \text{Massa O}_2 / \text{Densitas O}_2 = \frac{21,44 \text{ kg}}{1,429 \text{ kg/m}^3} = 15 \text{ m}^3$$

Volume udara dapat diketahui dari volume O₂:

$$\text{Volume udara : } \frac{100}{21} \times \text{volume O}_2 = \frac{100}{21} \times 15 = 71,4 \text{ m}^3$$

Waktu *sintering* 4 jam dengan volume udara $71,4 \text{ m}^3$
 Waktu *sintering* 1 jam dengan laju alir udara per jam
 $= 71,4 \div 4 = 17,85 \text{ m}^3/\text{jam}$

Untuk waktu *sintering* per-menit, maka laju alir udara
 $= \frac{17,85}{60} = 0,3 \text{ m}^3/\text{menit}$

E. Perhitungan Kekuatan *Sinter*

Untuk mengetahui kekuatan *sinter* dilakukan dengan membandingkan massa *sinter* yang berukuran $\geq 5 \text{ mm}$ setelah dilakukan drop test dengan massa awal *sinter* sebelum dilakukan drop test. Sesuai standar IS-9963, perbandingan ini dinamakan Shatter Index dan menjadi acuan untuk mengukur menunjukkan ketahanan *sinter* untuk tidak pecah dengan adanya dampak selama proses pengangkutan dan pengumpanan ke dalam blast furnace.

$$\text{Shatter Index (SI)} = \frac{m_{\text{sinter } 5 \text{ mm setelah drop test}}}{m_{\text{awal sinter}}} \times 100\%$$

Tabel 7. Data Hasil *Drop Test*

Variabel	Massa Awal <i>Sinter</i> (kg)	Massa <i>Sinter</i> > 5mm setelah drop test (kg)	Shatter Index (%)
<i>Suplitstone</i>	7.224	4.974	68.85
<i>Limestone</i>	8.33	5.602	67.25
<i>Dolomite</i>	3.27	1.84	54.52

Shatter Index Sinter dengan fluks *suplitstone*
 $= \frac{4,974 \text{ kg}}{7,224 \text{ kg}} \times 100\% = 68,85\%$

Shatter Index Sinter dengan fluks *limestone*
 $= \frac{5,602 \text{ kg}}{8,33 \text{ kg}} \times 100\% = 67,25\%$

$$\text{Shatter Index Sinter dengan fluks dolomite} \\ = \frac{1,84 \text{ kg}}{3,27 \text{ kg}} \times 100\% = 54,52\%$$

F. Perhitungan Perolehan Sinter

Untuk mengetahui perolehan *sinter* (% yield) dilakukan dengan membandingkan massa total *sinter* yang terbentuk setelah proses *sintering* dengan massa awal campuran feed material (dalam hal ini *ore*, *limestone* dan arang).

$$\% \text{ Yield} = 100\% - \frac{m_{\text{total return fines}}}{m_{\text{awal feed material}}}$$

Tabel 8. Data Hasil Perolehan Sinter

Variabel	Massa Awal Feed Material (kg)	Return Fines (kg)	% yield <i>sinter</i>
<i>Suplitstone</i>	45,3	14,52	67,95%
<i>Limestone</i>	45,3	16,03	64,68%
<i>Dolomite</i>	45,3	20,60	54,53%

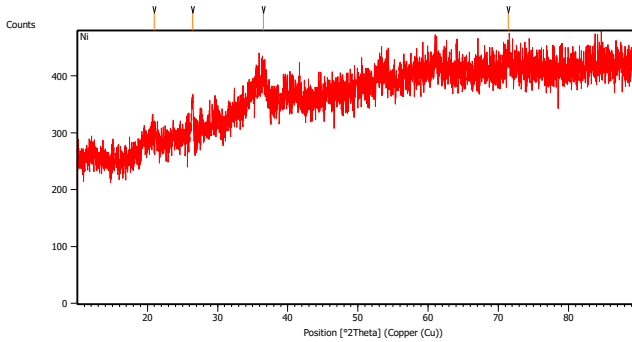
$$\% \text{Yield Sinter dengan fluks suplitstonestone} \\ = 100\% - \frac{14,52 \text{ kg}}{45,3 \text{ kg}} = 67,95\%$$

$$\% \text{Yield Sinter dengan fluks limestone} \\ = 100\% - \frac{16,03 \text{ kg}}{45,3 \text{ kg}} = 64,68\%$$

$$\% \text{Yield Sinter dengan fluks dolomite} \\ = 100\% - \frac{20,60 \text{ kg}}{45,3 \text{ kg}} = 54,43\%$$

G. Hasil Pengujian XRD

a. Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit

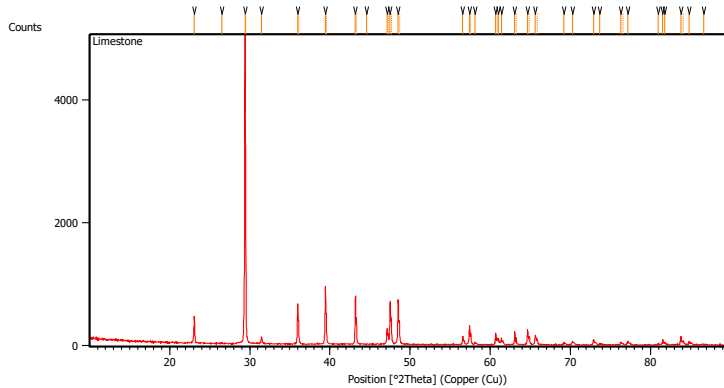


Peak

List:

Pos.	Height	FWHM Left	d-spacing	Rel. Int.
20.9708	17.76	0.8029	4.23626	26.57
26.4654	66.86	0.2007	3.36792	100.00
36.5053	40.87	0.5353	2.46143	61.12
71.4102	24.44	0.8029	1.32097	36.56

b. Hasil Pengujian XRD *Suplitstonestone*

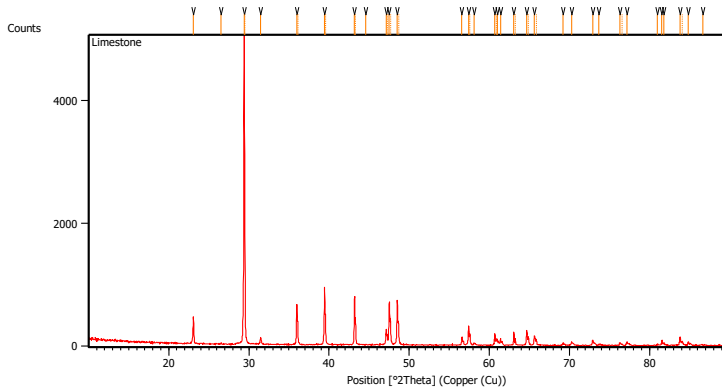


Peak List:

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
19.6728	12.31	0.4015	4.51275	0.57
20.8132	43.59	0.1338	4.26799	2.00
22.9960	169.34	0.2342	3.86758	7.78
26.6190	282.22	0.0502	3.34883	12.97
29.3857	2175.91	0.1836	3.03701	100.00
29.4846	1673.62	0.1020	3.03457	76.92
31.4693	43.40	0.2856	2.84052	1.99
36.0335	266.20	0.1020	2.49050	12.23
37.3421	48.30	0.2448	2.40618	2.22
39.3875	336.10	0.1632	2.28580	15.45
43.1737	323.52	0.0816	2.09371	14.87
45.8187	12.86	0.6528	1.97881	0.59
47.5143	422.21	0.3264	1.91207	19.40
48.4774	343.25	0.1020	1.87631	15.77
50.1594	27.07	0.3264	1.81726	1.24
53.8710	24.35	0.3264	1.70049	1.12
54.9119	13.42	0.2856	1.67069	0.62
56.6271	56.81	0.2856	1.62409	2.61
57.3999	152.12	0.2856	1.60405	6.99
57.5985	130.36	0.1224	1.60296	5.99

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
59.9687	19.65	0.4080	1.54133	0.90
60.6287	81.00	0.2448	1.52612	3.72
61.4519	52.23	0.3264	1.50763	2.40
63.1306	34.70	0.4080	1.47152	1.59
64.6183	87.65	0.1224	1.44119	4.03
64.8159	115.33	0.1632	1.43728	5.30
65.6860	57.46	0.4080	1.42033	2.64
68.2894	29.38	0.4080	1.37239	1.35
69.2038	20.41	0.4080	1.35647	0.94
70.3600	41.17	0.3264	1.33698	1.89
72.9396	48.99	0.4080	1.29593	2.25
76.3900	15.51	0.3264	1.24575	0.71
77.2561	36.28	0.4080	1.23394	1.67
81.6142	45.30	0.4080	1.17870	2.08
83.7867	73.27	0.2040	1.15358	3.37
84.7232	24.48	0.4896	1.14320	1.12

c. Hasil Pengujian XRD *Limestone*

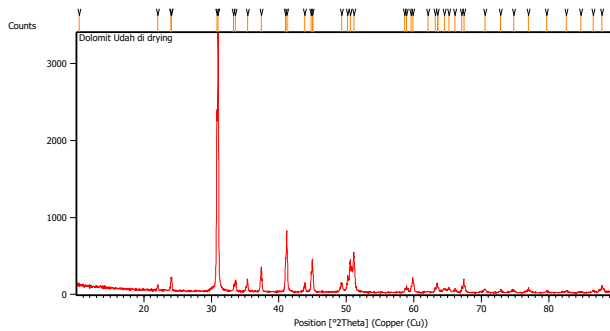


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
23.0816	435.57	0.1004	3.85342	8.80
26.5256	18.81	0.1004	3.36041	0.38
29.4156	4947.47	0.0816	3.03399	100.00
29.5084	2475.27	0.0408	3.03217	50.03
31.4605	116.05	0.1020	2.84129	2.35
35.9868	660.81	0.0816	2.49362	13.36
36.0935	352.01	0.0612	2.49267	7.11
39.4324	928.41	0.0816	2.28331	18.77
39.5458	458.81	0.0612	2.28268	9.27
43.1852	782.28	0.0816	2.09318	15.81
43.3077	374.68	0.0612	2.09273	7.57
44.5853	12.37	0.1224	2.03064	0.25
47.1287	239.50	0.0816	1.92681	4.84
47.2791	160.15	0.0816	1.92581	3.24
47.5158	680.82	0.1020	1.91201	13.76
47.6628	381.15	0.0612	1.91120	7.70
48.5303	726.15	0.1020	1.87439	14.68
48.6675	365.60	0.0612	1.87407	7.39
56.5786	123.81	0.0816	1.62537	2.50
57.4354	306.36	0.1224	1.60314	6.19
57.5834	183.83	0.0816	1.60334	3.72
58.0914	38.37	0.1224	1.58659	0.78
60.6992	185.03	0.1020	1.52452	3.74
60.8732	109.76	0.1020	1.52435	2.22
61.0091	101.95	0.0816	1.51751	2.06
61.4114	104.06	0.0816	1.50853	2.10
63.0651	215.97	0.0816	1.47290	4.37

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
63.2471	91.22	0.1020	1.47275	1.84
64.6766	241.19	0.0816	1.44003	4.88
64.8714	133.62	0.0816	1.43975	2.70
65.6078	130.61	0.1836	1.42183	2.64
65.8621	69.31	0.0816	1.42048	1.40
69.2217	44.90	0.1224	1.35616	0.91
70.2562	50.60	0.1632	1.33870	1.02
72.9036	79.07	0.1020	1.29648	1.60
73.6849	22.21	0.1020	1.28465	0.45
76.2937	40.06	0.1632	1.24709	0.81
76.5672	24.87	0.1224	1.24640	0.50
77.2099	56.57	0.1428	1.23456	1.14
80.9928	16.19	0.2448	1.18617	0.33
81.5246	77.69	0.0816	1.17977	1.57
81.7916	37.84	0.1632	1.17659	0.76
83.8345	108.99	0.1224	1.15304	2.20
84.0814	64.44	0.1224	1.15315	1.30
84.8125	58.63	0.1020	1.14223	1.18
86.6595	7.86	0.6528	1.12256	0.16

d. Hasil Pengujian XRD *Dolomite*

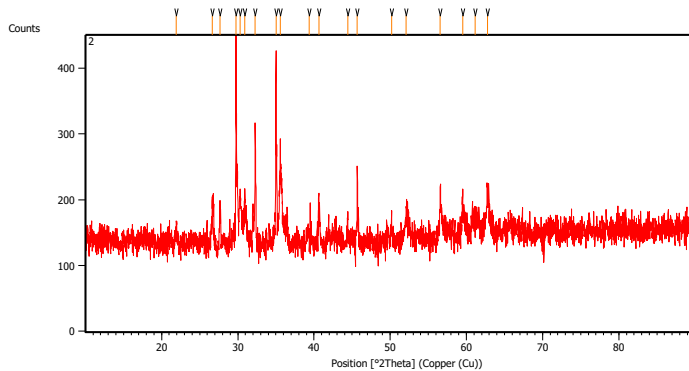


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.4219	17.41	0.8029	8.48835	0.51
22.0810	59.56	0.1673	4.02572	1.75
24.0029	154.88	0.0816	3.70449	4.56
24.1088	174.13	0.0836	3.69152	5.13
30.8149	2329.07	0.0669	2.90173	68.62
30.9999	3394.28	0.0836	2.88484	100.00
33.3052	88.66	0.0502	2.69024	2.61
33.5819	123.61	0.1673	2.66871	3.64
35.3564	151.30	0.0836	2.53873	4.46
37.4123	310.55	0.0836	2.40381	9.15
40.9851	400.60	0.1020	2.20032	11.80
41.1690	794.89	0.1224	2.19091	23.42
41.3148	339.16	0.0612	2.18894	9.99
43.8618	109.99	0.0612	2.06245	3.24
44.7907	242.37	0.0816	2.02181	7.14
44.9665	433.08	0.1020	2.01431	12.76
45.1103	225.40	0.0612	2.01321	6.64

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
49.2808	107.92	0.2856	1.84759	3.18
50.1926	175.88	0.0816	1.81614	5.18
50.5760	402.42	0.1224	1.80327	11.86
51.1114	517.16	0.1020	1.78563	15.24
58.6756	45.54	0.1224	1.57217	1.34
58.8871	82.19	0.1428	1.56703	2.42
59.5903	80.86	0.1224	1.55021	2.38
59.8566	187.96	0.1224	1.54395	5.54
62.0772	15.82	0.2448	1.49394	0.47
63.1549	61.58	0.1224	1.47102	1.81
63.4907	119.28	0.1428	1.46404	3.51
63.6774	61.06	0.1224	1.46383	1.80
64.5447	49.80	0.3264	1.44266	1.47
65.1831	53.51	0.2448	1.43006	1.58
66.0900	49.42	0.1224	1.41262	1.46
67.1251	68.75	0.1632	1.39333	2.03
67.4203	174.99	0.1224	1.38795	5.16
70.5220	43.53	0.4080	1.33431	1.28
72.8530	28.58	0.2448	1.29726	0.84
74.7983	24.31	0.4896	1.26827	0.72
76.9923	60.78	0.1632	1.23750	1.79
79.6735	24.45	0.3264	1.20246	0.72

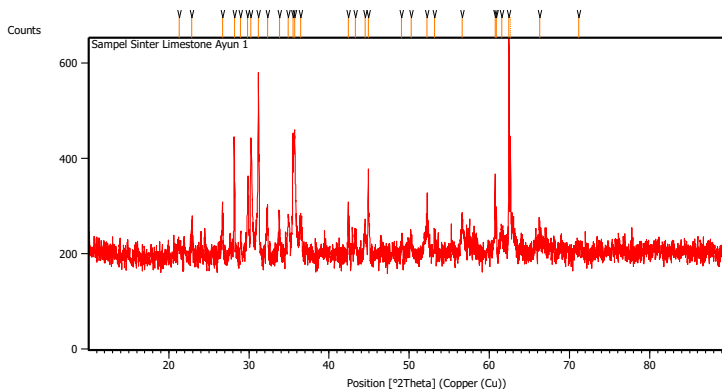
e. Hasil Pengujian XRD *Sinter* dengan fluks *suplitstonestone*



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.9355	29.39	0.2676	4.05210	8.79
26.6708	68.22	0.2007	3.34245	20.41
27.6857	55.85	0.1338	3.22218	16.71
29.7489	334.27	0.0502	3.00323	100.00
30.3048	81.49	0.2007	2.94940	24.38
30.9294	63.33	0.3346	2.89125	18.95
32.2820	191.20	0.0502	2.77314	57.20
35.0153	296.80	0.0502	2.56267	88.79
35.5949	129.92	0.1338	2.52226	38.87
39.3586	11.12	0.6691	2.28931	3.33
40.6681	55.84	0.2007	2.21857	16.71
44.4521	25.52	0.2007	2.03811	7.63
45.6761	118.78	0.0612	1.98465	35.54
50.1755	32.23	0.2007	1.81822	9.64
52.1069	46.82	0.2007	1.75528	14.01
56.5643	63.24	0.1004	1.62709	18.92
59.5524	42.47	0.2007	1.55239	12.71
61.1340	21.03	0.5353	1.51597	6.29
62.7570	62.11	0.2676	1.48061	18.58

f. Hasil Pengujian XRD *Sinter* dengan fluks *limestone*

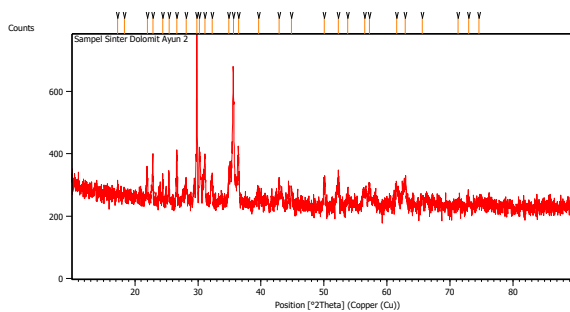


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.2844	20.18	0.8029	4.17456	4.50
22.8939	55.96	0.1004	3.88458	12.47
26.6944	89.53	0.1338	3.33954	19.95
28.1917	171.52	0.1004	3.16548	38.21
28.9813	51.52	0.1004	3.08101	11.48
29.8541	135.06	0.1171	2.99289	30.09
30.2208	220.08	0.1338	2.95741	49.03
31.1897	388.36	0.0669	2.86772	86.52
32.3009	101.03	0.1338	2.77156	22.51
33.8003	78.48	0.1338	2.65196	17.48
34.9304	85.43	0.2007	2.56871	19.03
35.5131	245.02	0.1004	2.52789	54.59
35.7233	254.58	0.1673	2.51349	56.72
36.4542	66.85	0.2676	2.46476	14.89
42.3817	94.49	0.1338	2.13275	21.05

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2886	46.60	0.2007	2.09015	10.38
44.4820	63.42	0.2007	2.03680	14.13
44.9056	180.88	0.0612	2.01690	40.30
49.0639	30.18	0.2007	1.85678	6.72
50.2304	34.47	0.4015	1.81637	7.68
52.2296	124.64	0.1338	1.75145	27.77
53.1648	28.14	0.4015	1.72282	6.27
56.6008	67.50	0.2007	1.62613	15.04
60.7259	173.44	0.0612	1.52391	38.64
60.9013	99.52	0.0816	1.51994	22.17
61.5417	36.72	0.3346	1.50690	8.18
62.4589	448.86	0.0816	1.48573	100.00
62.6315	246.80	0.0816	1.48573	54.98
66.2577	46.28	0.2448	1.40945	10.31
71.1778	16.03	0.9792	1.32362	3.57

g. Hasil Pengujian XRD *Sinter* dengan fluks *dolomite*



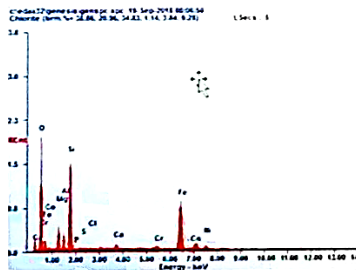
Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
17.2546	38.24	0.2007	5.13935	7.72
18.3115	21.68	0.2342	4.84503	4.38
21.9736	70.11	0.2007	4.04516	14.16
22.8449	152.30	0.0669	3.89281	30.75
24.4183	64.96	0.1004	3.64542	13.12
25.4101	90.73	0.0502	3.50534	18.32
26.6709	164.92	0.0836	3.34243	33.30
28.1068	65.15	0.2007	3.17485	13.16
29.8178	495.26	0.0836	2.99646	100.00
30.2400	157.19	0.2007	2.95558	31.74
31.0941	142.90	0.1338	2.87631	28.85
32.2414	92.30	0.1338	2.77653	18.64
34.9248	111.14	0.0836	2.56911	22.44
35.6281	417.42	0.0669	2.51999	84.28
36.4315	164.00	0.2342	2.46624	33.11
39.6497	32.61	0.5353	2.27317	6.58
42.8787	57.32	0.2007	2.10918	11.57
44.8553	53.62	0.2007	2.02072	10.83
50.0587	64.46	0.2007	1.82219	13.02
52.2836	91.37	0.2676	1.74977	18.45
53.7663	30.65	0.4015	1.70496	6.19
56.4808	40.57	0.5353	1.62930	8.19
57.2439	62.74	0.3346	1.60938	12.67
61.5436	58.21	0.3346	1.50685	11.75
62.9053	75.50	0.2007	1.47748	15.24
65.6152	25.76	0.3346	1.42287	5.20
71.2721	19.24	0.8029	1.32319	3.88
72.9945	22.33	0.4015	1.29616	4.51

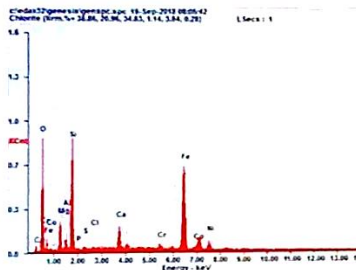
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
74.5987	9.94	0.8029	1.27222	2.01

H. Hasil Pengujian EDX

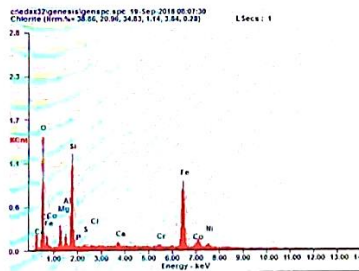
a. Hasil Pengujian EDX Biji Nikel Laterit



Element	Wt %	At %
O K	27.18	47.53
MgK	06.19	07.13
AlK	03.08	03.20
SiK	19.95	19.88
PK	00.14	00.12
SK	00.20	00.18
ClK	00.17	00.13
CaK	01.55	01.08
CrK	01.11	00.60
FeK	36.01	18.04
CoK	00.02	00.59
NiK	01.59	01.52

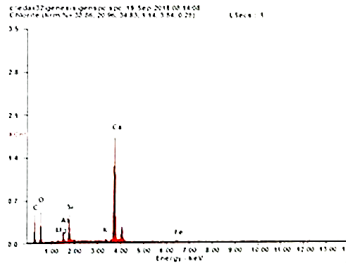


Element	Wt %	At %
O K	17.96	36.45
MgK	05.80	07.74
AlK	01.73	02.08
SiK	15.90	18.38
PK	00.28	00.29
SK	00.32	00.33
ClK	00.32	00.30
CaK	04.46	03.61
CrK	01.55	00.97
FeK	44.92	26.12
CoK	00.02	00.89
NiK	01.76	02.85

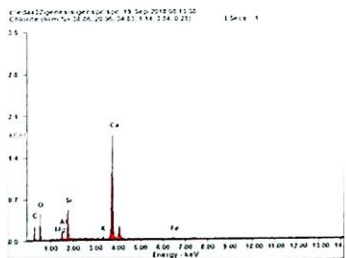


Element	Wt %	At %
O K	20.00	39.23
MgK	05.74	07.40
AlK	02.69	03.12
SiK	17.49	19.53
PK	00.13	00.13
SK	00.28	00.27
ClK	00.10	00.09
CaK	01.08	00.84
CrK	01.22	00.74
FeK	45.09	25.33
CoK	00.02	00.90
NiK	01.43	02.40

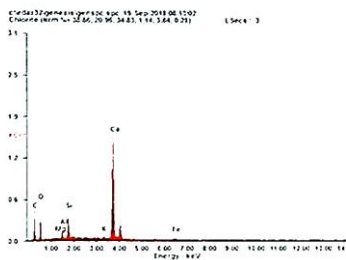
b. Hasil Pengujian EDX *Suplitstonestone*



Element	Wt.%	At.%
C K	12.22	22.40
O K	32.95	45.33
MgK	00.67	00.60
AlK	02.85	02.33
SiK	06.05	04.74
K K	00.65	00.36
CaK	42.98	23.60
FeK	01.62	00.64

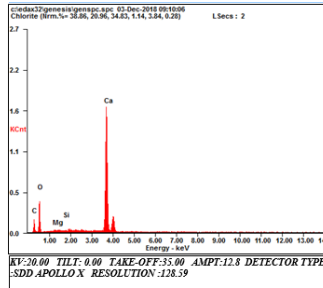


Element	Wt.%	At.%
C K	08.29	15.97
O K	32.95	47.64
MgK	00.14	00.41
AlK	02.19	01.88
SiK	08.03	06.61
K K	00.66	00.39
CaK	45.71	26.38
FeK	01.73	00.72



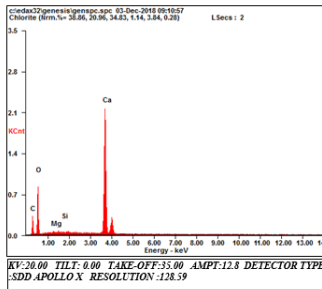
Element	Wt.%	At.%
C K	12.56	22.47
O K	35.89	48.19
MgK	00.60	00.53
AlK	02.26	01.80
SiK	05.44	04.16
K K	00.67	00.37
CaK	40.33	21.61
FeK	02.25	00.87

c. Hasil Pengujian EDX *Limestone*



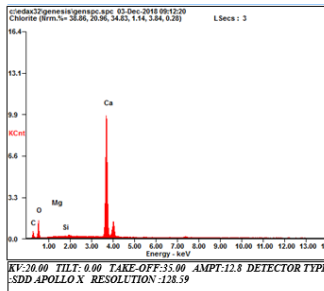
Element	Wt %	At %
C K	04.76	09.01
O K	42.99	61.14
Mg K	00.39	00.36
Si K	00.17	00.14
Ca K	51.69	29.34

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	05.81	10.31
O K	49.26	65.55
Mg K	00.61	00.53
Si K	00.28	00.21
Ca K	44.04	23.40

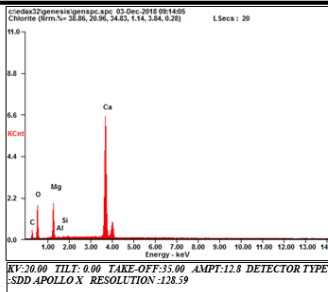
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	03.21	06.77
O K	33.39	52.92
Mg K	00.34	00.35
Si K	00.24	00.22
Ca K	62.82	39.74

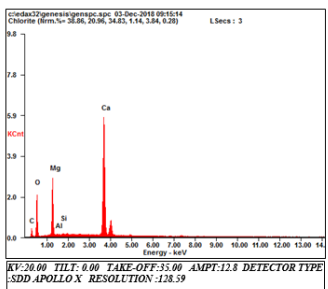
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

d. Hasil Pengujian EDX Dolomite



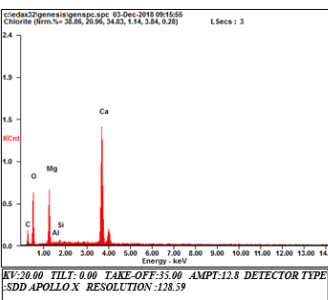
Element	Wt %	At %
CK	03.47	06.69
OK	38.47	55.66
MgK	10.61	10.10
AlK	00.27	00.23
SiK	00.26	00.22
CaK	46.92	27.10

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
CK	03.61	06.75
OK	39.77	55.79
MgK	15.26	14.09
AlK	00.42	00.35
SiK	00.42	00.33
CaK	40.52	22.69

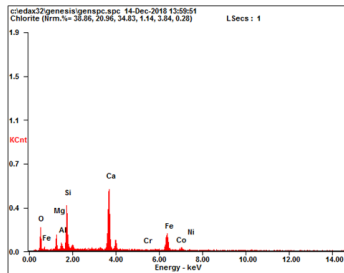
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



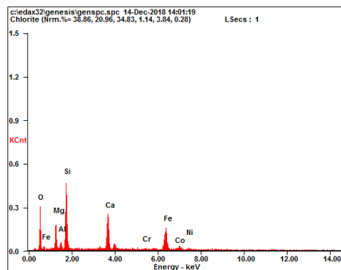
Element	Wt %	At %
CK	04.98	08.91
OK	43.73	58.70
MgK	13.04	11.52
AlK	00.73	00.58
SiK	00.83	00.64
CaK	36.68	19.66

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

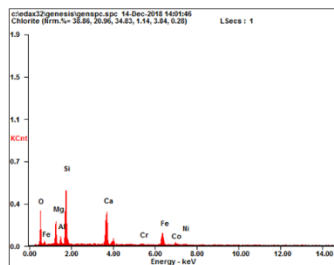
e. Hasil Pengujian EDX Sinter dengan fluks *suplitstonestone*



Element	Wt %	At %
O K	22.36	40.69
MgK	06.23	07.46
AlK	02.51	02.70
SiK	14.38	14.90
CaK	28.64	20.81
CrK	00.74	00.42
FeK	22.18	11.56
CoK	01.03	00.51
NiK	01.92	00.95

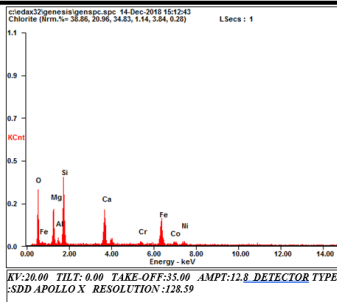


Element	Wt %	At %
O K	23.75	41.46
MgK	10.22	11.74
AlK	02.30	02.38
SiK	19.71	19.60
CaK	14.50	10.11
CrK	00.93	00.50
FeK	25.15	12.58
CoK	01.21	00.57
NiK	02.24	01.07



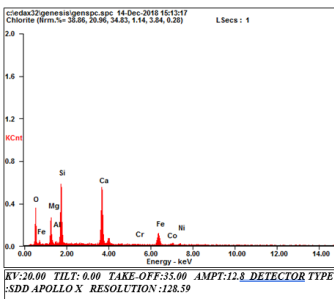
Element	Wt %	At %
O K	27.32	45.02
MgK	10.15	11.01
AlK	02.22	02.17
SiK	21.69	20.36
CaK	17.53	11.53
CrK	01.10	00.56
FeK	16.72	07.89
CoK	00.76	00.34
NiK	02.50	01.12

f. Hasil Pengujian EDX *Sinter* dengan fluks *limestone*



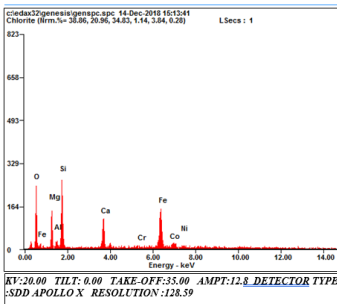
Element	Wt %	At %
O K	26.16	44.85
MgK	12.12	13.67
AlK	01.69	01.72
SiK	16.72	16.33
CaK	11.74	08.04
CrK	02.26	01.19
FeK	21.78	10.69
CoK	01.45	00.68
NiK	03.06	02.83

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	27.48	45.64
MgK	10.22	11.17
AlK	00.81	00.80
SiK	18.94	17.91
CaK	22.93	15.20
CrK	00.93	00.48
FeK	15.16	07.21
CoK	01.02	00.46
NiK	02.51	01.13

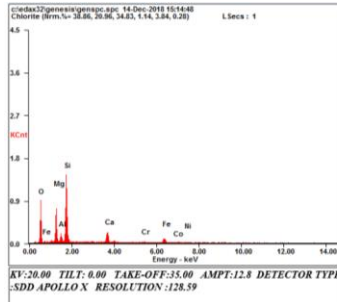
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	23.52	42.16
MgK	12.19	14.37
AlK	02.05	02.18
SiK	15.24	15.56
CaK	08.49	06.08
CrK	01.14	00.63
FeK	31.35	16.09
CoK	02.39	01.16
NiK	03.63	01.77

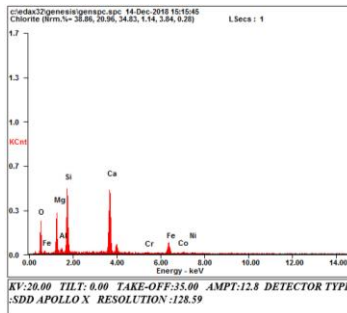
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

g. Hasil Pengujian EDX Sinter dengan fluks dolomite



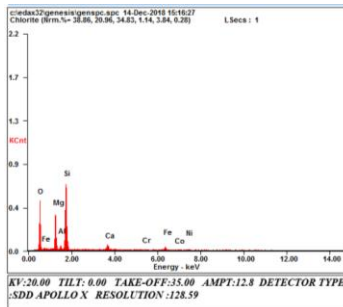
Element	Wt %	At %
O K	33.89	49.26
Mg K	15.86	15.17
Al K	03.66	03.16
Si K	28.78	23.83
Ca K	07.06	04.10
Cr K	01.22	00.55
Fe K	07.43	03.09
Co K	00.77	00.30
Ni K	01.34	00.53

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	27.02	44.00
Mg K	13.34	14.30
Al K	01.65	01.60
Si K	18.29	16.97
Ca K	25.29	16.44
Cr K	00.66	00.33
Fe K	11.11	05.19
Co K	00.79	00.35
Ni K	01.83	00.81

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	38.48	53.56
Mg K	16.59	15.20
Al K	01.51	01.24
Si K	30.84	24.45
Ca K	03.55	01.97
Cr K	00.77	00.33
Fe K	05.86	02.33
Co K	00.35	00.13
Ni K	02.05	00.78

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

I. Dokumentasi



BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Madiun pada 19 Desember 1996, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di MI Muhammadiyah Madiun. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMP Negeri 4 Madiun. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan jenjang atas di SMA Negeri 1 Madiun. Lalu, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Material FTI-ITS. Selama menempuh aktivitas perkuliahan, penulis juga tercatat aktif dalam keorganisasian baik di tingkat himpunan dan institut. Penulis tercatat sebagai sebagai Kabiro Pelatihan Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMMT FTI-ITS periode 2017/2018. Penulis ikut berpartisipasi dalam proyek Pengolahan Bijih Nikel Laterit Menggunakan Teknologi *Mini Blast Furnace*. Penulis juga aktif pada dunia kepeemanduan ITS. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT Badak NGL pada bulan Juni-Agustus 2018 dan memiliki topik selama kerja praktik dengan judul “Analisa Kegagalan Pada Flare Tip 19f-17 Dry Process Flare Train C di PT Badak NGL.”. Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dalam bidang metalurgi ekstraksi dengan judul “Analisis Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kadar Ni, Kekuatan *Sinter* dan Perolehan *Sinter* Pada Proses *Sintering* Bijih Nikel Laterit”. Penulis dapat dihubungi melalui 089679321031 atau email pambayunind@gmail.com