

**PENGARUH PENCAMPURAN LIMONIT DAN SAPROLIT DALAM
PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LATERIT MENJADI
LOGAM FERONIKEL**

(Skripsi)

**Oleh
Yusuf Fajar
1815021016**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

**PENGARUH PENCAMPURAN LIMONIT DAN SAPROLIT DALAM
PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LATERIT MENJADI
LOGAM FERONIKEL**

Oleh

**Yusuf Fajar
NPM 1815021016**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PENGARUH PENCAMPURAN LIMONIT DAN SAPROLIT DALAM PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LATERIT MENJADI LOGAM FERONIKEL

Oleh
Yusuf Fajar

Tingginya ketersediaan bijih nikel laterit di alam tidak sebanding dengan teknologi pengolahannya yang masih rendah. Oleh karena itu pengembangan pengolahan bijih nikel laterit menjadi feronikel sangatlah dibutuhkan. Reduksi selektif merupakan salah satu proses pengolahan bijih nikel laterit yang sedang terus dikembangkan. Proses ini merupakan teknologi pengolahan secara pirometalurgi namun menggunakan temperatur yang sedikit lebih rendah (1100-1200°C), kemudian di kombinasikan dengan benefisiasi secara fisik menggunakan proses pemisahan magnetik (*magnetic separation*) untuk memisahkan feronikel dengan pengotornya/*slag*. Selain penambahan aditif sodium sulfat yang akan meningkatkan perolehan feronikel dalam konsentrat, pembatasan penambahan reduktan batubara juga dapat dilakukan untuk menurunkan metalisasi besi agar tidak sepenuhnya tereduksi. Proses reduksi menggunakan *muffle furnace* dengan suhu 1150°C selama 60 menit. setelah itu, proses pemisahan magnetik basah dilakukan terhadap bijih tereduksi untuk memisahkan feronikel dengan pengotornya. XRF dilakukan untuk menganalisis kandungan besi dan nikel dalam konsentrat dan *tailing*, sedangkan XRD dan SEM-EDS digunakan untuk mengidentifikasi transformasi fasa dan struktur mikro dari bijih tereduksi. Hasil penelitian reduksi selektif bijih nikel saprolit dan limonit menunjukkan bahwa kondisi optimal untuk keduanya diperoleh melalui penambahan reduktan sebanyak 0,2 stoikimetri. Pada proses reduksi bijih nikel saprolit, kadar nikel yang dihasilkan lebih tinggi, namun memiliki nilai *recovery* yang lebih rendah dibandingkan dengan limonit. Proses pencampuran saprolit dengan limonit akan memberikan peningkatan terhadap nilai *recovery* namun berdampak terhadap turunnya kadar nikel dalam konsentrat.

kata kunci : Saprolit, Limonit, Reduksi selektif, Feronikel.

ABSTRACT

EFFECT OF MIXING LIMONITE AND SAPROLITE IN SELECTIVE REDUCTION PROCESS OF LATERITE NICKEL ORE TO FERRONICKEL METAL

By

Yusuf Fajar

The high availability of laterite nickel ore in nature is not comparable with the processing technology which is still low. Therefore, the development of laterite nickel ore processing into ferronickel is needed. Selective reduction is one of the lateritic nickel ore processing processes that are being developed. This process is a pyrometallurgical processing technology but uses a slightly lower temperature (1100-1200°C), then combined with physical beneficiation using a magnetic separation process to separate ferronickel from the impurities/slag. In addition to the additive of sodium sulfate additive which will increase the ferronickel grade in the concentrate, limiting the addition of coal reductant can also be done to reduce the metallization of iron so that it is not completely reduced. The reduction process used a muffle furnace with a temperature of 1150°C for 60 minutes. After that, a wet magnetic separation process was carried out on the reduced ore to separate the ferronickel from the impurities. XRF was used to analyze the iron and nickel content in the concentrate and tailings, while XRD and SEM-EDS were used to identify the phase transformation and microstructure of the reduced ore. The results of the selective reduction of saprolite and limonite nickel ores showed that the optimal conditions for both were obtained through the addition of 0.2 stoichiometric reductant. In the saprolite nickel ore reduction process, the nickel content produced higher, but it had a lower nickel recovery than limonite. The process of mixing saprolite with limonite increased the nickel recovery due to the increasing of ferronickel particle size. Nevertheless, it decreased the nickel grade in the concentrate.

Keywords : Saprolite, Limonite, Selective Reduction, and Ferronickel.

Judul Skripsi : **PENGARUH PENCAMPURAN LIMONIT
DAN SAPROLIT DALAM PROSES
REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL
LATERIT MENJADI LOGAM
FERONIKEL**

Nama Mahasiswa : **Yusuf Fajar**

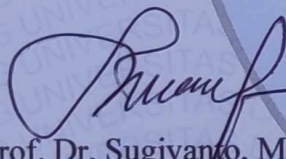
Nomor Pokok Mahasiswa : **1815021016**

Program studi : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**

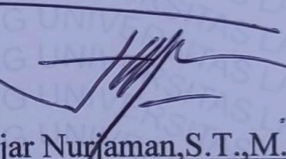


I. Komisi pembimbing


Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.

NIP. 19570411 198610 1 001

Ketua Jurusan Teknik Mesin


Dr. Fajar Nurjaman, S.T., M.T.

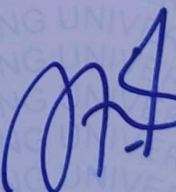
NIP. 19800502 200312 1 005

Ketua Program Studi S1
Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T. Ph.D.

NIP. 19710331 199903 1 003



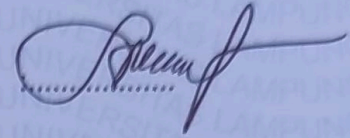
Novri Tanti, S.T., M.T.

NIP. 19701104 199703 2 001

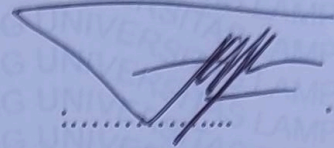
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

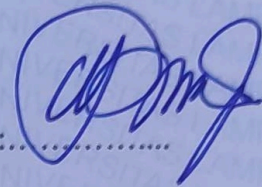
Ketua Penguji : Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.



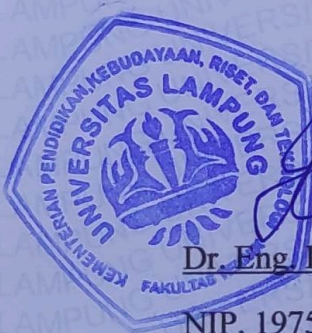
Anggota Penguji : Dr. Fajar Nurjaman, S.T., M.T.



Penguji Utama : Prof. Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T. : ...



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **29 Agustus 2022**

PERNYATAAN PENULIS

Skripsi dengan judul “PENGARUH PENCAMPURAN LIMONIT DAN SAPROLIT DALAM PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LATERIT MENJADI LOGAM FERONIKEL” dibuat sendiri oleh penulis dan bukan merupakan hasil plagiat siapa pun sebagaimana diatur didalam Pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010

Bandar Lampung, September 2022

Yang membuat pernyataan



Yusuf Fajar

NPM. 1815021016

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Pringsewu pada tanggal 22 Oktober 1999 dan beralamatkan di Desa Panutan, Kec. Pagelaran, Kab. Pringsewu. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan bapak Supriyoto dan Ibu Hermawati (Alm). Penulis menempuh jenjang pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Patoman, selesai pada tahun 2012. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Pringsewu, selesai pada tahun 2015 setelah itu melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Pringsewu dan selesai pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, Penulis aktif di organisasi internal kampus yaitu sebagai pengurus HIMATEM (Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin) sebagai anggota bidang DIKLAT (Pendidikan dan Pelatihan) periode 2019-2020 kemudian menjadi kepala divisi penerbitan LITBANG (Penelitian dan Pengembangan) periode 2020-2021, selain itu penulis juga aktif pada FOSSI-FT (Forum Silaturahmi dan Studi Islam Fakultas Teknik) sebagai anggota biro kesekretariatan pada periode 2019-2020. Penulis juga aktif dalam organisasi diluar kampus yaitu Balik(K)Lampung cabang pringsewu sebagai kepala bidang HUMAS (Hubungan Masyarakat). penulis juga terpilih untuk mengikuti kegiatan pertukaran mahasiswa yang dilaksanakan dengan Universitas Tirtayasa. Selain itu penulis juga mendapatkan HIBAH MBKM (Merdeka Belajar Kampus Merdeka) yang dilaksanakan di BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional).

Dalam proses perkuliahan penulis merupakan mahasiswa yang aktif. Penulis Pernah melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Gumukmas, Kec. Pagelaran, Kab.Pringsewu pada tahun 2021. Penulis melaksanakan Kerja Praktik dan Tugas Akhir di BRIN Pusat Riset Teknologi Pertambangan dengan judul Kerja Praktek “ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN JUMLAH REDUKTAN PADA PROSES REDUKSI SELEKTIF UNTUK PENGOLAHAN BIJIH NIKEL LATERIT MENJADI LOGAM FERONIKEL PADA PUSAT RISET DAN INOVASI NASIONAL (PRTP-BRIN)” dan Tugas Akhir “PENGARUH PENCAMPURAN LIMONIT DAN SAPROLIT DALAM PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LATERIT MENJADI LOGAM FERONIKEL” pada tahun 2021 dibawah bimbingan Bapak Prof. Dr. Sugiyanto, M.T. dan Bapak Dr. Fajar Nurjaman, S.T., M.T.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ

ALHAMDULILLAH HIROBBIL ALAMIIN

(Segala puji bagi الله, tuhan semesta alam)

KARYA TULIS INI KU PERSEMBAHKAN UNTUK

Ayahanda Tercinta Supriyoto.

Ibunda Tercinta Hermawati (Alm).

Kakak Tercinta Ina Rotun Umiyyati

Teman-Teman Seangkatan 2018

Dan

Almamater Tercinta

Teknik Mesin Universitas Lampung

2018-2022

MOTTO HIDUP

"Barangsiapa Yang Mengerjakan Kebaikan Seberat Zarah Pun, Niscaya Dia Akan
Melihat Balasannya"
(QS. Az-Zalzalah:7)

"Tanpa Ilmu, Amal Tidak Ada Gunanya. Sedangkan Ilmu Tanpa Amal Adalah
Hal Yang Sia-sia"
(Utsman bin Affan)

"Gagal Hanya Terjadi Jika Kita Menyerah"
(B.J. Habibie)

"Kebajikan Merupakan Bahasa Yang Bisa Didengar, Bahkan Oleh Orang Tuli.
Bahkan Dilihat Oleh Orang-orang Buta Sekalipun"
(Patrick Star)

"Bahagia itu sederhana, karena kebahagiaan yang hakiki adalah ketika kita bisa
bermanfaat bagi orang lain"
(CeriaMan)

SANWACANA

Assalamualaikum wr. wb.

Alhamdulillahirobbil'alamiin, segala puji bagi ALLAH SWT tuhan semesta alam, atas segala rahmat dan hidayah-nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.

Skripsi dengan judul “Pengaruh Pencampuran Limonit dan Saprolit Dalam Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit Menjadi Logam Feronikel” adalah salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Amrul, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.. selaku Dosen Pembimbing utama atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam proses menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Fajar Nurjaman, S.T., M.T., selaku Pembimbing di lapangan sekaligus pembimbing kedua atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan selama proses pengujian.

6. Ayahanda dan kakak yang penulis cintai dan selalu memberikan do'a, motivasi serta semangat baik materil maupun moril dalam menyelesaikan pendidikan.
7. Segenap staf dan *research assistant* (RA) di Kantor Pusat Riset Teknologi Pertambangan Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTP-BRIN).
8. Rekan-rekan Teknik Mesin khususnya angkatan 2018 yang telah memberikan dukungan dan semangatnya, salam solidarity forever.
9. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari banyak kekurangan dalam penyusunan dalam skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Bandar lampung, September 2022

Yusuf Fajar

NPM 1815021016

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|-------------|
| DAFTAR TABEL | xvi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xvii |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.3. Manfaat Penelitian..... | 3 |
| 1.4. Batasan Masalah | 3 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA..... | 4 |
| 2.1. Bijih Nikel Laterit..... | 4 |
| 2.2. Feronikel..... | 7 |
| 2.3. Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit..... | 8 |
| 2.3.1. Proses Pirometalurgi..... | 8 |
| 2.3.2. Proses Hidrometalurgi | 9 |
| 2.4. Reduksi Selektif..... | 10 |
| 2.5. Aditif Dalam Proses Reduksi Selektif..... | 12 |
| 2.6. Reduktan Dalam Proses Reduksi Selektif | 13 |
| 2.7. Karakterisasi | 14 |
| 2.7.1. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) | 15 |
| 2.7.2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) | 16 |
| 2.7.3. <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS) | 17 |
| 2.8. Kajian Penelitian Sebelumnya..... | 19 |
| III. METODOLOGI PENELITIAN..... | 22 |
| 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian | 22 |
| 3.2. Alur Penelitian..... | 22 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.3. | Kesetimbangan Massa Reduktan Batubara | 26 |
| 3.4. | Kadar Pencampuran dan Prediksi Hasil | 26 |
| 3.5. | <i>Recovery</i> | 27 |
| 3.6. | Prosedur Uji Karakterisasi..... | 28 |
| 3.3.1. | Karakterisasi XRF | 28 |
| 3.3.2. | Karakterisasi XRD..... | 29 |
| 3.3.3. | Karakterisasi SEM-EDS | 29 |
| 3.7. | Alat dan Bahan | 30 |
| IV. | HASIL DAN PEMBAHASAN | 40 |
| 4.1. | Karakterisasi Bijih Nikel Laterit | 40 |
| 4.1.1. | Karakterisasi XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>) | 40 |
| 4.1.2. | Karakterisasi XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>) | 41 |
| 4.2. | Analisis Variasi Penambahan Batubara Terhadap Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Saprolit dan Limonit | 43 |
| 4.2.1. | Analisis Kadar dan <i>Recovery</i> Logam (Nikel Dan Besi) | 44 |
| 4.2.2. | Analisis Transformasi Fasa..... | 47 |
| 4.2.3. | Analisis Struktur Mikro | 51 |
| 4.3. | Analisis Variasi Pencampuran Saprolit dan Limonit Terhadap Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit..... | 56 |
| 4.3.1. | Analisis Kadar dan <i>Recovery</i> Logam (Nikel Dan Besi) | 57 |
| 4.3.2. | Analisis Transformasi Fasa..... | 61 |
| 4.3.3. | Analisis Struktur Mikro | 62 |
| V. | PENUTUP..... | 66 |
| 5.1. | Kesimpulan..... | 62 |
| 5.2. | Saran | 63 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 68 |
| | LAMPIRAN | 71 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|---|---------|
| 3.1. Variasi sampel bijih nikel saprolit | 23 |
| 3.2. Variasi sampel bijih nikel limonit | 24 |
| 3.3. Variasi sampel pencampuran bijih nikel limonit dan saprolit..... | 24 |
| 3.4. Spesifikasi mesin <i>ball mill</i> | 31 |
| 3.5. Spesifikasi alat XRF portable | 34 |
| 3.6. Spesifikasi alat XRD | 35 |
| 3.7. Spesifikasi resolusi dari SEM-EDS | 36 |
| 3.8. Spesifikasi <i>polishing machine</i> | 37 |
| 3.9. Hasil uji <i>proximate</i> pada batubara bituminous | 38 |
| 4.1. Hasil pengujian XRF pada bijih nikel saprolit dan limonit..... | 40 |
| 4.2. Kuantitas fasa dalam bijih nikel saprolit dan limonit | 43 |
| 4.3. Variasi batubara pada reduksi selektif bijh nikel saprolit dan limonit..... | 44 |
| 4.4. Kuantitatif fasa hasil analisis XRD reduksi selektif bijih nikel saprolit dan limonit | 49 |
| 4.5. Hasil EDS untuk reduksi selektif bijih nikel saprolit dan limonit | 54 |
| 4.6. Variasi pencampuran saprolit dan limonit pada proses reduksi selekti | 56 |
| 4.7. Kuantitas fasa hasil analisis XRD reduksi selektif pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit | 62 |
| 4.8. Hasil EDS untuk reduksi selektif pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit | 64 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Ketersediaan alam dan produksi nikel; sulfida dan laterit | 5 |
| 2.2 Profil endapan nikel laterit | 5 |
| 2.3 Feronikel | 7 |
| 2.4 Teknologi <i>blast furnace</i> | 9 |
| 2.5 <i>High Pressure Acid Leach</i> (HPAL) | 10 |
| 2.6 Efek perbedaan aditif pada nikel dalam konsentrat | 13 |
| 2.7 Efek perbedaan reduktan batubara jenis lignite dan bituminous | 14 |
| 2.8 Ilustrasi <i>X-Ray Flourescence</i> | 15 |
| 2.9 Ilustrasi Difraksi Sinar-X | 16 |
| 2.10 Ilustrasi <i>Scanning Electron Microscope</i> | 18 |
| 2.11 Efek perbedaan suhu reduksi pada saprolit dan limonit..... | 19 |
| 2.12 Efek penambahan reduktan batubara pada saprolit dan limonit..... | 20 |
| 2.13 Efek penambahan aditif sodium sulfat Na ₂ SO ₄ pada saprolit dan limonit | 21 |
| 3.1. <i>Flowchart</i> penelitian | 25 |
| 3.2. Mesin <i>BallMill</i> | 31 |
| 3.3. Mesin <i>Shaker Mill</i> PPF - UG | 32 |
| 3.4. Magnet permanen..... | 32 |
| 3.5. <i>Muffle furnace</i> | 33 |
| 3.6. XRF portable merk <i>INNOV-X</i> | 34 |
| 3.7. XRD merk PANalytical tipe E'xpertPro | 35 |
| 3.8. SEM-EDS merk <i>Quatro Thermo Scientific</i> | 36 |
| 3.9. <i>Polishing machine</i> merk Unipol-1210 | 37 |

| | |
|--|----|
| 3.10. Bijih nikel laterit | 38 |
| 3.11. Batubara bituminous | 38 |
| 3.12. Sodium Sulfat (Na_2SO_4)..... | 39 |
| 4.1. Hasil pengujian XRD pada bijih nikel saprolit dan limonit..... | 42 |
| 4.2. Grafik <i>recovery</i> Ni & Fe dan kadar konsentrat Ni pada hasil reduksi selektif bijih nikel saprolit dan limonit untuk variasi penambahan jumlah stoikiometri reduktan | 45 |
| 4.3. Data hasil analisis XRD pada reduksi selektif bijih nikel saprolit dan limonit untuk variasi stoikiometri reduktan | 48 |
| 4.4. Data hasil analisis SEM reduksi selektif bijih nikel saprolit dengan variasi stoikiometri reduktan..... | 52 |
| 4.5. Data hasil analisis SEM reduksi selektif bijih nikel limonit dengan variasi stoikiometric reduktan | 53 |
| 4.6. Diameter rata-rata logam feronikel yang terbentuk pada hasil reduksi selektif bijih nikel saprolit dan limonit dengan variasi jumlah reduktan..... | 55 |
| 4.7. Grafik <i>recovery</i> Ni & Fe dan kadar konsentrat Ni pada hasil reduksi selektif pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit..... | 57 |
| 4.8. Grafik perbandingan data percobaan dan prediksi terhadap kadar nikel pada konsentrat hasil reduksi selektif pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit | 58 |
| 4.9. Grafik perbandingan data percobaan dan prediksi terhadap nilai <i>recovery</i> nikel hasil reduksi selektif pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit | 60 |
| 4.10. Data hasil analisis XRD pada reduksi selektif pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit | 61 |
| 4.11. Data hasil analisis SEM reduksi selektif pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit | 63 |
| 4.12. Diameter rata-rata logam feronikel yang terbentuk pada hasil reduksi selektif bijih nikel pencampuran saprolit dan limonit..... | 65 |

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu mineral tambang hasil dari pelapukan pada batuan ultramafik. Pada awalnya nikel dianggap sebagai unsur pengotor dalam hasil tambang, tapi seiring kemajuan ilmu pengetahuan nikel menjadi unsur yang sangat penting dan banyak digunakan untuk infrastruktur, transportasi, konstruksi dan mesin-mesin industri. Nikel saat ini umumnya digunakan dalam bentuk paduan seperti *stainless steel*, *super alloys* dan *non-ferrous alloys*.

Bijih nikel yang tersedia di alam berbentuk senyawa oksida (laterit) dan senyawa sulfida. Sekitar 72% bijih nikel tersedia di alam dalam bentuk senyawa laterit, sedangkan 28% sisanya dalam bentuk senyawa sulfida. Namun dalam industri pengolahannya bijih nikel sulfida lebih banyak yaitu sekitar 58%, sedangkan untuk pengolahan bijih nikel laterit sendiri hanya berkisar 42% dari keseluruhan industri pengolahan bijih nikel (Dalvi et al., 2004). Oleh karena itu pengembangan pengolahan bijih nikel laterit sangatlah dibutuhkan.

Bijih nikel laterit terdiri dari dua jenis yaitu limonit dan saprolit. Kedua jenis bijih nikel laterit alam tersebut terdapat dalam lapisan tanah yang berbeda kedalaman. Limonit terletak pada lapisan atas yaitu 0-3 meter dari permukaan tanah. Sedangkan saprolit terletak pada lapisan tanah yang lebih dalam yaitu 3-9 meter (Elias, 2002). Selain itu limonit dan saprolit memiliki kadar nikel yang

berbeda, dimana saprolit memiliki kadar nikel lebih tinggi, yaitu sekitar 1,8-2,0%, sedangkan kadar nikel pada limonit sekitar <1,5%.

Reduksi selektif merupakan salah proses pengolahan bijih nikel laterit yang sedang banyak dikembangkan saat ini. Proses tersebut merupakan teknologi pengolahan secara pirometalurgi namun menggunakan temperatur proses reduksi yang sedikit lebih rendah (1100-1200°C) (jika dibandingkan teknologi peleburan konvensional menggunakan *Blast Furnace* ataupun *Rotary Kiln Electric Furnace*), kemudian di kombinasikan dengan benefisiasi secara fisik menggunakan proses pemisahan magnetik (*magnetic separation*) untuk memisahkan konsentrat/feronikel (magnetik) dan *tailing*/pengotor (non-magnetik) (Farrokhpay et al., 2019; Warner et al., 2007).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada proses reduksi selektif bijih nikel laterit jenis limonit dan saprolit dengan metode yang sama menghasilkan kadar nikel dalam konsentrat dan nilai *recovery* nikel yang berbeda (Nurjaman et al., 2021). Dimana tingkat *recovery* limonit jauh lebih tinggi dari pada saprolit. Sebaliknya kadar perolehan nikel pada saprolit justru lebih tinggi dibandingkan dengan limonit. Penyebab utamanya adalah perbedaan kadar Fe pada saprolit dan limonit, dimana saprolit memiliki kadar Fe yang rendah. Dalam pembentukan senyawa feronikel, unsur Fe sangatlah penting untuk mengikat Ni. Jadi, penelitian ini membahas tentang proses reduksi selektif bijih nikel laterit campuran antara limonit dan saprolit yang bertujuan untuk mendapatkan nilai *recovery* nikel dan kadar nikel yang optimal dalam konsentrat yang dihasilkan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1.2. Mengetahui kadar dan *recovery* nikel pada hasil reduksi selektif bijih nikel laterit saprolit dan limonit masing-masing dengan variasi kadar reduktan.
- 1.3. Mengetahui kadar dan *recovery* nikel pada hasil reduksi selektif bijih nikel laterit campuran limonit dan saprolit.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Sebagai bahan acuan dalam studi pengaruh pencampuran limonit dan saprolit dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit.
- b. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

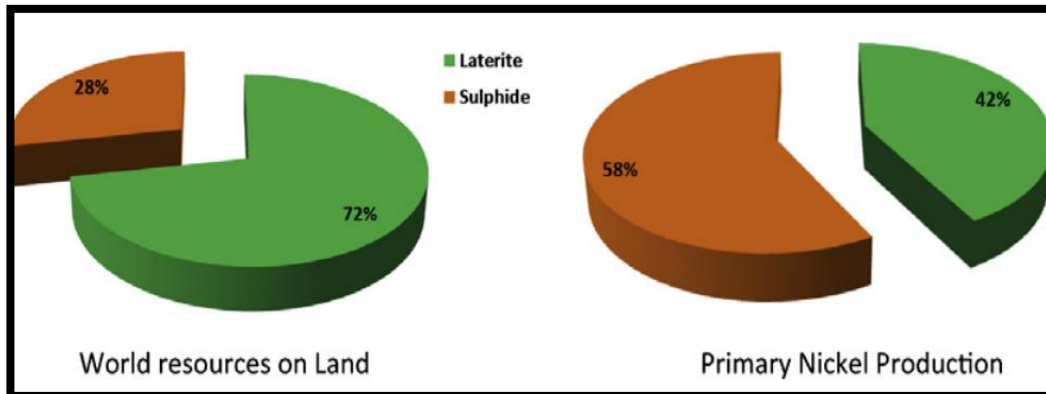
- a. Bijih nikel laterit yang digunakan adalah saprolit dan limonit yang berasal dari Sulawesi, Indonesia
- b. Aditif yang digunakan adalah sodium sulfat (Na_2SO_4)-pro analis (*chemical grade*).
- c. Reduktan yang digunakan adalah batubara bituminous 0,71%S dengan kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) 35,47%.
- d. Analisis karakterisasi yang digunakan adalah XRD, XRF dan SEM-EDX.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bijih Nikel Laterit

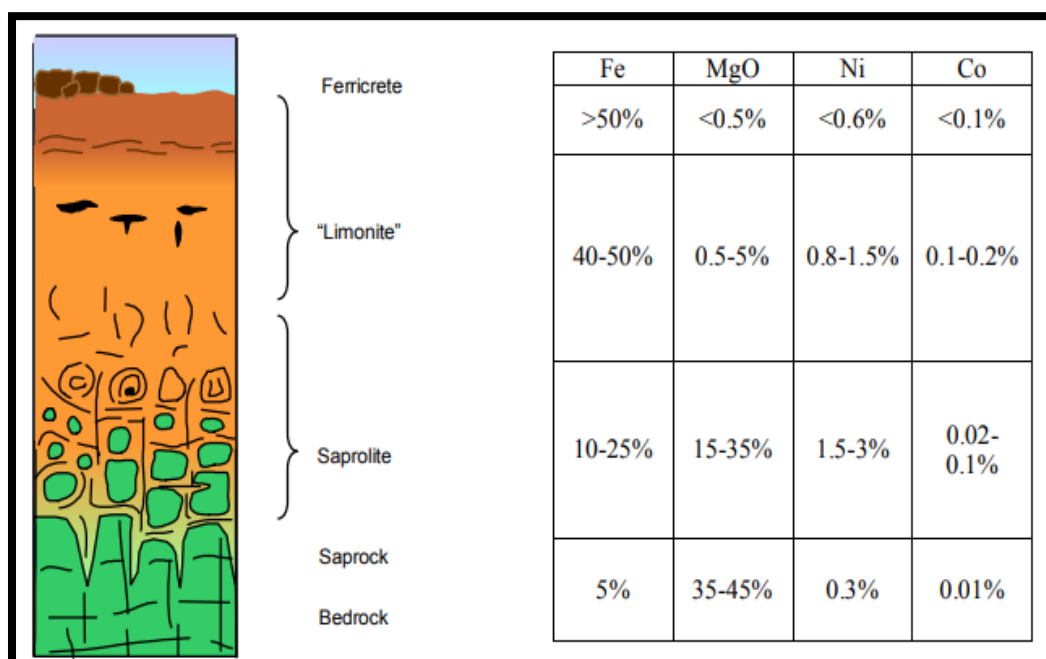
Nikel merupakan unsur kimia metalik yang dilambangkan dengan simbol Ni serta nomor atom 28, nikel memiliki massa jenis $8,9 \text{ gr/cm}^3$ serta titik lebur yang tinggi yaitu 1453°C . Nikel menjadi unsur yang sangat penting dan banyak digunakan untuk infrastruktur, transportasi, konstruksi dan mesin-mesin industri. Nikel saat ini umumnya digunakan dalam bentuk paduan seperti *stainless steel*, *super alloys* dan *non-ferrous alloys*. Nikel memiliki sifat mekanik yang kurang baik terutama pada kekerasannya saat dalam kondisi murni, namun dalam kondisi paduan dengan besi, khrom dan logam lainnya, nikel dapat membentuk baja tahan karat yang keras, dan tahan terhadap temperatur yang tinggi.

Bijih nikel laterit merupakan salah satu sumber nikel alam yang berbentuk batuan. Bijih nikel yang tersedia di alam berbentuk senyawa oksida (laterit) dan senyawa sulfida. Dibandingkan nikel sulfida, nikel laterit memiliki kadar kandungan nikel yang lebih rendah. Karena kandungan nikel dalam nikel sulfida yang lebih tinggi menyebabkan industri pengolahan nikel sulfida lebih banyak yaitu sekitar 58%, sedangkan untuk pengolahan bijih nikel laterit sendiri hanya berkisar 42% dari keseluruhan industri pengolahan bijih nikel (Dalvi et al., 2004). Hal tersebut tidak berbanding lurus dengan ketersediaan nikel sulfida yang sangat sedikit yaitu sekitar 28%, sedangkan nikel laterit yang kurang dalam pengolahannya memiliki ketersediaan yang lebih banyak yaitu sekitar 72%. (Oxley & Barcza, 2013)



Gambar 2.1 Ketersediaan alam dan produksi nikel; sulfida dan laterit (Oxley & Barcza, 2013)

Bijih nikel laterit merupakan Endapan yang dihasilkan dari pelapukan kimia pada batuan ultramafik/ultra basa yang mengandung banyak mineral olivin, magnesium silikat dan besi silikat dengan kandungan unsur Ni sebanyak 0,8-3% (Elias, 2002). Berlangsungnya proses laterisasi dimulai ketika batuan ultramafik yang berada di permukaan bumi menghasilkan residu nikel yang diakibatkan oleh faktor laju pelapukan, struktur geologi, iklim, topografi, reagen-reagen kimia dan waktu. Dari faktor-faktor itulah yang menyebabkan bijih nikel laterit terdapat di daerah yang beriklim tropis sampai dengan sub-tropis.



Gambar 2.2 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002)

Endapan nikel laterit memiliki kedalaman 15 meter dengan profil endapan yang berbeda disetiap kedalamannya. Gambar 2.2 menunjukkan profil endapan nikel laterit, dimana dalam setiap kedalaman terdapat kandungan unsur dan senyawa yang berbeda. Terdapat dua profil endapan yang menjadi sumber utama perolehan ferronikel dalam proses pengolahan bijih nikel laterit, yaitu : limonit yang memiliki kedalaman antara 0-3 meter dan saprolit yang memiliki kedalaman antara 3-9 meter (Warner et al., 2007).

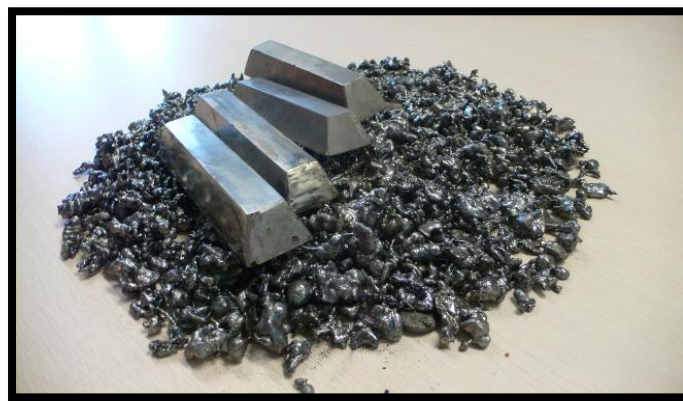
Zona limonit merupakan produk akhir dari pelapukan tropis buatan ultrabasa dan konsentrasi residu unsur *non-mobile*. pencucian lengkap dari komponen larut telah meninggalkan materi yang lemah dan menyebabkan hilangnya mineral utamanya. Zona limonit terbagi beberapa tingkat, bagian paling atas dari zona terkena efek oksidasi dari udara dan membawa beberapa hematit, terutama di medan *flattish* dimana kondisi rawa juga menyebabkan solusi dan pengendapan kembali besi sebagai *iron cap*. *Iron cap* merupakan bahan konstruksi jalan yang sangat baik karena kadar air yang lebih rendah. Di bawah zona ini, besi sebagian besar dalam bentuk goetit dan limonit, baik hidroksida besi dengan jumlah yang signifikan. Sementara oksida besi, aluminium dan khrom lebih atau kurang merata dalam zona limonit, mangan dan kobalt dilarutkan dan diendapkan ke bagian bawah zona limonit (Tian et al., 2020).

Terletak di atas batuan dasar, zona saprolit terdiri dari batu-batu yang sebagian telah benar-benar terurai di bawah pengaruh pelapukan tropis. Proses pelapukan mulai sepanjang permukaan lipatan dan rekah mengakibatkan pembentukan bongkah atau boulder dalam zona saprolit. Dalam batuan dasar yang relatif sangat terserpentinisasi, batas zona saprolit tidak terbatas hanya untuk rekahan dan lipatan saja, tetapi secara aktif berlanjut keseluruhan massa batuan yang memungkinkan terjadinya akses air tanah. Dalam zona saprolit, pelapukan batu-batu semakin meningkat ke arah atas. Magnesia larut, silika dan alkali terpindahkan dengan cepat meninggalkan konsentrasi sisa oksida besi, alumina, krom dan mangan. Nikel di zona saprolit sebagian tersisa tapi kebanyakan dari pengayaan sekunder. Air tanah yang asam melarutkan nikel di bagian atas profil

laterit dan menyimpannya di zona saprolit dimana peningkatan mendadak dalam alkalinitas air (karena kerusakan olivin dan pelepasan magnesium) membuat nikel terlarut (Pintowantoro et al., 2021).

2.2 Feronikel

Feronikel merupakan salah satu logam paduan yang terdiri dari unsur utama besi dan nikel. kandungan besi dan nikel dalam feronikel bervariasi dari 20% Ni, 80% Fe (reduksi besi tinggi) hingga 40% Ni, 60% Fe (reduksi besi rendah)(Qi et al., 2020). Semakin tinggi kandungan nikel dalam feronikel maka akan semakin tinggi nilainya. Feronikel banyak digunakan sebagai bahan pemuatan dalam pembuatan baja. Nikel dan logam kromium merupakan unsur pemuatan yang terdapat didalam baja tahan karat (*stainless steel*). *Stainless steel* banyak digunakan untuk alat-alat rumah tangga seperti peralatan makan dan kebutuhan dapur, *stainless steel* juga digunakan di dunia kedokteran dan farmasi sebagai peralatan kesehatan, selain itu *stainless steel* juga digunakan dalam industri otomotif.



Gambar 2.3 Feronikel (Qi et al., 2020)

Feronikel yang dihasilkan dari proses peleburan laterit juga mengandung pengotor, antara lain: 0,3 - 1% kobalt; 2,4% karbon; 3% silikon; 1,7% kromium. Sifat kimia kobalt cair dan nikel sangat mirip sehingga kobalt tidak dapat dihilangkan dari feronikel tanpa juga menghilangkan sejumlah besar nikel. Dalam

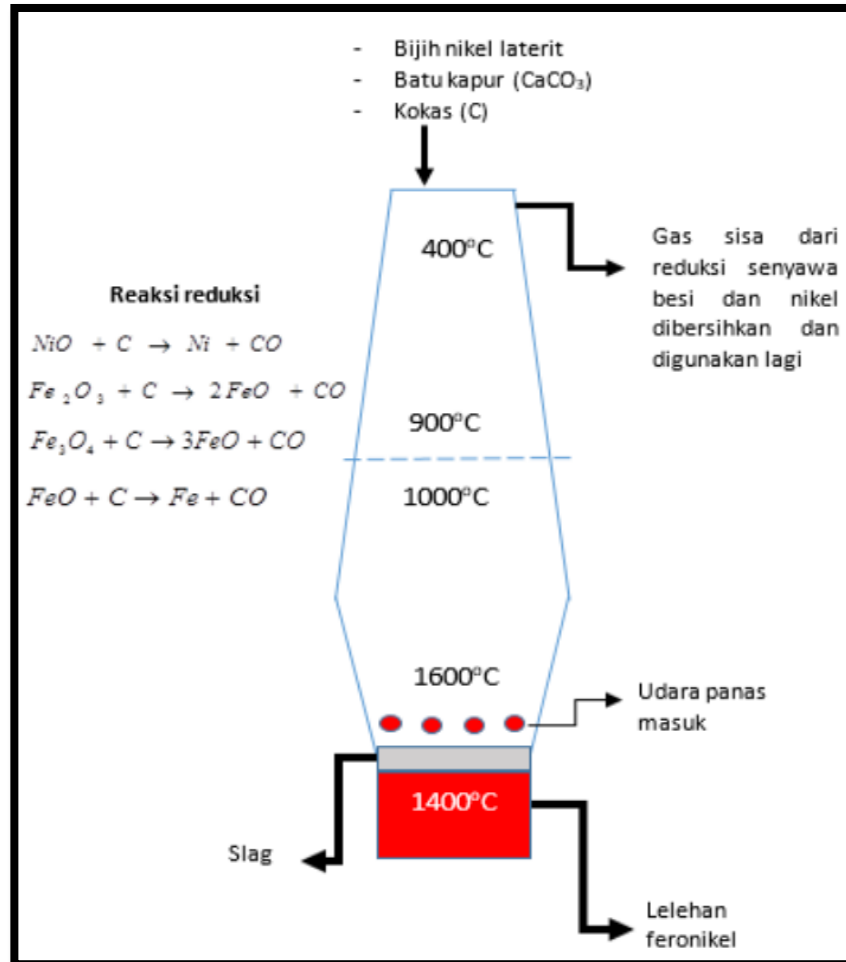
jumlah kecil, kobalt tidak merusak baja tahan karat atau baja paduan. Sedangkan karbon dapat dioksidasi dari feronikel, yang menurunkan kandungan karbon hingga 0,02% tanpa oksidasi nikel yang signifikan. Kromium hadir dalam feronikel dengan kandungan karbon yang tinggi. kromium dapat dihilangkan selama oksidasi karbon dengan sedikit kehilangan nikel. Silikon juga dapat dihilangkan selama oksidasi karbon karena silikon mudah teroksidasi (Huang et al., 2017).

2.3 Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Logam nikel diperoleh dari endapan nikel laterit yang telah diambil melalui proses pengolahan. Dalam pengolahan nikel laterit ini dapat digunakan dengan dua cara yaitu menggunakan proses pirometalurgi dan hidrometalurgi (Astuti et al., 2016). Penggunaan atau pemilihan kedua proses tersebut dipengaruhi oleh karakteristik ataupun komposisi dari endapan nikel laterit. Proses hidrometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dari zona limonit dengan kadar Ni dibawah 1,5%, Co dibawah 0,2%, Fe diatas 40%, dan MgO dibawah 5%. Proses pirometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dari zona transisi dengan kadar Ni 1,5%-2%, Co 0,02%-0,1%, Fe 25%-40%, dan MgO dibawah 5%-15% dan zona saprolit dengan kadar Ni 1,8%-3%, Co 0,02%-0,1%, Fe 15%-35%, dan MgO 15%-35%.

2.3.1. Proses Pirometalurgi

Proses pirometalurgi (*smelting*/peleburan) merupakan proses pemisahan logam dari bijihnya dengan menggunakan pemanasan pada temperatur yang sangat tinggi sampai titik lebur. Proses ini sangat cocok untuk pengolahan mineral yang memiliki kadar tinggi dan telah banyak digunakan oleh beberapa perusahaan dalam memproduksi logam, salah satunya adalah nikel. Tahapan-tahapan dalam proses pirometalurgi yaitu: pengeringan, kalsinasi, peleburan dan pemurnian. (Taruminkeng et al., 2016)



Gambar 2.4 Teknologi *blast furnace* (Taruminkeng et al., 2016)

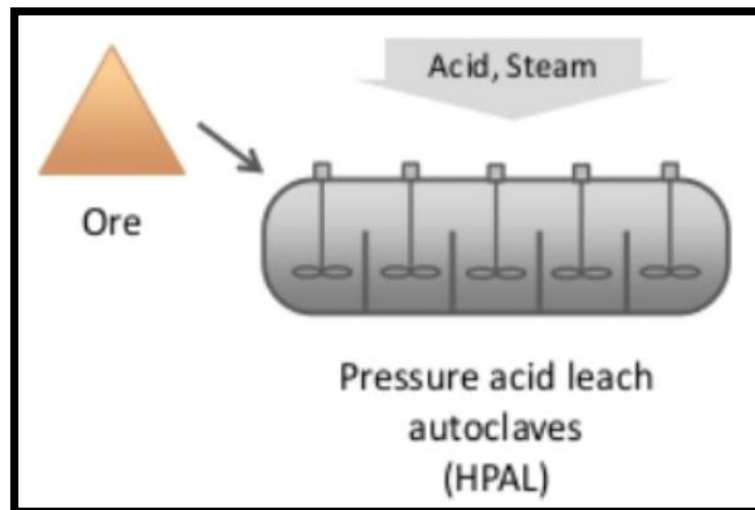
Teknologi dalam proses pirometalurgi yang umum digunakan dalam dunia industri saat ini untuk mengolah bijih nikel laterit yaitu: *Blast Furnace*, *Submerged Arc Furnace* dan *Rotary Kiln Electric Arc Furnace*. Tingginya jumlah pemanfaatan proses pirometalurgi (80%) dikarenakan proses tersebut telah terbukti dalam skala industri (Rao et al., 2013). Namun, tingginya biaya investasi dan konsumsi energi yang diakibatkan oleh penggunaan temperatur yang sangat tinggi (1200-1600°C) menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan proses ini (Chukwuleke et al., 2009).

2.3.2. Proses Hidrometalurgi

Proses hidrometalurgi (*leaching*/pelindihan) merupakan proses ekstraksi logam dengan menggunakan teknik pemberian reagen pelarut yang

dilakukan dengan temperatur relatif rendah. Proses ini sangat cocok untuk pengolahan mineral yang memiliki kadar rendah. Tahapan-tahapan dalam proses hidrometalurgi yaitu: pengeringan, reduksi, pelindihan dan pemurnian serta recovery.(Taruminkeng et al., 2016)

Teknologi dalam proses hidrometalurgi yang umum digunakan dalam dunia industri saat ini untuk mengolah bijih nikel laterit salah satunya adalah *High Pressure Acid Leach* (HPAL). Proses ini juga memiliki pertimbangan penting yaitu tingginya biaya investasi yang membuat proses ini tidak ekonomis, selain itu proses ini juga belum banyak dibuktikan dalam skala industri (Oxley & Barcza, 2013).

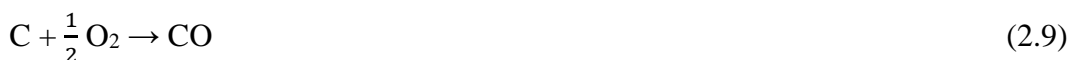
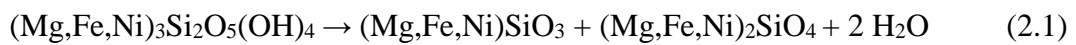


Gambar 2.5 *High Pressure Acid Leach*(HPAL)(Stopic & Friedrich, 2016)

2.4 Reduksi Selektif

Reduksi selektif merupakan salah proses pengolahan bijih nikel laterit yang sedang terus dikembangkan. Proses ini merupakan teknologi pengolahan secara pirometalurgi namun dalam temperatur yang sedikit lebih rendah (1100-1200°C), kemudian di kombinasikan dengan benefisiasi secara fisik menggunakan proses pemisahan secara magnetik (*magnetic separation*) untuk memisahkan konsentrat/ferronikel (magnetic) dan *tailing*/pengotor (non-magnetik) (Farrokhpay et al., 2019; Warner et al., 2007).

Tujuan utama dari proses reduksi selektif ini adalah untuk mereduksi senyawa oksida nikel dalam bijih nikel laterit. Namun, mereduksi sebagian dari oksida besi juga penting untuk selanjutnya besi yang tereduksi tersebut dapat mengikat nikel agar terbentuk ferronikel. Proses reduksi selektif berawal dari lepasnya senyawa hidroksida yang terjadi pada temperatur 500-600°C, yaitu: *serpentine* $(\text{Mg,Fe,Ni})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ menjadi *forsterite* $(\text{Mg,Fe,Ni})\text{SiO}_3$ dan *enstatite* $(\text{Mg,Fe,Ni})_2\text{SiO}_4$, serta *goethite* (FeOOH) menjadi *hematite* (Fe_2O_3) . kemudian proses tersebut dilanjutkan dengan perubahan pada pemanasan lanjut yaitu: *forsterite* dan *enstatite* yang berubah menjadi nikel oksida (NiO) dan logam nikel Ni, serta *hematite* yang berubah menjadi *magnetite* (Fe_3O_4) , *wustite* (FeO) dan logam besi Fe (Nurjaman et al., 2020). Berikut adalah persamaan yang menunjukkan reaksi yang terjadi pada proses reduksi bijih nikel laterit:



Separasi magnetik adalah metode pemisahan yang memanfaatkan perbedaan sifat kemagnetan pada mineral-mineral yang terdapat dalam bijih. medan magnet akan mengakibatkan respon terhadap mineral-mineral yang terdapat dalam bijih sesuai dengan sifat kemagnetan yang dimilikinya. mineral-mineral yang memiliki sifat kemagnetan tinggi akan merespon dan terpengaruh oleh medan magnet. mineral yang tertarik oleh magnet maka akan dikelompokkan sebagai mineral magnetik contohnya *magnetite*, *hematite*, *ilmenit*, *siderite*, *monaite* dan sebaliknya mineral non-magnetik tidak akan tertarik contohnya *quartz*, *mika*, *corundum*, *gypsum*, *iron*, *feldspar*. Metode ini efektif digunakan pada proses reduksi selektif bijih nikel laterit, dimana mineral-mineral

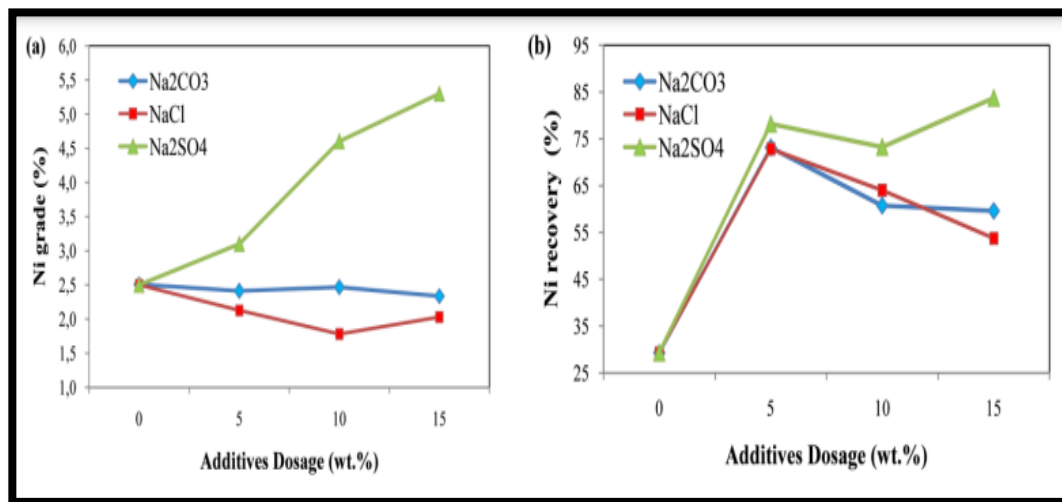
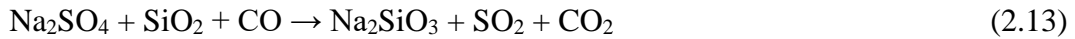
berharganya seperti nikel dan besi akan terpisahkan oleh pengotornya dikarenakan perbedaan sifat kemagnetannya.

Ukuran partikel merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam proses ini. Partikel yang lebih halus akan dapat memaksimalkan proses pemisahan sehingga proses *milling* pada sampel sangatlah berpengaruh. Karena pada partikel yang ukurannya lebih halus maka akan lebih sedikit ditemukannya mineral-mineral dengan perbedaan sifat kemagnetan yang masih tercampur dalam satu partikel. Oleh karena itu, proses pemisahan menggunakan metode ini akan menambah biaya investasi dimana membutuhkan energi tambahan untuk proses penghalusannya.

2.5 Aditif Dalam Proses Reduksi Selektif

Tujuan dari penambahan aditif dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit adalah untuk meningkatkan keefektifan proses, dengan meningkatnya kadar nikel yang diperoleh dalam konsentrat pada hasil akhir pemisahan magnetik (magnetic separation) (Bunjaku et al., 2011). Sodium sulfat (Na_2SO_4) merupakan salah satu senyawa yang efektif digunakan sebagai aditif untuk proses reduksi bijih nikel laterit (Jiang et al., 2013). Dari penelitian sebelumnya diperoleh bahwa aditif sodium sulfat memberikan kadar dan perolehan nikel yang jauh lebih baik dibandingkan dengan sodium karbonat (Nurjaman et al., 2019). Sulfur dalam sodium sulfat terbukti dapat meningkatkan perolehan nikel dalam konsentrat dengan meningkatkan ukuran butir ferronikel sehingga mengakibatkan tingginya derajat liberasi ferronikel terhadap pengotor (Hang et al., 2020). Sulfur yang terdapat dalam sodium sulfat dapat bereaksi dengan Fe sehingga membentuk senyawa *troilite*-FeS yang akan menurunkan metalisasi Fe (Rao et al., 2016). Selain itu, unsur Na dalam sodium sulfat dapat berikatan dengan senyawa silikon dan aluminium oksida sehingga akan membentuk senyawa *nepheline*- Na_2SiO_3 yang memiliki sifat non-magnetik. Hal tersebut dapat mencegah terbentuknya senyawa *fayalite*- Fe_2SiO_4 yang memiliki sifat paramagnetik, sehingga

memudahkan pemisahan magnetik pada hasil akhir proses reduksi selektif bijih nikel laterit (Nurjaman et al., 2020). Berikut persamaan reaksi yang terjadi:

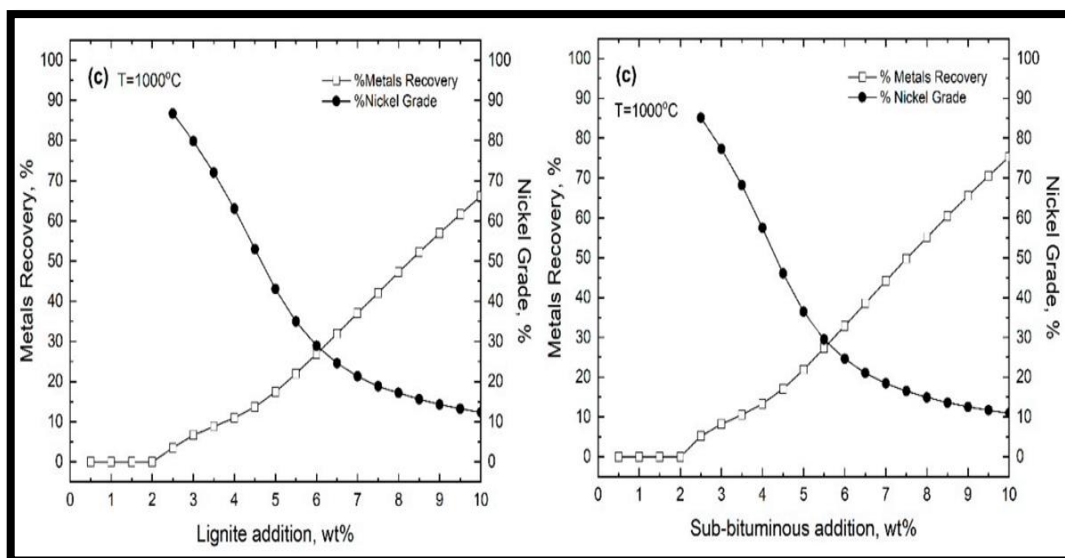


Gambar 2.6 Efek perbedaan aditif pada nikel dalam konsentrat (Nurjaman et al., 2019)

2.6 Reduktan Dalam Proses Reduksi Selektif

Dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit, reduktan merupakan material/gas yang sangat penting untuk proses reduksi yang ditujukan untuk mereduksi besi dan nikel oksida menjadi logam feronikel. Untuk mengoptimalkan proses ini, selain menggunakan aditif dapat juga dilakukan pembatasan jumlah reduktan yang bertujuan untuk membatasi jumlah besi yang akan tereduksi (Pan et al., 2013). Keberadaan sulfur dalam proses reduksi selain sebagai aditif mampu juga berperan sebagai reduktan, namun karena laju difusi yang keluar dari bijih nikel laterit jauh lebih cepat sehingga hanya sebagian kecil saja sulfur yang dapat berperan sebagai reduktan. Oleh karena itu dibutuhkanlah reduktor yang memiliki

laju reaksi lebih cepat dibandingkan sulfur seperti batubara (Elliott et al., 2017). Karena ketersediaannya yang cukup melimpah dan harga yang relatif jauh lebih murah, batubara (*Bituminous dan lignite*) merupakan pilihan yang tepat sebagai reduktan dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit (Elliott et al., 2015, 2017; Jiang et al., 2013; Li et al., 2012). Kelebihan dari batubara jenis *bituminous* dari pada *lignite* yaitu perolehan logam yang lebih banyak, namun tidak mempengaruhi kandungan dan perolehan nikel (Harjanto et al., 2019). Hal tersebut diakibatkan kandungan karbon pada batubara *lignite* lebih rendah dari pada batubara *bituminous*.



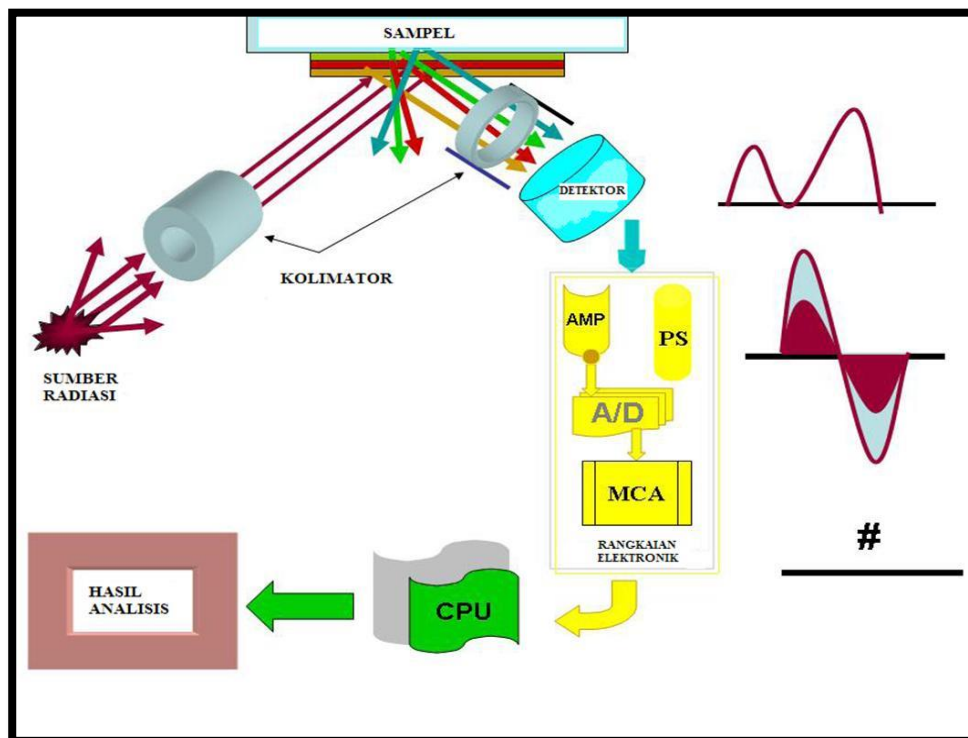
Gambar 2.7 Efek perbedaan reduktan batubara jenis lignite dan bituminous (Harjanto & Rhamdhani, 2019)

2.7 Karakterisasi

Karakterisasi merupakan bagian penting dalam menganalisis suatu material. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada bijih nikel laterit setelah dilakukan proses reduksi selektif. Adapun beberapa karakterisasi spesimen yang digunakan yaitu: *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffractometer (XRD)* dan *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)*.

2.7.1. X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis unsur penyusun suatu bahan menggunakan radiasi sinar-X yang diserap dan dipantulkan oleh sampel. Akan tetapi, XRF tidak berfungsi dalam orde yang kecil dan kebanyakan dipakai untuk analisa bahan dengan bagian yang lebih besar. Pada umumnya metode ini digunakan dalam menganalisis suatu unsur dari bahan batuan, mineral, dan sedimen. Analisis ini dilakukan berdasarkan identifikasi dan pembagian karakteristik sinar-X yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek ini berlangsung karena adanya elektron dalam atom target pada sampel yang terpapar sinar berenergi tinggi.



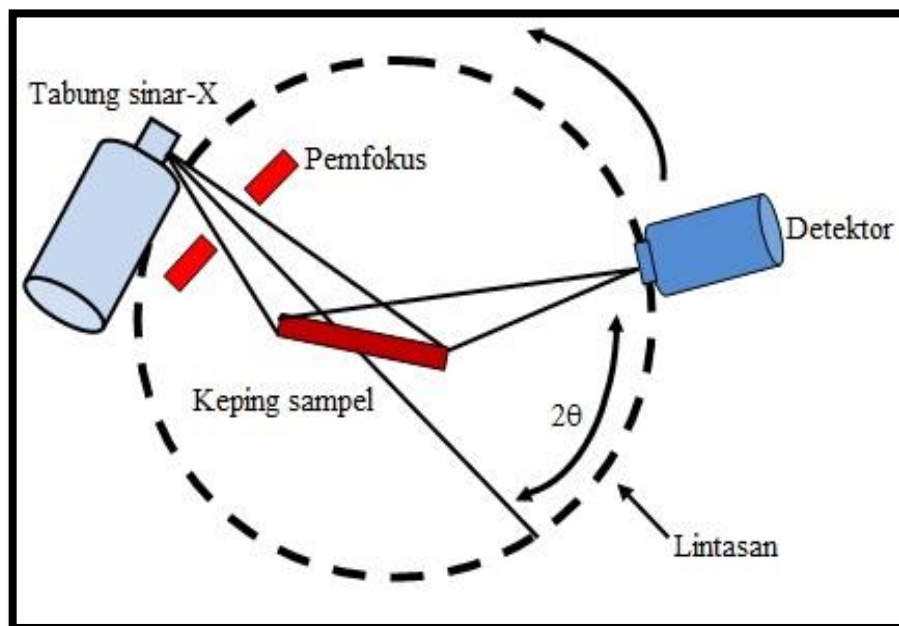
Gambar 2.8 Ilustrasi X-Ray Fluorescence (Speakman & Shackley, 2013)

Metode XRF bukan merupakan metode yang destruktif sehingga dalam penggunaannya tidak akan merusak sample. Metode ini memperoleh dua jenis hasil berdasarkan analisis kualitatif dan kuantitatif. Pada hasil analisis kualitatif diperlihatkan oleh pucak spektrum yang menggantikan jenis unsur sesuai dengan energi sinar-X karakteristiknya,

namun pada hasil analisis kuantitatif didapatkan melalui perbandingan antara intensitas sampel dengan standar (Speakman & Shackley, 2013). Karakterisasi menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung pada material sampel. Data yang dihasilkan pada metode ini biasanya disajikan dalam bentuk tabel. Kelemahan dari metode ini adalah tidak dapat mengetahui unsur yang saling berikatan dan unsur yang kompleks.

2.7.2. *X-Ray Diffractometer (XRD)*

Pada proses reduksi selektif bijih nikel laterit, karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui intensitas senyawa yang muncul ataupun perbedaan fasa yang terbentuk pada bijih nikel laterit hasil reduksi. Analisa data kualitatif hasil XRD dapat dilakukan dengan cara membandingkan hasil data secara manual dengan hasil data ICSD yang didapat dari program komputer PCPDWIN. Ada tiga komponen dasar pada XRD adalah sinar-X, wadah sampel, dan detektor yang terdapat pada lingkaran yang sejajar dengan lingkaran fokus. Umumnya komponen utama penyusun alat XRD terbagi menjadi tiga yang terdiri dari tempat objek, tabung sinar-X, dan detektor sinar-X (Epp, 2016).



Gambar 2.9 Ilustrasi Difraksi Sinar-X (Epp, 2016)

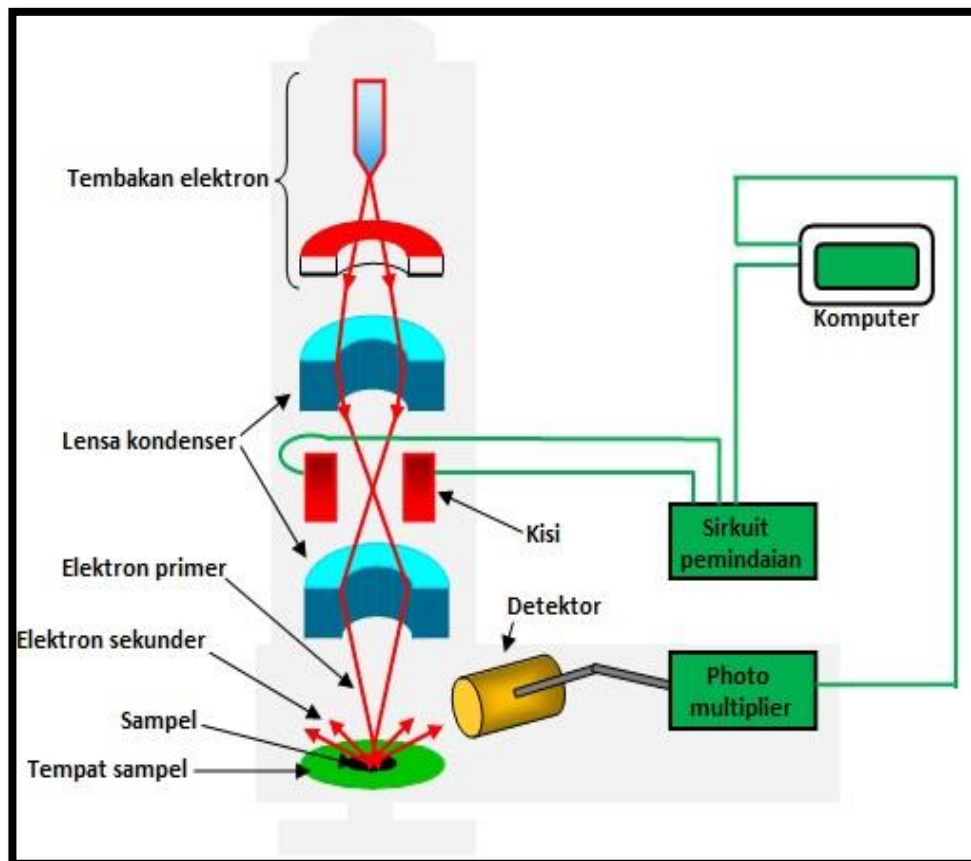
XRD (*X-Ray Diffraction*) merupakan metode karakterisasi yang digunakan untuk menganalisis senyawa yang terdapat pada material sampel. Data yang diperoleh yaitu berupa grafik kristal dan juga unsur pendukungnya. Prinsip kerja XRD secara sederhana yaitu *X-Ray* tube memancarkan gelombang infrared kemudian pancaran gelombang tersebut menyentuh spesimen dan dipantulkan kemudian di tangkap oleh *detector* pada mesin XRD untuk diubah menjadi bentuk data (Epp, 2016). Dalam hasil data menggunakan metode XRD juga dapat menjadi pertimbangan untuk analisis pada data SEM begitu juga sebaliknya. Ilustrasi diatas merupakan cara sederhana difraksi sinar-X dimana tabung sinar-X mengeluarkan sinar-X yang difokuskan dan mengenai sampel oleh pemfokus kemudian detektor segera bergerak sepanjang lintasannya untuk merekam pola difraksi sinar-X.

2.7.3. *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)*

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron dengan perbesaran tinggi yang merepresentasikan permukaan suatu material atau sampel dengan menggunakan pemindaian oleh pancaran elektron. Fungsi utama karakterisasi menggunakan metode SEM mirip dengan fungsi mikroskop yaitu untuk melihat benda yang makroskopis untuk diamati secara mikroskopis.

Perbedaan umum antara keduanya antara lain: karakterisasi menggunakan metode SEM tidak menggunakan lensa saat pengoperasiannya melainkan menggunakan elektron, karakterisasi menggunakan metode SEM dapat menyentuh hingga skala nano sedangkan mikroskop hanya sampai mikro, metode SEM tidak bergantung pada cahaya dalam proses pengamatan spesimen sedangkan mikroskop butuh cahaya, dan karakterisasi menggunakan metode SEM dapat menganalisis unsur, dimana hal tersebut tidak dapat dilakukan jika menggunakan mikroskop (Zhou et al., 2007).

Sementara itu, *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* atau EDS merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengetahui unsur yang terkandung pada sampel melalui pancaran elektron yang ditembakkan mesin SEM pada material sampel. Pada hakikatnya metode EDS hampir sama dengan metode XRF namun EDS pada mesin SEM dapat dilakukan pada daerah yang relatif kecil (titik) selain itu fungsi lainnya adalah dapat mengetahui sebaran unsur (mapping) pada sampel (Zhou et al., 2007).



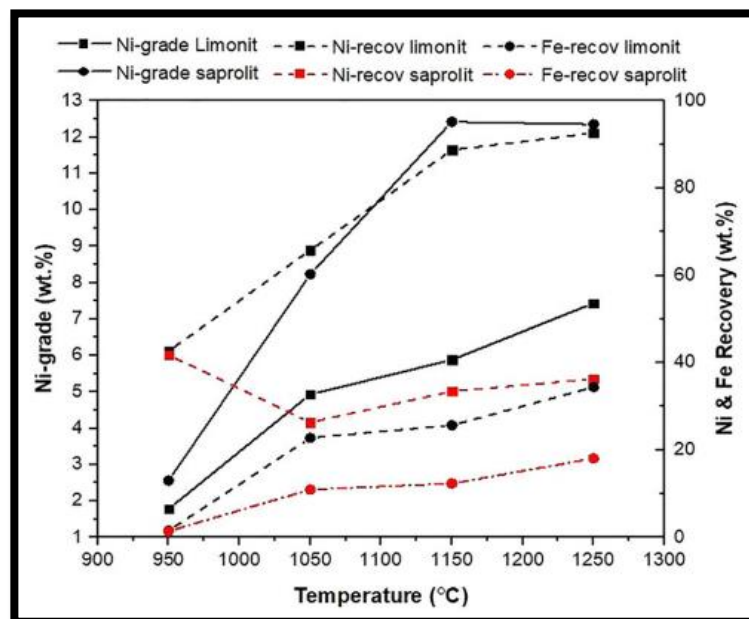
Gambar 2.10 Ilustrasi *Scanning Electron Microscope* (Zhou et al., 2007)

Prinsip kerja SEM pertama memasukkan sample ke dalam *chamber* yang tersedia, setelah itu *chamber* pada alat uji SEM akan di *vaccum*, pada *chamber* juga terdapat beberapa komponen seperti pada gambar diatas. Komponen thermionic katoda yang terdiri dari (*electron gun* dan *electron beam*) melewati anoda sehingga terjadi lompatan elektron dari katoda menuju anoda akibatnya elektron tersebar kearah spesimen, akan tetapi sebaran elektron masih harus difokuskan kearah

spesimen dengan komponen *magnetic lens*, setelah itu akan difokuskan lagi elektron yang disebar ke titik yang hendak dilakukan *scanning* menggunakan komponen *electromagnetic deflection*. Elektron yang tertembak ke spesimen dinamakan dengan *primary* elektron, *primary* elektron yang terpapar ke spesimen akan membentuk *secondary electron*, kemudian *secondary electron* akan di deteksi oleh komputer kemudian di proses hingga menghasilkan gambar *scanning* yang ditampilkan pada layar LCD.

2.8 Kajian Penelitian Sebelumnya

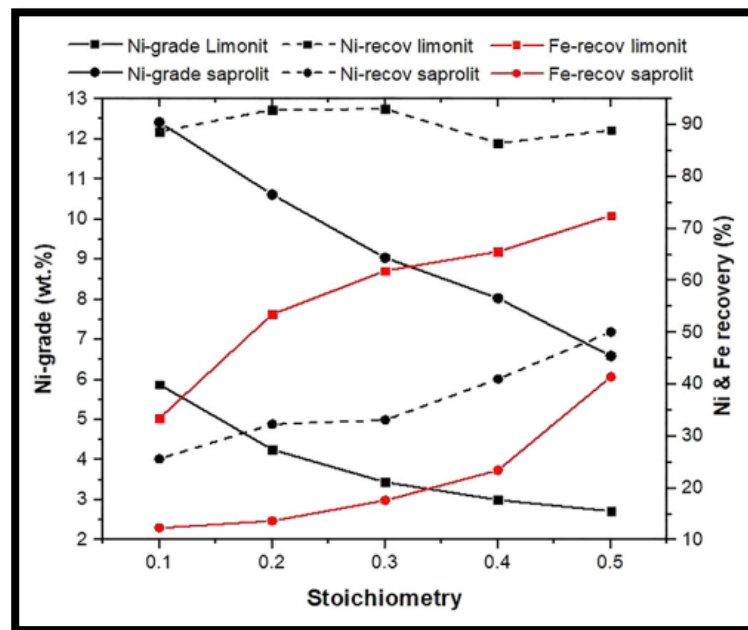
Penelitian sebelumnya dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan tujuan untuk meningkatkan kadar nikel dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit jenis limonit dan saprolit menjadi logam feronikel. Nurjaman dkk. dalam penelitiannya yang berjudul "*Study of selective reduction in lateritic nickel ore: Saprolite versus limonite*" telah melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui parameter yang optimal pada proses reduksi selektif bijih nikel laterit dengan kadar awal saprolit (18,48% Fe; 1,81% Ni) dan limonit (41,06% Fe; 1,38% Ni).



Gambar 2.11 Efek perbedaan suhu reduksi pada saprolit dan limonit (Nurjaman et al., 2021)

Proses reduksi bijih nikel diawali dengan variasi suhu 950 - 1250°C ditambah dengan waktu tahan 1 jam serta diakhiri dengan *quenching* menggunakan air. Penelitian tersebut membuktikan bahwa tingginya suhu reduksi maka menghasilkan kadar nikel dan *recovery* yang tinggi. Pada suhu reduksi 1250°C terjadi penurunan kadar nikel pada saprolit. (Nurjaman et al., 2021)

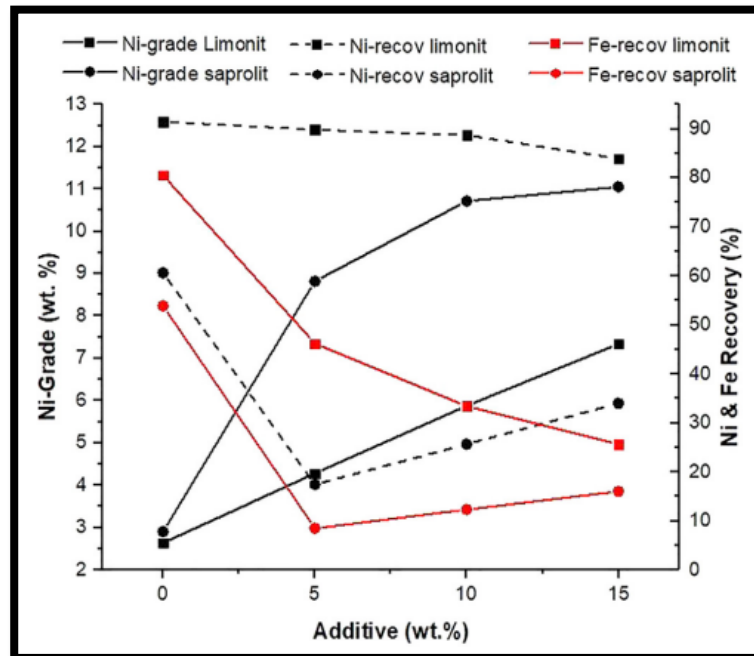
Penelitian kembali dilanjutkan dengan melakukan beberapa variasi terhadap penambahan reduktan batubara. Proses reduksi dilakukan dengan menggunakan suhu 1150°C yang ditahan selama 1 jam dan diakhiri dengan *quenching* menggunakan air. Penambahan reduktan batubara dilakukan dengan variasi 0,1 - 0,5 *stoichiometry*. Dari percobaan tersebut dihasilkanlah bahwa penambahan reduktan batubara yang menghasilkan kadar nikel tertinggi dalam konsentrat baik pada bijih nikel jenis saprolit dan limonit adalah 0,1 *stoichiometry*. Namun peningkatan kadar nikel ini tidak diimbangi dengan nilai *recovery* yang justru paling rendah pada 0,1 *stoichiometry*.



Gambar 2.12 Efek penambahan reduktan batubara pada saprolit dan limonit (Nurjaman et al., 2021)

Penelitian yang terakhir dilakukan dengan melakukan penambahan aditif sodium sulfat Na_2SO_4 pada proses reduksi bijih nikel yang ditambah dengan reduktan batubara 0,1 *stoichiometry*. Proses reduksi dilakukan dengan

menggunakan suhu 1150°C yang ditahan selama 1 jam dan diakhiri dengan *quenching* menggunakan air. Penambahan aditif sodium sulfat Na₂SO₄ dilakukan dengan variasi 0 - 15% dari bijih nikel. Dari penelitian ini dihasilkan bahwa pada penambahan sodium sulfat Na₂SO₄ yang lebih tinggi menghasilkan kadar nikel yang lebih tinggi juga baik saprolit maupun limonit. Namun, peningkatan kadar nikel pada limonit dan saprolit tersebut tidak diimbangi dengan nilai recovery terutama pada limonit yang justru semakin menurun.



Gambar 2.13 Efek penambahan aditif sodium sulfat Na₂SO₄ pada saprolit dan limonit (Nurjaman et al., 2021)

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pusat Riset Teknologi Pertambangan - BRIN, pada bulan Desember 2021 sampai dengan Maret 2022. Proses reduksi selektif bijih nikel laterit dilakukan di Laboratorium *Heat Treatment*, sedangkan untuk pengujian karakterisasi bahan baku dan produk dilakukan di Laboratorium Analisa Kimia.

3.2. Alur Penelitian

Proses penelitian diawali dengan menghaluskan bijih nikel laterit, batubara dan Na_2SO_4 hingga lolos #100 mesh. Untuk menghaluskan bijih nikel laterit dan batubara digunakan mesin penggerus *ball mill*. Kemudian melakukan analisis awal XRF dan XRD untuk mengetahui kandungan unsur dan senyawa dalam bijih nikel laterit baik saprolit dan limonit. Lalu mencampur bijih nikel laterit, batubara dan Na_2SO_4 hingga homogen dengan komposisi sesuai dengan variasi dalam takaran berat (gram). Kemudian sampel yang sudah tercampur homogen dibentuk pellet dengan diameter 10-15 mm. Pembentukan pellet ini dibantu dengan menggunakan tambahan sedikit air. Untuk mengurangi kadar air setelah dibentuk pelet, sampel dipanaskan dengan suhu 120°C selama 4 jam. Setelah kering, sampel tersebut kemudian ditimbang untuk mengetahui berat sebelum dilakukan reduksi serta untuk membuat berat sampel yang divariasikan menjadi seragam

yaitu 45-50 gram. Selanjutnya sampel direduksi dengan menggunakan *muffle furnace* hingga mencapai suhu 1150°C dan dilakukan penahanan selama 60 menit. Setelah ditahan selama 60 menit, sampel diberi perlakuan panas yaitu *quenching* menggunakan media air. Untuk mengeringkan sampel setelah *quenching*, sampel dipanaskan dengan suhu 120°C selama 4 jam. Setelah kering sampel ditimbang untuk mengetahui berat setelah direduksi. Sampel juga ditimbang untuk dilakukan analisis XRD dan SEM. Kemudian menghaluskan sampel hasil reduksi hingga lolos mesh #200 dengan menggunakan mesin *shaker mil*. Setelah seluruh sampel halus, sampel dilakukan magnetik separasi basah dengan menggunakan magnet permanen yang memiliki kuat medan magnet 500 gauss untuk memisahkan konsentrat yang bersifat magnetik dan *tailing* yang bersifat non-magnetik. Setelah dipisahkan kedua hasil pemisahan tersebut kembali dikeringkan dengan suhu 120°C selama 4 jam. Setelah kering, kemudian ditimbang kembali untuk dilakukan analisis XRF pada hasil pemisahan magnetik baik pada konsentrat maupun *tailing*. Selanjutnya mengolah data hasil analisis XRF, XRD dan SEM.

Variasi yang dilakukan terdapat pada pencampuran bijih nikel laterit, batubara dan sodium sulfat (Na₂SO₄). Pada reduksi selektif bijih nikel saprolit dan limonit, setiap sampel akan mengandung bijih nikel laterit sebanyak 50 gram dan aditif sodium sulfat (Na₂SO₄) sebanyak 5 gram. Untuk penambahan reduktan batubara divariasikan menjadi 10 variasi menurut stoikiometri. Berikut Gambar 3.1 dan 3.2 merupakan variasi yang dibuat dalam penelitian ini.

Tabel 3.1 variasi sampel bijih nikel saprolit

| Variasi | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Saprolit (gram) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Na ₂ SO ₄ (gram) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Batubara (stoikiometric) | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |

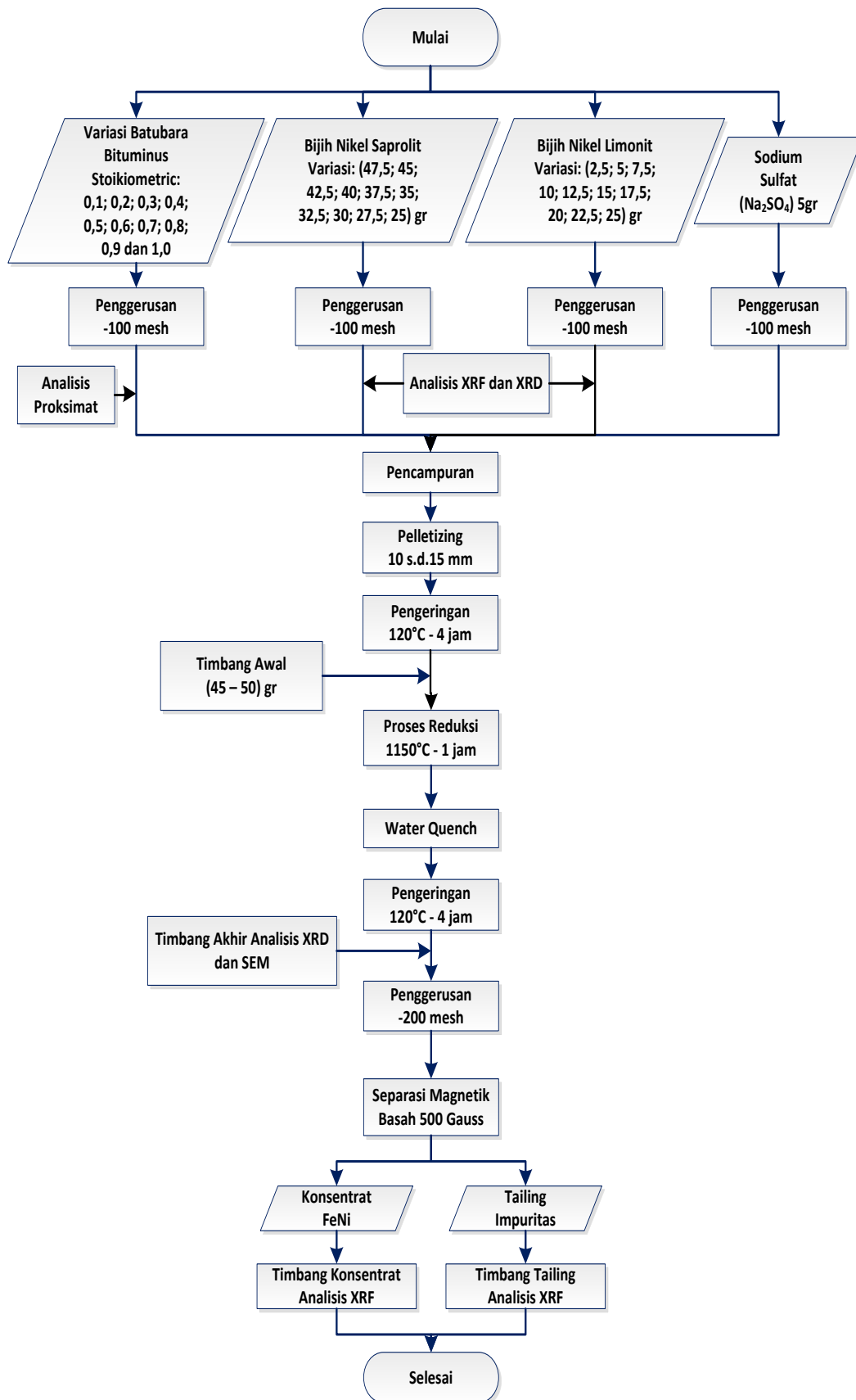
Tabel 3.2 variasi sampel bijih nikel limonit

| Variasi | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Limonit (gram) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Na ₂ SO ₄ (gram) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Batubara (stoikiometric) | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |

Hasil dari proses reduksi selektif bijih nikel saprolit dan limonit ini akan digunakan untuk menentukan kadar reduktan batubara pada variasi pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan variasi reduktan batubara dengan hasil yang memiliki perolehan nikel tertinggi pada saprolit dan limonit. sepuluh variasi pencampuran yang dibuat memiliki total berat bijih nikel setelah dicampur yaitu 50 gram dan untuk penambahan aditif sodium sulfat (Na₂SO₄) sebanyak 10% dari berat bijih nikel setelah dicampur yaitu 5 gram. Gambar 3.3 berikut merupakan variasi pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit yang dilakukan dalam penelitian ini.

Tabel 3.3 variasi sampel pencampuran bijih nikel limonit dan saprolit

| Variasi | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|--|----|------|----|------|----|------|----|------|----|
| Limonit (gram) | 2,5 | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 | 22,5 | 25 |
| Saprolit (gram) | 47,5 | 45 | 42,5 | 40 | 37,5 | 35 | 32,5 | 30 | 27,5 | 25 |
| Na ₂ SO ₄ (gram) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Batubara (stoikiometric) | Kombinasi perolehan nikel terbanyak pada saprolit dan limonit | | | | | | | | | |



Gambar 3.1 Flowchart penelitian

3.3. Keseimbangan Massa Reduktan Batubara

Sebelum dilakukan proses reduksi selektif, terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap massa bahan (keseimbangan massa) terhadap komposisi bahan di dalam bijih nikel laterit. Perhitungan ini mempengaruhi keberhasilan proses reduksi selektif berupa morfologi maupun komposisi yang dihasilkan. Hal ini dilakukan dengan memperhitungkan jumlah karbon berdasarkan reaksi reduksi yang terjadi pada bijih nikel saprolit dan limonit setelah diketahui kandungannya berdasarkan karakterisasi awal. Perhitungan dilakukan dengan memperhatikan perilaku termal senyawa penyusunnya pada suhu 1150°C. Dimana terjadinya reaksi reduksi seperti pada persamaan (2.3-2.6). Setelah diketahui jumlah zat yang terdapat pada reaksi, kemudian ditentukanlah jumlah karbon yang dibutuhkan menggunakan persamaan (2.8). Setelah diketahui jumlah karbon (mol) yang dibutuhkan, kemudian menghitung seberapa banyak batubara yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan karbon tersebut. Berikut ini persamaan (3.1) merupakan rumus stoikiometri untuk menentukan berat reduktan batubara pada proses reduksi selektif bijih nikel laterit.

$$m = n \times Ar \quad (3.1)$$

dimana,

m = massa (gram)

n = jumlah zat (mol)

Ar = massa atom relatif

3.4. Kadar Pencampuran dan Prediksi Hasil

Dalam melakukan pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit pada proses reduksi selektif melibatkan pencampuran kadar penambahan batubara dan aditif sodium sulfat (Na_2SO_4), dimana akan terdapat perbedaan pada penambahan kadar reduktan batubara. Reduktan batubara yang berbeda ini diakibatkan hasil perhitungan stoikiometri yang berbeda pada bijih nikel saprolit dan limonit, dimana kadar yang akan digunakan dalam proses pencampuran adalah yang

menghasilkan perolehan nikel tertinggi. Kadar reduktan yang berbeda ini nanti akan dicampur berdasarkan persentase pencampuran bijih nikelnya. Berikut rumus perhitungan yang digunakan untuk menentukan kombinasi kadar penambahan reduktan batubara pada setiap variasi pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit:

$$\text{Kadar batubara (gram)} = (\text{wt.\%}_S \times \text{stoikiometri}_S) + (\text{wt.\%}_L \times \text{stoikiometri}_L) \quad (3.2)$$

dimana,

wt.%_S = Persentase massa saprolit (%)

wt.%_L = Persentase massa limonit (%)

stoikiometri_S = Kadar batubara saprolit (gram)

stoikiometri_L = Kadar batubara limonit (gram)

Berdasarkan rumus (3.2) tersebut, dapat ditentukan juga nilai prediksi perolehan nikel (*Ni-grade*) dan *recovery* nikel (*Ni-recovery*) pada hasil reduksi selektif pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit. Nilai prediksi ini merupakan pembandingan kuantitatif pada hasil percobaan bijih nikel pencampuran saprolit dan limonit. Berikut rumus perhitungan yang digunakan untuk menentukan nilai prediksi perolehan nikel (*Ni-grade*) dan *recovery* nikel (*Ni-recovery*) pada hasil reduksi selektif pencampuran bijih nikel saprolit dan limonit:

$$\text{Ni-grade (\%)} = (\text{wt.\%}_S \times \text{Ni-grades}_S) + (\text{wt.\%}_L \times \text{Ni-grade}_L) \quad (3.3)$$

$$\text{Ni-recovery (\%)} = (\text{wt.\%}_S \times \text{Ni-recovery}_S) + (\text{wt.\%}_L \times \text{Ni-recovery}_L) \quad (3.4)$$

dimana,

Ni-grades = Perolehan nikel saprolit (%)

Ni-grade_L = Perolehan nikel limonit (%)

Ni-recovery_S = recovery nikel saprolit (%)

Ni-recovery_L = recovery nikel limonit (%)

3.5. Recovery

Proses reduksi selektif pada bijih nikel laterit dilakukan untuk memisahkan nikel dengan unsur atau senyawa pengotor yang tidak diinginkan. Unsur

penting yang terkandung dalam bijih nikel laterit adalah besi dan nikel. Proses reduksi dikatakan optimal apabila perolehan *recovery* logam dengan presentase tinggi, persentase yang didapat dari jumlah berat unsur dalam konsentrat dibanding dengan jumlah berat unsur keseluruhan. Berikut ini persamaan (3.2) merupakan rumus nilai *recovery* hasil reduksi selektif bijih nikel laterit.

$$Recovery_{Ni,Fe} = m_c \times \beta_{Ni,Fe} / (m_c \times \beta_{Ni,Fe}) + (m_t \times \gamma_{Ni,Fe}) \quad (3.5)$$

dimana,

m_c = massa konsentrat (gram)

m_t = massa tailing (gram)

$\beta_{Ni,Fe}$ = kadar nikel, besi pada konsentrat (%)

$\gamma_{Ni,Fe}$ = kadar nikel, besi pada tailing (%)

3.6. Prosedur Uji Karakterisasi

Pengujian karakterisasi pada penelitian ini menggunakan tiga metode analisis yaitu: analisis XRF, XRD dan SEM. Berikut ini merupakan prosedur yang dilakukan dalam melakukan pengujian karakterisasi.

3.6.1 Karakterisasi XRF

Karakterisasi XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur dari bijih nikel laterit baik sebelum dan sesudah dilakukan proses reduksi selektif. Berikut ini prosedur dalam melakukan uji karakterisasi XRF.

- a. Menyiapkan sampel uji.
- b. Menghaluskan sampel uji dengan menggerus hingga lolos #200 mesh.
- c. Melakukan pengaturan pada alat uji XRF untuk di *setting* pada pengujian Test-Mining Plus.
- d. Pengujian dilakukan dengan menembakan sinar-X ke sampel uji.
- e. Hasil berupa data kuantitatif dan kualitatif akan muncul pada layar.
- f. Selesai.

3.6.2 Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD digunakan untuk menentukan fasa yang muncul pada sampel. Dalam penelitian ini pengujian XRD digunakan untuk menguji bijih nikel laterit baik sebelum dan sesudah dilakukan proses reduksi selektif. Untuk pengujian XRD pada bijih nikel laterit hasil reduksi selektif, sampel yang diuji hanya sebagian yang dapat mewakili seluruh sampel. Dilakukan pengujian pada 3 sampel yang mewakili 10 sampel pada saprolit, dan 3 sampel yang mewakili 10 sampel pada limonit, serta 3 sampel yang mewakili 10 sampel campuran. Berikut ini prosedur dalam melakukan pengujian XRD.

- a. Menyiapkan sampel uji.
- b. Menghaluskan sampel uji dengan menggerus hingga lolos #200 mesh.
- c. Sampel uji diletakkan pada tatakan untuk dilakukan pengujian.
- d. Pengujian dilakukan dengan menembakan sinar-X ke sampel uji.
- e. Hasil data mentah yaitu berupa intensitas difraksi sinar-X.
- f. Data mentah diolah menggunakan *software high score plus*, dimana data tersebut akan dicocokkan dengan database.
- g. Setelah fasa dan struktur kristal telah diketahui, data kemudian disajikan menggunakan software origin.
- h. Selesai.

3.6.3 Karakterisasi SEM-EDS

Karakterisasi SEM-EDS bertujuan untuk mengetahui morfologi dan struktur mikro yang terbentuk pada sampel uji. EDS sendiri berfungsi untuk mengetahui unsur yang terdapat pada morfologi sampel uji. Untuk pengujian SEM-EDS pada bijih nikel laterit hasil reduksi selektif, sampel yang diuji hanya sebagian yang dapat mewakili seluruh sampel. Dilakukan pengujian pada 3 sampel yang mewakili 10 sampel pada saprolit, dan 3 sampel yang mewakili 10 sampel pada limonit, serta 3 sampel yang mewakili 10 sampel campuran. Berikut ini prosedur dalam melakukan pengujian SEM-EDS.

- a. Menyiapkan sampel uji.
- b. Meresin sampel uji yang kemudian dilakukan *polishing* agar permukaannya rata untuk dilakukan pengujian.
- c. Sampel uji diletakkan pada *holder* untuk dilakukan pengujian.
- d. Memasukkan material pada *chamber*.
- e. Melakukan *vaccum* pada *chamber* menggunakan software kontrol pada komputer.
- f. Menentukan morfologi yang hendak dipilih.
- g. Menentukan beberapa titik pada wilayah material yang hendak dilakukan uji EDS.
- h. Hasil data langsung tertampil pada komputer.
- i. Mengidentifikasi ukuran butir partikel pada data hasil pengujian SEM menggunakan aplikasi ImageJ.
- j. Selesai.

3.7. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Ball mill*
Ball mill merupakan alat yang digunakan untuk memperhalus bijih nikel laterit menjadi bentuk partikel halus. Pada mesin *ball mill* dilengkapi dengan bola-bola baja yang berfungsi sebagai penumbuk material yang akan dihaluskan dalam ruang penghalus *ball mill*. Gambar 3.1 merupakan mesin *Ball mill* yang berkapasitas 5 kg dan dilengkapi oleh motor dan tombol pengatur kecepatan. Cara kerja mesin *ball mill* adalah dengan memasukkan material serta bola baja kedalam tabung penggiling, lalu saat mesin tersebut diaktifkan maka tabung penggiling tersebut akan berputar dengan sumbu putar horizontal yang menyebabkan material akan tergerus halus oleh bola baja. kelemahan dari mesin *ball mill* yang digunakan ini

adalah tidak dapat mengidentifikasi ukuran partikel yang sedang digiling dan juga tidak dapat mengatur waktu penggilingan secara otomatis.



Gambar 3.2 Mesin *BallMill*

Tabel 3.4 Spesifikasi mesin *ball mill*

| Spesifikasi | Keterangan |
|---------------------------|---|
| Kapasitas | 5 kg |
| Penggerak | Motor listrik 3 fasa, daya 1 HP |
| Putaran Mesin | 300 Rpm max. Dilengkapi pengatur kecepatan |
| Dimensi tabung | 300 x 200 mm |
| Tebal Tabung | 4 mm |
| Diameter Bola Baja | 2 in |

b. *Shaker mill*

Shaker Mill PPF-UG merupakan Sistem penghalus material yang menyediakan kecepatan *shaking* mencapai 700 - 800 rpm, menjadikan percepatan bola *milling* diperkirakan dapat mencapai 10 - 20 g (g=grafitasi bumi, riil pengukuran nilai pastinya belum ada). Volume *jar* yang tersedia 100 ml, dengan power suply 220 V, 500 W. Cara kerja mesin ini sangat sederhana, yaitu dengan diawali dengan memasang jar (tabung

pengocok) yang sudah diisi dengan material yang akan dihaluskan ke mesin. Lalu atur waktu penggilingan (jika ada timer) dan hidupkan mesin dengan tombol ON. Cara kerja mesin ini adalah dengan mengubah energi putaran mesin menjadi getaran (gerak bolak balik). Mesin ini juga sudah dilengkapi pengatur waktu penggilingan yang akan mematikan mesin secara otomatis.



Gambar 3.3 Mesin *Shaker Mill* PPF - UG

c. Magnet permanen

Magnet permanen digunakan untuk memisahkan konsentrat (*magnetic*) dan *tailing* (*non-magnetic*) pada bijih nikel laterit hasil reduksi selektif. Magnet permanen yang digunakan memiliki kuat medan magnet sebesar 500 gauss.



Gambar 3.4 Magnet permanen

d. *Muffle furnace*

muffle furnance ini digunakan untuk melakukan pemanasan pada sampel uji. Pada *muffle furnance* ini mampu memanaskan material hingga suhu 1400°C, mampu menahan pada suhu tertentu namun kekurangannya tidak adanya alarm dan tidak dapat mengatur waktu penahanan dalam proses pemanasan. Pemanas pada muffle furnace ini menggunakan kawat induksi dengan laju pemanasan 10°C/menit yang terpasang di sekeliling ruang tungku bagian dalam. Pengontrol suhu menggunakan *thermocouple* yang terhubung pada layar monitor. Kelemahannya tidak adanya pengatur waktu penahanan pada pemanasan.



Gambar 3.5 *Muffle furnace*

e. XRF portable merk *INNOV-X*

Alat uji XRF merupakan alat yang digunakan untuk mengidentifikasi komposisi unsur dari bijih nikel laterit. Hasil data berupa data kuantitatif dan data kualitatif berupa jenis unsur dan presentase dari unsur.



Gambar 3.6 XRF portable merk *INNOV-X*

Tabel 3.5 Spesifikasi alat XRF portable

| Spesifikasi | Keterangan |
|---------------------------|--|
| <i>Weight</i> | 2.625 lbs. (base wt.) 3.375 lbs [1.6 kg] with batteries. |
| <i>Power</i> | Li-ion batteries, rechargeable. Powers analyzer and iPAQ simultaneously. AC adapter optional. |
| <i>Number of Elements</i> | Standart package includes 20 elements. |
| <i>Standart Elements</i> | Pb, Cr, Hg, Cd, Sb, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sn, Ag, As, Se, Ba, Co, Zr, Rb. Common additions : W, Br, Tl. |
| <i>Display Screen</i> | Color, high resolution touchscreen. Variable brightness provides easy viewing in all ambient lighting conditions. |
| <i>Processor</i> | Intel 400 MHz Strong Arm processor or higher. |
| <i>Oprating System</i> | Microsoft Windows CE (portable system) or Windows (PC-based). Software Modes: Soil, Filter/Wipes, Empirical, Others available upon request. |

f. XRD merk PANalytical tipe E'xpertPro

Alat XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada bijih nikel laterit. Alat XRD tipe X'Pert³ Powder dilengkapi dengan beberapa fitur yaitu, *Holder* sampel bubuk bervariasi (massa 0.05 g – 1 g); mode operasi XRD untuk sampel bubuk dan padatan; mode operasi XRR untuk sampel lapisan tipis; mode operasi SAXS untuk sampel bubuk

nanopartikel atau nanopori membran; software Highscore plus untuk mengolah data XRD dengan basis data ICSD dan ICDD PDF-2 2018; software X-Ray Reflectivity untuk mengolah data XRR; dan software easySAXS untuk mengolah data SAXS.



Gambar 3.7 XRD merk PANalytical tipe E'xpertPro

Tabel 3.6 Spesifikasi alat XRD

| | |
|---------------------|----------------------------------|
| Merk | PANalytical |
| Tipe | X'Pert³ Powder |
| Model | <i>Floor stand machine</i> |
| Sumber X-Ray | Cu |
| Detektor | X'Celerator |

- g. SEM-EDS merk *Quattro Thermo Scientific*
 SEM digunakan untuk mengetahui morfologi yang terbentuk pada bijih nikel laterit hasil reduksi selektif. Alat ini dilengkapi dengan pendeteksi EDS yang berfungsi untuk mengetahui elemen unsur yang terbentuk pada titik tertentu yang dipilih pada hasil SEM.



Gambar 3.8 SEM-EDS merk *Quattro Thermo Scientific*

Tabel 3.7 Spesifikasi resolusi dari SEM-EDS

| High-Vacuum Imaging | Low-Vacuum Imaging | ESEM |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 0.8 nm @ 30 kV (STEM) • 1.0 nm @ 30 kV (SE) • 2.5 nm @ 30 kV (BSE) • 3.0 nm @ 1 kV (SE) | <ul style="list-style-type: none"> • 1.3 nm @ 30 kV (SE) • 2.5 nm @ 30 kV (BSE) • 3.0 nm @ 1 kV (SE) | <ul style="list-style-type: none"> • 1.3 nm @ 30 kV (SE) |

h. *Polishing Machine* merk Unipol-1210

Mesin *polishing* biasanya digunakan untuk melakukan *grinding* pada sampel uji dan proses *polishing* untuk menghaluskan permukaan spesimen. Di Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN sendiri menggunakan kertas amplas *grid* 240, 400, 600, 800, 1000, dan 1200. Dan larutan *polishing* yang digunakan adalah larutan TiO₂.



Gambar 3.9 *Polishing machine* merk Unipol-1210

Tabel 3.8 Spesifikasi *polishing machine*

| | |
|-----------------------|---|
| Power | AC 110V and 208-240V (50/60Hz) switchable for worldwide operation. |
| Motor | 300 W high torque DC motor with one year warranty |
| Features | <ul style="list-style-type: none">• Digital control panel with "touch button" operation• Water resistance.• 12" Aluminum master plate with magnetic pad and steel buffer sheet for an easy diamond plate and sandpaper replacement. |
| Variable Speed | 50 - 600 RPM with digital display |
| Emergency stop | Emergency stop possible |
| Dimensions | 600 L x 460 W X 280 H (mm) |
| Net weight | 32 kg |

i. Bijih Nikel Laterit

Bijih nikel laterit yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari pulau Sulawesi. Bijih nikel laterit yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu saprolit dan limonit. Bijih nikel digerus terlebih dahulu hingga lolos ayakan 100 mesh.



Gambar 3.10 Bijih nikel laterit

j. Reduktan Batubara

Reduktan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batubara jenis bituminous. Batubara ini juga dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga lolos 100 mesh. Batubara yang digunakan juga telah dilakukan pengujian *proximate* dengan hasil pada Tabel 3.9.



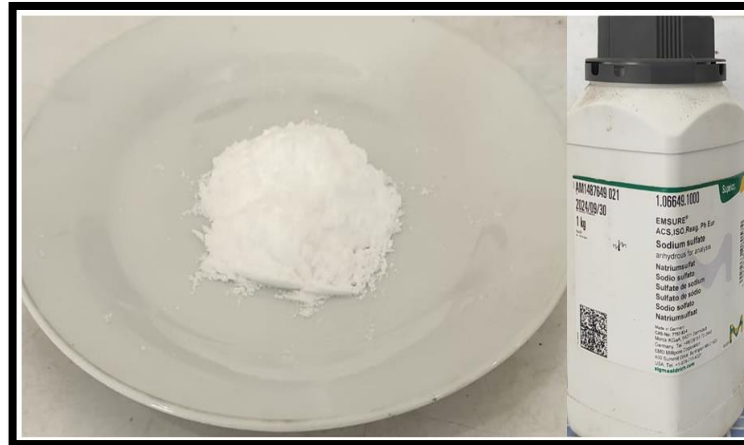
Gambar 3.11 Batubara bituminous

Tabel 3.9 Hasil uji *proximate* pada batubara bituminous (wt.%)

| Moisture | Volatile Matter | Ash | Fix Carbon | Sulfur |
|----------|-----------------|------|------------|--------|
| 9,44 | 47,72 | 7,37 | 35,47 | 0,71 |

k. Aditif Sodium Sulfat (Na_2SO_4)

Aditif yang digunakan dalam penelitian ini adalah sodium sulfat (Na_2SO_4)-pro analis (*chemical grade*). Sodium sulfat (Na_2SO_4) yang digunakan berbentuk serbuk yang sudah lolos ayakan 100 mesh.



Gambar 3.12 Sodium Sulfat (Na_2SO_4)

V. PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian proses reduksi selektif bijih nikel laterit adalah sebagai berikut:

- a. Variasi penambahan reduktan batubara pada proses reduksi selektif bijih nikel saprolit dan limonit menghasilkan perolehan kadar nikel dalam konsentrat tertinggi pada 0,2 stoikiometri dengan kandungan 16,655% untuk saprolit dan 0,2 stoikiometri dengan kandungan 2,955% untuk limonit. Kadar penambahan batubara yang lebih banyak justru semakin menurunkan kadar perolehan nikel dalam konsentrat. Sebaliknya nilai *recovery* besi dan nikel justru semakin meningkat seiring meningkatnya kadar reduktan batubara. Kecuali pada limonit, dimana tidak terjadi peningkatan nilai *recovery* nikel. Namun, rata - rata nilai *recovery* nikel pada limonit sangatlah tinggi yaitu 91,42%.
- b. Proses pencampuran saprolit dengan limonit akan memberikan peningkatan terhadap nilai *recovery* namun berdampak terhadap turunnya kadar nikel dalam konsentrat. Dimana semakin dominan limonit dalam pencampuran yaitu pada variasi 10 menghasilkan nilai *recovery* yang tinggi 67,06 %. Dan perolehan kadar nikel dalam konsentrat tertinggi yaitu 14,491 % terdapat pada variasi 01 yang didominasi saprolit. Perolehan kadar nikel dalam konsentrat yang tidak maksimal diakibatkan oleh logam feronikel yang terbentuk menyebar dan ukurannya kecil sehingga kurang efektif dalam pemisahannya dengan penggerusan lolos #200 mesh.

5.2. SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian proses reduksi selektif bijih nikel laterit selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian dapat dilanjutkan dengan melakukan penambahan bijih besi pada proses reduksi selektif bijih nikel saprolit agar semakin banyak unsur nikel yang tereduksi dan terikat oleh unsur besi untuk membentuk logam feronikel.
- b. Penambahan basisitas dapat digunakan untuk meningkatkan kadar dan perolehan nikel dalam proses peleburan, dimana temperatur lebur pengotor/*slag* yang rendah akan mengakibatkan tingginya laju reaksi difusi karena kondisi *cair/liquid*.
- c. Sebaiknya penelitian dapat dilakukan dengan alat-alat industri dalam skala kecil seperti pada proses pemanasan, penggerusan dan pemisahan magnetik agar dapat diperhitungkan seberapa efektif metode yang akan diterapkan pada penelitian proses reduksi selektif bijih nikel laterit.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, W., Hirajima, T., Sasaki, K., & Okibe, N. (2016). Comparison of atmospheric citric acid leaching kinetics of nickel from different Indonesian saprolitic ores. *Hydrometallurgy*, *161*, 138–151.
- Bunjaku, A., Kekkonen, M., Taskinen, P., & Holappa, L. (2011). Thermal behaviour of hydrous nickel-magnesium silicates when heating up to 750°C. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, *120*(3), 139–146.
- Chukwuleke, O. P., CAI, J. ju, Chukwujekwu, S., & XIAO, S. (2009). Shift From Coke to Coal Using Direct Reduction Method and Challenges. *Journal of Iron and Steel Research International*, *16*(2), 1–5.
- Dalvi, A. D., Bacon, W. G., & Osborne, R. C. (2004). The Past and the Future of Nickel Laterites World's Land Based Nickel Resources and Primary Nickel Production Nickel Production , kt / yr. *PDAC 2004 International Convention, Figure 2*, 1–27.
- Elias, M. (2002). Nickel laterite deposits – geological overview , resources and exploitation. *Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, CODES Special Publication 4*, 205–220.
- Elliott, R., Pickles, C. A., & Peacey, J. (2017). Ferronickel particle formation during the carbothermic reduction of a limonitic laterite ore. *Minerals Engineering*, *100*, 166–176.
- Elliott, R., Rodrigues, F., Pickles, C. A., & Peacey, J. (2015). A two-stage thermal upgrading process for nickeliferous limonitic laterite ores. *Canadian Metallurgical Quarterly*, *54*(4), 395–405.
- Epp, J. (2016). X-Ray Diffraction (XRD) Techniques for Materials Characterization. In *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier Ltd.
- Farrokhpay, S., Filippov, L., & Fornasiero, D. (2019). Pre-concentration of nickel in laterite ores using physical separation methods. *Minerals Engineering*, *141*(July), 105892.

- Hang, G., Xue, Z., & Wu, Y. (2020). Preparation of high-grade ferronickel from low-grade nickel laterite by self-reduction and selective oxidation with CO₂-CO gas. *Minerals Engineering*, 151(February), 106318.
- Harjanto, S., & Rhamdhani, M. A. (2019). Sulfides formation in carbothermic reduction of saprolitic nickel laterite ore using low-rank coals and additives: A thermodynamic simulation analysis. *Minerals*, 9(10).
- Huang, Y., Wang, Q., & Shi, M. (2017). Characteristics and reactivity of ferronickel slag powder. *Construction and Building Materials*, 156, 773–789.
- 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*, 123, 32–38.
- Li, G., Shi, T., Rao, M., Jiang, T., & Zhang, Y. (2012). Beneficiation of nickeliferous laterite by reduction roasting in the presence of sodium sulfate. *Minerals Engineering*, 32, 19–26.
- Maksum, A., Husein, M. K. E., Permana, S., Rustandi, A., & Soedarsono, J. W. (2018). A preliminary study on the reduction of limonite ore by using rice husk as a reducing agent. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 316(1).
- Nurjaman, F., Rahmahwati, A., Karimy, M. F., Hastriana, N., Shofi, A., Herlina, U., Suharno, B., & Ferdian, D. (2019). The role of sodium-based additives on reduction process of nickel lateritic ore. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 478(1).
- Nurjaman, F., Astuti, W., Bahfie, F., & Suharno, B. (2021). Study of selective reduction in lateritic nickel ore: Saprolite versus limonite. *Materials Today: Proceedings*, 44, 1488–1494.
- Nurjaman, F., Bahfie, F., Herlina, U., Astuti, W., & Suharno, B. (2020). Kajian Literatur Parameter Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Literature Review Of Parameter In Selective Reduction Process Of. *Metal Indonesia*, 42(2).
- Oxley, A., & Barcza, N. (2013). Hydro-pyro integration in the processing of nickel laterites. *Minerals Engineering*, 54, 2–13.
- Pan, J., Zheng, G. L., Zhu, D. Q., & Zhou, X. L. (2013). Utilization of nickel slag using selective reduction followed by magnetic separation. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 23(11), 3421–3427.

- Pintowantoro, S., Muhammad Pasha, R. A., & Abdul, F. (2021). Gypsum utilization on selective reduction of limonitic laterite nickel. *Results in Engineering*, 12, 100296.
- Qi, A., Liu, X., Wang, Z., & Chen, Z. (2020). Mechanical properties of the concrete containing ferronickel slag and blast furnace slag powder. *Construction and Building Materials*, 231.
- Rao, M., Li, G., Jiang, T., Luo, J., Zhang, Y., & Fan, X. (2013). Carbothermic reduction of nickeliferous laterite ores for nickel pig iron production in China: A review. *Jom*, 65(11), 1573–1583.
- Solihin, S. (2015). Synthesis of Nickel Containing Pig Iron (Ncpi) By Using Limonite Type of Lateritic Ore From South East Sulawesi. *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan*, 25(1), 31.
- Speakman, R. J., & Shackley, M. S. (2013). Silo science and portable XRF in archaeology: A response to Frahm. *Journal of Archaeological Science*, 40(2), 1435–1443.
- Stopic, S., & Friedrich, B. (2016). Hydrometallurgical processing of nickel lateritic ores. *Vojnotehnicki Glasnik*, 64(4), 1033–1047.
- Taruminkeng, S., Mustopa, E. J., & Hendrajaya, L. (2016). *Termodinamika Dalam Memahami Proses Pengolahan Mineral. V*, SNF2016-ERE-37-SNF2016-ERE-42.
- Tian, H., Pan, J., Zhu, D., Yang, C., Guo, Z., & Xue, Y. (2020). Improved beneficiation of nickel and iron from a low-grade saprolite laterite by addition of limonitic laterite ore and CaCO₃. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 2578–2589.
- Warner, A. E. M., Díaz, C. M., Dalvi, A. D., Mackey, P. J., Tarasov, A. V., & Jones, R. T. (2007). JOM world nonferrous smelter survey Part IV: Nickel: Sulfide. *Jom*, 59(4), 58–72.
- Zhou, W., Apkarian, R., Wang, Z. L., & Joy, D. (2007). Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM). *Scanning Microscopy for Nanotechnology: Techniques and Applications*, 1–40.