

TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI VARIASI JENIS ADITIF (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 ,
 CaSO_4) TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA
RECOVERY PADA PROSES REDUKSI LANGSUNG
BIJIH NIKEL LATERIT LIMONITIK**

EMRAL ARSYANJANI
NRP. 0251144000141

Dosen pembimbing
Sungging Pintowantoro, Ph.D.
Fahreza Abdul, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI VARIASI JENIS ADITIF (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 ,
 CaSO_4) TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA
RECOVERY PADA PROSES REDUKSI
LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT LIMONITIK**

EMRAL ARSYANJANI
NRP 0251144000141

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

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Final Project - TL141584

STUDY OF DIRECT REDUCTION LATERIT LIMONITIC NICKEL ORE WITH VARIATION TYPE OF ADDITIVES (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) ON Fe AND Ni CONTENT AND RECOVERY

EMRAL ARSYANJANI
NRP 02511440000141

Advisor :

Sungging Pintowantoro, Ph.D

Fakhreza Abdul, S.T., M.T

Departement of Materials Engineering
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI VARIASI JENIS ADITIF (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4)
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA *RECOVERY*
PADA PROSES REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL
LATERIT LIMONITIK**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

EMRAL ARSYANJANI

NRP. 02511440000141

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Sungging Pintowantoro, Ph.D. (Pembimbing I)

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



STUDI VARIASI JENIS ADITIF (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA *RECOVERY* PADA PROSES REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT

Nama Mahasiswa : Emral Arsyanjani
NRP : 02511440000141
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing : 1. Sungging Pintowantoro, Ph. D
2. Fakhreza Abdul, S.T., M.T

ABSTRAK

Permintaan akan nikel diprediksi akan terus meningkat kedepannya, namun cadangan bijih nikel sulfide yang dominan digunakan dalam industri terus menurun, hal ini menjadikan bijih nikel low grade laterit limonit menjadi peluang untuk pemenuhan permintaan nikel kedepannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi jenis aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit terhadap kadar unsur dan nilai recovery pada unsur Ni dan Fe, serta senyawa yang terbentuk. Penelitian ini dilakukan dengan mereduksi bijih nikel laterit limonit dengan kadar Ni 1,25%. Adapun briket terdiri dari campuran ore, batu bara, zat aditif, serta kanji yang dimasukkan ke dalam crucible bed yang terdiri dari campuran batu bara dan dolomit. Penambahan zat aditif yang divariasikan menggunakan massa yang sama yaitu 10%, kemudian direduksi hingga temperatur 1400°C . Pengujian EDX dan XRD dilakukan untuk mengetahui kadar dan nilai recovery dari Ni dan Fe serta senyawa yang terbentuk. Dari hasil reduksi didapatkan peningkatan kadar Ni tertinggi pada aditif Na_2SO_4 peningkatan sebesar 4,5%, serta recovery Ni tertinggi didapatkan aditif CaSO_4 sebesar 97,93%. Sedangkan penurunan kadar Fe tertinggi didapat pada aditif CaSO_4 sebesar 39,13% dan nilai recovery Fe tertinggi didapatkan pada aditif Na_2SO_4 sebesar 18,96%.

Kata Kunci : *Nikel Laterit Limonitik, Reduksi Langsung, Zat Aditif, Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDY OF DIRECT REDUCTION LATERITE LIMONITIC NICKEL ORE WITH VARIATION TYPE OF ADDITIVES (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) ON Fe AND Ni CONTENT AND RECOVERY

Name : Emral Arsyanjani
NRP : 0251144000141
Departement : Materials Engineering Departement
Advisor : Sungging Pintowantoro., Ph.D.
Co-Advisor : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

ABSTRACT

*Demand for nickel is predicted to continue in the future, but the dominant sulfide ore reserves used in the industry keeps thinning, making low grade nickel laterite limonite ore becomes an opportunity for future demand for nickel. The purpose of this research is to find out the effect of variation of additives type (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) in direct reduction process of nickel laterite ore to grade and recovery of Ni and Fe, and phase formed. This research was conducted by reducing nickel laterite limonite ore with Ni content of 1.25%. The briquettes consist of ore, coal, additives, and starch that are inserted into a crucible bed consisting of a mixture of coal and dolomite, which is then reduced at temperature 1400°C with variations in the use of additives with the same mass that is 10%. The EDX and XRD test were performed to determine the grade and recovery of Ni and Fe, and phase formed. From the reduction result obtained, the highest increase of Ni content by using additive Na_2SO_4 with an increase of 4.5%, and the highest recovery value obtained with CaSO_4 of 97.93%. While the highest decrease of Fe content was found with CaSO_4 additive with decrease 39.13% and highest recovery value was found on Na_2SO_4 additive 18.96%.
Keywords: Nickel Laterite Limonite, Direct Reduction, Additives, Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4 .*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya sehingga penulis diberikan kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**STUDI VARIASI JENIS ADITIF (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA *RECOVERY* PADA PROSES REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT**”. Dengan terbentuknya laporan tugas akhir ini, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama rangkaian tugas akhir, diantaranya kepada:

1. Kedua Orang Tua penulis (Sastra Manjani dan Mahyaya Fuaidah), Kakak (Lulu Salmi Ersyanjani) dan sepupu (Bilqis Silma dan Emir Risyad), serta seluruh keluarga besar yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas seluruh dukungan baik material maupun spiritual dalam menyelesaikan TA ini.
2. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D dan Bapak Fakhreza Abdul, S.T. M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir atas semua ilmu yang bermanfaat.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS atas ilmu dan bantuan yang telah diberikan selama ini.
4. Teman – teman seperjuangan Lab. Pengolahan Mineral dan Material yang telah membantu tugas akhir penulis Fadhli, Dede, Septiyen, Abrar, Bepe, Angga, Hendy, Opik, Imam, Icod, Ghofeer, Prita, dan Tommi.
5. Sahabat penulis dari SMP Annisa Axelta, yang telah menjadi teman perjuangan seperantauan selama di Surabaya yang selalu menemani, menyemangati dan memberi masukan kepada penulis.
6. Teman – teman LNS Adnan, Bobby, Faykel, Hawary, Jeremy, Fadhli, Chang, Gerry, Abyan, dan Herald yang telah menjadi teman baik selama penulis berkuliah di ITS.

7. Teman – teman Toidi Dwiki, Rifki, Rama, Argya, Hafizhul, Ical, Afiq, Icod, Ibe, Noer, Pandu, Eja, dan Ogi yang telah menjadi kawan yang baik sesama perantau.
8. Teman – teman Receh Adnan, Azmi, Bob, Boy, Chang, Tara, Fadhli, Faykel, Gerry, Haw, Salmen, Pakde, Jere, Leo, Herald, Tapir, Tommi, dan Caki yang telah setia menemani penulis sebagai teman cangkruk.
9. Teman – teman FOS bang Achmad, Adnan, Bob, Faykel, Haw, Jere, Rifki, Arfi, Fikra, dan Fadel yang selalu menemani penulis saat membutuhkan refreshing.
10. Teman – teman Poskam Getuk, Boe, Arya, Ikan, Faiz, Adul, Ujang, Jokel, Lutpi, Apip, Ikin, Opa, Oday, Sukro, Pea, Afi, Varial, dan Bonez yang telah menjadi sahabat baik penulis dari SMA atas semua dukungan yang diberikan.
11. Teman – teman SMAN 68 Jakarta-Surabaya Violisa, Mamet, Oyob, Ichand, Rika, Ceje, Lisa, Nadia, dan Shada sebagai sesams teman senasib yang merantau jauh ke Surabaya
12. dr. M. Faisal Prananda senior yang telah menjadi figur abang yang baik bagi penulis selama merantau di Surabaya.
13. Teman – Teman pengurus HMMT FTI ITS dan NACE SC ITS atas semua pembelajaran dan pengalaman selama berorganisasi.
14. Keluarga MT 16 yang banyak memberikan pengalaman berharga selama kuliah di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
15. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu – persatu yang telah memberikan partisipasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan baik.

Surabaya, Juni 2018

Penulis,
Emral Arsyanjani

DAFTAR ISI

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel Laterit	7
2.2 Proses Pengolahan Bijih Nikel Laterit.....	9
2.3 Aglomerasi dan Reduksi Nikel Laterit Limonitik .	13
2.4 Batubara	16
2.5 Dolomit	18
2.6 Selective Agent.....	20
2.7 Termodinamika Reduksi Nikel Laterit	21
2.8 Kinetika Reduksi Ore.....	26
2.9 Kajian Penelitian Sebelumnya	28

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	33
3.2 Bahan Penelitian	35
3.3 Peralatan Penelitian	38

3.4	Pelaksanaan Penelitian	43
3.5	Neraca Massa Briket Nikel Laterit Limonit.....	50
3.6	Jadwal Penelitian.....	52

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Karakterisasi Bahan	53
4.1.1	Bijih Nikel Laterit Limonitik	53
4.1.2	Batubara	54
4.1.3	Dolomit	55
4.2	Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Fe dan Ni Pada Hasil Proses Reduksi	57
4.2.1	Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Unsur Ni Pada Produk Hasil Reduksi	58
4.2.2	Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Unsur Fe pada Produk Hasil Reduksi	60
4.3	Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Recovery Fe dan Ni Produk	63
4.4	Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Selectivity Factor.	67
4.5	Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Senyawa Produk Hasil Reduksi	68
4.6	Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Unsur Ni Dan Fe Serta Senyawa Pada Slag.....	72

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	77
5.2	Saran	77

DAFTAR PUSTAKAxix

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Profil Nikel Laterit	8
Gambar 2.2	Diagram Ekstraksi Nikel dan <i>FerroNickel</i> ..	12
Gambar 2.3	Bentuk Briket	14
Gambar 2.4	Batubara	17
Gambar 2.5	Dolomit	19
Gambar 2.6	Diagram Ellingham	23
Gambar 2.7	Garis Besar Mekanisme Reduksi	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3.2	Bijih Nikel Laterit	35
Gambar 3.3	Batu Bara	35
Gambar 3.4	Dolomit	36
Gambar 3.5	Serbuk Natrium Sulfat	36
Gambar 3.6	Serbuk Natrium Karbonat	37
Gambar 3.7	Serbuk Kalsium Sulfat.....	37
Gambar 3.8	Serbuk Kanji.....	38
Gambar 3.9	Alat Kompaksi	39
Gambar 3.10	<i>Muffle Furnace</i>	39
Gambar 3.11	Timbangan Digital.....	40
Gambar 3.12	Ayakan	40
Gambar 3.13	<i>Thermocouple</i>	41
Gambar 3.14	Oven	41
Gambar 3.15	Alat Tumbuk	42
Gambar 3.16	<i>Crucible</i>	42
Gambar 3.17	Skematik Posisi Briket dan Bed Batubara Dolomit.....	44
Gambar 3.18	XRD <i>PAN Analytical</i>	46
Gambar 4.1	Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit ...	54
Gambar 4.2	Hasil Pengujian XRD Dolomit.....	57
Gambar 4.3	Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Unsur Ni pada Produk Hasil Proses Reduksi.....	58

Gambar 4.4	Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Unsur Fe pada Produk Hasil Proses Reduksi	61
Gambar 4.5	<i>Recovery</i> Ni Produk Hasil Reduksi	63
Gambar 4.6	<i>Recovery</i> Fe Produk Hasil Reduksi	65
Gambar 4.7	Nilai Selectivity Factor.....	67
Gambar 4.8	Hasil Pengujian XRD pada Produk Hasil Proses Reduksi dengan Variasi Jenis Aditif .	69
Gambar 4.9	Kadar Fe dalam Slag Hasil Reduksi	72
Gambar 4.10	Hasil Pengujian XRD pada Slag Hasil Proses Reduksi dengan Variasi Jenis Aditif	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Chemical and Physical Properties of Na₂SO₄</i>	21
Tabel 2.2	<i>Chemical and Physical Properties of Na₂CO₃</i>	21
Tabel 2.3	<i>Chemical and Physical Properties of CaSO₄</i>	21
Tabel 2.4	Referensi Jurnal Berdasarkan Penelitian Sebelumnya yang Telah Dilakukan	31
Tabel 3.1	Target Aglomerasi Nikel Laterit Limonit	51
Tabel 3.2	Perbandingan Komposisi Briket	51
Tabel 3.3	Rancangan Penelitian.....	52
Tabel 3.4	Rencana Jadwal Penelitian	52
Tabel 4.1	Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit	53
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara ...	55
Tabel 4.3	Hasil Pengujian EDX Dolomit.....	56
Tabel 4.4	Identifikasi Fasa pada Metal Hasil Proses Reduksi	70
Tabel 4.5	Identifikasi Fasa Pada Slag Hasil Reduksi.....	75

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemerintah Indonesia telah melarang ekspor mineral mentah (ore). Hasil mineral dari pertambangan di Indonesia harus diolah dan dimurnikan terlebih dahulu sebelum kemudian di ekspor keluar. Ini merupakan salah satu ketentuan yang diatur dalam UU No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. Jika kita teliti lebih lanjut ketentuan ini merupakan tindak lanjut dari implementasi UU No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. Ada 2 Pasal yang menjadi sorotan dalam penerapan UU No. 4 Tahun 2009 ini, Pasal 103 ayat 1 dan Pasal 170. (Undang-undang RI No.4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batu Bara)

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencatat, sampai Oktober 2017 terdapat 13 perusahaan yang telah membangun fasilitas pemurnian (*smelter*) nikel yang sudah beroperasi dan menghasilkan berbagai macam produk. Sampai dengan Oktober 2017, ke-13 *smelter* nikel yang sudah terbangun dan beroperasi telah menghasilkan 598.000 ton FeNi (*FerroNickel*) dan NPI (*Nickel Pig Iron*) serta 64.000 ton Ni-Matte, dan mampu memurnikan bijih nikel di dalam negeri mencapai 34 juta ton. (Kementerian ESDM, 2017).

Menurut data dari *United States Geological Survey* (USGS) tahun 2012, nikel menempati posisi ke lima unsur paling melimpah di bumi. Kebanyakan nikel terletak di inti bumi, lebih dari 1800 *miles* dibawah permukaan laut. Deposit nikel tersebut tersebar di berbagai negara yaitu Norilsk, Russia, Sudbury, Kanada, Kambalda, Australia, Cuba, New Caledonia dan Indonesia. (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004). Nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi dalam industri. Ada banyak jenis produk nikel seperti logam halus, bubuk, spons, dan lainlain. 62% dari logam nikel digunakan dalam baja tahan karat, 13% dikonsumsi sebagai *superalloy* dan paduan



non logam karenasifatnya yang tahan korosi dan tahan temperatur tinggi (Astuti, et al. 2012).

Bijih nikel dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida). Meskipun 70% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, tetapi 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida (Supriadi, A.,2007). Sekarang ini produksi nikel menggunakan bijih nikel sulfida mulai menurun, dikarenakan jumlah ketersediaan bijih nikel sulfide di dunia hanya sebesar 30%. Meskipun demikian, produksi nikel dari bijih nikel sulfida sebesar 58%. Diprediksi kedepannya kebutuhan nikel dunia akan menggunakan bijih nikel laterit yang ketersediaannya hampir 70% di dunia. Di masa lalu, sebagian besar produksi nikel berasal dari bijih sulfida. Namun, tingkat persediaan cadangan bijih nikel sulfida telah menipis. Selama sepuluh tahun kedepan produksi nikel dari bijih sulfida diperkirakan persediaannya di dunia akan semakin menipis. Sedangkan hampir 70 % dari sumber daya dunia yang berbasis nikel adalah berupa laterit dan hanya 40% yang digunakan untuk produksi nikel (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

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

Proses reduksi bijih nikel laterit dapat dikatakan telah berlangsung dengan efektif dan efisien berdasarkan pada nilai



kadar unsur dan *recovery* dari Ni yang diperoleh setelah proses pengolahan, nilai *recovery* sendiri merupakan presentase dari total logam yang terkandung dalam bijih (*ore*) yang diperoleh dari konsentrat atau produk (B. A. Wills, 2005). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Cao, et al. (2010) proses *reduction roasting* dengan zat aditif untuk mendapatkan *high nickel grade* pada konsentrat ferronikel dengan melalui proses *magnetic separation* dari nikel laterit ore yang mengandung kadar Ni 1.86% dan Fe 13.59%. Proses reduksi dilakukan pada temperatur 1200 ° C selama 40 menit dengan penambahan 20% Na_2CO_3 dan 15% *coal*, menghasilkan peningkatan pada kadar Ni menjadi 10.83% dan nilai nikel *recovery* sebesar 82.15%. Sedangkan menurut penelitian Zhu et al. (2012) melakukan penelitian pengaruh penambahan CaSO_4 terhadap kenaikan kadar Ni dan nilai *recovery*. Menggunakan nikel laterit ore yang mengandung kadar Ni 1.42% dan Fe 23.16% direduksi pada temperatur 1100 ° C selama 60 menit, dengan penambahan 6% *calcium sulfate* dan 5% *coal*. Penelitian ini menunjukkan kadar Ni pada konsentrat ferronikel mengalami kenaikan menjadi 6.00% dengan nilai *recovery* Ni 92.10%. Pada penelitian yang dilakukan Li et al. (2012) menunjukkan peningkatan pada kadar Ni dan nilai *recovery* dari ferronikel menjadi 9.48% dan 83.01% dari nikel laterit ore dengan kadar Ni 1.91% dan Fe 22.10%. proses reduksi dilakukan pada temperatur 1100 ° C selama 60 menit dengan penambahan 20% *sodium sulfate* (Na_2SO_4).

Berdasarkan beberapa hasil penelitian didapatkan bahwa dalam pengolahan bijih nikel laterit dipengaruhi oleh penambahan zat aditif yang digunakan. Penelitian ini dilakukan dengan mereduksi langsung bijih nikel laterit limonit dengan menggunakan gas CO sebagai hasil reaksi antara batubara dengan fluks yang setelahnya akan dilakukan penambahan zat aditif. Variasi jenis zat aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) dengan menggunakan massa yang sama bertujuan untuk melihat pengaruh penambahan zat aditif yang berbeda terhadap kadar Ni dan nilai *recovery* Ni, sehingga didapatkan jenis aditif yang berpengaruh



paling baik dan efisien untuk meningkatkan nilai kadar dan *recovery* Ni pada proses pengolahan nikel laterit limonit.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) dengan massa 10% pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit terhadap kadar unsur Ni dan Fe yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) dengan massa 10% pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit terhadap nilai *recovery* unsur Ni dan Fe yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh variasi jenis aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) dengan massa 10% pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit terhadap senyawa produk yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah

1. Komposisi bijih nikel laterit limonitik, batubara, dan fluks yang digunakan diasumsikan homogen
2. Tekanan kompaksi yang diberikan dianggap homogen
3. Permeabilitas dan porositas diabaikan
4. Energi panas yang digunakan pada proses reduksi berasal dari *furnace*. Energi panas pembakaran batubara tidak dipertimbangkan
5. Temperatur di bagian luar dan bagian dalam *crucible* dianggap sama
6. Waktu tahan saat pemanasan dianggap sama

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi jenis aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) dengan massa 10% pada proses



- reduksi langsung bijih nikel laterit terhadap kadar unsur Ni dan Fe
2. Menganalisis pengaruh variasi jenis aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) dengan massa 10% pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit terhadap nilai *recovery* unsur Ni dan Fe
 3. Menganalisis pengaruh variasi jenis aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) dengan massa 10% pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit terhadap senyawa produk yang dihasilkan

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi empiris dari parameter proses (variasi jenis aditif) yang optimal untuk meningkatkan kadar dan *recovery* nikel pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonit.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel Laterit

Nikel merupakan salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi dalam industri. Ada banyak jenis produk nikel seperti logam halus, bubuk, spons, dan lainlain. 62% dari logam nikel digunakan dalam baja tahan karat, 13% dikonsumsi sebagai superalloy dan paduan non logam karena sifatnya yang tahan korosi dan tahan tinggi suhu (Astuti, et al., 2012). Sedangkan laterit adalah nama umum mineral yang berupa tanah merah sebagai akibat dari pelapukan batuan asal di daerah tropis atau sub tropis. Laterit kaya akan kaonilit, goethite, dan kwarsa, sehingga komposisi dari laterit sangat kompleks. Secara kimia, laterit dicirikan oleh adanya besi, nikel, dan silica sebagai sisa-sisa proses pelapukan batuan induk (Firdiyono dkk, 1983)

Dalam beberapa penelitian saat ini, dapat dikatakan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel dalam waktu dekat di masa yang akan datang. Nikel laterit akan mendominasi produksi nikel karena ketersediaannya. Cadangan nikel yang ada di dunia yaitu 36% berupa sulfida dan 64% berupa laterit. Jumlah bijih laterit lebih banyak daripada bijih sulfida. Alasan dominasi produksi nikel laterit lainnya adalah karena biaya penambangannya yang lebih rendah disbanding penambangan bijih sulfida yang terletak pada *hard rock*. Selanjutnya, ditinjau dari efek terhadap lingkungan, produksi nikel dari bijih sulfida menimbulkan masalah pada lingkungan yaitu terciptanya emisi sulfur oksida. Sedangkan produksi nikel berbasis bijih laterit memiliki masalah lingkungan lebih sedikit. Dan dilihat dari faktor teknologi ada cara yang dapat membuat proses produksi nikel berbasis laterit lebih menguntungkan melalui pengurangan biaya produksi dan peningkatan pendapatan oleh produk. Sehingga membuat produksi nikel berbasis laterit lebih ekonomis dan kompetitif (Shoubao Li, 1999).

Bijih nikel laterit biasanya terdapat di daerah tropis atau sub-tropis yang terdiri dari pelapukan batuan ultramafik yang



mengandung zat besi dan magnesium dalam tingkat tinggi. Deposit tersebut biasanya menunjukkan lapisan yang berbeda karena kondisi cuaca. Lapisan pertama adalah lapisan yang kaya silika dan yang kedua adalah lapisan limonit didominasi oleh gutit [FeO(OH)] dan hematit (Fe₂O₃). Lapisan berikutnya adalah saprolit [(Ni,Mg)SiO₃.nH₂O)] yaitu lapisan yang kaya magnesium dan elemen basal. Antara lapisan saprolit dan limonit biasanya ada lapisan transisi yang kaya magnesium (10-20% Mg) dengan besi yang disebut serpentine [Mg₃Si₂O₅(OH)]. Untuk deposit laterit yang ideal, lapisan limonit sangat tidak cocok untuk ditingkatkan kadarnya, sedangkan peningkatan kadar untuk saprolit juga terbatas untuk peningkatan konsentrasi nikel (Astuti, Zulhan, Shofi, Isnugroho, Nurjaman, & Prasetyo, 2012). Kedalaman profil bijih laterit biasanya berada pada kedalaman 6 sampai 15 meter dari permukaan (Connah, 1960). Di beberapa tempat, kedalaman profilnya bisa mencapai kedalaman hingga 60 meter di bawah permukaan.

TROPICAL LATERITE PROFILE							
SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	Approximate analysis, %					EXTRACTIVE PROCEDURE
		Ni	Co	Fe	Cr ₂ O ₃	MgO	
	Ferricrete	<0.8	<0.1	>50	>1	>0.5	Overburden to stockpile
	"Limonite"	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	2 to 5	0.5 to 5	Hydrometallurgy
		1.5 to 1.8	0.02 to 0.1	25 to 40	1 to 2	5 to 15	
	Saprolite	1.8 to 3		10 to 25		15 to 35	Pyrometallurgy
	Saprock		0.25	0.01 to 0.02	5	0.2 to 1	35 to 45
Bedrock							

Gambar 2.1 Profil Nikel Laterit (geologinesia.com)



Kebutuhan bijih laterit semakin meningkat dengan adanya kenaikan harga nikel dan penurunan cadangan bijih sulfida (Astuti, Zulhan, Shofi, Isnugroho, Nurjaman, & Prasetyo, 2012). Hal inilah yang mendorong semakin banyaknya penelitian dan pengembangan pada proses pengolahan bijih nikel laterit sebagai solusi dari penurunan cadangan bijih nikel sulfida. Pada dasarnya ada beberapa alasan yang menjadikan nikel laterit akan mendominasi produksi nikel dimasa yang akan datang, antara lain :

1. Ketersediaan : Cadangan nikel dunia yaitu 72% berupa sulfida dan 28% berupa laterit. Jumlah bijih laterit lebih banyak dari pada bijih sulfida (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)
2. Biaya Penambangan : Karena bijih sulfida terletak pada *hard rock*, sebagai eksplorasi lebih lanjut cadangan sulfida akan didapatkan pada bagian yang lebih dalam yang menyebabkan biaya penambangan lebih tinggi. Sedangkan penambangan bijih laterit membutuhkan lebih sedikit biaya dikarenakan posisi bijih laterit berada dilapisan atas.
3. Efek terhadap lingkungan : Produksi nikel dari bijih sulfida menimbulkan masalah pada lingkungan yaitu terciptanya emisi sulfur oksida. Sedangkan produksi nikel berbasis bijih laterit memiliki masalah lingkungan lebih sedikit.
4. Produksi nikel berbasis laterit lebih menguntungkan melalui pengurangan biaya produksi dan peningkatan pendapatan oleh produk. Sehingga membuat produksi nikel berbasis laterit lebih ekonomis dan kompetitif (Shoubao Li, 1999).

2.2 Proses Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Proses pengolahan bijih nikel laterit dibagi menjadi dua yaitu pengolahan secara pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pemilihan proses yang akan digunakan ini ditentukan oleh kandungan pada bijih, peningkatan kandungan yang terbatas, teknologi pengolahan yang kompleks, kondisi geografis, serta memperhatikan kebutuhan infrastruktur seperti pembangkit listrik, pelabuhan, dan fasilitas pengolahan slag (Filipe Manuel R, 2013).



Proses pengolahan secara pirometalurgi pada umumnya hanya dapat menghasilkan nikel dengan kadar 1,50%, sedangkan rata-rata kadar nikel laterit dunia sekitar 1,45% sehingga pengolahan pirometalurgi secara konvensional menjadi tidak efektif (Mayangsari, Prasetyo, 2016). Proses pengolahan laterit secara hidrometalurgi dengan ammonia *leaching* atau HPL (*high pressure leaching*) dengan asam sulfat pada awalnya dianggap efektif dalam peningkatan kadar Ni. Namun setelah diteliti lebih jauh, proses *leaching* dapat menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan serta dapat meningkatkan biaya produksi (Mayangsari, Prasetyo, 2016).

Beberapa proses pengolahan bijih laterit secara komersial saat ini antara lain:

1. *Rotary kiln electric furnace* (RKEF)

Proses RKEF banyak digunakan untuk menghasilkan feronikel dan nikel-matte. Proses ini diawali dengan pengeringan kandungan *moisture* hingga 45% melalui proses *pretreatment*. Pada proses tersebut, bijih laterit dikeringkan dengan *rotary dryer* pada temperatur 250°C hingga kandungan *moisture*nya mencapai 15-20%. Produk dari *rotary dryer* selanjutnya masuk ke-tahap kalsinasi (prereduksi) menggunakan *rotary kiln* pada suhu 800-900°C. Reduksi yang berlangsung di *rotary kiln* meliputi proses evaporasi dari air, disosiasi dari mineral-mineral pada temperatur 700°C menjadi oksida-oksida dan uap air, reduksi dari nikel oksida dan besi oksida gas reduktor pada temperatur sekitar 800°C. Hasil proses kalsinasi kemudian dilebur di dalam *electric furnace* pada temperatur 1500-1600°C menghasilkan feronikel. Pada *electric furnace* terjadi pemisahan feronikel dari terak silika-magnesia, terjadi Reduksi nikel oksida dan besi oksida kalsin menjadi nikel logam, dan pelelehan dan pelarutan nikel dalam feronikel. Proses ini yang paling umum digunakan dalam industri pirometalurgi nikel saat ini karena tahapan proses dianggap lebih sederhana dan dapat diaplikasikan terhadap bijih dari berbagai lokasi. Walaupun pada kenyataannya konsumsi energi sangat tinggi dan hanya lebih rendah dari proses Caron (Setiawan, 2016).



2. *Nickel Pig Iron*

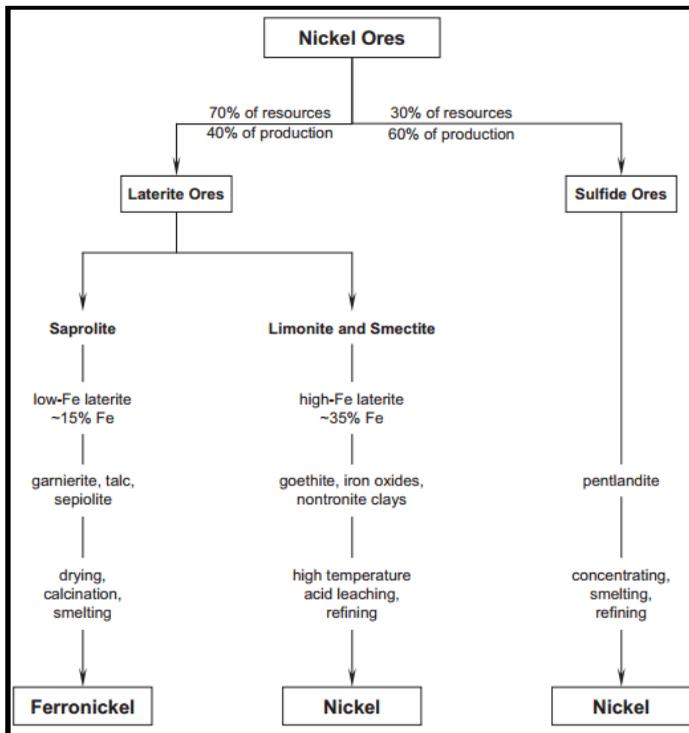
Nickel Pig Iron (NPI) merupakan ferronickel yang memiliki kadar nikel yang rendah (1,5-8%). Pembuatan NPI dilakukan dengan mini *blast furnace* dan *electric arc furnace* (EF). Proses produksi NPI pada mini *blast furnace* menggunakan kokas sebagai reduktor dan sumber energi. Karbon akan mereduksi besi sehingga kandungan FeO di dalam terak akan sangat kecil. Pada proses ini juga ditambahkan bahan imbuh berupa limestone untuk mengatasi temperatur leleh terak tinggi akibat rendahnya kandungan FeO dan tingginya kadar silika dan magnesia di dalam terak. NPI ini disebut sebagai *dirty nickel* karena akan menghasilkan slag yang banyak, konsumsi energi yang tinggi, polusi lingkungan dan menghasilkan produk dengan kualitas rendah. Tetapi bagaimanapun produksi NPI akan tetap menjadi sesuatu yang ekonomis selama harga nikel relatif tinggi. Proses produksi NPI yang lain yaitu menggunakan *electric furnace*. Dengan peningkatan kualitas EF maka proses ini diyakini mempunyai efisiensi energi yang lebih tinggi dari proses *blast furnace*. Sehingga pada prakteknya dalam 10 tahun terakhir pembuatan NPI meningkat signifikan terutama di China dan Indonesia. Kelebihan utama dalam proses ini yaitu dapat mengolah bijih kadar rendah yang sulit dilakukan dengan proses pirometalurgi lain (Setiawan, 2016).

3. *The Caron Process*

Bahan umpan yang digunakan adalah laterite jenis limonit. Ada 4 langkah utama dalam proses ini yaitu Pengeringan bijih dan *grinding*, *reduction roasting*, *leaching* dengan menggunakan larutan ammonium carbonate, dan *metal recovery*. Pada proses ini *Reduction roasting* merupakan proses yang sangat penting. Temperatur reduksi harus dikontrol dengan baik agar mendapatkan recovery nikel dan cobalt secara maksimal. Kalsinasi dilakukan pada temperature 850°. Selanjutnya hasil kalsinasi akan melalui proses *amonia leaching* pada temperatur sekitar 150 - 200°C. *Caron Process* dapat me-recover 70–80% nikel dan hanya 40–50% kobalt. Proses ini lebih cocok digunakan untuk bijih laterit jenis



limonit. Ketika proses ini untuk bijih serpentin atau bijih laterit yang mengandung besi dengan kadar rendah serta magnesium dengan kadar yang tinggi, maka *recovery* nikel akan menurun secara signifikan. Hal ini dikarenakan magnesium lebih dominan untuk bereaksi dengan silika dan NiO, sehingga membuat sebagian besar NiO tidak tereduksi ketika proses reduksi *roasting*. Selain *Caron Process* masih terdapat beberapa proses hidrometalurgi yang digunakan dalam pengolahan nikel laterite yakni HPAL (high pressure acid leaching), AL (Atmospheric leaching), HL (Heap Leaching), Bioleaching dan beberapa kombinasinya.



Gambar 2. 1 Diagram Ekstraksi Nikel dan *FerroNickel* (Crundwell, 2011).



2.3 Aglomerasi dan Reduksi Nikel Laterit Limonitik

Pada proses pirometalurgi, bijih nikel laterit yang mempunyai kandungan nikel cenderung rendah di *upgrade* melalui proses benefikasi untuk meningkatkan kandungannya sebelum melalui proses *smelting* di *blast furnace* atau *electric arc furnace*. Pada proses benefikasi sifat – sifat fisik dan kandungan metalurgi perlu diperhatikan dan dievaluasi. Sifat fisik memberi indikasi perilaku bijih selama penanganan dan penurunan dalam *furnace*. Metalurgi di sisi lain menunjukkan perilaku bijih selama proses reduksi. Dalam memilih bijih untuk proses *smelting* beberapa sifat yang perlu diperhatikan antara lain: abrasi dan indeks kehancuran, porositas, komposisi kimia, *ignition loss*, sifat reduksi, dan degradasi termal. (M. Kumar, 2008).

Kandungan oksigen, fasa yang terbentuk dari *burden material*, permeabilitas, ukuran *burden material*, komposisi kimia dan sifat metalurgi berupa *cold strength*, reduksi disintegrasi dan sifat *softening* dan *melting* juga harus diperhatikan sebelum *burden material* masuk ke dalam *blast furnace*. Oleh karena itu dibutuhkan proses aglomerasi kemudian roasting.

Proses aglomerasi menjadikan ore laterit limonite yang berupa tanah digumpalkan dan dicampur dengan batubara serta fluks dengan komposisi tertentu. Sehingga *burden material* hasil aglomerasi akan sesuai untuk proses selanjutnya. Proses aglomerasi yang digunakan berupa pembriketan. Campuran dari laterit, batu bara, dan fluks dikompresi dalam suatu cetakan dengan bentuk tertentu, dengan komposisi tambahan berupa kanji yang berfungsi sebagai zat pengikat. Kanji digunakan sebagai pengikat (binder) briket untuk meningkatkan kekuatan green biket sebelum proses roasting, mengurangi tingkat degradasi briket saat transportasi dan handling. Karena hanya untuk keperluan sebelum proses roasting, binder tidak boleh memberikan efek negative pada proses roasting. Kanji dipilih sebagai binder karena kanji merupakan zat organik, yang akan terbakar habis saat pemanasan

Menurut Li (2012), perlu ditambahkan bahan tambahan berupa Natrium Sulfat untuk mekanisme *selective reduction* pada



Ni. Secara spesifik pembriketan dibagi menjadi briket dingin dan briket panas. Briket dingin hanya dilakukan pada temperature kamar, sedangkan briket panas dilakukan proses kalsinasi hingga temperature diatas 1000 °C hingga dibawah temperatur lelehnya. Proses kalsinasi dilakukan dalam proses roasting.



Gambar 2.3 Bentuk Briket (vale.com)

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

1. Menghilangkan sisa kadar air pada ore (untuk menghindari terjadinya ledakan pada *mini blast furnace*)
2. Mereduksi sekitar seperempat nikel dalam ore menjadi nikel metal
3. Mereduksi mineral Fe^{3+} menjadi mineral Fe^{2+} dengan kadar tinggi dan sekitar 5 % dari besi menjadi besi metal
4. Menambah batu bara dengan cukup, sehingga kadar mineral yang tersisa untuk reduksi tahap akhir pada *mini blast furnace*.

Bentuk briket yang digunakan berupa bentuk bantal (*pillow*) dipilih dengan maksud tertentu. Jika dibandingkan dengan briket berbentuk bola yang memiliki keseragaman tegangan di



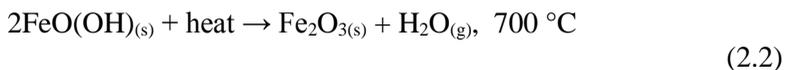
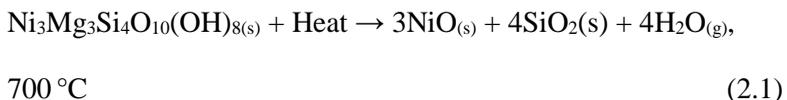
seluruh permukaannya. Namun briket dengan bentuk bola akan sulit dibuat karena keterbatasan alat yang ada, proses pelepasan briket bola dari alat biket atau cetakan akan sulit dilakukan. Maka briket bebentuk bantal lebih mudah dibuat dengan menggunakan alat yang sudah komersial. Briket bentuk bantal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

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

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

Menurut buku *Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt* (Crundwell,2011). Persamaan reaksi ekstraksi dari nikel laterit pada proses roasting ditunjukkan pada reaksi :

- Terjadi dekomposisi garnierite dan goethite (ore)





- Reaksi reduksi oleh gas CO



2.4 Batubara

Batu bara merupakan salah satu bahan bakar fosil, atau tidak dapat diperbaharui. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pematubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk.

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya dibagi dalam lima kelas : antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut.

1. Antrasit adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
2. Bituminus mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
5. Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah



Menurut C. F. K. Diessel (1992) pembentukan batubara diawali dengan proses biokimia, kemudian diikuti oleh proses geokimia dan fisika, proses yang kedua ini sangat berpengaruh terhadap peringkat batubara *coal rank*, yaitu perubahan jenis mulai dari gambut ke lignit, bituminous, sampai antrasit. Faktor yang sangat berperan didalam proses kedua tersebut adalah temperatur, tekanan, dan waktu.



Gambar 2.4 Batubara (explorasi.id)

Untuk menentukan kualitas batubara biasanya dilakukan analisa kimia pada batu bara yaitu berupa analisis proksimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah karbon padat (*fixed carbon*), zat terbang (*volatile matter*), kadar abu (*ash*), dan kadar air (*moisture*).

1. *Fixed Carbon*

Fix carbon adalah bahan bakar padat yang tersisa di tungku setelah zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*) didestilasi. Sebagian besar terdiri dari karbon, tetapi juga berisi beberapa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbawa oleh gas. Karbon tetap memberikan perkiraan kasar dari nilai kalor batubara.

2. *Volatile Matter*

Volatile Matter merupakan senyawa organik dengan titik didih rendah yang mudah menguap saat proses pemanasan



batubara. Senyawa *volatile Matter* meliputi metana, hidrokarbon, hidrogen dan karbon monoksida. Secara umum, batubara dengan kandungan bahan volatil tinggi mudah terbakar dan sangat reaktif dalam aplikasi pembakaran.

3. Ash

Ash merupakan pengotor yang tidak akan terbakar.

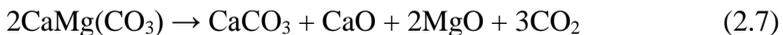
4. Moisture

Moisture atau kelembaban menentukan besarnya kandungan air dalam batubara. Kadar air dalam batubara ini harus diminimalkan karena hal ini dapat mengurangi panas dari pembakaran batubara sehingga mengurangi tingkat efisiensi proses.

2.5 Dolomit

Dolomit merupakan bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia. Dolomit merupakan salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui. Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk akibat proses pembatuan atau litifikasi dari hasil proses pelapukandan erosi yang kemudian tertransportasi dan seterusnya terendapkan. Senyawa yang ada pada dolomit yaitu gabungan antara kalsium karbonat dengan magnesium karbonat $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$. (Noviyanti dkk, 2015).

Dolomit akan terdekomposisi termal secara langsung membentuk CaCO_3 dan CO_2 disertai dengan pembentukan MgO pada temperature antara $700\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $750\text{ }^\circ\text{C}$. Dimana reaksi yang terjadi yaitu:



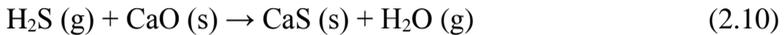
Pada temperature yang lebih tinggi, CaCO_3 akan mulai terdekomposisi meskipun masih terdapat dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Reaksi dekomposisi dolomit dan CaCO_3 akan berlangsung secara spontan yang terdiri dari 2 reaksi, yaitu:





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

Dalam penelitian ini dolomit yang digunakan berperan sebagai penyedia gas CO_2 dalam proses reduksi. Gas CO_2 ini berguna untuk reaksi pembentukan gas CO (Reaksi Boduard). Gas CO_2 diperoleh dari reaksi dekomposisi dolomit dan CaCO_3 . Selain itu dolomit juga berperan sebagai flux agent atau pengikat pengotor. Dolomit dapat berperan dalam proses desulfurisasi batubara pada range temperatur 870 – 1037 °C (Spencer. 1985), dengan reaksi:



Peningkatan kadar Ni cenderung lebih rendah dari reduksi menggunakan flux jenis lain karena adanya MgO yang terbentuk dari dekomposisi termal pada dolomit. Dimana MgO akan menyebabkan fasa Fe_3O_4 tidak dapat menjadi fasa liquid pada temperatur reduksi. Disisi lain, fasa *liquid* yang sedikit dapat meningkatkan *solid* difusi, *solid* difusi yang diharapkan yaitu Ni dapat bersubstitusi dengan atom Fe ke dalam Fe_3O_4 . Karena itu dengan adanya MgO dapat menurunkan kadar Ni (Fan, Min, Tao, Li-shun, & Xu-Ling, 2010)



Gambar 2.5 Dolomit (geology.com)



2.6 *Selective Agent*

Selective agent atau biasa juga disebut dengan zat aditif merupakan zat yang biasanya ditambahkan pada proses pengolahan bijih nikel laterit yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi yang terjadi pada proses reduksi bijih nikel laterit. Penambahan zat aditif ini dilakukan sebelum terjadinya proses reduksi, tepatnya pada saat pencampuran bahan. Penelitian terkait penggunaan *selective agent* (zat aditif) seperti penambahan sulfur saat reduksi bijih nikel laterit dalam usaha peningkatan jumlah perolehan nikel dalam feronikel telah dilakukan di antaranya melakukan reduksi selektif nikel laterit dengan penambahan natrium sulfat (Na_2SO_4) dan kalsium sulfat (CaSO_4) yaitu oleh Jiang et.al., Li et.al., Zhu et.al

Natrium Sulfida (Na_2SO_4) juga akan meningkatkan ukuran partikel feronikel yang terbentuk. Penambahan Na_2SO_4 bertujuan untuk meningkatkan selektifitas Ni dengan menurunkan kadar komponen yang tidak diinginkan. Na_2SO_4 akan terurai menjadi natrium yang dapat mengikat silikat dan Fe bereaksi dengan S membentuk FeS. Natrium silikat dan FeS merupakan komponen bukan magnet yang terikat menjadi *tailing* pada pemisahan magnetik sehingga selektivitas Ni pada konsentrat meningkat. Selain itu adanya fasa FeS dan natrium silikat yang mempunyai titik leleh rendah akan melarutkan partikel – partikel logam dan mempercepat proses perpindahan massa partikel logam sehingga memacu pertumbuhan partikel logam (Li, 2012). Disamping itu, penambahan Na_2SO_4 juga menyebabkan kinetika reduksi bijih nikel laterit berlangsung lebih baik sehingga pelepasan besi dan nikel dari mineralnya menjadi konduif (Jie Lu, 2013)

Penambahan aditif CaSO_4 bertujuan agar metal Fe dapat bereaksi dengan sulfur dari CaSO_4 . Berdasarkan penelitian Zhu dkk. CaSO_4 terdekomposisi menjadi S_2 , O_2 , dan CaO , sehingga terbentuk FeS dan terpisah. Selain itu, CaO hasil dekomposisi akan bereaksi dengan SiO_2 dan FeO pada bijih nikel limonit.

Penggunaan aditif Na_2CO_3 memiliki tujuan untuk meningkatkan selektifitas Ni dengan menurunkan kadar senyawa



yang tidak diinginkan atau zat pengotor. Na_2CO_3 akan terurai menjadi Na_2O dan CO_2 pada temperature 1000°C . Senyawa Na_2O yang terbentuk akan mampu untuk mengikat unsur pengotor seperti Cr, Al, dan Si. (Guo, 2014)

Tabel 2.1 Chemical and Physical Properties of Na_2SO_4

Properties Name	Value
<i>Melting Point</i>	884°C
<i>Boiling Point</i>	1700°C
<i>Density</i>	2.68 g/mL at 25°C
<i>Form</i>	Powder
<i>PH</i>	5.2 – 8.0
<i>Water Solubility</i>	18.5 mg/L

(chemicalbook.com)

Tabel 2.2 Chemical and Physical Properties of Na_2CO_3

Properties Name	Value
<i>Melting Point</i>	851°C
<i>Boiling Point</i>	1600°C
<i>Density</i>	2.53 g/mL at 25°C
<i>Form</i>	Solid
<i>PH</i>	11.16
<i>Water Solubility</i>	22 g/100 mL (20°C)

(chemicalbook.com)

Tabel 2.3 Chemical and Physical Properties of CaSO_4

Properties Name	Value
<i>Melting Point</i>	1450°C
<i>Density</i>	2.96 g/mL
<i>Solubility</i>	2 g/l
<i>Form</i>	Powder

(chemicalbook.com)

2.7 Termodinamika Reduksi Nikel Laterit

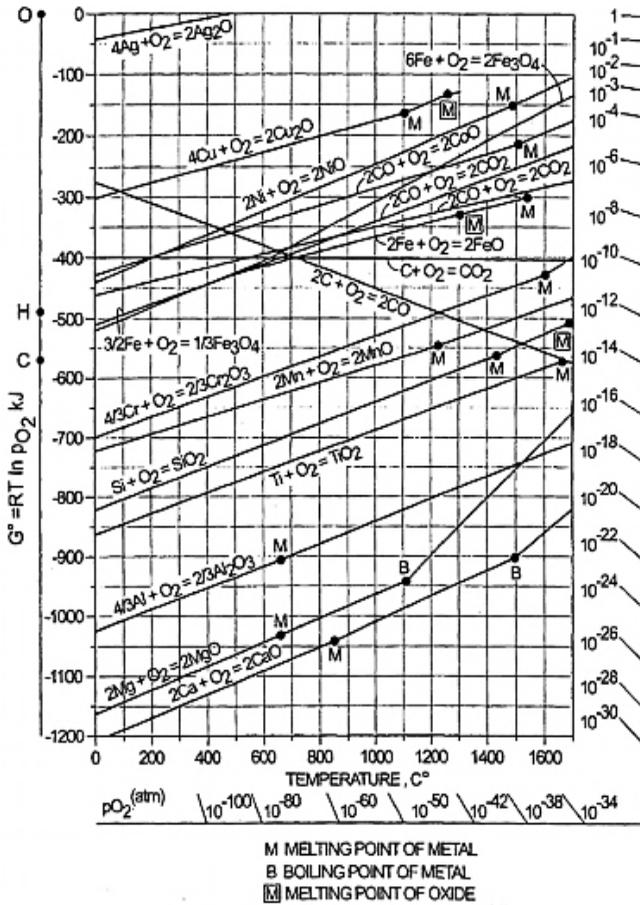
Termodinamika berhubungan langsung dengan diagram *Ellingham*. Diagram *Ellingham* merupakan diagram yang berisi



energi bebas suatu reaksi yang diplot ke dalam suatu grafik dengan parameter energi bebas terhadap temperatur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Pada diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling atas. Besar nilai energi bebas (ΔG°) untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai ΔG° suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida.

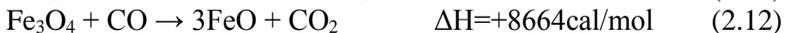
Dari diagram Ellingham pada Gambar 2.6 dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan agar terjadi reaksi tersebut terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentukan CO. Termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas yang dimiliki. Namun tidak dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut berjalan pada temperatur tertentu.

Klasifikasi reaksi reduksi suatu bijih mineral berdasarkan reducing agent dikemukakan oleh *metallurgist* Prancis bernama Jacques Assenfratz pada tahun 1812 (Andronov 2007). Dia membuktikan secara pengujian bahwa reduksi bijih besi terjadi dalam 2 cara, yaitu: kontak antara bijih dan arang atau interaksi dengan gas reduktor.



Gambar 2.6 Diagram Elingham (Ross, 1980)

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





Ketika wustit bertemu dengan silikat akan membentuk fasa fayalit, seperti reaksi:



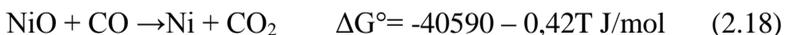
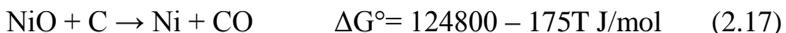
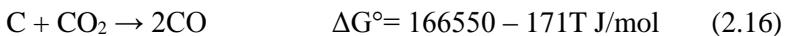
Entalpi reaksi pada 25 °C dapat diketahui dari entalpi pembentukan. Reaksi (2.11) dan (2.13), mempunyai entalpi negatif, yang berarti reaksi eksotermik dan reaksi (2.12) mempunyai entalpi positif, berarti reaksi endotermik dan membutuhkan energi. Karena wustit metastabil di bawah 570°C, Fe₃O₄ dapat direduksi dalam satu langkah menjadi besi metalik, tanpa melewati reaksi wustit.



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

Menurut Li (2012), reaksi reduksi nikel dari laterit terjadi pada metode deoksidasi *solid-state*, reduktor gas dan padat keduanya digunakan. Proses reduksi nikel Ni dipengaruhi oleh temperatur, waktu reduksi, kadar CO, kadar karbon dan kadar CaO.

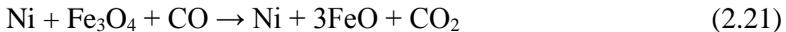
Reaksi utama dari nikel oksida menjadi nikel metalik adalah:





Dari diagram Ellingham (Gambar 2.6), temperatur terendah pada tekanan atmosfer terjadinya reduksi NiO oleh *fixed carbon* pada temperatur 440 °C. Kurva energi Gibbs standar dari pembentukan NiO adalah lebih dari CO₂, dan energi bebas Gibbs standar dari reaksi (2.23) bernilai negative pada tekanan atmosfer. Sehingga NiO dengan mudah tereduksi dengan CO (Li, 2012).

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



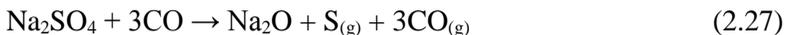
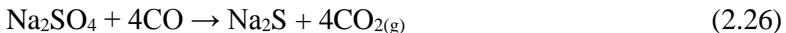
Reduksi selanjutnya dari wustit menjadi besi metalik terjadi:



Berdasarkan kondisi percobaan, proses reduksi dari (2.21) dan (2.22) akan sulit terjadi (Olli 1995).

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

- Terjadi dekomposisi termal dan reduksi Natrium sulfat



- Pengikatan Fe membentuk FeS



Menurut Guo (2014) mekanisme reaksi dekomposisi dan reduksi dari aditif Na_2CO_3 yang terjadi sesuai reaksi berikut:



Sementara, menurut Zhu (2014) mekanisme reaksi dekomposisi dan reduksi dari aditif Ca_2SO_4 yang terjadi sesuai dengan reaksi berikut:



2.8 Kinetika Reduksi Ore

Kinetika reaksi reduksi bijih mineral adalah kecepatan mineral oksida untuk bertransformasi menjadi logam metalik dengan melepaskan oksigen. Kecepatan reaksi reduksi bijih mineral ditentukan oleh tinggi rendahnya kemampuan bijih mineral tersebut untuk direduksi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran partikel, bobot jenis, *porosity*, struktur kristal, serta komposisi kimia (Ross 1980). Kinetika reduksi menggunakan reduktor batu bara dipengaruhi oleh kombinasi beberapa mekanisme, yaitu perpindahan panas, perpindahan massa oleh konveksi, difusi fase

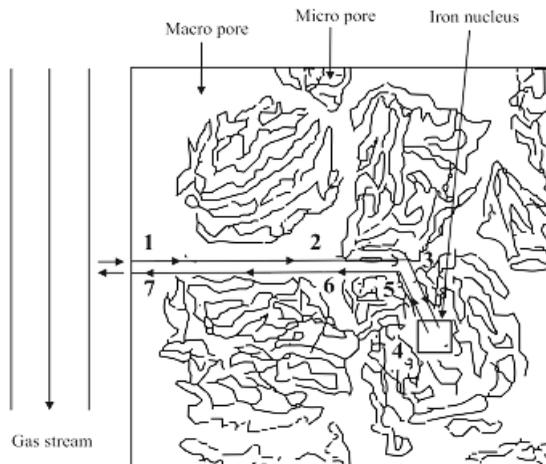


gas, serta reaksi kimia dengan gasifikasi karbon. El-Geassy (2007) menjelaskan bahwa ada banyak faktor yang mempengaruhi reduksi mineral oksida seperti komposisi bahan baku, basisitas, komposisi gas, dan temperatur reduksi. Pengaruh komposisi gas terjadi pada perubahan *volume* dari mineral oksida pada temperatur 800 – 1100 °C.

Mekanisme reduksi langsung laterit limonit dengan karbon padat terdiri dari:

1. Pembentukan gas reduktor
2. Adsorpsi gas pada besi oksida
3. Proses difusi dalam besi oksida

Bijih mineral dapat dianggap tersusun atas butiran-butiran. Celah diantara butiran-butiran dikenal sebagai pori makro dan pori yang lebih kecil dikenal sebagai pori mikro. Mekanisme reduksi ore mineral bertahap melalui langkah-langkah sebagai berikut dan diilustrasikan Gambar 2.7 (Bogdandy, Von and Engell 1971).



Gambar 2.7 Garis besar mekanisme reduksi untuk mineral berpori (Bogdandy, Von and Engell 1971)



Faktor yang mempengaruhi karakteristik reduksi antara lain adalah (Dutta, 1993):

1. Komposisi gas reduktor. Laju reduksi yang menggunakan gas H₂ dan campuran gas H₂ dan CO sebagai reduktor lebih cepat dibandingkan dengan gas CO terutama pada awal reduksi karena laju difusi gas H₂ lebih cepat dibandingkan dengan gas CO, juga karena daya absorpsi gas H₂ lebih besar dibanding gas CO₂
2. Konsentrasi dan jenis reduktor
3. Temperatur, temperatur mempunyai efek yang besar terhadap laju reduksi besi oksida. Temperatur akan mempengaruhi laju difusi dan reaksi kimia. Pada umumnya laju reaksi reduksi besi oksida akan naik dengan naiknya temperatur.

Gas CO juga perlu dipertimbangkan sebagai agen reduktor, karena gas CO berasal dari batu bara, sehingga diperlukan perhitungan kebutuhan komposisi batu bara yang sesuai. Apabila ketersediaan batu bara tidak memadai maka reaksi tidak berjalan optimal karena gas CO juga kurang untuk mereduksi mineral nikel dan besi yang ada (Tyroler & Landolt, 1998).

2.9 Kajian Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang sebelumnya yang dilakukan oleh Jiang, et al. (2013) mengenai mekanisme reduksi *roasting* dari bijih nikel laterit dengan menggunakan beberapa jenis zat aditif. zat yang digunakan pada penelitian yaitu sodium sulfide (Na₂S), sodium oxide (Na₂O), S, dan Na₂SO₄. Pada penelitian yang menggunakan ore dengan kadar Ni 3.69%, *recovery* Ni 82.47%, Fe *recovery* 62.39%. Dengan menggunakan penambahan sebesar 10 wt%, pada penambahan zat aditif berupa Na₂S, kadar dari Ni menjadi 9.87%, *recovery* Ni 90.90%, *recovery* Fe 29.55%. Sedangkan pada penambahan Na₂SO₄, kadar Ni sebesar 10.86%, nilai *recovery* Ni 88.56%, *recovery* Fe 24.62%. dan terakhir adalah penambahan Na₂O & S, kadar Ni menjadi 9.29%, nilai *recovery* Ni



87.29%, *recovery* Fe 30.76%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jiang, et al. dapat dilihat bahwa penambahan *selective agent* yang mengandung unsur Na berpengaruh terhadap kenaikan yang cukup besar pada kadar Ni, serta nilai *recovery* Ni, tetapi juga memberikan penurunan yang sangat signifikan terhadap nilai *recovery* Fe yang turuh hingga lebih dari 30%. Masih berdasarkan pada data penelitian, dari hasil XRD yang dilakukan pada *roasted ore* menunjukkan bahwa penurunan pada nilai *recovery* Fe karena terbentuknya *wustite* dan unsur FeS. Salah satu alasan dari penurunan nilai *recovery* Fe ialah reduksi yang terjadi pada *wustite* mengalami *suppressed* dalam atmosfer reduksi yang lemah. Alasan lainnya adalah unsur S beraksi terhadap *metallic iron* yang menyebabkan terbentuknya FeS, yang bermanfaat dalam memperkaya Ni melalui *magnetic separation*.

Li, et al. (2012) menunjukkan peningkatan pada kadar Ni dan nilai *recovery* dari ferronikel menjadi 9.48% dan 83.01% dari nikel laterit ore dengan kadar Ni 1.91% dan Fe 22.10%. proses reduksi dilakukan pada kondisi temperatur 1100 ° C selama 60 menit dengan penambahan 20% *sodium sulfate* (Na_2SO_4).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Cao, et al. (2010) proses *reduction roasting* dengan zat aditif untuk mendapatkan *high nickel grade* pada konsentrat ferronikel dengan melalui proses *magnetic separation* dari nikel laterit ore yang mengandung kadar Ni 1.86% dan Fe 13.59%. Proses reduksi dilakukan pada kondisi temperatur 1200 ° C selama 40 menit dengan penambahan 20% Na_2CO_3 dan 15% *coal*, menghasilkan peningkatan pada kadar Ni menjadi 10.83% dan nilai nikel *recovery* sebesar 82.15%.

Zhu, et al. (2012) melakukan penelitian pengaruh penambahan CaSO_4 terhadap kenaikan kadar Ni dan nilai *recovery*. Menggunakan nikel laterit ore yang mengandung kadar Ni 1.42% dan Fe 23.16% direduksi pada kondisi temperatur 1100 ° C selama 60 menit, dengan penambahan 6% *calcium sulfate* dan 5% *coal*. Penelitian ini menunjukkan kadar Ni pada konsentrat ferronikel mengalami kenaikan menjadi 6.00% dengan nilai *recovery* Ni 92.10%.



Penelitian lain dengan menggunakan zat aditif CaSO_4 pada proses reduksi selektif pada bijih nikel limonit Wahyu, et al. (2016). Menggunakan bijih nikel laterit limonit yang berasal dari Halmahera, Maluku Utara dengan kadar Ni 1.11% dan Fe 48.86%. Proses reduksi pada kondisi temperatur 1000°C selama 2 jam dengan penambahan aditif CaSO_4 20%, peningkatan kadar Ni tertinggi yang didapatkan adalah 2.44%

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Wang, et al. (2017) yang melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan CaO terhadap kenaikan kadar dan *recovery* Ni dengan proses reduksi dan *magnetic separation*. Menggunakan bijih nikel saprolite kadar rendah yang mengandung kadar Ni 1.82% dan Fe 19.57%, pada kondisi temperature proses 1350°C selama 2 jam serta penambahan 10% CaO, terjadi peningkatan pada kadar Ni menjadi 7.90% dan nilai *recovery* Ni 89.36%.



Tabel 2.4 Referensi Jurnal Berdasarkan Penelitian Sebelumnya yang Telah Dilakukan

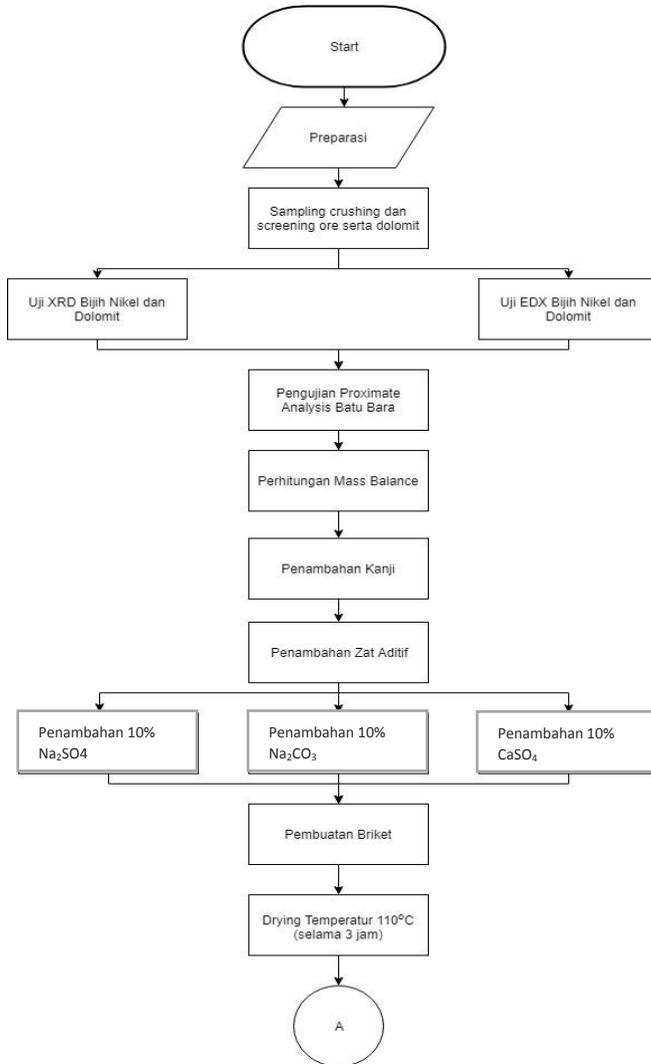
No	Penyusun	Tahun	Judul
1	Cao, dkk	2010	<i>Recovery of iron and nickel from nickel laterite ore by direct reduction roasting and magnetic separation.</i>
2	Zhu, dkk	2012	<i>Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by magnetic separation.</i>
3	Guanghai Li, dkk	2012	<i>Beneficiation of nickeliferous laterite by reduction roasting in the presence of sodium sulfate</i>
4	Man Jiang, dkk	2013	<i>Mechanism of sodium sulfate in promoting selective reduction of nickel laterite ore during reduction roasting process</i>
5	Wahyu Mayangsari, dkk	2016	Proses reduksi selektif bijih nikel limonit menggunakan zat aditif CaSO_4
6	Zhihao Wang, dkk	2017	<i>Preparing Ferro-Nickel Alloy from Low-Grade Laterite Nickel Ore Based on Metallized Reduction–Magnetic Separation</i>

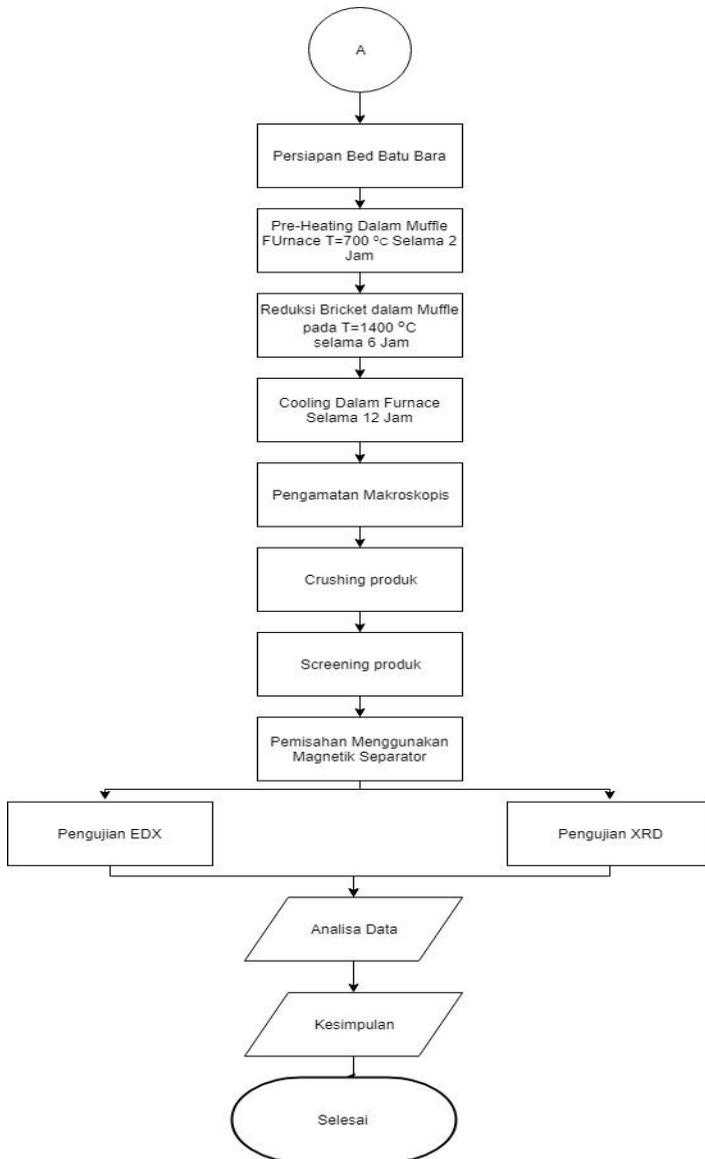


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Bahan Penelitian

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

3.2.1 Ore Nikel Laterite

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



Gambar 3.2 Nikel Laterite Limonite

3.2.2 Batu Bara

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



Gambar 3.3 Batu Bara



3.2.3 Batu Kapur

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



Gambar 3.4 Dolomit

3.2.4 Natrium Sulfat

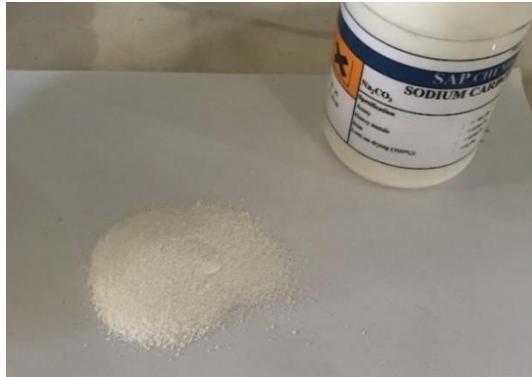
Natrium Sulfat (Na_2SO_4) digunakan dalam penelitian ini sebagai agen *selective reduction* pada nikel laterit.



Gambar 3.5 Serbuk Natrium Sulfat

3.2.5 Natrium Karbonat

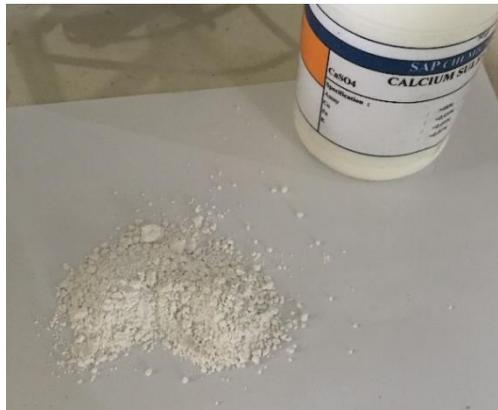
Natrium Karbonat (Na_2CO_3) digunakan dalam penelitian ini sebagai agen *selective reduction* pada nikel laterit.



Gambar 3.6 Serbuk Natrium Karbonat

3.2.6 Kalsium Sulfat

Kalsium Sulfat (CaSO_4) digunakan dalam penelitian ini sebagai agen *selective reduction* pada nikel laterit.



Gambar 3.7 Serbuk Kalsium Sulfat

3.2.7 Kanji

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



Gambar 3.8 Serbuk Kanji

3.2.8 Air

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

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

3.3.1 Alat Kompaksi

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

Panjang : 4,3 cm

Lebar : 3,4 cm

Tebal : 1,65 cm



Gambar 3.9 Alat Kompaksi

3.3.2 *Muffle Furnace*

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

Panjang : 48 cm

Lebar : 85 cm

Tinggi : 64 cm

Tebal batu tahan api : 7 cm



Gambar 3.10 *Muffle Furnace*



3.3.3 Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan dalam penelitian ini untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan sebagai bahan campuran untuk pembuatan briket.



Gambar 3.11 Timbangan Digital

3.3.4 Ayakan

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



Gambar 3.12 Ayakan



3.3.5 *Thermocouple*

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



Gambar 3.13 Thermocouple

3.3.6 Oven

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



Gambar 3.14 Oven

3.3.7 Alat Tumbuk

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



Gambar 3.15 Alat Tumbuk

3.3.8 Crucible

Di dalam penelitian ini, *crucible* digunakan sebagai media tempat terjadinya reduksi briket nikel laterit limonitik yang tertimbun di dalam bed batubara. Dimensi *crucible* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Diameter atas	: 13 cm
Diameter bawah	: 10 cm
Tinggi	: 17 cm
Tebal	: 2,5 cm



Gambar 3.16 *Crucible*



3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Material

Langkah – langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu :

1. Ore laterit limonite, batu bara, batu kapur, limestone, dan quicklime ditumbuk dan dilakukan pengayakan dengan ukuran mesh sebesar 50 mesh.
2. Ore laterit limonite, batu kapur, limestone, dan quicklime diuji XRF dan XRD.
3. Batu bara diuji *proximate analysis*.
4. Pembuatan briket nikel laterit limonite.
Ore nikel laterit hasil ayakan dicampur dengan batu bara, fluks (Dolomit / Limestone/ Quicklime), dan Natrium Sulfat. Kanji dicampur dengan air hingga 100 mL, dan dipanaskan dalam air mendidih hingga sedikit mengental. Campuran dari ore nikel laterit limonite, batu bara, fluks, dan Natrium Sulfat ditambahkan kanji yang telah sedikit mengental dan diaduk hingga merata. Campuran dibentuk menjadi briket *pillow* dengan alat kompaksi dengan tekanan 30 kgf/cm². Dalam satu kali proses aglomerasi dibutuhkan 4 buah briket.
5. Briket hasil kompaksi dikeringkan dengan menggunakan oven terlebih dahulu selama 3 jam pada temperatur 110 °C.

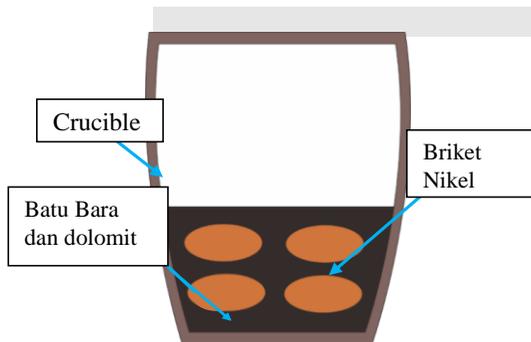
3.4.2 Proses Reduksi Karbotermik

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses reduksi karbotermik yaitu :

1. Briket yang telah dikeringkan, dimasukkan ke dalam *crucible* yang di bagian dasarnya telah dimasukkan sejumlah campuran batu bara dan dolomit sebagai lapisan bed bagian dasar.
2. Briket tersebut ditutup kembali menggunakan campuran batu bara dan dolomit yang sama membentuk lapisan bed



- bagian atas, dan seterusnya hingga membentuk tumpukan batu bara dan dolomit dengan briket untuk dilakukan proses reduksi di dalam Muffle Furnace.
3. Pemanasan awal di Muffle Furnace dilakukan hingga temperatur 700 °C dengan heat rate 10oC/menit, kemudian dilakukan holding pada temperatur 700 °C selama 2 jam.
 4. Pemanasan selanjutnya dilakukan hingga temperatur 1400 °C dengan heat rate 10oC/menit, kemudian dilakukan holding pada temperature 1400 °C selama 6 jam.
 5. Briket hasil reduksi didinginkan di dalam *Muffle Furnace* hingga temperatur kamar.
 6. Setelah proses pendinginan selesai, setiap sampel dikeluarkan dari *Muffle Furnace*.
 7. Briket hasil reduksi selanjutnya akan dilakukan proses pengujian XRD dan EDX.



Gambar 3.17 Skematik Posisi Briket dan Bed Batubara Dolomit

3.4.4 Proses Pengujian Sampel

3.4.4.1 Preparasi Bahan Pengujian

Adapun preparasi bahan pengujian yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

1. Hasil dari proses reduksi langsung berupa logam dan serbuk.



2. Pada bentuk logam, preparasi bahan pengujian yaitu dengan meratakan permukaan logam dengan menggunakan kikir serta memiliki kriteria ketebalan maksimal sebesar 4 mm.
3. Pada bentuk serbuk, preparasi bahan pengujian yaitu dengan melakukan pengayakan sebesar 200 *mesh*.
4. Bila sudah dilakukan preparasi bahan pengujian maka dilanjutkan ke proses pengujian yaitu dengan menggunakan XRD dan EDX.

1. X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction adalah salah satu teknik analisa untuk stuktur suatu mineral, garam, logam, keramik, polymer bahkan senyawaan organik seperti DNA, vitamin dan drugs. Jika ingin mengetahui mineral apa saja yang terkandung dalam suatu bahan tambang dan assosiasinya apa saja, teknik ini cukup tepat karena XRD bisa memberikan informasi mengenai bentuk molekul dan berapa sudut kristalnya. XRD bekerja berdasarkan difraksi sinar X yang dihamburkan oleh sudut kristal material yang dianalisa. Akan tetapi, kelemahannya XRD kurang tepat jika digunakan untuk analisa kuantitatif.

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif yang terdapat pada bahan baku yang digunakan. Dalam pengujian XRD sampel yang akan diuji sebelumnya harus sudah dihancurkan terlebih dahulu hingga berukuran 200 mesh. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV hingga 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang $10^{-1} - 10$ nm, berfrekuensi 1017 – 1020 Hz dan memiliki energi 103 – 106 eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia, dan keadaan lain yang memiliki orde sama.



Gambar 3.18 XRD PAN Analytical

2. Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy atau EDX adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa elemen atau karakterisasi 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. Hasil yang didapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik *energy (KeV)* dengan *counts*. Dari data grafik tersebut kita bisa melihat unsur – unsur apa saja yang terkandung di dalam suatu sampel. Serta dengan pengujian EDX, didapatkan pula persentase dari suatu unsur yang terkandung di dalam suatu sampel.

3. Proximate Analysis

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



(Moisture), ASTM D 3174-02 (Ash), dan ASTM D 3175-02 (Volatile matter).

- **Moisture**

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

Bahan :

1. Udara kering
2. Pengering, seperti kalsium sulfat anhidrat (0,004 mg/L), silika gel, magnesium perklorat (0,0005 mg/L), dan asam sulfat (0,003 mg/L)

Alat :

1. *Oven* Pengering

Prosedur

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

Perhitungan

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

Dimana,



A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

- **Volatile Matter**

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

Alat

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

Prosedur

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

Perhitungan

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

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)



B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

Kemudian persen volatile matter dihitung

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

Dimana,

C = Weight Loss (%)

D = Moisture (%)

- **Ash**

Analisa kadar ash dalam batu bara 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

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



Dimana,

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

B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)

C = berat sampel yang digunakan (gram)

- **Fixed Carbon**

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

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

3.5 Neraca Massa Briket Nikel Laterit Limonit

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

Komposisi batu bara diperhitungkan berdasarkan kebutuhan gas CO, sesuai reaksi Boudouard, sebagai agen reduktor untuk mereduksi Fe_2O_3 dan NiO. Batu bara juga diperlukan untuk kebutuhan gas CO sebagai agen reduksi dekomposisi Na_2SO_4 . Kebutuhan Natrium Sulfat (Na_2SO_4) ditentukan dari 10% massa total briket setelah dihitung neraca massa yang didapat dari bijih nikel laterit, batubara, dan fluks (Jiang, et al. 2013). Diharapkan penambahan Natrium sulfat dapat mengikat Fe yang akan membentuk FeS sesuai reaksi (2.33) dan (2.34), sehingga kadar Fe



akan turun menyebabkan kadar Ni meningkat. Kebutuhan fluks ditentukan berdasarkan target basisitas briket. Dengan penambahan komposisi kapur akan menaikkan basisitas campuran briket. Sedangkan kebutuhan kanji sebagai pengikat briket.

Desain target proses aglomerasi briket ditentukan pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Target Aglomerasi Nikel Laterit Limonit

Target	Keterangan	Nilai	Satuan
Reaksi	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$	100	Persen (%)
Reduksi	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$	100	Persen (%)
	$\text{NiO} \rightarrow \text{Ni}$	100	Persen (%)
Reaksi	$\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$	100	Persen (%)
Pengikat	Kanji	3	Persen (%)

Berdasarkan target proses aglomerasi briket tersebut, maka dilakukan perhitungan komposisi dengan neraca massa dan diperoleh perbandingan komposisi ore : batu bara: fluks : aditif : kanji, untuk masing – masing variable zat aditif sebesar :

Tabel 3.2 Perbandingan Komposisi Briket

Variabel Aditif	Bijih Nikel (gram)	Batubara (gram)	Aditif (gram)	Kanji (gram)	Massa Total (gram)
Na_2SO_4	100	50	17.26	5	172.26
Na_2CO_3	100	50	17.26	5	172.26
CaSO_4	100	50	17.26	5	172.26

**Tabel 3.3** Rancangan Penelitian

Jenis Aditif	Hasil Pengujian	
	XRD	EDX
Na ₂ SO ₄	V	V
Na ₂ CO ₃	V	V
CaSO ₄	V	V

3.6 Jadwal Penelitian

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

Tabel 3.4 Rencana Jadwal Penelitian

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

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan

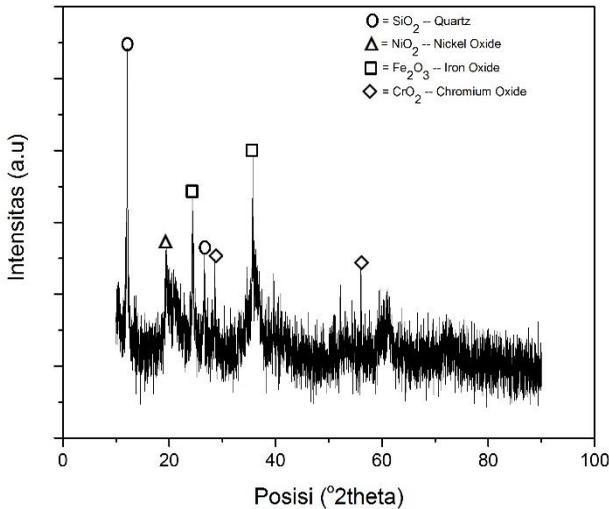
4.1.1 Bijih Nikel Lateritik Limonitik

Bijih Nikel Lateritik yang digunakan berupa limonit yang berasal dari Sulawesi Tenggara. Pengujian EDX dilakukan untuk mengetahui komposisi / kadar bijih nikel laterit. Sebelum dilakukannya pengujian, terlebih dahulu dilakukan preparasi berupa *crushing* sampel bijih nikel laterit sampai ukuran ayakan 50 *mesh* atau 300 μm . Berdasarkan hasil pengujian EDX didapatkan komposisi bijih nikel laterit yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Lateritik Limonit

Unsur	Ni	Fe	O	Mg	Al	Si	Ca	Cr	V	Mn
% wt	1,25	57,95	15,95	7,58	0,54	11,525	0,52	1,69	0,75	2,2

Identifikasi fasa dari bijih nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical* Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar $1,54056 \text{ \AA}$. Hasil pengujian XRD dari bijih nikel limonit laterit dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit Limonite

Pengujian XRD menunjukkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 di atas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *HighScore*, didapatkan hasil analisa *peak* pada bijih nikel laterit limonitik dengan fasa dominan yaitu *quartz* (SiO₂). Selain itu juga terdapat fasa *Iron Oxide* (Fe₂O₃), *nickel oxide* (NiO₂), dan *chromium oxide* (CrO₂). Mineral silika merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan tambang/galian yang berupa mineral silika (SiO₂) (Della, 2002). Selain itu, terdapat juga fasa *iron oxide* dan *nickel oxide* yang mana nantinya akan direduksi dan diharapkan berikatan sehingga membentuk *solid solution* (FeNi).

4.1.2 Batubara

Batubara berperan sebagai penyedia karbon dalam bertindak sebagai reduktor untuk menghasilkan gas CO yang digunakan untuk mereduksi Fe₂O₃ menjadi Fe dan NiO menjadi Ni. Pengujian *proximate analysis* dilakukan untuk mengetahui kadar



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

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
Kelembapan Total (Moisture)	1,8	%, ar	ASTM D3302-02
Kadar Abu (Ash)	4,75	%, ar	ASTM D3174-02
Kadar Karbon Tetap (Fixed Carbon)	42,35	%, adb	ASTM D3175-02
Kadar Zat yang mudah menguap (Volatile Matter)	52,86	%, adb	ASTM D3172-02
Nilai Kalori	7204	Cal/gr,adb	ASTM D5865-03

Batu bara ini memiliki nilai kalori yang cukup tinggi, yaitu 7204 kal/gr dan kadar karbon 42,35 %. Sehingga dapat dikategorikan sebagai batu bara golongan Sub-bituminus. Hasil dari *proximate analysis* di atas digunakan untuk perhitungan neraca massa yang digunakan untuk menghitung kebutuhan fluks, batu bara, zat aditif dan kanji untuk proses reduksi.

4.1.3 Dolomit

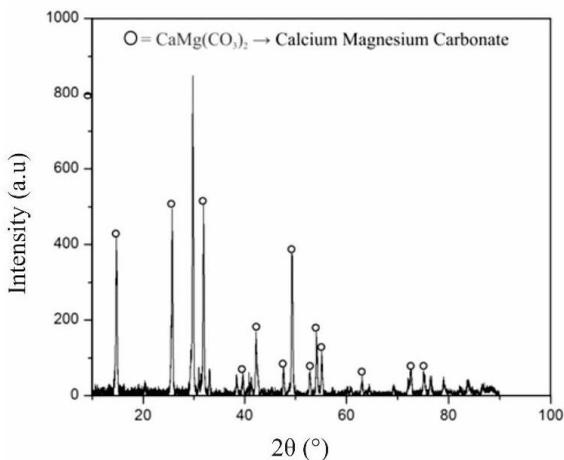
Pengujian EDX dilakukan untuk mengetahui komposisi yang terdapat pada dolomit. Batu dolomit yang digunakan berupa dolomit yang berasal dari Gresik, Jawa Timur. Sebelum dilakukannya pengujian, terlebih dahulu dilakukan preparasi berupa *crushing* sampel batu kapur dolomit sampai ukuran ayakan 50 *mesh* atau 300 μm . Hasil pengujian EDX pada dolomit ditunjukkan oleh Tabel 4.3. dibawa

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian EDX Dolomit

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

Berdasarkan hasil pengujian EDX di atas tampak bahwa dolomit memiliki kandungan Mg yang cukup tinggi, yaitu 14,30 %. Dari kandungan Mg tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *dolostone* atau dolomit bukan *limestone*. Dari segi proses aglomerasi, baik Mg maupun Ca yang membentuk senyawa $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ akan membantu proses dengan cara menyediakan gas CO_2 untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.7.

Identifikasi fasa dari batu kapur dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical* Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar $1,54056 \text{ \AA}$. Hasil pengujian XRD dari batu kapur dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Hasil Pengujian XRD Dolomit

Pengujian XRD dari batu kapur menunjukkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 diatas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *Match!3*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada batu kapur. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada batu kapur tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada batu kapur adalah *Calcium Magnesium Carbonate* ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

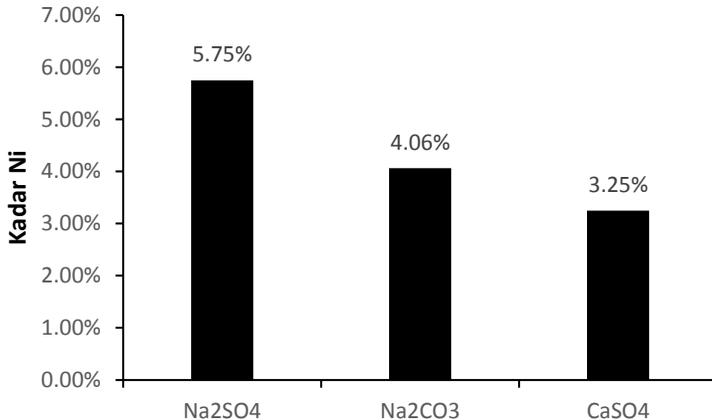
4.2 Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Fe dan Ni Pada Hasil Proses Reduksi

Variasi jenis aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , dan CaSO_4) yang digunakan memiliki massa yang sama sebesar 10%, pada proses reduksi bijih nikel laterit limonit akan mempengaruhi kadar unsur nikel dan besi pada proses reduksi. Hasil dari proses reduksi ini berupa serbuk yang kemudian dilakukan pengujian EDX dengan tujuan untuk mengetahui perubahan komposisi pada Ni dan Fe yang terjadi setelah proses reduksi.



4.2.1 Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Unsur Ni Pada Produk Hasil Reduksi

Variasi jenis fluks pada proses reduksi briket nikel laterit limonitik akan mempengaruhi kadar unsur Ni pada produk logam hasil proses reduksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Unsur Ni pada Produk Hasil Proses Reduksi

Hasil Pengujian EDX (Tabel 4.1) menunjukkan bahwa kadar awal unsur bijih nikel laterit limonit adalah 1,25%, setelah dilakukan proses reduksi pada temperature 1400°C dengan menggunakan masing – masing jenis aditif diperoleh peningkatan pada kadar unsur Ni pada produk hasil reduksi. Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada zat aditif CaSO₄ diperoleh kadar unsur Ni pada produk hasil reduksi sebesar 3,25% dengan peningkatan sebesar 2,00%. Peningkatan kadar Ni dengan zat aditif Na₂CO₃ terjadi peningkatan sebesar 2,81% dengan kadar unsur Ni produk hasil reduksi sebesar 4,06%. Peningkatan kadar unsur Ni dengan zat aditif Na₂CO₃ lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan zat aditif CaSO₄. Selanjutnya, peningkatan kadar unsur Ni tertinggi



terdapat pada aditif Na_2SO_4 sebesar 4,5% dengan kadar unsur Ni produk hasil reduksi sebesar 5,75%.

Peningkatan kadar unsur Ni ini terjadi karena adanya proses dekomposisi pada *goethite* ($(\text{Fe},\text{Ni})\text{OOH}$) yang terjadi pada temperature 250 - 700^oC yang disebabkan oleh reaksi dehidrosilasi sehingga senyawa tersebut akan melepaskan senyawa hidroksidanya. (Li, 2012). Reaksi ini menyebabkan terpisahnya senyawa NiO (*nickel oxide*) dan Fe_2O_3 (*Hematite*) dari ore seperti reaksi yang ditunjukkan pada Persamaan 2.3 dan 2.6 (Crundwell, 2011). Selama proses reduksi terjadi peningkatan temperature yang menyebabkan terjadinya reaksi Boudard, dimana terjadi reaksi antara karbon (C) dan karbon dioksida (CO_2) yang menghasilkan gas CO. Kemudian senyawa NiO akan tereduksi menjadi Ni oleh gas CO yang merupakan hasil dari reaksi Boudard (Persamaan 2.18).

Pada produk hasil reduksi dengan menggunakan zat aditif Na_2CO_3 didapatkan kadar nikel sebesar 4,06% dan peningkatan sebesar 2,81% dari kadar unsur Ni awal. Pada variable ini ditambahkan aditif sebesar 10% Na_2CO_3 dari total massa. Penambahan dengan menggunakan jenis aditif ini bertujuan untuk meningkatkan selektifitas Ni dengan menurunkan kadar senyawa yang tidak diinginkan atau zat pengotor. Na_2CO_3 akan terurai menjadi Na_2O dan CO_2 pada temperature 1000^oC. Senyawa Na_2O yang terbentuk akan mampu untuk mengikat unsur pengotor seperti Cr, Al, Si. (Guo, 2014). Hal inilah yang menyebabkan terjadinya peningkatan pada kadar unsur Ni. Sementara CO_2 yang terbentuk dari reaksi dekomposisi akan bereaksi dengan unsur C dan membentuk CO seperti pada reaksi Boudard, Persamaan 2.16.

Pada produk hasil reduksi dengan menggunakan zat aditif CaSO_4 didapatkan kadar nikel sebesar 3,25% dengan peningkatan kadar sebesar 2,00% dari kadar unsur Ni awal. Pada variable ini ditambahkan aditif sebesar 10% CaSO_4 dari total massa. Penambahan aditif CaSO_4 bertujuan agar unsur Fe dapat bereaksi dengan sulfur dari CaSO_4 . CaSO_4 akan terdekomposisi menjadi $\text{S}_{2(\text{g})}$, $\text{O}_{2(\text{g})}$ dan CaO, sehingga akan terbentuk FeS dan terpisah

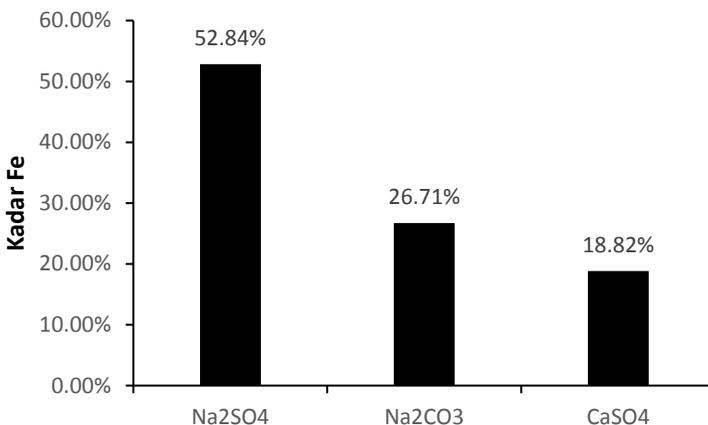


sebagai slag yang menyebabkan peningkatan pada kadar unsur Ni. (Zhu, 2014). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mayangsari, dkk, tahun 2016 menunjukkan bahwa penambahan aditif 5% hingga 20% CaSO_4 tidak memberikan peningkatan kadar Ni secara signifikan. Hal inilah yang menyebabkan peningkatan kadar Ni pada aditif CaSO_4 merupakan yang terendah dibandingkan aditif lainnya.

Sementara pada produk hasil reduksi dengan menggunakan aditif Na_2SO_4 di dapatkan peningkatan kadar unsur Ni tertinggi dibandingkan dengan menggunakan jenis aditif lainnya. Menurut Man Jiang, dkk. Na_2SO_4 akan terdekomposisi menjadi Na_2S , Na_2O , dan S. Na_2S yang berasal dari hasil dekomposisi ini akan bereaksi untuk mengikat FeO dan SiO_2 . (Jiang, 2012). Dengan terikatnya unsur besi dan silika yang merupakan unsur pengotor yang memiliki kandungan yang tinggi pada ore yang dapat dilihat pada Tabel 4.1, hal inilah yang menyebabkan semakin meningkatnya unsur Ni.

4.2.2 Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Unsur Fe Pada Produk Hasil Reduksi

Variasi jenis aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , dan CaSO_4) yang digunakan memiliki massa yang sama sebesar 10%, pada proses reduksi briket nikel laterit limonitik akan mempengaruhi kadar unsur Fe pada produk logam hasil proses reduksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Unsur Fe pada Produk Hasil Proses Reduksi

Hasil Pengujian EDX (Tabel 4.1) menunjukkan bahwa kadar awal unsur bijih Fe lateritik limontik adalah 57,95%, setelah dilakukan proses reduksi pada temperature 1400°C pada masing – masing jenis aditif diperoleh penurunan pada kadar unsur Fe. Dari Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa dengan pada aditif Na₂CO₃ diperoleh kadar unsur Fe pada produk hasil reduksi sebesar 26.71% dengan penurunan sebesar 31,24%. Penurunan kadar Fe tertinggi diperoleh dengan aditif CaSO₄ sebesar 39,13% dengan kadar unsur Fe produk hasil reduksi sebesar 18.82%. Selanjutnya, terjadi penurunan kadar unsur Fe terendah yaitu dengan aditif Na₂SO₄ sebesar 5,11% dengan kadar unsur Fe produk hasil reduksi sebesar 52,84%.

Penurunan ini terjadi karena adanya faktor selektivitas, dimana peningkatan kadar Ni akan mengakibatkan menurunnya kadar Fe (Shoubao Li, 1999).

Penurunan yang terjadi pada jenis aditif Na₂CO₃ terjadi karena terjadinya reaksi pembentukan Fe₂O₃ yang dapat dilihat pada Persamaan 2.32 (Guo, 2014). Dimana reaksi reduksi yang seharusnya terjadi adalah dari Fe₂O₃ → Fe₃O₄ → FeO → Fe.



(Elliot, 2016). Namun, dikarenakan oleh beraksinya Na_2O dengan FeO dan menghasilkan Fe_2O_3 yang menyebabkan reaksi pada Persamaan 2.11 proses reduksi yang terjadi tidak dapat berlangsung dengan sempurna. Hal inilah yang menyebabkan penurunan kadar unsur Fe pada jenis aditif Na_2CO_3 yang terjadi kurang signifikan.

Pada variable jenis aditif CaSO_4 yang mengalami penurunan kadar unsur Fe tertinggi terjadi dikarenakan CaSO_4 yang terdekomposisi dan membentuk CaO dan S , unsur akan bereaksi dengan Fe dan membentuk FeS yang terpisah kedalam slag. Sedangkan CaO akan bereaksi dengan SiO_2 dan FeO pada ore nikel laterit limonit dan membentuk kirstenit (CaFeSiO_4), seperti yang dapat dilihat pada Persamaan 2.37 (Zhu, 2014). Hal ini berarti unsur Fe yang terikat akan semakin banyak dan menjadi penyebab tingginya penurunan pada unsur Fe pada produk karena semakin banyaknya unsur Fe yang terikat dengan unsur lain dan masuk kedalam slag.

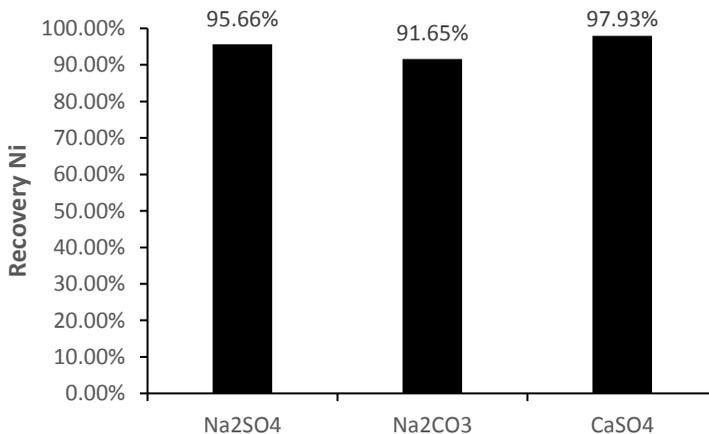
Penurunan yang terjadi pada jenis aditif Na_2SO_4 merupakan yang paling rendah dibandingkan dengan menggunakan jenis aditif lain. Seharusnya Na_2SO_4 merupakan aditif yang efektif untuk menurunkan kadar Fe pada produk hasil reduksi, ($\text{Na}_2\text{O} + \text{S}$) dan Na_2S , Persamaan 2.26 dan 2.27, yang terbentuk dari proses dekomposisi akan mampu untuk mengikat Fe dan membentuk FeO dan FeS , seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.28 dan 2.29 (Guanghai Li, 2012). Peranan Na_2SO_4 dalam menurunkan kadar Fe sangat besar, hal yang menyebabkan rendahnya tingkat penurunan kadar Fe ini adalah pada kondisi dari proses reduksi yang berlangsung kurang baik. Proses reduksi besi oksida dari $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$, tidak berlangsung secara sempurna. Selain itu, proses dekomposisi dari Na_2SO_4 menjasi Na_2S , Na_2O , dan S , juga tidak berjalan secara ideal dikarenakan kondisi atmosfer dari proses reduksi tidak berjalan secara lancar. Hal ini akan berakibat terhadap sedikitnya senyawa FeS yang terbentuk, dimana FeS merupakan *nonmagnetic* yang pada proses pemisahan magnetic akan masuk ke slag dan terpisah dari produk,



sehingga dapat menurunkan unsur Fe yang terkandung di dalam produk hasil proses reduksi. (Jiang, 2013)

4.3 Pengaruh Jenis Aditif Terhadap *Recovery* Fe dan Ni Produk

Proses reduksi pada bijih nikel laterit bertujuan untuk memisahkan unsur Ni dari unsur pengotor lainnya yang tidak diinginkan. Sehingga, semakin tingginya nilai perolehan logam (*recovery*) membuktikan bahwa proses reduksi yang berlangsung semakin baik. Nilai *recovery* merupakan presentase dari total logam yang terkandung dalam bijih (*ore*) yang diperoleh dari konsentrat atau produk (B. A. Wills, 2005)



Gambar 4.5 *Recovery* Ni Produk Hasil Reduksi

Untuk mengetahui perolehan *recovery* nikel dilakukan dengan membandingkan massa nikel awal dengan massa nikel hasil proses reduksi. Massa Ni hasil proses reduksi yang dihitung adalah dari hasil produk, perhitungan massa Ni dilakukan dengan mengalikan kadar Ni dengan total massa perolehan hasil reduksi (serbuk).



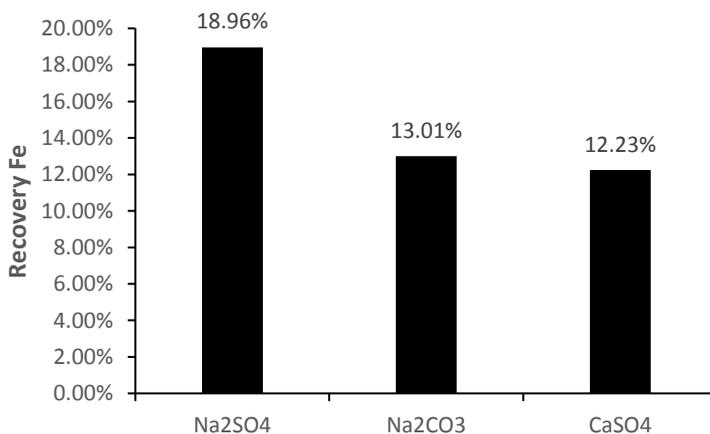
Berdasarkan Gambar 4.5, diperoleh bahwa nilai *Recovery* Ni tertinggi adalah variable dengan menggunakan aditif CaSO_4 yaitu sebesar 97,93%. Sementara dengan menggunakan aditif Na_2CO_3 didapatkan nilai *Recovery* Ni sebesar 91,65%. Dan nilai *Recovery* Ni yang menggunakan aditif Na_2SO_4 didapatkan nilai *Recovery* sebesar 95,66%

Kadar unsur Ni yang terdapat pada ore ialah 1,25% dan pada setiap variabelnya menggunakan ore yang sama. Pada aditif Na_2CO_3 setelah dilakukan proses reduksi dan *magnetic separation* didapatkan kadar unsur Ni sebesar 4,06% dan massa produk seberat 11,71 gram. Berdasarkan data hasil reduksi maka didapatkan nilai *recovery* Ni sebesar 91,65% pada penggunaan aditif Na_2CO_3 . Seperti pada pembahasan meningkatnya unsur Ni pada penggunaan aditif Na_2CO_3 , hal ini berpengaruh juga pada tingginya nilai *recovery* Ni yang didapat. Na_2CO_3 akan terdekomposisi menjadi Na_2O dan CO_2 . Na_2O mampu mengikat banyak unsur pengotor seperti Cr, Al, Si yang menyebabkan unsur Ni terpisah dari unsur pengotor lainnya dan semakin menjadi murni, hal inilah yang menyebabkan peningkatan nilai *recovery* dari Ni menjadi tinggi. Sementara CO_2 yang terbentuk akan bereaksi dengan unsur C dan membentuk CO seperti pada reaksi Boudard. (Guo, 2014)

Pada variable yang menggunakan aditif CaSO_4 didapatkan bahwa massa produk seberat 15,63gram dan kadar unsur Ni sebesar 3,25%. Berdasarkan data hasil reduksi tersebut didapatkan bahwa nilai *recovery* Ni sebesar 97,93%, yang berarti pada aditif CaSO_4 ini didapatkan nilai *recovery* Ni yang tertinggi dibandingkan dengan jenis aditif lainnya. Tingginya nilai *recovery* Ni disebabkan oleh terikatnya unsur Fe dengan sulfur yang berasal dari dekomposisi CaSO_4 . Berdasarkan hasil dekomposisi ini akan bereaksi dengan SiO dan FeO yang berarti akan mengikat unsur pengotor, sementara S akan mengikat Fe dan membentuk FeS yang terpisah dari produk dan masuk ke slag. (Zhu, 2014). Karena banyaknya unsur pengotor yang terikat inilah, maka Ni akan semakin banyak yang terkandung pada produk hasil reduksi.



Pada variable yang menggunakan aditif Na_2SO_4 didapatkan bahwa massa produk yang seberat 8,63gram dengan kadar unsur Ni sebesar 5,75%. Berdasarkan data produk hasil reduksi tersebut didapatkan bahwa nilai *recovery* Ni sebesar 95,66%. Nilai *recovery* yang tinggi ini, seperti yang sudah dibahas pada pembahasan tingginya kadar Ni pada aditif ini, karena senyawa yang terbentuk dari dekomposisi Na_2SO_4 mampu untuk mengikat unsur pengotor seperti Fe dan Si yang memang terkandung banyak pada ore. Penambahan Na_2SO_4 juga menyebabkan kinetika reduksi bijih nikel laterit berlangsung lebih baik sehingga pelepasan besi dan nikel dari mineralnya menjadi kondusif. (Wahyu, 2016).



Gambar 4.6 *Recovery* Fe Produk Hasil Reduksi

Untuk mengetahui *recovery* besi dilakukan dengan membandingkan massa besi awal dengan massa besi hasil proses reduksi. Massa Fe hasil proses reduksi yang dihitung adalah dari hasil serbuk, perhitungan massa Fe dilakukan dengan mengalikan kadar Fe dengan total massa perolehan hasil reduksi.

Berdasarkan Gambar 4.6 nilai *recovery* Fe setelah proses reduksi diperoleh bahwa *recovery* Fe terendah adalah dengan aditif



CaSO_4 sebesar 12,23%. Selanjutnya, nilai *recovery* Fe pada jenis aditif Na_2CO_3 didapatkan sebesar 13,01%. Sementara dengan menggunakan aditif Na_2SO_4 didapatkan nilai *recovery* Fe terbesar yaitu 18,96%. Nilai *recovery* dari Fe lebih kecil dibandingkan dengan Ni karena factor selektifitas yang menurunkan kadar Fe. (Man Jiang, 2013)

Nilai *recovery* yang kecil pada Fe disebabkan adanya agen selektivitas yang menurunkan perolehan Fe karena berikatan dengan S membentuk FeS yang merupakan senyawa pengotor. (Guang Li, 2012). Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhu dkk., dimana unsur S akan berikatan dengan Fe dan membentuk FeS yang nantinya akan terpisah ke dalam slag. Selain itu pada aditif CaSO_4 , senyawa CaO yang terbentuk juga akan bereaksi dengan FeO dan SiO_2 yang berarti akan semakin banyak unsur Fe yang berikatan dengan unsur lain dan semakin rendahnya kadar Fe yang terkandung dalam produk yang juga menyebabkan nilai *recovery* dari Fe semakin rendah.

Sementara pada aditif Na_2CO_3 yang tidak mengandung sulfur, akan terjadi reaksi pengikatan FeO seperti pada persamaan 2.32, reaksi reduksi yang terjadi berjalan kurang sempurna karena masih terlalu banyaknya ikatan yang terikat, dan menyebabkan masih tingginya kadar unsur Fe yang terdapat dalam produk, karena hal inilah nilai *recovery* Fe tertinggi terdapat pada aditif Na_2CO_3 . (Qiang Guo, 2013)

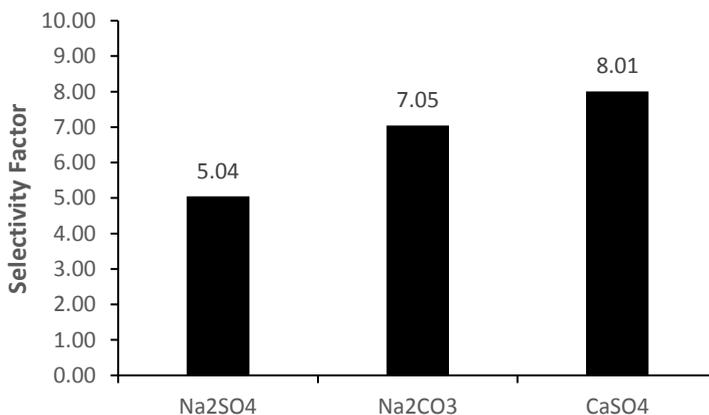
Nilai *recovery* Fe terbesar yang didapat dengan menggunakan Na_2SO_4 , tingginya nilai *recovery* Fe pada jenis aditif ini berhubungan dengan tingginya kadar Fe yang terdapat pada produk hasil proses reduksi. Seperti yang sudah dibahas pada tingginya kadar Fe yang terkandung pada aditif Na_2SO_4 , proses dekomposisi Na_2SO_4 yang membentuk Na_2O , Na_2S , dan S. unsur S seharusnya bereaksi dengan Fe dan membentuk FeS yang bersifat *nonmagnetic*, sehingga unsur Fe yang terdapat pada produk akan menurun disebabkan oleh masuknya FeS ke dalam slag. (Man Jiang, 2013)



4.4 Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Selectivity Factor

Dalam proses reduksi bijih nikel laterit peningkatan kadar Ni dan Fe saling berpengaruh, artinya dengan meningkatnya kadar Fe akan menurunkan kadar Ni begitu pula sebaliknya, sehingga dalam upaya mendapatkan kadar Ni peningkatan kadar Fe harus dibatasi. Dalam proses reduksi bijih nikel laterit faktor selektivitas ini dipengaruhi oleh atmosfer reduksi dimana menurut semakin rendah atmosfer reduksi akan semakin meningkatkan faktor selektivitas (Pickles dkk., 2014).

Faktor selektivitas pada penelitian menunjukkan kemampuan untuk mereduksi Ni dan Fe, dimana semakin tinggi kemampuan reduksi Ni dan semakin rendah kemampuan reduksi Fe akan meningkatkan nilai faktor selektivitas. Kemampuan reduksi dapat direpresentasikan dengan kadar Ni dan Fe hasil reduksi. Pada proses reduksi selektif, struktur kristal Fe yang merupakan komponen magnetik diubah menjadi komponen non magnetik, juga komponen – komponen magnetik lain yang terkandung pada bijih laterit sehingga selektivitas nikel dapat ditingkatkan (Kim, 2009). Selain itu, penambahan senyawa aditif kedalam proses reduksi juga akan mempengaruhi nilai selektifitas yang didapatkan.



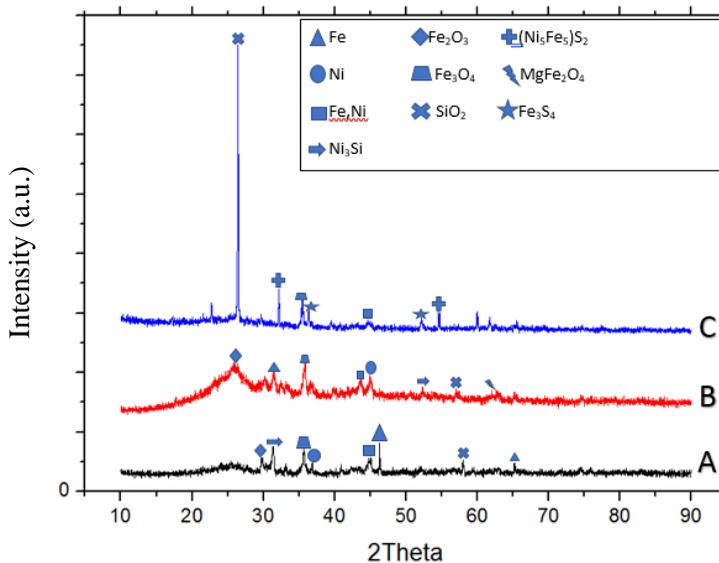
Gambar 4.7 Nilai Selectivity Factor



Nilai selektivitas yang didapatkan pada aditif Na_2CO_3 sebesar 7,05. Nilai factor selektifitas tertinggi didapatkan pada jenis aditif CaSO_4 dengan nilai selektivitas sebesar 8,01. Sedangkan nilai selektifitas terendah diperoleh dengan aditif Na_2SO_4 yaitu sebesar 5,04. Hal ini ditunjukkan dengan semakin tingginya kadar Ni produk hasil reduksi akan mengakibatkan semakin rendahnya kadar Fe mengalami penurunan. (Guanghui Li, 2012). Semakin tingginya nilai factor selektifitas yang didapatkan menunjukkan semakin maksimalnya peranan aditif dalam mereduksi Ni dan Fe. Struktur kristal Fe yang merupakan komponen magnetic diubah menjadi komponen nonmagnetic oleh agen selektifitas seperti zat aditif, yang juga merubah komponen – komponen magnetic lain yang terkandung dalam bijih nikel laterit sehingga nilai selektifitas nikel dapat meningkat. (Mayangsari, 2016).

4.5 Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Senyawa Produk Hasil Reduksi

Untuk mengetahui fasa apa saja yang terbentuk pada Produk Hasil Reduksi maka dilakukan karakterisasi XRD. Produk hasil reduksi terdiri dari dua yaitu produk dan slag. Karakterisasi XRD untuk produk logam hasil proses reduksi dapat dilihat pada Gambar 4.8 dimana label A (berwarna hitam) ialah CaSO_4 , label B (berwarna merah) adalah Na_2CO_3 dan label C (berwarna biru) adalah Na_2SO_4 .



Gambar 4.8 Hasil Pengujian XRD pada Produk Hasil Proses Reduksi dengan Variasi Jenis Aditif

Gambar 4.8 merupakan hasil pengujian XRD pada produk hasil proses reduksi, fasa fasa yang teridentifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.4

**Tabel 4.4** Identifikasi Fasa pada Metal Hasil Proses Reduksi

No	Fasa	Rumus Kimia
1	Silika oksida	SiO ₂
2	Nickel Silica	Ni ₃ Si
3	Hematite	Fe ₂ O ₃
4	Magnetite	Fe ₃ O ₄
5	Ferronickel	FeNi
6	Fe	Fe
7	Ni	Ni
8	Magnesium Ferrite	MgFe ₂ O ₄
9	Nickel Iron Sulfide	(Ni ₃ Fe ₅)S ₂
10	Iron Sulfide	Fe ₃ S ₄

Hasil proses reduksi variasi jenis aditif CaSO₄(A) menghasilkan logam hasil proses reduksi. Pada Gambar 4.8 (A) menunjukkan fasa - fasa yang terbentuk pada metal hasil proses reduksi yaitu pada puncak 2θ 29,83 ialah merupakan fasa Fe₂O₃ (*Hematite*), fasa ini menunjukkan bahwa proses reduksi belum terjadi secara sempurna gas CO sehingga masih terikat dalam bentuk hematite. Selanjutnya pada puncak 2θ 31,41 terdapat fasa Nickel Silica dimana unsur Ni masih berikatan dengan unsur pengotor Si. Pada puncak 2θ 35,64 terdapat fasa magnetite mengindikasikan telah terjadinya reduksi Fe₂O₃ dengan gas CO hasil reaksi boudard. Fasa Ni ditemukan pada puncak 2θ 36,82. Fasa ferronickel (nickel iron) ditemukan pada peak 2θ 45,02. Fasa logam Fe ditemukan pada peak 2θ 46,26 yang merupakan peak tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa proses reduksi langsung telah terjadi dimana Fe₂O₃ mengalami rangkaian reaksi reduksi seperti persamaan 2.11 yang menghasilkan Fe dan NiO tereduksi menghasilkan fasa Ni seperti reaksi 2.17. Fasa Silika Oksida juga ditemukan pada peak 2θ 57,97 yang berarti unsur pengotor Si belum terikat seluruhnya menjadi slag.

Pada Gambar 4.8 dengan jenis aditif Na₂CO₃(B) , puncak tertinggi adalah fasa magnetite, hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi reduksi antara Fe₂O₃ oleh gas CO yang berasal dari



reaksi boduard (2.16) sehingga membentuk fasa magnetite (Fe_3O_4). Pada peak 2 θ 25,64 terdapat fasa hematite yang menunjukkan bahwa Fe_2O_3 belum dapat tereduksi secara seluruhnya. Sementara pada peak 2 θ 30,76 terdapat logam Fe yang menandakan bahwa rangkaian proses reduksi langsung telah berlangsung dengan baik. Selanjutnya, pada peak 2 θ 35,76 yang merupakan peak tertinggi berupa fasa magnetite. Pada peak 2 θ 43,53 terdapat fasa ferronickel yang merupakan salah satu hasil produk yang diinginkan dalam proses reduksi ini. Sementara, pada peak 2 θ 44, 95 merupakan logam Ni yang juga menunjukkan proses reduksi NiO oleh gas CO (2.18) telah berlangsung. Pada peak 2 θ 52,39 merupakan fasa nikel silika yang berarti unsur Ni belum seluruhnya terpisah dari pengotor lain. Pada peak 2 θ 57,10 merupakan fasa silika oksida dan pada peak 2 θ 62,85 merupakan fasa magnesium ferrite yang menunjukkan bahwa Fe juga bereaksi terhadap unsur Mg yang berasal dari dolomit.

Pada Gambar 4.8 dengan jenis aditif $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{C})$, Pada variabel ini terdapat fasa SiO_2 pada puncak 2 θ 26,605. Adapun fasa *Nickel Iron Sulfide* [$(\text{Ni}_3\text{Fe}_5)\text{S}_2$] pada puncak 2 θ 32,114 dan 54,604. Fasa *Nickel Iron* (FeNi) didapatkan pada puncak 2 θ 44,647. Fasa *Iron Sulfide* (Fe_3S_4) di puncak 2 θ 36,342 dan 52,342. Fasa *Magnetite* (Fe_3O_4) terbentuk pada puncak 2 θ 35,521. Fasa Fe_3O_4 dan merupakan fasa besi oksida yang tidak berhasil direduksi oleh gas CO secara maksimal. Kemudian fasa $(\text{Ni}_5\text{Fe}_5)\text{S}_2$ merupakan fasa yang terbentuk dari unsur yang diinginkan berikatan dengan pengotor yang terdapat pada kandungan bijih nikel laterit. Untuk fasa $(\text{Ni}_5\text{Fe}_5)\text{S}_2$ merupakan produk yang tidak tereduksi sempurna dikarenakan masih terdapat unsur belerang. Belerang pada fasa ini merupakan hasil dari fasa FeS yang tidak tereduksi secara sempurna pada proses reduksi. Selanjutnya untuk fasa SiO_2 dan Fe_3S_4 merupakan pengotor dari proses reduksi. SiO_2 merupakan fasa pengotor yang tidak tereduksi dengan baik pada saat proses, sedangkan fasa Fe_3S_4 merupakan fasa yang terbentuk akibat reaksi dari besi dengan belerang yang berasal dari dekomposisi aditif

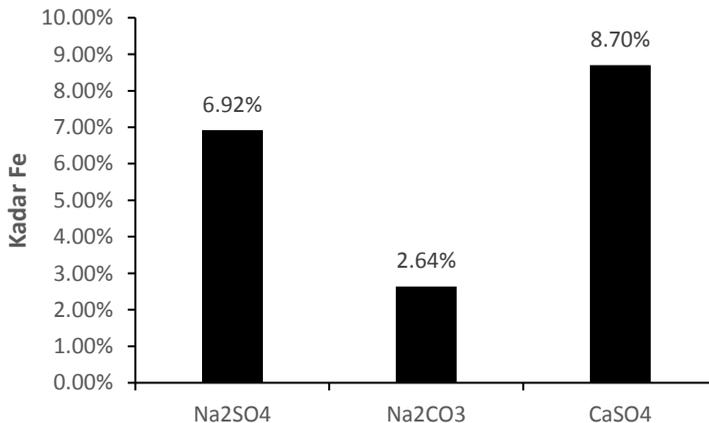


Na_2SO_4 . Seharusnya fasa ini meleleh pada saat proses reduksi karena memiliki temperatur leleh rendah.

4.6 Pengaruh Jenis Aditif Terhadap Kadar Unsur Ni dan Fe Serta Senyawa Pada Slag Hasil Proses Reduksi

Proses reduksi pada bijih nikel laterit bertujuan untuk memisahkan Ni dengan unsur atau senyawa pengotor yang tidak diinginkan. Proses pemisahan tersebut dilakukan dengan proses pemisahan magnetic. Slag merupakan hasil produk reduksi yang dibuang dan bersifat non magnetik. Pengujian EDX dilakukan untuk melihat kadar Fe dan Ni pada slag hasil proses reduksi. Unsur Fe dan Ni yang terikut pada slag akan menjadi hasil yang dibuang pada proses reduksi.

Berdasarkan hasil pengujian EDX diketahui bahwa pada slag hasil proses reduksi pada ketiga jenis aditif sudah tidak terdapat kadar unsur Ni. Hal ini menunjukkan bahwa proses reduksi telah berjalan dengan baik dan berhasil mencapai tujuannya untuk memisahkan unsur Ni dari pengotor, sehingga telah tidak adanya unsur Ni yang terbangun sebagai slag.



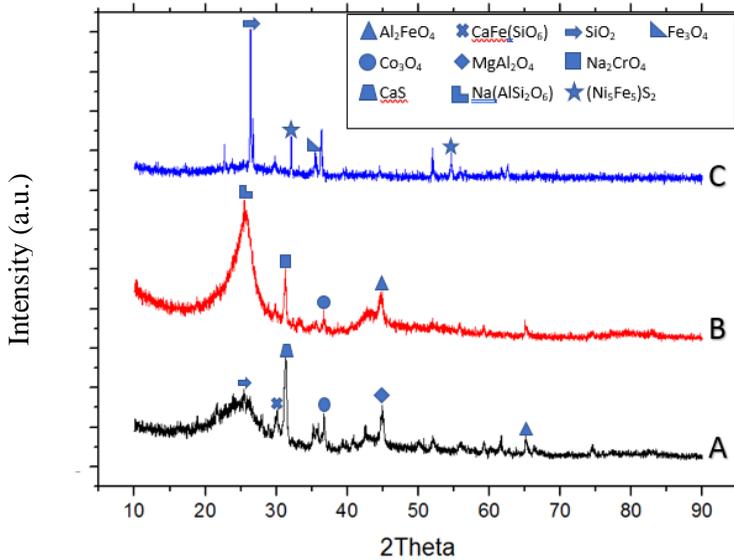
Gambar 4.9 Kadar Fe dalam Slag Hasil Reduksi



Berdasarkan Gambar 4.9 didapatkan kadar Fe pada slag hasil proses reduksi. Kadar Fe tertinggi terdapat pada aditif CaSO_4 sebesar 8,70%. Pada aditif Na_2SO_4 didapatkan kadar Fe sebesar 6,92% dan kadar Fe terendah didapatkan pada aditif Na_2CO_3 sebesar 2,64%. Kadar Fe yang tinggi pada slag aditif CaSO_4 menunjukkan bahwa Fe banyak yang terikat ke dalam slag, hal ini sesuai dengan nilai *recovery* Fe terendah yang terdapat pada aditif CaSO_4 .

Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Mayangsari, dkk. Dimana pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa sulfur yang berasal dari CaSO_4 yang terdekomposisi akan mampu untuk mengikat unsur Fe dan membentuk FeS dan terpisah sebagai slag. Sementara kadar unsur Fe yang rendah pada aditif Na_2CO_3 menunjukkan bahwa proses reduksi yang terjadi kurang efektif. Na_2O dan CO_2 yang berasal dari dekomposisi Na_2CO_3 tidak terdekomposisi secara sempurna dan menyebabkan proses reduksi pada Fe tidak berjalan dengan sempurna. (Guo, 2014).

Karakterisasi XRD untuk slag hasil proses reduksi dapat dilihat pada Gambar 4.10 dimana label A (berwarna hitam) adalah aditif CaSO_4 , label B (berwarna merah) adalah aditif Na_2CO_3 dan label C (berwarna biru) adalah aditif Na_2SO_4 .



Gambar 4.10 Hasil Pengujian XRD pada Slag Hasil Proses Reduksi dengan Variasi Jenis Aditif

Gambar 4.10 merupakan hasil pengujian XRD pada slag hasil proses reduksi, fasa – fasa yang teridentifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.5 dibawah



Tabel 4.5 Identifikasi Fasa Pada Slag Hasil Reduksi

No	Fasa	Senyawa kimia
1	Hercynite	Al_2FeO_4
2	Cobalt Oxide	Co_3O_4
3	Calcium Sulfide	CaS
4		$CaFe(SiO_6)$
5	Magnesium Aluminate	$MgAl_2O_4$
6	Jadeite	$Na(AlSi_2O_6)$
7	Sodium Chromate	Na_2CrO_4
8	Silika Oksida	SiO_2
9	Nickel Iron Sulfide	$(Ni_5Fe_5)S_2$
10	Magnetite	Fe_3O_4

Hasil proses reduksi pada jenis $CaSO_4(A)$ menghasilkan slag hasil proses reduksi. Pada Gambar 4.10 (A) menunjukkan fasa - fasa yang terbentuk pada metal hasil proses reduksi, yaitu pada peak 20 25,36 ialah SiO_2 dan pada peak 20 30,12 terdapat fasa $CaFe(SiO_6)$. Fasa yang seharusnya terbentuk pada proses reduksi ini ialah *kirstenit* ($CaFeSiO_4$), seperti pada Persamaan 2.37, yang terbentuk dari bereaksinya CaO dengan SiO_2 dan FeO (Zhu, 2012), namun terbentuknya fasa $CaFe(SiO_6)$ ini menunjukkan bahwa unsur Ca telah mampu untuk mengikat pengotor Fe dan Si, meskipun belum mampu untuk bereaksi secara ideal. Selanjutnya, pada peak 20 31,32 terdapat fasa CaS yang merupakan peak tertinggi, hal ini menunjukkan bahwa aditif $CaSO_4$ belum dapat terdekomposisi secara sempurna pada proses reduksi ini. Pada peak 20 36,73 terdapat fasa cobalt oxide yang menunjukkan bahwa proses reduksi telah mampu untuk mengikat unsur pengotor cobalt (Co). Pada peak 20 44,97 terdapat fasa magnesium aluminate yang menunjukkan bahwa MgO yang berasal dari dekomposisi dolomit (Persamaan 2.7) mampu untuk mengikat unsur pengotor Al. Terakhir pada peak 20 65,09 terdapat fasa hercynite yang berasal



dari bereaksinya Unsur Fe dan Al dengan O karena proses reduksi yang berlangsung.

Pada Gambar 4.10 jenis aditif $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{B})$ terlihat pada peak 25,41 terdapat fasa jadeite atau $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6)$ yang merupakan peak tertinggi dan terbentuk dikarenakan bereaksi dengan aditif Na_2CO_3 , Na_2O yang berasal dari dekomposisi aditif, seperti pada Persamaan 2.35, memang akan bereaksi dengan Al dan SiO_2 (Guo, 2014). Pada peak 20 31,28 terdapat fasa sodium chromate, masih menurut Guo, dkk. Aditif Na_2CO_3 yang terdekomposisi memang akan bereaksi dengan unsur Cr dan akan membentuk Na_2CrO_4 , seperti pada Persamaan 2.31. Pada peak 20 36,69 terdapat fasa cobalt oxide yang terbentuk dikarenakan proses reduksi yang dilakukan. Selanjutnya, pada peak 20 44,63 terdapat fasa hercynite yang terbentuk juga dikarenakan oleh proses reduksi langsung.

Pada gambar 4.10 jenis aditif $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{C})$, . Pada jenis aditif ini fasa yang didapatkan yaitu *Silicon Oxide* (SiO_2) pada puncak 20 26,660, *Magnetite* (Fe_3O_4) pada puncak 20 35,441 , *Nickel Iron Sulfide* (Ni_5Fe_5) S_2 pada puncak 20 32,114 dan 54,604. Fasa SiO_2 merupakan pengotor pada bijih nikel laterit limonit yang belum tereduksi. Kemudian fasa Fe_3O_4 merupakan hasil reduksi dari Fe_2O_3 yang belum tereduksi sempurna hingga menjadi Fe oleh gas CO. Selanjutnya untuk fasa (Ni_5Fe_5) S_2 merupakan pengotor dari produk yang diharapkan karena senyawa (Fe,Ni) berikatan dengan belerang. Fasa ini terbentuk dari reaksi antara FeS dengan Ni sehingga Ni murni tadi terikat dan menjadi pengotor, dikarenakan fasa FeS ini seharusnya leleh pada saat proses reduksi dan meningkatkan pertumbuhan logam. Efek lainnya dengan terbentuknya fasa FeS yaitu meningkatkan kadar logam lain terutama Ni yang diharapkan pada proses reduksi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa data dan pembahasan dari hasil simulasi maka kesimpulan yang diperoleh, yaitu:

1. Penggunaan variasi jenis aditif dapat mempengaruhi kadar Ni dan Fe dalam pada hasil proses reduksi. Peningkatan kadar Ni tertinggi didapatkan saat briket direduksi dengan jenis aditif Na_2SO_4 sebesar 4,5%, hal ini disebabkan aditif Na_2SO_4 mampu mengikat unsur pengotor berupa besi dan silika yang merupakan unsur pengotor yang memiliki kandungan yang tinggi pada ore. Penurunan kadar Fe tertinggi didapatkan saat briket direduksi dengan jenis aditif CaSO_4 sebesar 39,13%, hal ini disebabkan hasil dekomposisi Ca_2SO_4 bereaksi dengan Fe dan membuatnya terpisah ke dalam slag.
2. Penggunaan variasi jenis aditif mempengaruhi nilai *recovery* Ni dan Fe pada hasil proses reduksi. *Recovery* Ni paling tinggi didapat dengan jenis aditif CaSO_4 yaitu sebesar 97,93%, karena aditif Ca_2SO_4 mampu untuk mengikat banyak unsur pengotor yang menyebabkan Ni semakin banyak terkandung pada produk. Sedangkan nilai *recovery* Fe paling tinggi didapatkan pada jenis aditif Na_2SO_4 yaitu sebesar 18,96%, hal ini berhubungan dengan tingginya kadar Fe yang terdapat pada produk.
3. Penggunaan variasi jenis aditif mempengaruhi senyawa produk dan slag yang terbentuk dari proses reduksi. Pada masing – masing jenis aditif terbentuk fasa SiO_2 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , (Fe,Ni). Pada aditif Na_2SO_4 terbentuk fasa Fe_3S_4 , sementara pada aditif Na_2CO_3 terbentuk fasa MgFe_2O_4 , dan pada aditif CaSO_4 terbentuk fasa Ni_3Si .

5.2. Saran

Saran untuk riset selanjutnya dari penelitian ini agar diperoleh hasil analisis yang lebih akurat, adalah:



1. Melakukan penelitian reduksi bijih nikel laterit limonit dengan menggunakan variasi jenis aditif lainnya.
2. Melakukan penelitian tentang mekanisme pembentukan logam selama proses reduksi.
3. Mempelajari tentang mekanisme proses pemisahan Fe dan Ni dari unsur pengotor lainnya dengan lebih lanjut.
4. Melakukan percobaan reduksi langsung bijih nikel laterit dengan lebih berhati – hati.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Widi, Zulfiadi Zulhan, Achmad Shofi, Kusno Isnugroho, Fajar Nurjaman, and Erik Prasetyo. 2012. **"Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace."** *Prosiding InSINas*,.
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. New York: ASM International.
- Cao, Z.C., Sun, T.C., Yang, H.F., Wang, J.J., Wu, X.D. 2010. ***Recovery of iron and nickel from nickel laterite ore by direct reduction roasting and magnetic separation.*** J. Univ. Sci. Technol. Beijing.
- Crundwell, Frank K. 2011. ***Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals.*** Amsterdam: Elsevier Ltd,
- Dalvi, Ashok D, W Gordon Bacon, and Robert C Osborne. 2004 ***The Past and The Future of Nickel Laterites. International Convention*** , 1-7.
- Elliott, R., C. A. Pickles, dan J. Forster. 2016. **Thermodynamics of The Reduction Roasting of Nickeliferous Laterite Ores.** Canada : Queen's University
- Fathoni, M. W., & Mubarak, M. Z. 2015. **Studi Perilaku Pelindian Bijih Besi Nikel Limonit dari Pulau Halmahera dalam Larutan Asam Nitrat. *Majalah Metalurgi.*** 115-116
- Fan, Xiao-Hui, Gan Min, Jiang Tao, Yuan Li-shun, and Chen Xu-Ling. 2010. ***Influence of Flux Additives on Iron Ore Oxidized Pellets.*** *Natural Science*, 733-737.
- Geerdes, Maarten, Hisko Toxopeus, and Cor van der Vliet. 2009. ***Modern Blast Furnace Ironmaking an Introduction.*** Amsterdam: IOS Press BV.

- Guo, Q., Qu, J., Han, B., Wei, G., Zhang, P. 2014. *Dechromization and dealumination kinetics in process of Na₂CO₃-roasting pretreatment of laterite ores.*
- Jiang, M., Sun, T., Liu, Z., Kou, J., Liu, N., & Zhang, S. 2013. *Mechanism of Sodium Sulfate in Promoting Selective Reduction of Nickel Laterite Ore during Reduction Roasting Process. International Journal of Mineral Processing*, 32-33
- Li, Shoubao. 1999 *Study of Nickeliferous Laterite Reduction.* 1-8.
- Li, Guanghui, Shi, T.M., Rao, M.J., Kiang, T., Zhang, Y.B., 2012. *Beneficiation of nickeliferous laterite by reduction roasting in the presence of sodium sulfate.* Miner. Eng.
- Mayangsari, W., Prasetyo, Agus B. 2016. **Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit Limonit Menggunakan Zat Aditif CaSO₄.** Puspitek, Tangerang Selatan. LIPI
- Noviyanti, Jasruddin, and Hadi Sujiono. 2015. **Karakterisasi Kalsium Karbonat (CaCO₃) dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa.** *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 169
- Rodrigues, Filipe Manuel. 2013. **"Investigation Into The Thermal Upgrading of Nickeliferous Laterite Ore."** *Material Science*, 1-10.
- Supriadi. 2007. **Sistem Informasi Geografis.** USU Press. Medan.
- Tyroler, G.P, and C.A Landolt. *Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt.* New York: The Metallurgical Society, 1998.
- Wang, Z., Chu, M., Liu, Z. 2017. *Preparing Ferro-Nickel Alloy from Low-Grade Laterite Nickel Ore Based on Metallized Reduction–Magnetic Separation.* School of Metallurgy, Northeastern University, China.
- Wills, B. A., 2006. *Mineral Processing Technology.* Elsevier Science & Technology Book.

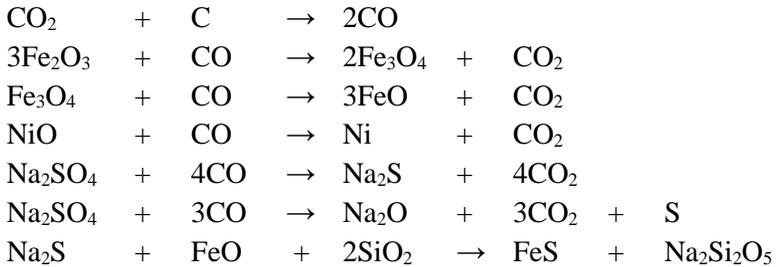
- Yildirim, Halil, Hakan Morcali, Ahmet Turan, and Onuralp Yucel. 2013. "**Nickel Pig Iron Production from Lateritic Nickel Ores .**" *Ferronickel Production and Operation*.
- Zhu, D.Q., Cui, Y., Vining, K., Hapugoda, S., Douglas, J., Pan, J., Zheng, G.L. 2012. *Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by magnetic separation*. Int. J. Miner. Process. China.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

A. Perhitungan Stokiometri Briket

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



Data yang dibutuhkan dalam perhitungan komposisi material

1. Bijih Nikel Laterit

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

Tabel 1. Hasil EDX Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Mn	Cr
% Wt	1.25	55.37	1.94	0.42	0.46	5.04	0.886	1.54



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

- Hematite (Fe_2O_3)
- Nikel oksida (NiO)

2. Batu bara

Dari data pengujian *proximate analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi 42,35 %. Dari kadar unsur dalam laterit, maka jumlah Fe_2O_3 dan NiO diketahui dengan cara sebagai berikut :

- Berat Fe_2O_3 dalam laterit
$$\begin{aligned}\% \text{Wt } \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3}{2 \text{ Ar Fe}} \times \% \text{Wt Fe} \\ &= \frac{159,65}{2 \times 55,84} \times 55,37\% = 79,153 \%\end{aligned}$$
- Berat NiO dalam laterit
$$\begin{aligned}\% \text{Wt } \text{NiO} &= \frac{\text{Mr } \text{NiO}}{\text{Ar Ni}} \times \% \text{Wt Ni} \\ &= \frac{74,68}{58,69} \times 1,25 \% = 1,59 \%\end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh presentase Fe_2O_3 dan NiO dalam laterit. Jika diasumsikan dalam 100 gram *ore* maka diperoleh massa Fe_2O_3 dan NiO yaitu sebagai berikut.

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 79,153 \text{ gram}$$

$$\text{NiO} = 1,59 \text{ gram}$$

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

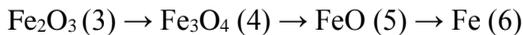
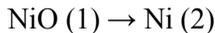
$$\begin{aligned}\text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa } \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{79,153}{159,65} \\ &= 0,495 \text{ mol}\end{aligned}$$



TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

$$\begin{aligned}\text{NiO} &= \frac{\text{massa NiO}}{\text{Mr NiO}} \\ &= \frac{1,59}{74,68} \\ &= 0.021 \text{ mol}\end{aligned}$$

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



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

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

reduksi $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe} = 100\%$

reduksi $\text{NiO} \rightarrow \text{Ni} = 100\%$

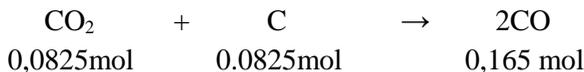
Natrium sulfat ditambahkan sebesar 10% dari massa total bahan untuk meningkatkan agregasi dari Fe-Ni.

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

a. Reaksi 1



Reaksi *boudouard*



Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 1 dengan C batu bara



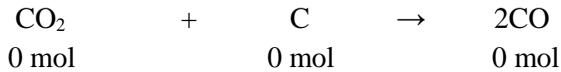


0,165 mol 0,165 mol 0,33 mol

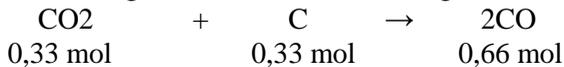
b. Reaksi 2



Reaksi *boudouard*



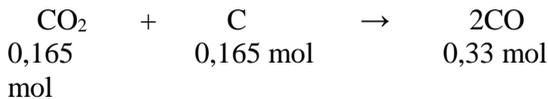
Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 2 dengan C batu bara



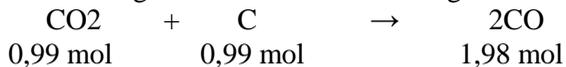
c. Reaksi 3



Reaksi *boudouard*



Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 3 dengan C batu bara



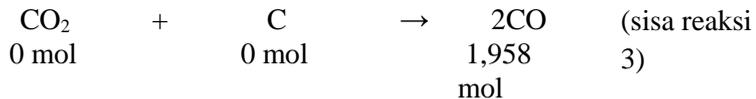


TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

d. Reaksi 4



Reaksi *boudouard*



Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 3 dengan C batu bara



$$\text{Sisa gas CO} = 1,958 \text{ mol} + 0.042 \text{ mol} = 2 \text{ mol}$$

Perhitungan Kebutuhan Batu Bara (Sebelum Penambahan Na₂SO₄)

$$\text{Total mol C} = 0,0825 + 0,165 + 0 + 0,33 + 0,165 + 0,99 + 0 + 0,021 = 1,7535 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 1,7535 \text{ mol} \times 12.0116 \\ &= 21,062 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 21,062 \\ &= 49,73 \text{ gram} \end{aligned}$$

Pembulatan jumlah batu bara dijadikan sebesar 50 gram.



Perhitungan Kebutuhan Dolomit (Sebelum Penambahan Na₂SO₄)

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

Tabel 2. Hasil EDX Batu Kapur

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

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

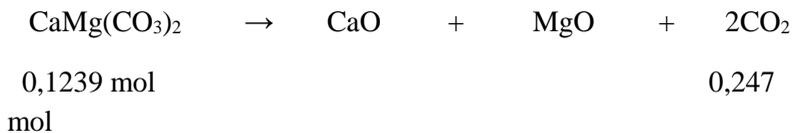
Perhitungan Kebutuhan Dolomit

Mempertimbangkan kebutuhan gas CO₂ untuk reaksi *boudouard*. Batu kapur berperan sebagai penyedia gas CO₂ untuk reaksi *boudouard* yang akan menghasilkan gas reduktor CO, maka CO₂ yang dihasilkan dari dekomposisi termal pada dolomit perlu direaksikan dengan C pada batu bara.

Perhitungan Jumlah Gas CO₂

$$\text{Total mol CO}_2 = 0,082 + 0 + 0,165 + 0 = 0,247 \text{ mol}$$

Reaksi dekomposisi termal yang terjadi pada dolomit yaitu :





(sisa reaksi 4)

Perhitungan Kebutuhan Batu Bara (Setelah Penambahan Na₂SO₄)

$$\text{Total mol C} = 0,0825 + 0,165 + 0 + 0,33 + 0,165 + 0,99 + 0 + 0,021 + 0 = 1,7535 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 1,7535 \text{ mol} \times 12,0116 \\ &= 21,062 \text{ gram} \end{aligned}$$

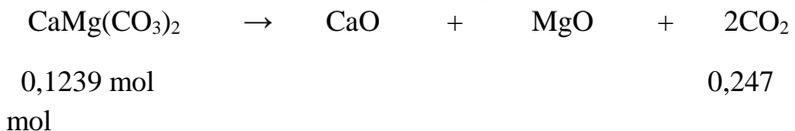
$$\begin{aligned} \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 21,062 \\ &= 49,73 \text{ gram} \end{aligned}$$

Pembulatan jumlah batu bara dijadikan sebesar 50 gram.

Perhitungan Kebutuhan Dolomit (Setelah Penambahan Na₂SO₄)

$$\text{Total mol CO}_2 = 0,082 + 0 + 0,165 + 0 + 0 = 0,247 \text{ mol}$$

Reaksi dekomposisi termal yang terjadi pada dolomit yaitu :



$$\begin{aligned} \text{Massa dolomit} &= \text{mol} \times \text{Mr CaMg(CO}_3)_2 \\ &= 0,1239 \times 184,3482 \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

= 22,849 gram

Pembulatan jumlah dolomit dijadikan sebesar 23 gram

Perhitungan Kebutuhan Kanji

Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 100 gram, batu bara 50 gram, dan natrium sulfat maka kanji yang ditambahkan sebesar 5 gram.

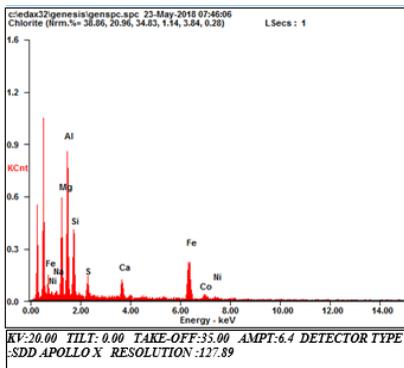
Jadi, ratio perbandingan Ore : Batubara : Aditif : Kanji

100 : 50 : 17.26 : 5 gram

Hasil Pengujian EDX Produk

- Hasil EDX Produk dengan Aditif Na_2CO_3

Hasil EDX dengan Aditif Na_2CO_3 menunjukkan kadar Ni sebesar 4,06% dan Fe sebesar 26,71%



Element	Wt %	At %
NaK	00.97	01.38
MgK	15.57	20.93
AlK	28.03	33.96
SiK	15.17	17.66
SK	03.62	03.69
CaK	04.72	03.85
FeK	26.71	15.63
CoK	01.15	00.64
NiK	04.06	02.26

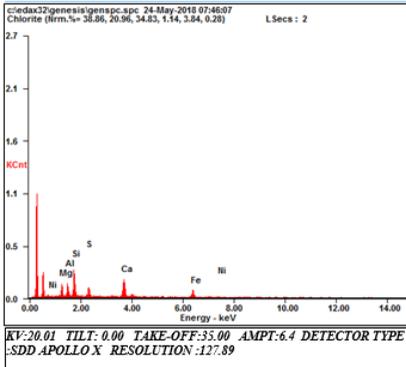
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL



- Hasil EDX Produk dengan Aditif CaSO_4

Hasil EDX Produk dengan Aditif CaSO_4 menunjukkan kadar Ni sebesar 3,25% dan Fe sebesar 18,82%

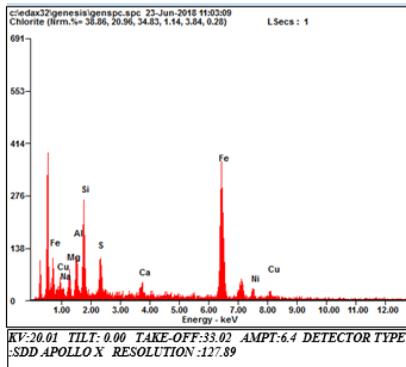


Element	Wt %	At %
MgK	10.40	14.47
AlK	10.99	13.78
SiK	24.97	30.07
S K	08.40	08.86
CaK	23.17	19.56
FeK	18.82	11.40
NiK	03.25	01.87

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

- Hasil EDX Produk dengan Aditif Na_2SO_4

Hasil EDX dengan Aditif Na_2SO_4 menunjukkan kadar Ni sebesar 5,75% dan Fe sebesar 52,84%



Element	Wt %	At %
NaK	01.88	03.42
MgK	05.20	08.95
AlK	06.68	10.37
SiK	13.26	19.76
S K	05.19	06.78
CaK	02.47	02.58
FeK	52.84	39.61
NiK	05.75	04.10
CuK	06.74	04.44

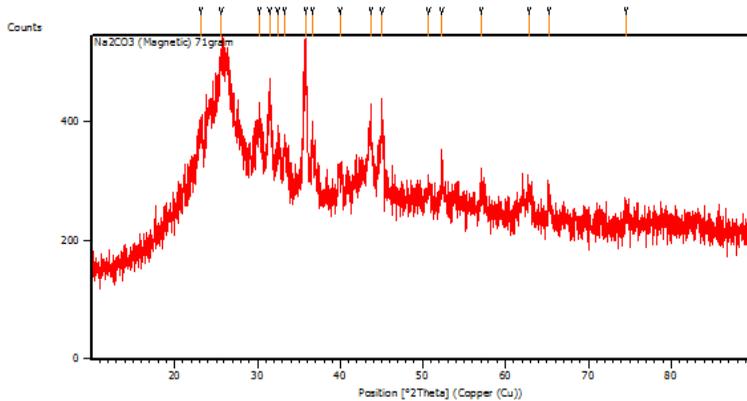
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

Hasil Pengujian XRD Produk

- Hasil Pengujian XRD Produk dengan Aditif Na_2CO_3



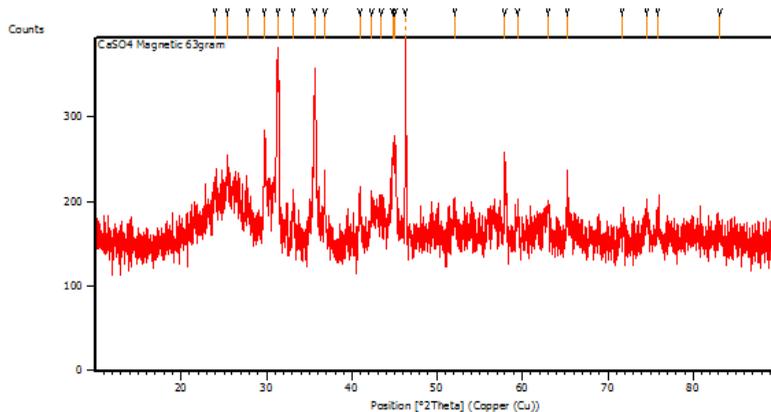
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}2\text{Th}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
23.2215	55.16	0.3346	3.83052	22.02
25.6611	121.08	0.5353	3.47161	48.33
30.2286	74.24	0.4015	2.95667	29.63
31.4735	129.56	0.3346	2.84250	51.71
32.3706	48.14	0.4015	2.76574	19.21
33.2856	59.78	0.3346	2.69178	23.86
35.8183	250.55	0.1338	2.50704	100.00
36.6659	86.39	0.2007	2.45101	34.48
39.9596	30.63	0.5353	2.25626	12.22
43.6724	77.69	0.2342	2.07267	31.01
45.0152	124.56	0.3346	2.01391	49.72
50.7504	22.99	0.5353	1.79897	9.18
52.3295	57.44	0.2676	1.74834	22.93
57.1096	30.64	0.4015	1.61284	12.23
62.8562	44.03	0.4015	1.47851	17.57
65.2431	31.92	0.4015	1.43008	12.74
74.6381	30.48	0.4015	1.27164	12.17

TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL



- Hasil Pengujian XRD Produk dengan Aditif CaSO_4



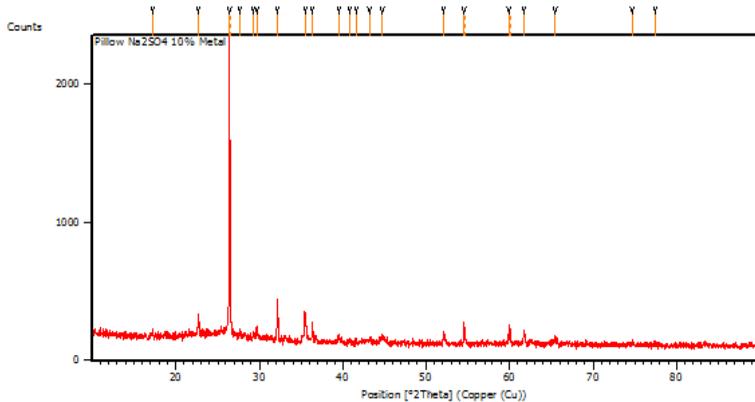
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
23.9848	44.04	0.4015	3.71031	17.48
25.4655	77.97	0.2676	3.49784	30.95
27.7845	34.48	0.6691	3.21094	13.69
29.7709	100.52	0.3011	3.00107	39.91
31.4133	199.39	0.2676	2.84781	79.15
33.1181	46.72	0.2007	2.70501	18.55
35.6639	196.29	0.1338	2.51754	77.92
36.8481	90.72	0.0836	2.43931	36.02
40.8924	42.62	0.2007	2.20692	16.92
42.3396	47.72	0.2007	2.13477	18.94
43.4402	42.00	0.2676	2.08321	16.67
44.7531	98.55	0.1673	2.02509	39.12
45.0704	99.56	0.2342	2.01157	39.52
46.2973	251.90	0.0612	1.95946	100.00
46.4248	92.38	0.0612	1.95923	36.67
52.0754	24.78	0.4896	1.75482	9.84
57.9726	88.97	0.1632	1.58956	35.32
59.4711	27.40	0.4080	1.55303	10.88
63.0133	33.27	0.8160	1.47398	13.21
65.2504	47.77	0.2448	1.42875	18.96
71.7033	13.64	0.8160	1.31520	5.41
74.5380	33.90	0.4896	1.27205	13.46
75.9150	27.54	0.4896	1.25236	10.93
83.0988	15.47	0.9792	1.16137	6.14



TUGAS AKHIR DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

- Hasil Pengujian XRD Produk dengan Aditif Na_2SO_4



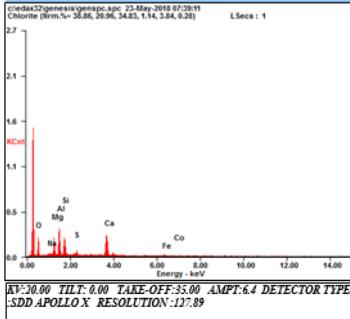
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
17.2543	43.76	0.1004	5.13946	2.02
22.7522	113.89	0.1004	3.90845	5.25
26.4296	2169.50	0.1020	3.36960	100.00
26.5103	1161.48	0.0408	3.36788	53.54
27.6962	37.58	0.2448	3.21832	1.73
29.2893	23.39	0.2040	3.04678	1.08
29.6897	65.49	0.1632	3.00661	3.02
32.1466	275.09	0.0612	2.78220	12.68
35.4923	194.97	0.0612	2.52723	8.99
36.3509	129.81	0.0816	2.46948	5.98
39.5242	46.60	0.1632	2.27821	2.15
40.7903	27.01	0.2448	2.21037	1.25
41.5966	21.17	0.2448	2.16937	0.98
43.1856	28.29	0.4896	2.09316	1.30
44.7011	38.96	0.6528	2.02565	1.80
52.1395	83.49	0.1224	1.75281	3.85
54.5630	162.57	0.0816	1.68054	7.49
54.7091	126.71	0.0612	1.68057	5.84
59.9523	136.32	0.0612	1.54171	6.28
60.1280	95.72	0.0612	1.54145	4.41
61.7486	100.54	0.1224	1.50110	4.63
65.4838	67.49	0.0816	1.42422	3.11
74.6816	14.47	0.9792	1.26996	0.67
77.4327	38.13	0.1224	1.23156	1.76



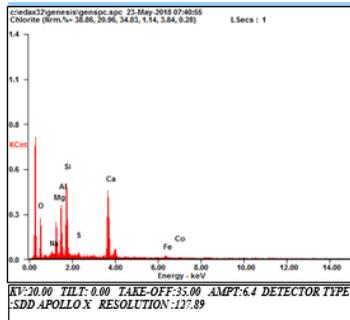
Hasil Pengujian EDX Slag

- Hasil EDX Slag dengan Aditif Na_2CO_3



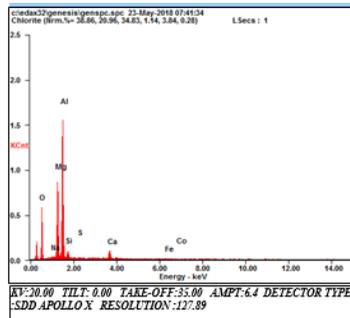
Element	Wt %	At %
O K	31.88	47.12
Na K	02.04	02.10
Mg K	09.63	09.37
Al K	18.03	15.80
Si K	12.67	10.67
S K	02.88	02.12
Ca K	19.00	11.21
Fe K	03.00	01.27
Co K	00.87	00.35

EDX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	30.38	45.62
Na K	01.56	01.63
Mg K	08.70	08.60
Al K	13.25	11.80
Si K	19.36	16.56
S K	01.25	00.94
Ca K	23.00	13.79
Fe K	02.28	00.98
Co K	00.22	00.09

EDX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT



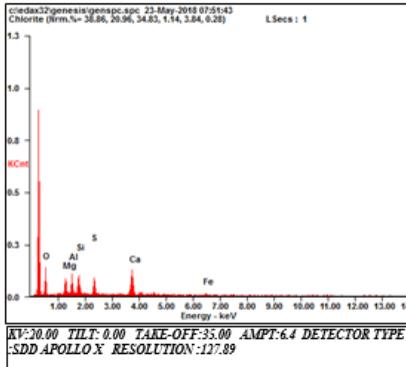
Element	Wt %	At %
O K	28.71	40.41
Na K	00.34	00.34
Mg K	18.51	17.15
Al K	43.92	36.65
Si K	03.32	02.67
S K	00.24	00.17
Ca K	04.01	02.25
Fe K	00.59	00.24
Co K	00.35	00.13

EDX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT



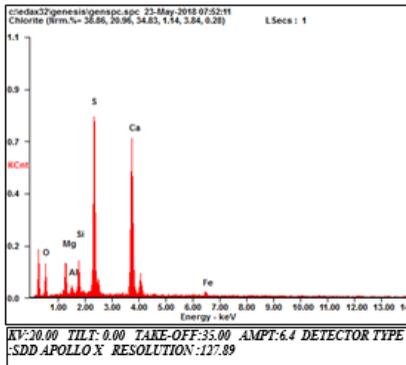
TUGAS AKHIR DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

- Hasil EDX Slag dengan Aditif CaSO₄



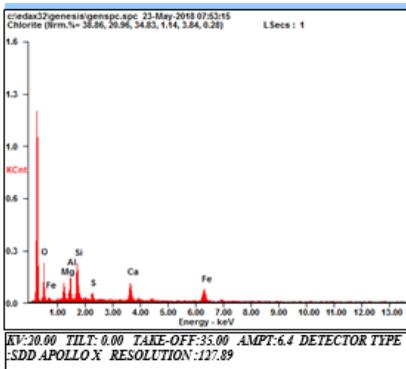
Element	Wt %	At %
OK	37.58	54.45
MgK	09.52	09.07
AlK	09.20	07.90
SiK	11.28	09.31
SK	09.03	06.53
CaK	18.60	10.75
FeK	04.81	01.99

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
OK	21.17	36.78
MgK	05.62	06.43
AlK	01.38	01.42
SiK	04.83	04.78
SK	26.51	22.98
CaK	38.04	26.38
FeK	02.45	01.22

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



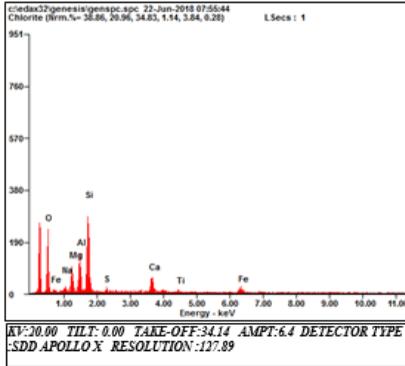
Element	Wt %	At %
OK	30.64	48.06
MgK	08.92	09.21
AlK	10.62	09.87
SiK	17.27	15.43
SK	02.43	01.90
CaK	11.27	07.06
FeK	18.85	08.47

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

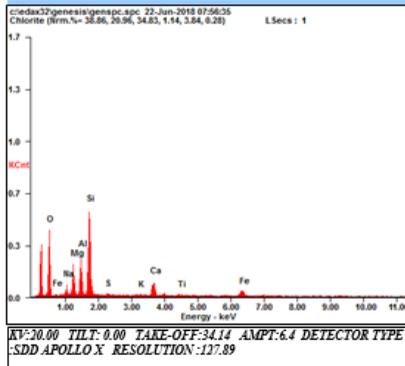


- Hasil EDX Slag dengan Aditif Na₂SO₄



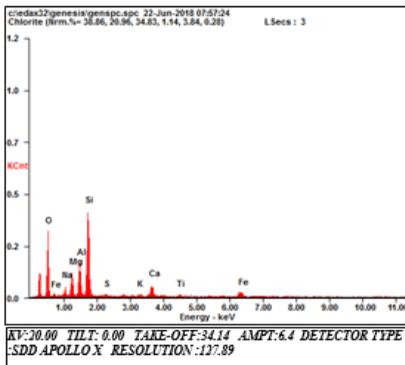
Element	Wt %	At %
OK	38.65	54.26
NaK	01.92	01.88
MgK	07.64	07.06
AlK	10.64	08.86
SiK	25.10	20.07
SK	00.90	00.63
CaK	06.71	03.76
TiK	01.34	00.63
FeK	07.09	02.85

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
OK	38.34	53.85
NaK	02.56	02.51
MgK	07.86	07.26
AlK	09.98	08.31
SiK	25.53	20.42
SK	00.67	00.47
KK	00.52	00.30
CaK	06.12	03.43
TiK	00.91	00.43
FeK	07.51	03.02

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
OK	38.84	54.11
NaK	02.68	02.60
MgK	07.09	06.50
AlK	10.07	08.32
SiK	27.35	21.70
SK	00.50	00.35
KK	00.94	00.54
CaK	05.22	02.90
TiK	01.12	00.52
FeK	06.18	02.47

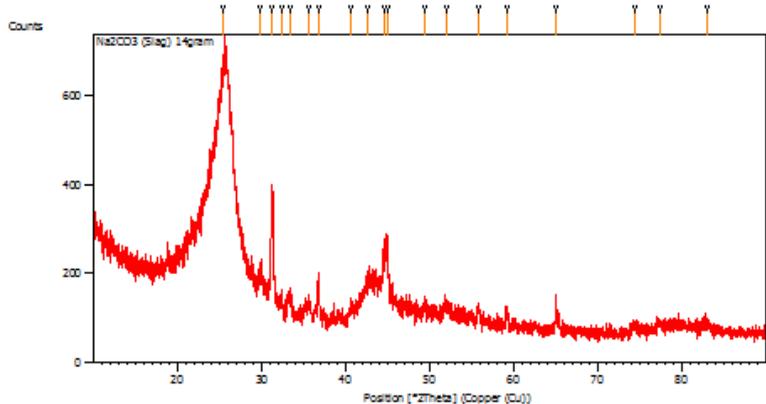
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT



TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

Hasil Pengujian XRD Slag

- Hasil Pengujian XRD Slag dengan Aditif Na_2CO_3



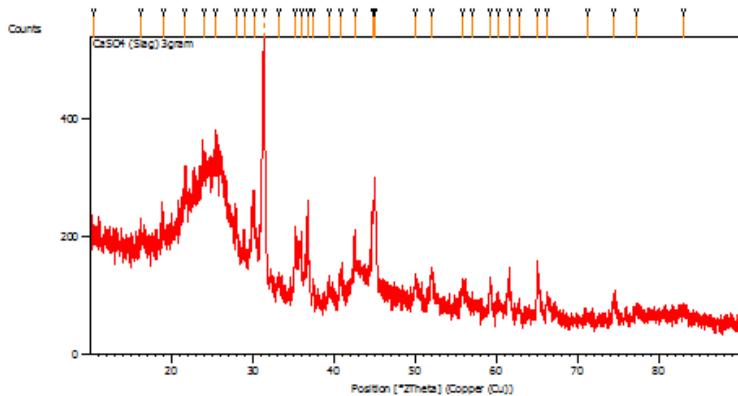
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.4064	244.07	0.5353	3.50584	97.62
29.8520	54.59	0.2007	2.99310	21.83
31.2787	250.02	0.0836	2.85976	100.00
32.3555	23.44	0.2007	2.76700	9.38
33.3156	34.63	0.6691	2.68942	13.85
35.6712	38.16	0.2676	2.51704	15.26
36.6993	78.59	0.1171	2.44886	31.43
40.5497	23.94	0.4015	2.22477	9.58
42.6595	74.73	0.4015	2.11950	29.89
44.6360	142.24	0.3346	2.03014	56.89
44.9614	138.46	0.2007	2.01620	55.38
49.4492	18.91	0.1338	1.84321	7.56
52.0077	20.94	0.4015	1.75840	8.38
55.8056	30.40	0.2676	1.64740	12.16
59.2383	28.30	0.2676	1.55987	11.32
65.0850	58.65	0.2676	1.43317	23.46
74.4884	20.07	0.5353	1.27383	8.03
77.3779	9.47	0.8029	1.23332	3.79
83.0106	16.81	0.5353	1.16335	6.72

TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL



- Hasil Pengujian XRD Slag dengan Aditif CaSO_4

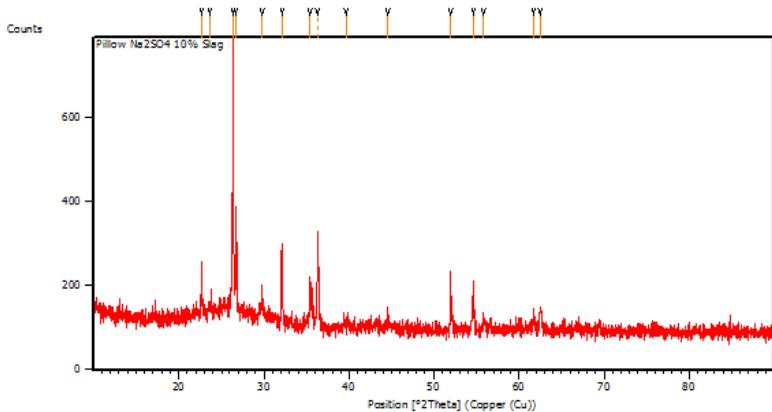


Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
10.5174	9.79	0.8029	8.41146	2.32
16.2315	18.73	0.8029	5.46091	4.44
18.9256	63.87	0.2007	4.68919	15.13
21.6354	150.50	0.2676	4.10761	35.65
23.9159	191.01	0.4015	3.72085	45.24
25.3633	214.59	0.4015	3.51170	50.83
27.9261	106.02	0.2007	3.19498	25.11
28.9216	85.21	0.1338	3.08724	20.18
30.1202	161.75	0.2007	2.96706	38.31
31.3253	422.19	0.1632	2.85324	100.00
31.4376	376.28	0.0612	2.85038	89.13
33.2080	20.09	0.6528	2.69566	4.76
35.2240	102.73	0.2040	2.54586	24.33
35.8934	99.62	0.1224	2.49990	23.60
36.7336	154.71	0.1632	2.44462	36.64
37.4542	22.70	0.2448	2.39923	5.38
39.3214	24.36	0.4896	2.28949	5.77
40.8560	45.81	0.4080	2.20697	10.85
42.5317	82.52	0.2448	2.12381	19.54
44.6868	137.69	0.2040	2.02626	32.61
44.9784	170.11	0.2040	2.01381	40.29
50.0997	33.76	0.3264	1.81929	8.00
52.0894	50.94	0.4080	1.75438	12.07
55.8643	33.74	0.4896	1.64444	7.99
57.0334	30.32	0.1632	1.61348	7.18
59.2691	49.86	0.3264	1.55784	11.81
60.2226	20.48	0.4896	1.53544	4.85
61.7006	84.03	0.0612	1.50215	19.90
62.8307	19.73	0.4080	1.47783	4.67
65.0988	81.24	0.2040	1.43171	19.24
66.3051	29.70	0.4080	1.40856	7.03
71.3101	9.00	0.9792	1.32149	2.13
74.5278	37.32	0.4896	1.27220	8.84
77.1796	12.84	0.8160	1.23497	3.04
83.0065	13.33	0.9792	1.16243	3.16



TUGAS AKHIR DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

- Hasil Pengujian XRD Produk dengan Aditif Na_2SO_4



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
22.6628	119.28	0.0836	3.92367	17.93
23.6721	24.81	0.4015	3.75862	3.73
26.3666	665.40	0.0836	3.38031	100.00
26.6968	259.24	0.0669	3.33925	38.96
29.8060	58.13	0.1338	2.99762	8.74
32.1087	185.87	0.0669	2.78770	27.93
35.4646	112.31	0.1004	2.53123	16.88
36.2684	223.07	0.0612	2.47491	33.52
36.3921	230.07	0.0408	2.47291	34.58
39.6248	9.39	0.8160	2.27266	1.41
44.5680	36.62	0.2448	2.03139	5.50
51.9843	144.22	0.0816	1.75768	21.67
54.6568	120.40	0.0816	1.67788	18.09
55.8599	32.27	0.2448	1.64456	4.85
61.7261	28.41	0.2448	1.50159	4.27
62.5263	47.32	0.3264	1.48429	7.11



Rumus Perhitungan *Recovery*

- **Perhitungan *Recovery* Ni**

$$Recovery = \frac{(M \text{ Produk Ni} \times \% \text{ Produk Ni})}{(M \text{ Ore Ni} \times \% \text{ Ore Ni})}$$

Perhitungan Massa dan *Recovery* Ni Hasil Reduksi

Aditif	Massa Ore Ni (gr)	Ni Ore (%)	Massa Produk Ni (gr)	Ni Produk (%)	<i>Recovery</i> Ni (%)
Na ₂ SO ₄	41,5	1,25	8,63	5,75%	95,66%
Na ₂ CO ₃	41,5	1,25	11,71	4,06%	91,65%
CaSO ₄	41,5	1,25	15,63	3,25%	97,93%

- **Rumus Perhitungan *Recovery* Fe**

$$Recovery = \frac{(M \text{ Produk Fe} \times \% \text{ Produk Fe})}{(M \text{ Ore Fe} \times \% \text{ Ore Fe})}$$

Perhitungan Massa dan *Recovery* Fe Hasil Reduksi

Aditif	Massa Ore Fe (gr)	Fe Ore (%)	Massa Produk Ni (gr)	Fe Produk (%)	<i>Recovery</i> Fe (%)
Na ₂ SO ₄	41,5	57,95	8,63	52,84%	18,96%
Na ₂ CO ₃	41,5	57,95	11,71	26,71%	13,01%
CaSO ₄	41,5	57,95	15,63	18,82%	12,23%

- **Rumus *Selectivity Factor***

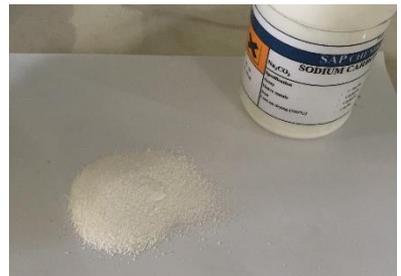
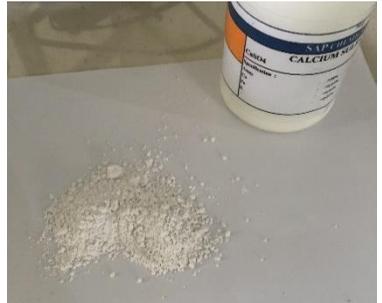
$$Selektivitas = \frac{\% \text{ Fe awal} \times \% \text{ Ni akhir}}{\% \text{ Ni awal} \times \% \text{ Fe akhir}}$$



TUGAS AKHIR

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

Foto Dokumentasi



TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL



LAMPIRAN

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 12 Oktober 1996, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara dari pasangan Sastra Manjani dan Mahyaya Fuaidah. Penulis telah menempun Pendidikan formal di SDI Meranti Jakarta, SMPN 1 Jakarta, dan SMAN 68 Jakarta. Saat ini penulis melanjutkan studinya melalui jalur PKM di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 2714100141. Di

Departemen Teknik Material dan Metalurgi penulis melakukan penelitian Tugas Akhir bidang studi Metalurgi Ekstraksi, pada Laboratorium Pengolahan Mineral dan Material dengan judul Tugas Akhir “**Studi Variasi Jenis Aditif (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , CaSO_4) Terhadap Kadar Ni dan Fe Serta *Recovery* Pada Proses Reduksi Langsung Bijih Nikel Laterit Limonitik**”. Selama berkuliah penulis aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS sebagai Staff Departemen Hubungan Luar dan pada National Association of Corrosion Engineer (NACE) Student Section ITS sebagai Head of External Department. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. Freeport Indonesia (PTFI), Tembagapura, Papua. dan ditempatkan di departemen *Metallurgical Services*. Penulis dapat dihubungi di 081310008824 atau email ke emral.arsyanjani@gmail.com