

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PEMANASAN TERHADAP
PENINGKATAN KADAR BIJIH LIMONIT MENGGUNAKAN
METODE *MAGNETIC SEPARATION***

Disusun dan diajukan oleh

SYAMSUL BAHRI

D111181305



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PEMANASAN TERHADAP
PENINGKATAN KADAR BIJIH LIMONIT MENGGUNAKAN
METODE *MAGNETIC SEPARATION***

Disusun dan diajukan oleh

SYAMSUL BAHRI

D111181305

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 12 Oktober 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Sufriadin, S.T., M.T

NIP. 196608172000121001

Pembimbing Pendamping,



Rizki Amalia, S.T., M.T.

NIDK. 8889211019

Ketua Program Studi,



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197303142000121001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Syamsul Bahri
NIM : D111181305
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Pengaruh Temperatur Pemanasan Terhadap
Peningkatan Kadar Bijih Limonit Menggunakan
Metode *Magnetic Separation*

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 14 Oktober 2022

Yang menyatakan



Tanda tangan

Syamsul Bahri

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki endapan bijih nikel laterit dengan jumlah yang cukup besar. Namun, ketersediaan bijih nikel berkadar tinggi semakin berkurang, sehingga bijih nikel laterit dengan kadar rendah, yaitu limonit, berpotensi menjadi sumber bahan baku utama untuk memperoleh logam nikel di masa mendatang. Rendahnya kadar nikel limonit menjadi kendala tersendiri dalam produksi nikel, oleh karena itu bijih nikel laterit kadar rendah harus diproses terlebih dahulu untuk ditingkatkan kadarnya, salah satunya adalah dengan metode *magnetic separation*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineral dan komposisi kimia bijih limonit, pengaruh suhu pemanasan terhadap perubahan nilai kerentanan magnetik bijih limonit dan keefektifan suhu pemanasan terhadap peningkatan kadar Ni dalam proses *magnetic separation*. Hasil analisis mineralogi menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa sampel bijih limonit didominasi oleh *goethite* dan *talc* serta lizardit dan hematit dengan kuantitas yang kecil. Hasil analisis kimia menggunakan metode *X-Ray Fluorescences* (XRF) menunjukkan bahwa sampel bijih limonit terdiri dari Fe₂O₃ 63,554%, Ni 1,131%, SiO₂ 8,478%, Al₂O₃ 5,494%, MnO 1,065%, MgO 2,632% dan Cr₂O₃ 2,280%. Semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin tinggi pula nilai kerentanan magnetik sampel. Pemisahan secara magnetik bijih limonit yang telah melalui proses pemanasan dapat meningkatkan kadar Ni. Kadar Ni tertinggi diperoleh pada suhu 300°C dengan peningkatan kadar Ni dari 1,131% menjadi 2,098%. Namun, proses pemisahan bijih limonit secara magnetik lebih efektif dilakukan tanpa adanya pemanasan karena diperoleh kadar Ni dari 1,131% menjadi 2,654%.

Kata Kunci: Benefisiasi, nikel laterit, Kalsinasi, magnetik separator, suhu

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries that has a large amount of laterite nickel ore deposits. However, the availability of high grade nickel ore is decreasing, so that laterite nickel ore with low grade, namely limonite, has the potential to become the main source of raw material for obtaining nickel metal in the future. The low grade of nickel limonite is a constraint in nickel production, therefore low grade laterite nickel ore must be processed to increase its grade, one of the method used is the magnetic separation. This study aims to determine the mineral characteristics and chemical composition of limonite ore, the effect of heating temperature on changes in the value of magnetic susceptibility and the effectiveness of heating temperature on increasing Ni grade in the magnetic separation process. The results of mineralogical analysis using the X-Ray Diffraction (XRD) method showed that the limonite ore samples were dominated by goethite and talc as well as lizardite and hematite in small quantity. The results of chemical analysis using the X-Ray Fluorescences (XRF) method showed that the limonite ore samples consisted of Fe₂O₃ 63,554%, Ni 1,131%, SiO₂ 8,478%, Al₂O₃ 5,494%, MnO 1,065%, MgO 2,632% dan Cr₂O₃ 2,280%. The higher the heating temperature, the higher the magnetic susceptibility of the sample. Magnetic separation of limonite ore that has gone through the heating process can increase Ni grade. The highest Ni grade was obtained at 300°C with an increase in Ni grade from 1,131% to 2,098%. However, the magnetic separation of limonite ore was more effective without heating because the Ni grade is from 1,131% to 2,654%.

Keywords: Beneficiation, nickel laterite, calcination, magnetic separator, temperature

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir sebagai syarat untuk menyanggah gelar sarjana di Departemen Teknik Pertambangan dengan judul "Analisis Pengaruh Temperatur Pemanasan Terhadap Peningkatan Kadar Bijih Limonit Menggunakan Metode *Magnetic Separation*".

Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya, oleh karena itu pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada kedua dosen pembimbing Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T. dan Ibu Rizki Amalia, S.T., M.T. yang banyak memberi masukan dalam penelitian tugas akhir ini serta telah banyak meluangkan waktunya dalam proses penyusunan tugas akhir ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Irzal Nur, M.T. dan Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk mengoreksi tugas akhir ini serta seluruh bapak/ibu dosen dan staff administrasi yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada keluarga besar yang tidak henti hentinya memberi dukungan mental, memotivasi, dan dukungan materil sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh mahasiswa Teknik Pertambangan terkhusus Tambang 2018 serta anggota Laboratorium Analisis Pengolahan Bahan Galian yang telah memberikan dukungan mental dan banyak menghibur ketika mengalami jenuh dalam penyusunan tugas akhir ini. Terkhusus kepada saudara Siska, Mukhlis, Izzati, Zahran, dan kak Akmal yang telah banyak membantu dalam penelitian ini masalah teknis mengenai prinsip kerja

alat dan banyak memberikan masukan serta referensi yang berkaitan dengan judul penelitian tugas akhir ini.

Penulis sangat berharap tugas akhir ini dapat berguna dalam rangka menambah wawasan serta pengetahuan kita mengenai peningkatan kadar bijih nikel laterit. Penulis juga menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan tugas akhir yang berkaitan dengan peningkatan bijih nikel laterit ini kedepannya.

Gowa, 14 Oktober 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian.....	4
1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	6
BAB II BENEFISIASI BIJIH LIMONIT DAN <i>MAGNETIC SEPARATION</i>	7
2.1 Nikel Laterit	7
2.2 Benefisiasi Bijih Nikel	12
2.3 Kemagnetan Mineral	14
2.4 Kalsinasi	17
2.5 Transformasi Goetit menjadi Hematit.....	18

2.6	<i>Magnetic Separation</i>	19
2.7	Analisis Kimia (<i>X-ray fluorescence</i>)	21
2.8	Analisis Mineralogi (<i>X-Ray diffraction</i>)	23
BAB III METODE PENELITIAN		27
3.1	Studi Literatur	27
3.2	Preparasi Sampel Bijih Limonit	27
3.3	Penimbangan Sampel Bijih Limonit	31
3.4	Penamaan Kode Sampel	31
3.5	Pemanasan Sampel Bijih Limonit	32
3.6	Pemisahan Secara Magnetik	33
3.7	Analisis Sampel	34
3.8	Analisis Data	38
3.9	Bagan Alir Penelitian	40
BAB IV PENINGKATAN KADAR NIKEL BIJIH LIMONIT		41
4.1	Karakteristik Bijih Limonit	41
4.2	Kondisi Sampel Bijih Limonit setelah Pemanasan	45
4.3	Kerentanan Magnetik Sampel Bijih Limonit	48
4.4	Pemisahan Sampel dengan Magnetik Separator Sebelum Pemanasan	51
4.5	Pemisahan Sampel dengan Magnetik Separator Setelah Pemanasan	52
4.6	<i>Recovery</i> Ni dari Pemisahan Magnetik Sebelum dan Setelah Pemanasan	56
BAB IV PENUTUP		59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian.....	6
2.1 Distribusi cadangan nikel dunia	8
2.2 Persebaran endapan nikel di dunia	9
2.3 Profil endapan nikel laterit	12
2.4 Skematik momen magnetik.....	15
2.5 <i>Drum magnetic separator</i>	21
2.6 Skema kerja alat XRF	22
2.7 Difraksi sinar-X	24
3.1 Pengeringan sampel bijih limonit	28
3.2 Kuartering sampel bijih limonit	29
3.3 Penggerusan sampel bijih limonit	30
3.4 Pengayakan sampel bijih limonit	30
3.5 Penimbangan sampel bijih limonit	31
3.6 Contoh penamaan kode sampel.....	32
3.7 Memasukkan sampel pada <i>muffle furnace</i>	33
3.8 Pemisahan secara magnetik	34
3.9 Pemisahan bijih limonit dengan magnetik separator	34
3.10 Instrumen <i>X-Ray Diffraction</i> untuk analisis mineralogi.....	35
3.11 Alat tekan untuk membuat sampel pellet.....	36
3.12 Sampel pellet untuk analisis XRF.....	37
3.13 Instrumen XRF untuk analisis kimia.....	38
3.14 Bagan alir tahapan penelitian	40
4.1 Kenampakan bijih nikel laterit jenis Limonit	41

4.2	Hasil analisis mineralogi sampel awal bijih limonit	42
4.3	Pengaruh suhu pemanasan terhadap persentase berat <i>loss</i> sampel.....	46
4.4	Difraktogram perubahan fasa mineral hasil analisis mineralogi.....	47
4.5	Grafik Nilai kerentanan magnetik sampel sebelum dan setelah pemanasan	50
4.6	Grafik kadar Ni konsentrat setelah pemanasan.....	54
4.7	Grafik perolehan Ni bijih limonit dari pemisahan magnetik.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Kemagnetan mineral	16
2.2 Informasi uji diperoleh dalam difraktogram.....	25
4.1 Komposisi mineral bijih limonit sebelum pemisahan magnetik.....	43
4.2 Hasil analisis kimia sampel awal bijih limonit.....	44
4.3 Distribusi berat sampel setelah pemanasan	45
4.4 Mineral yang terbentuk setelah pemanasan	47
4.5 Distribusi nilai kerentanan magnetik sampel sebelum dan setelah pemanasan....	49
4.6 Hasil produk pemisahan secara magnetik sampel sebelum pemanasan.....	51
4.7 Komposisi kimia konsentrat dan tailing sampel sebelum pemanasan	51
4.8 Berat produk pemisahan secara magnetik setelah pemanasan.....	53
4.9 Komposisi kimia konsentrat setelah pemanasan	54
4.10 Komposisi kimia tailing setelah pemanasan.....	55
4.11 Perolehan Ni secara magnetik sebelum dan setelah pemanasan.....	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. Hasil Analisis XRD	65
B. Hasil Analisis XRF	72
C. Kartu Konsultasi Tugas Akhir.....	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu logam yang penting dan sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Ada banyak jenis produk nikel seperti logam halus, bubuk, spons, dan lain-lain. Saat ini 62% penggunaan nikel digunakan sebagai bahan baku *stainless steel*, 13% digunakan sebagai paduan nikel (*superalloy*), sisanya digunakan sebagai material *elektroplating*, bahan pengecoran, baterai, dan katalis. Penggunaan nikel yang sangat luas dikarenakan sifat nikel yang tahan korosi dan tahan terhadap temperatur yang tinggi (Barkas, 2010).

Cadangan bijih nikel yang banyak digunakan sebagai bahan baku untuk membuat logam nikel yaitu bijih jenis sulfida dan laterit. Cadangan bijih nikel sulfida terus berkurang sehingga beberapa produsen nikel mengalihkan perhatiannya ke bijih laterit untuk digunakan sebagai bahan baku nikel. Tidak seperti bijih sulfida, bijih laterit tidak mudah untuk ditingkatkan kadar nikelnya dengan teknologi yang ada pada saat ini sehingga berbagai upaya penelitian terus dilakukan untuk dapat meningkatkan kadar nikel dalam laterit (Pickles *et al.*, 2014).

Proses pengolahan yang optimal untuk nikel laterit khususnya limonit sangat penting dikarenakan hingga saat ini proses pengolahan dan pemurnian bijih nikel laterit di Indonesia lebih banyak dilakukan untuk bijih saprolit, yaitu untuk memproduksi ferronikel dan nikel matte, sementara bijih laterit yang berkadar rendah yaitu limonit belum banyak dimanfaatkan. Sedangkan ketersediaan bijih nikel berkadar tinggi yang semakin berkurang, sehingga bijih nikel laterit dengan kadar rendah yaitu limonit

berpotensi menjadi sumber bahan baku utama untuk memperoleh logam nikel di masa mendatang (Fathoni dan Mubarak, 2015).

Di Indonesia endapan nikel laterit dengan kadar rendah sudah mulai dimanfaatkan mengingat jumlahnya yang cukup besar. Berdasarkan Peraturan Menteri dan Sumber Daya Mineral, Indonesia harus meningkatkan nilai tambah mineral melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian mineral di dalam negeri (ESDM,2014). Pengolahan hasil tambang menjadi produk yang memiliki nilai tambah terutama dari bijih nikel laterit kadar rendah harus diproses terlebih dahulu untuk ditingkatkan kadarnya, salah satunya adalah dengan melakukan proses kalsinasi. Kim *et al.* (2010), telah melakukan kalsinasi nikel laterit kadar rendah dilanjutkan dengan pemisahan magnetik. Kalsinasi yang dilakukan pada temperatur 500°C selama 1 jam menghasilkan peningkatan kadar nikel dari 1,5% menjadi 2,9%.

Setiap mineral memiliki nilai kerentanan magnetik tertentu yang dapat berbeda dengan mineral lainnya. Dengan memanfaatkan perbedaan nilai kemagnetan mineral inilah, proses pemisahan secara magnetik dapat dilakukan. Teknik pemisahan secara magnetik banyak digunakan dalam benefisiasi mineral karena biayanya yang murah, mudah dioperasikan, dan ramah lingkungan (Seifelnassr *et al.*, 2012). Berdasarkan uraian tersebut, dalam penelitian ini dilakukan pemanasan bijih nikel laterit jenis limonit dengan variasi temperatur 100°C, 300°C, 500°C, 700°C, 900°C dan dilanjutkan dengan pemisahan magnetik, kemudian persebaran mineral dalam sampel hasil pemanasan dikarakterisasi dengan menggunakan metode XRD (*X-Ray Diffraction*) dan XRF (*X-Ray Fluorescences*). Penelitian ini dibuat agar kita dapat mengetahui apakah proses kalsinasi bijih limonit yang dilanjutkan dengan proses pemisahan magnetik dapat meningkatkan kadar Ni sebelum masuk ke pengolahan lebih lanjut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi mineralogi dan kimia dari sampel bijih limonit?
2. Bagaimana pengaruh suhu terhadap perubahan nilai kerentanan magnetik bijih limonit?
3. Bagaimana efektivitas suhu pemanasan terhadap perubahan kadar Ni dalam proses *magnetic separation* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi mineral dan komposisi kimia sampel bijih limonit.
2. Menganalisis pengaruh suhu terhadap perubahan nilai kerentanan magnetik bijih limonit.
3. Menganalisis keefektifan suhu pemanasan terhadap peningkatan kadar Ni dalam proses *magnetic separation*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari kegiatan penelitian yang dilakukan yaitu diharapkan menambah wawasan yang lebih luas tentang bagaimana metode benefisiasi bijih nikel laterit diharapkan menjadi suatu rekomendasi untuk pemanfaatan bijih nikel laterit khususnya pada lapisan yang mengandung kadar nikel yang rendah. Benefisiasi merupakan suatu proses untuk dapat meningkatkan kadar suatu endapan bijih sebelum masuk ke tahap yang lebih lanjut, sehingga kegiatan pengolahan bahan galian untuk meningkatkan kadar sangat diperlukan dalam industri pertambangan untuk mengurangi biaya produksi.

1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama ± 4 bulan yaitu dari bulan Mei 2022-Agustus 2022.

Adapun tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan yang berisi kegiatan pendahuluan sebelum dilakukan penelitian. Tahapan ini terdiri dari perumusan masalah yang akan diangkat dalam kegiatan penelitian dan persiapan administrasi yang terkait dalam penelitian, pengumpulan referensi atau literatur mengenai masalah yang diteliti agar dapat menunjang penelitian, serta persiapan bahan-bahan dan alat-alat yang digunakan pada saat penelitian.

2. Studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang diawali dengan pengumpulan literatur mengenai masalah yang akan diteliti. Bahan literatur ini dapat dikumpulkan dari jurnal-jurnal penelitian maupun dari buku-buku yang berkaitan dengan masalah yang akan dijadikan sebagai bahan penelitian seperti kajian mengenai mineralisasi bijih nikel, proses pemisahan bijih nikel, metode peningkatan kadar nikel serta literatur yang berasal dari peneliti terdahulu yang berhubungan dengan benefisiasi bijih nikel. Referensi yang telah didapatkan dijadikan sebagai acuan dalam menyelesaikan masalah serta metode penelitian yang akan kita gunakan.

3. Penelitian di Laboratorium

Tahapan ini meliputi preparasi sampel, pemanasan sampel, proses pemisahan magnetik, analisis sampel awal maupun analisis setelah dilakukan proses pemisahan magnetik pada sampel menggunakan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui mineral-mineral apa saja yang terkandung dalam sampel,

analisis XRF untuk menganalisis persentase unsur yang terkandung di dalam mineral bijih. Preparasi sampel adalah kegiatan mempersiapkan sampel sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, preparasi sampel dilakukan dengan cara mereduksi ukuran butir sampel hingga ukuran 100 mesh untuk proses pemisahan secara magnetik dan ukuran 200 mesh untuk analisis dengan XRD dan XRF.

4. Pengolahan Data

Tahapan Pengolahan data merupakan tahapan mengumpulkan data-data hasil analisis dan mengolah data-data yang telah didapatkan menggunakan Microsoft excel. Analisis data awal nantinya akan dibandingkan dengan analisis data setelah dilakukan pengolahan untuk mengetahui perubahan *recovery* bijih nikel. Data hasil analisis berupa difraktogram XRD dan persentase kadar senyawa dari hasil analisis XRF.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

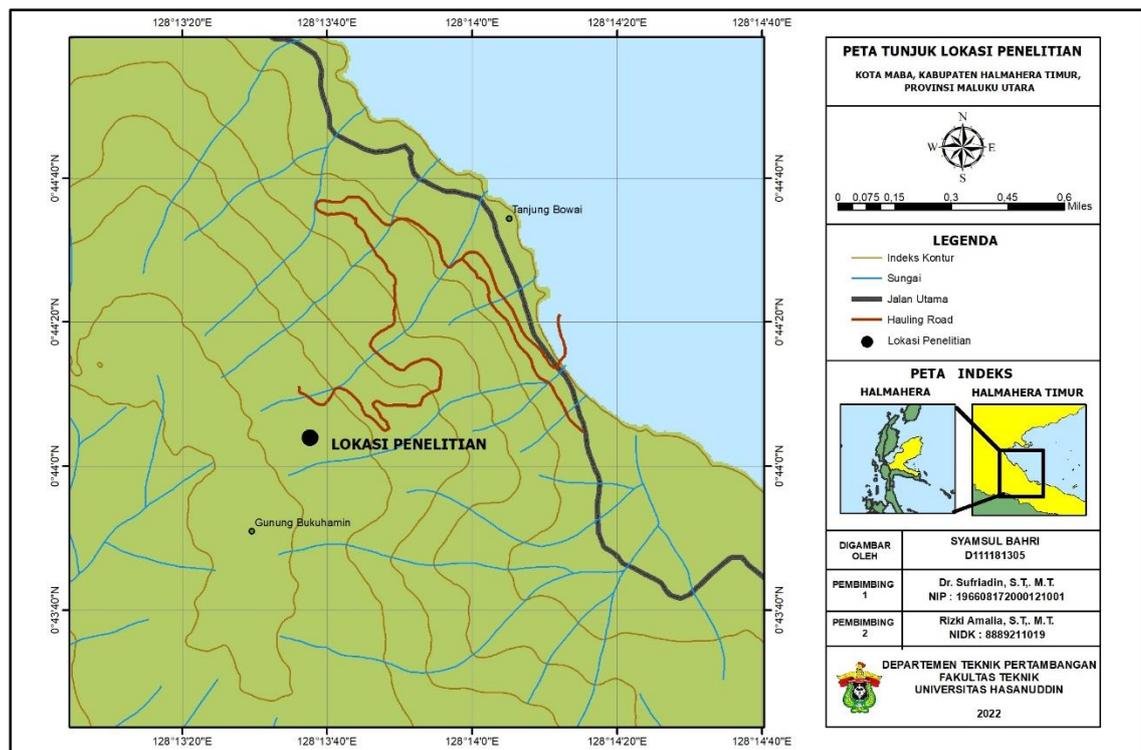
Tahapan ini merupakan tahapan paling akhir yang dilakukan dalam rangkaian kegiatan penelitian. Seluruh hasil penelitian akan disusun dan dilaporkan secara sistematis sesuai aturan penulisan buku putih yang telah ditetapkan oleh Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin.

6. Seminar dan Penyerahan Laporan

Laporan tugas akhir akan dipresentasikan pada seminar hasil dan ujian sidang. Tahapan ini dimaksudkan untuk memaparkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, melalui tahapan ini akan didapatkan saran untuk menyempurnakan laporan tugas akhir dari tim penguji, pembimbing dan peserta seminar. Laporan tugas akhir yang telah direvisi diserahkan ke Departemen Teknik Pertambangan.

1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian

Lokasi pengambilan sampel bijih limonit yang digunakan dalam penelitian berasal dari lokasi penambangan PT Harvest Construction Mining Services pada wilayah operasi penambangan bijih nikel laterit PT Alngit Raya dengan luas wilayah IUP 137,1 Ha yang berlokasi di Kota Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara. Lokasi penambangan PT Harvest Construction Mining Services dapat dijangkau melalui jalur udara, laut, dan darat. *Site* PT Alngit Raya terletak sekitar 7 Jam dari ibukota Ternate. Perjalanan dari Makassar menuju lokasi penambangan PT Harvest Consturction Mining Services ditempuh melalui jalur udara dari Bandara Sultan Hasanuddin menuju Bandara Babullah, Ternate, Maluku Utara selama 2 jam. Dilanjutkan dengan perjalanan ke pelabuhan sofifi menggunakan *speedboat* selama 30 menit. Perjalanan dari pelabuhan sofifi menuju lokasi penambangan dengan jarak ± 228 km selama ± 5 jam. Peta lokasi penambangan PT Harvest Construction Mining Services yang merupakan lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Penelitian

BAB II

BENEFISIASI BIJIH LIMONIT DAN *MAGNETIC SEPARATION*

2.1 Nikel Laterit

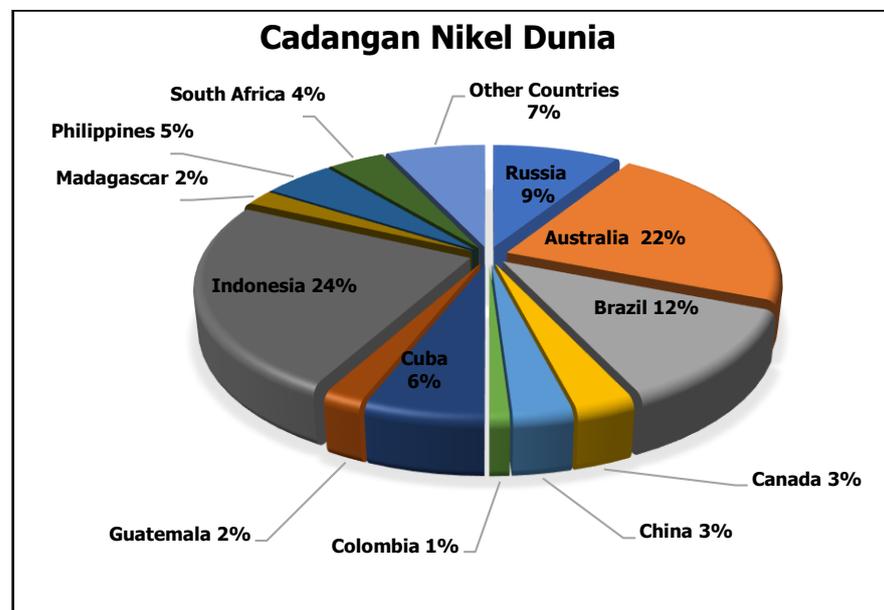
Nikel merupakan salah satu unsur kimia yang tergolong dalam logam transisi, berwarna putih keperakan dengan sedikit keemasan bersifat kuat dan mudah dibentuk. Nikel bersifat lembek dalam keadaan murni, namun akan menjadi baja keras yang tahan karat jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya. Nikel dalam dunia industri merupakan salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi, 62% dari logam nikel digunakan untuk memproduksi baja tahan karat, 13% sebagai *superalloy* dan paduan tanpa besi karena sifatnya yang tahan korosi dan suhu tinggi (Astuti, 2012). Sekitar 70%-80% nikel berada dalam batuan laterit yang tersebar di daerah-daerah tropis dan subtropis, seperti Indonesia, New Caledonia, Australia, dan Filipina (Kyle, 2010). Nikel adalah logam penting yang digunakan dalam produksi *stainless steel* dan campuran logam (Zhu dan Cui 2012).

Terdapat dua kelompok klasifikasi deposit nikel di dunia, yaitu bijih *sulfide* dan bijih laterit (oksida dan silikat). 72% dari cadangan nikel dunia merupakan nikel laterit dan baru 42% dari cadangan tersebut yang diproduksi. Meskipun 72% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida (Superiadi, 2007). Bijih nikel laterit banyak ditemukan di belahan bumi yang memiliki iklim tropis atau subtropis yang terdiri dari hasil pelapukan pada batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Co, dan Mn secara residual dan sekunder (Yildirim dkk., 2012).

Nikel sulfida dan nikel laterit telah banyak digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan logam nikel. Namun seiring dengan perkembangan waktu cadangan bijih nikel sulfida mulai menipis sehingga industri yang memproduksi nikel mengalihkan

perhatiannya untuk mengolah bijih nikel laterit sebagai bahan baku nikel. Pengolahan bijih nikel laterit dalam peningkatan kadarnya lebih sulit dibandingkan dengan bijih nikel sulfida, sehingga telah banyak penelitian yang berupaya untuk melakukan peningkatan kadar pada bijih nikel laterit (Subagja dkk., 2016).

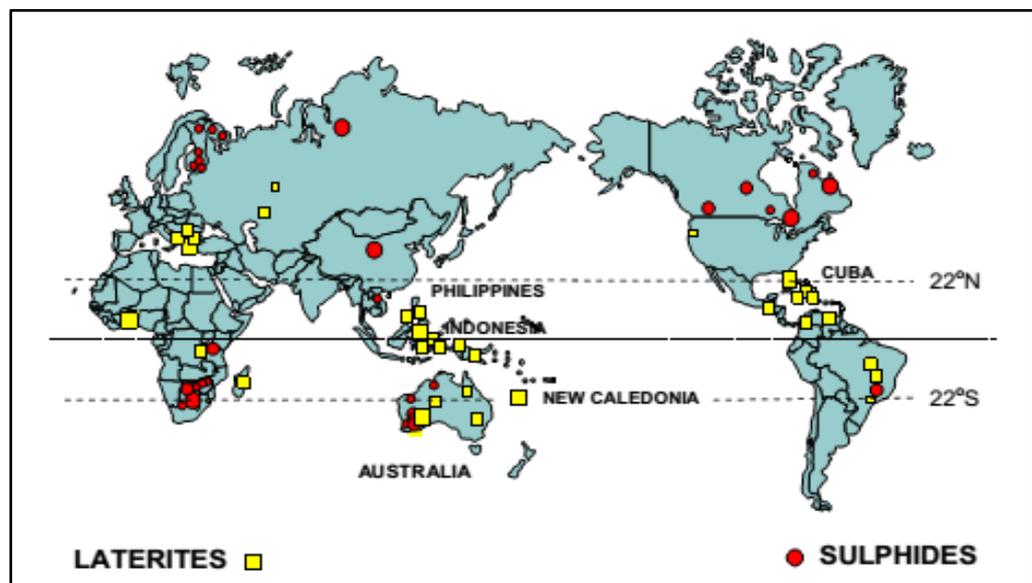
Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki endapan bijih nikel laterit dalam jumlah yang cukup besar. Endapan nikel laterit Indonesia tersebar di beberapa daerah seperti di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku, dan Papua. Potensi deposit bijih nikel Indonesia mencapai 2,1 milyar ton atau sekitar 24% dari total sumber daya nikel di dunia (Subagja dkk., 2016). Distribusi cadangan nikel laterit didunia dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Distribusi cadangan nikel dunia (Mcrae, 2019)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa negara-negara yang memiliki cadangan bijih nikel laterit yang besar adalah Indonesia, Australia, dan Brazil. Dari data tersebut, Indonesia sebagai pemilik cadangan nikel laterit terbesar seharusnya dapat menjadi produsen material yang berbahan baku nikel seperti baja tahan karat dan baja paduan nikel lainnya (Mcrae, 2019).

Persebaran endapan nikel dunia didominasi oleh negara-negara di sekitar equator. Persebaran endapan nikel di Benua Eropa didominasi oleh endapan nikel sulfida. Persebaran endapan nikel di Benua Afrika didominasi oleh endapan nikel sulfida. Persebaran endapan nikel di Benua Asia didominasi oleh endapan nikel laterit tepatnya di Negara Indonesia dan Pilipina. Persebaran endapan nikel di Benua Amerika didominasi oleh endapan nikel laterit. Persebaran endapan nikel di Benua Australia dan Oceania didominasi oleh endapan nikel laterit. Peta persebaran bijih nikel dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Persebaran endapan nikel di dunia (Elias, 2002)

Bijih nikel laterit banyak ditemukan di belahan bumi yang memiliki iklim tropis atau subtropis yang terdiri dari hasil pelapukan batuan ultramafik secara kimiawi kemudian membentuk lapisan-lapisan seperti limonit, saprolit, dan *bedrock*. Dari ketiga lapisan tersebut, Lapisan limonit hanya di anggap sebagai waste atau lebih dikenal dengan *overburden* sedangkan saprolit merupakan lapisan yang paling sering ditambang untuk diolah menjadi bijih nikel yang ekonomis (Solar, 2015). Nikel laterit merupakan hasil laterisasi batuan ultramafik yang memiliki kandungan besi dan magnesium yang

tinggi, dapat ditemukan pada permukaan tanah yang relatif dangkal yaitu sekitar 6-15 meter, tetapi bisa juga mencapai 60 meter di bawah permukaan tanah. Pembentukan bijih nikel laterit dapat berlangsung lebih dari satu juta tahun (Kose, 2010).

Endapan nikel laterit merupakan bijih yang dihasilkan dari proses pelapukan batuan yang ada di atas permukaan bumi. Nikel laterit merupakan sumber bahan tambang yang sangat penting (Ningsih, 2012). Mineral utama bijih laterit adalah $\text{FeO}(\text{OH})$, mineral lainnya adalah $(\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$ (NiO) dan (Cr_2O_3) . Bijih laterit akan terhidroksilasi atau melepaskan ikatan OH jika dipanaskan pada temperatur 250-350°C, ditandai dengan penurunan temperatur yang semakin besar (Makahanap dan Manap, 2010). Sebagian besar sumber nikel terkandung dalam tipe deposit laterit (sekitar 72%) yang ditemukan di daerah tropis seperti Indonesia, Kuba, Filipina, dan Australia (Rochani, 2013).

Pembentukan dan distribusi laterit Ni tergantung pada pengaruh gabungan beberapa faktor. Tidak ada faktor tunggal yang mendominasi pembentukan nikel laterit, tetapi, dikombinasikan dalam sistem yang dinamis, masing-masing dapat bertindak sebagai pengaruh utama pada proses pembentukan, pada akhirnya akan mengendalikan karakteristik khas dari tiap endapan nikel laterit. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan nikel laterit di satu wilayah mungkin kurang signifikan di tempat lain (Brand *et al.*, 1998). Secara umum endapan nikel laterit dibedakan menjadi beberapa zona yaitu (Elias, 2002):

1. Zona Tanah penutup (*Overburden*)

Zona tanah penutup merupakan bagian yang paling atas dari suatu penampang laterit. Zona ini mempunyai kadar nikel yang sangat rendah sehingga tidak diambil dalam penambangan. Ketebalan zona tanah penutup rata-rata 0,3-6 m. Komposisinya adalah akar tumbuhan, humus, oksida besi dan sisa-sisa organik lainnya. Warna khas adalah coklat tua kehitaman dan bersifat gembur.

2. Zona Limonit

Zona Limonit berada di bagian bawah dari zona tanah penutup. Limonit merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan beku ultrabasa. Komposisinya meliputi oksida besi yang dominan, goetit, dan magnetit. Dalam limonit dapat dijumpai adanya akar tumbuhan, meskipun dalam persentase yang sangat kecil. Ketebalan zona ini rata-rata 8-15 m. Kemunculan bongkah-bongkah batuan beku ultrabasa pada zona ini tidak dominan atau hampir tidak ada, umumnya mineral-mineral di batuan beku basa sampai ultrabasa telah berubah menjadi serpentin akibat hasil dari pelapukan yang belum tuntas.

3. Zona Saprolit

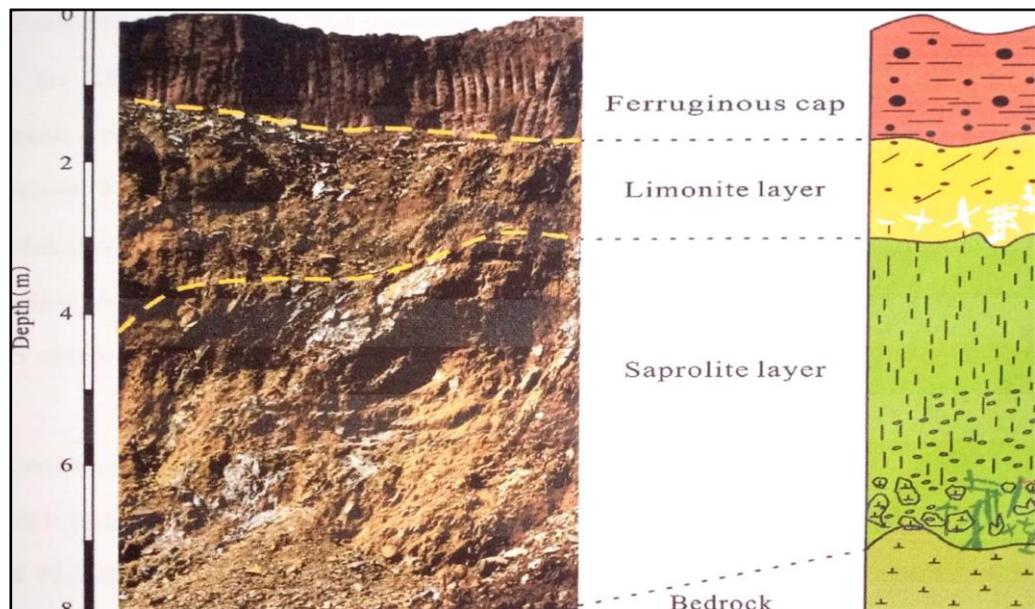
Zona saprolit berada di bagian bawah zona limonit. Zona saprolit merupakan zona pengayaan unsur nikel (Ni), ketebalan zona ini berkisar 5-18 m. Komposisinya berupa oksida besi, serpentin, magnetit dan tekstur batuan asal yang masih terlihat. Kemunculan bongkah-bongkah sangat sering dan pada rekahan-rekahan batuan asal dijumpai magnesit, serpentin, krisopras dan garnierit. Bongkah batuan asal yang muncul pada umumnya memiliki kadar SiO_2 dan MgO yang tinggi serta Ni dan Fe yang rendah.

4. Zona Batuan Dasar (*Bedrock*)

Zona batuan dasar atau *bedrock* berada di bagian paling bawah dari profil laterit. Batuan dasar merupakan batuan asal dari nikel laterit yang umumnya merupakan batuan beku ultrabasa yaitu peridotit yang pada rekahannya telah terisi oleh oksida besi 5-10%, garnierit minor dan silika > 35%. Permeabilitas batuan dasar meningkat sebanding dengan intensitas serpentinisasi.

Kenampakan masing-masing zona dapat terlihat dengan kenampakan fisiknya yaitu dari lapisan bawah ke atas yaitu batuan dasar diikuti lapisan tengah saprolit dan lapisan atas yaitu lapisan limonit. Adapun lapisan batuan dasar dapat dicirikan dengan

tekstur halus–sedang, warna abu-abu terang sampai gelap atau hijau kekuningan, tergantung derajat serpentinisasi dan tipe mineral serpentin. Pada lapisan saprolit terlihat menutupi lapisan dari batuan dasar dengan tekstur halus, warna kuning kehijauan–coklat, berongga dan materi lunak, sangat sedikit mengandung bongkahan dan juga memiliki massa yang relatif homogen. Pelapukan kimia menyebabkan saprolit berubah menjadi materi yang berwarna coklat kekuningan membentuk zona limonit di bagian atas lapisan ini. Ketebalan lapisan limonit umumnya lebih bervariasi namun cenderung lebih tipis dibandingkan dengan zona saprolit. Zona limonit pada bagian atas menunjukkan warna coklat sedang hingga gelap, lunak namun terdapat material yang keras (Sufriadin, 2013). Berikut adalah Gambar 2.3 Yang memperlihatkan zona lapisan pada nikel laterit:



Gambar 2.3 Profil endapan nikel laterit (Fu, 2014)

2.2 Benefisiasi Bijih Nikel

Benefisiasi adalah suatu usaha untuk meningkatkan kadar suatu bijih dengan melakukan metode pengolahan bahan galian seperti reduksi, pemisahan magnetik, flotasi, gravitasi, pemanasan ataupun metode lain dengan tujuan untuk menghasilkan

konsentrat. Benefisiasi diartikan sebagai proses peningkatan kadar dengan memisahkan material/mineral tak berharga yang terkandung pada bijih (Wills dan Finch, 2006). Umumnya bahan galian tambang yang terdapat di alam, jarang ditemukan dalam keadaan memiliki kadar dan logam berharga yang tinggi dan siap untuk dijual atau cocok untuk diproses lebih lanjut seperti peleburan. Oleh karena itu, bahan tambang tersebut perlu dilakukan benefisiasi secara khusus.

Salah satu sifat yang dimiliki mineral adalah sifat kemagnetan, sehingga dalam proses benefisiasi dikenal pemisahan secara magnetik atau konsentrasi magnetik. Proses magnetik adalah salah satu tahapan operasi dalam pengolahan bahan galian yang operasinya mempergunakan sifat perbedaan kemagnetan dari mineral-mineral yang akan dipisahkan (Ezhov dan Shvaljov, 2015).

Bijih nikel kadar rendah setelah proses benefisiasi akan menghasilkan produk konsentrat bijih nikel kadar tinggi. Di dalam endapan bijih nikel terdapat mineral goetit (FeO.OH) atau *hydrated iron oxide*. Mineral goetit mengandung air kristal yang biasa disebut dengan *chemical water* atau *combined water*. Ketika dipanaskan pada temperatur 300°C, *chemical water* akan menguap dan mineral goetit berubah menjadi mineral hematit (Fe₂O₃).



Terdapat banyak cara proses pengolahan untuk setiap bahan galian yang mengandung mineral tertentu. Beberapa sifat fisika yang seringkali dijadikan dasar pengolahan suatu bahan galian adalah sifat kemagnetan, berat jenis, sifat kelistrikan, sifat permukaan mineral terhadap gelembung udara (mudah dibasahi atau tidak), dan lain sebagainya. Disamping itu bentuk dan ukuran partikel suatu mineral serta derajat liberasinya juga sangat menentukan dalam proses benefisiasi (Nurhakim *et al.*, 2011).

Berikut beberapa keuntungan dalam melakukan proses benefisiasi antara lain:

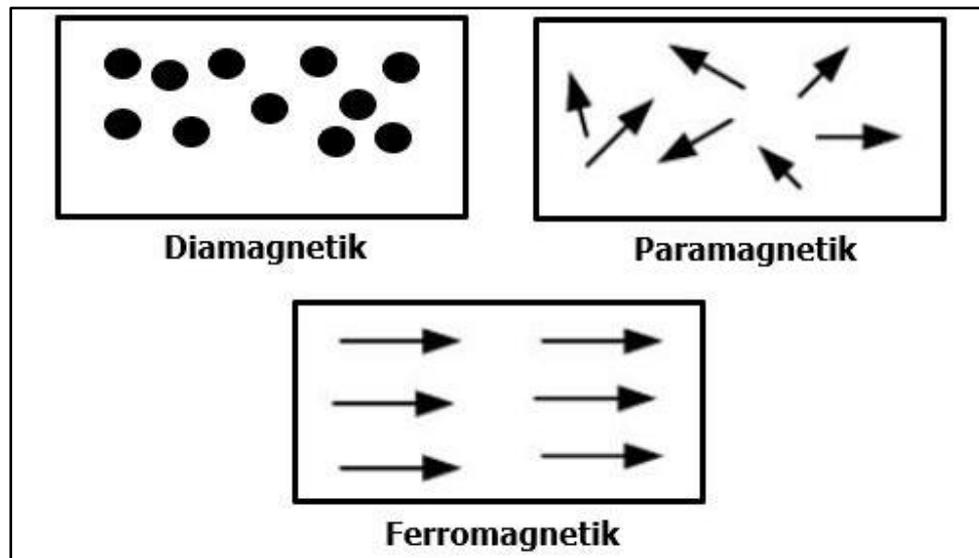
1. Mengurangi ongkos transport dari lokasi penambangan ke lokasi peleburan karena sebagian waste telah terbuang selama proses benefisiasi dan juga kadar bijih telah ditingkatkan.
2. Mengurangi *flux* yang ditambahkan dalam peleburan serta mengurangi metal yang hilang bersama slag.
3. Mereduksi ongkos keseluruhan dalam peleburan, karena jumlah tonase yang dileburkan lebih sedikit.
4. Bila dilakukan pengolahan akan menghasilkan konsentrat dengan kadar mineral yang relatif tinggi, sehingga lebih mudah untuk mengambil metalnya.
5. Bila konsentratnya mengandung lebih dari satu mineral berharga maka ada kemungkinan dapat diambil logam lain sebagai produk simpangan.

Proses benefisiasi merupakan bagian dari proses pengolahan bahan galian. pengolahan bahan galian merupakan salah satu bidang disiplin ilmu pertambangan yang menghubungkannya dengan ilmu metalurgi dan ilmu bahan. Istilah pengolahan bahan galian merupakan hasil terjemahan dari istilah *mineral processing*, *mineral dressing*, ataupun *mineral beneficiation*. Pengolahan bahan galian adalah proses atau operasi dimana bahan galian diolah sedemikian rupa dengan mempergunakan perbedaan sifat fisika sehingga menghasilkan produk yang dapat dijual dan produk yang tidak berharga dengan tidak mengubah sifat fisik atau kimia bahan galian yang bersangkutan.

2.3 Kemagnetan Mineral

Fenomena kemagnetan sudah lama dikenal dan dimanfaatkan untuk kehidupan sehari-hari umat manusia. Menurut beberapa artikel, sejak 600 SM seorang filsuf yunani kuno, Socrates telah menyebutkan bahwa ada batu yang dapat menarik serbuk besi.

Berikut ini adalah Gambar 2.4 yang memperlihatkan ilustrasi kemagnetan material (Svoboda, 2004).



Gambar 2.4 Skematik momen magnetik (Svoboda, 2004)

Perkembangan ilmu sains dan ilmu keteknikan pemisahan material menggunakan prinsip kemagnetan mengalami inovasi yang terus-menerus. Menurut sifat kemagnetannya, mineral dapat dibagi menjadi tiga kelompok dasar: diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik. Berdasarkan sifat kemagnetan mineralnya dapat digolongkan menjadi 3 golongan yaitu (Metso, 2015):

1. Diamagnetik

Diamagnetik merupakan sifat mineral yang ditolak sepanjang garis gaya magnet atau dengan kata lain tidak dapat ditarik oleh medan magnet. Hal ini disebabkan karena mineral tersebut sukar menyesuaikan medan magnet sekitarnya, sehingga sifat kemagnetannya berubah-ubah, dengan kata lain dia tidak dapat menempel pada suatu magnet.

2. Paramagnetik

Paramagnetik merupakan sifat mineral yang tertarik sepanjang garis gaya magnet atau dengan kata lain dapat ditarik oleh medan magnet. Hal ini

disebabkan karena sifat kemagnetannya mudah menyesuaikan dengan keadaan medan magnet sekitarnya. Contohnya adalah hematit.

3. Ferromagnetik

Ferromagnetik tidak berbeda jauh dengan paramagnetik hanya saja lebih kuat bila dibandingkan dengan paramagnetik. Contohnya adalah magnetit. Berikut ini adalah Tabel 2.1 daftar beberapa mineral berdasarkan sifat kemagnetannya:

Tabel 2.1 Kemagnetan Mineral (Metso, 2015)

<i>Mineral</i>	<i>Magnetic susceptibility ($X_m \cdot 10^{-3} SI$)</i>	<i>Classification</i>	
Magnetit	20,000 – 80,000	Ferromagnetik	
Pirrhosit	1,500 – 6,100		
Hematit	172 – 290	Paramagnetik	
Ilmenit	113 – 271		
Siderit	56 – 64		
Kromit	53 – 125		
Biotit	23 – 80		
Goetit	21 – 25		
Monazit	18.9		
Malakit	8.5 – 15.0		
Bornit	8.0 – 14.0		
Rutil	2.0		
Pirit	0.21		
Kasiterit	-0.08		Diamagnetik
Flourit	-0.285		
Galena	-0.35		
Kalsit	-0.377		
Kuarsa	-0.46		
Gypsum	-1.0		
Sphalerit	-1.2		
Apait	-2.64		

Berdasarkan penelitian Senanayake (2011) maupun Wang *et al.*, (2012) mineral yang paling dominan ditemukan pada bijih besi adalah goetit ($\text{FeO}\cdot\text{OH}$) atau ($\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$). Satuan dan simbol yang digunakan dalam menyatakan besaran kekuatan gaya magnet berdasarkan standar yang baku adalah menggunakan satuan internasional. Sistem ini, yang berdasarkan meter, kilogram, detik, ampere, kelvin dan candela. Namun demikian, banyak makalah tentang magnetisme dan pemisahan magnetik, masih dipublikasikan menggunakan satuan cgs. Kadang-kadang, sistem cgs tercemar dengan "satuan" emu, yang sebenarnya bukan satuan analisis dimensi yang dapat diterapkan (Svoboda, 2004).

Konversi induksi magnetik pada unit cgs gauss ke unit SI Tesla harus dikonversi dengan 10^{-4} (1 Tesla = 10.000 gauss). Bila kekuatan medan magnet digunakan, Oersted dikalikan dengan $10^3/4\pi$ akan memberi nilai pada unit SI A/m (1 oersted = $1.000/4\pi$). Kerentanan magnetik adalah kuantitas yang lebih rumit. Ini adalah kerentanan magnetik volume yang memasuki sebagian besar persamaan yang digunakan dalam pemisahan magnetik.

2.4 Kalsinasi

Kalsinasi adalah proses pemberian perlakuan panas terhadap padatan dengan memanaskan bahan pada suhu yang sangat tinggi. Biasanya dilakukan dengan adanya udara atau gas nitrogen. Tindakan ini memulai tolakan dari beberapa bahan yang mudah menguap seperti air, bahan organik, dan karbon dioksida dari sampel tanpa fusi apapun. Kadang-kadang kalsinasi digunakan untuk mengubah sifat fisikokimia atau konstitusi bahan (mengubah fasa atau mengubah logam untuk oksida logam). Suhu kalsinasi adalah parameter penting dalam sintesis fotokatalis dan dapat memainkan peran penting dalam mengendalikan sifat fisikokimia dan aktivitas fotokatalitik (Klacanska, 2017).

Penelitian dengan judul proses reduksi selektif bijih nikel limonit menggunakan zat aditif CaSO_4 untuk mengetahui kondisi optimum pada proses reduksi selektif bijih nikel limonit menggunakan zat aditif CaSO_4 dan diikuti dengan pemisahan magnetik untuk mendapatkan peningkatan kadar nikel. Proses reduksi selektif dilakukan pada rentang suhu $800\text{-}1100^\circ\text{C}$, waktu reduksi 1-4 jam, serta penambahan reduktor dan aditif 5% - 20%. Preparasi bijih nikel limonit dilakukan dengan pemanasan bijih dalam oven, pengecilan ukuran dan pengayakan untuk mendapatkan bijih dengan ukuran lolos 100 mesh, Peningkatan kadar Ni dari hasil reduksi selektif mencapai hasil terbaik pada suhu reduksi 1.000°C , sebesar 1,27%, sedangkan peningkatan kadar Ni pada konsentrat hasil pemisahan magnetik mencapai hasil terbaik tidak pada hasil reduksi suhu 1.000°C melainkan pada hasil reduksi suhu 1.100°C , sebesar 2,44% (Mayangsari, 2016).

2.5 Transformasi Goetit menjadi Hematit

Proses transformasi mineral goetit di dalam bijih limonit menjadi hematit melalui proses kalsinasi. Proses dehidrasi dilakukan pada rentang suhu 250°C sampai dengan 500°C dengan waktu proses 30 sampai 240 menit dan debit nitrogen 0,45 sampai 4 Liter/menit. Secara teoritis produk yang dihasilkan dari proses dehidrasi mineral goetit adalah hematit. Untuk itu dilakukan pembuktian melalui beberapa metode, diantaranya dengan melihat perubahan fisik percontoh yang terjadi, melalui analisis komposisi mineralogi, serta menentukan perbandingan jumlah mol Fe_2O_3 dan H_2O . Mineral goetit umumnya memiliki warna kuning, hingga coklat kehitam-hitaman, sedangkan mineral hematit berwarna merah, perak keabuabuan atau hitam baja (Suratman, 2008).

2.5.1 Pengaruh Waktu terhadap Konversi Mineral Goetit

Percobaan pengaruh waktu memberikan informasi seberapa jauh waktu proses dapat dipersingkat tanpa mengganggu kesempurnaan reaksi. Keterkaitan waktu proses dengan kesempurnaan reaksi dapat dilihat dari aspek kinetiknya. Untuk melihat kinetika

reaksi dehidrasi mineral goetit dilakukan percobaan waktu proses 30-240 menit dengan suhu yang berbeda-beda. Seiring peningkatan waktu reduksi kadar nikel yang dihasilkan juga cenderung meningkat, namun ketika telah mencapai batas di kisaran waktu antara 30-240 menit perolehan kadar nikel mengalami penurunan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh karena jumlah reduktor batubara yang diperlukan untuk mereduksi nikel oksida dan besi oksida berkurang dengan berkembangnya waktu reaksi (Subagja, 2016).

2.5.2 Pengaruh Suhu terhadap Konversi Mineral Goetit

Peningkatan suhu memberi pengaruh terhadap spontanitas reaksi dehidrasi mineral goetit. Reaksi dehidrasi mineral goetit secara spontanitas akan semakin tinggi dengan dinaikannya suhu reaksi, fenomena ini berlaku hingga pada titik suhu 900-1.100°C. Setelah suhu kalsinasi telah mencapai suhu tersebut cenderung terjadi penurunan kadar besi dalam mineral goetit akibat terbentuknya fasa FeS yang menyebabkan metalisasi besi menjadi berkurang (Subagja, 2016).

2.5.3 Pengaruh Penambahan Reduktor Batubara terhadap Kadar Fe dan Ni

Pengaruh penambahan batubara terhadap kadar nikel dan besi dalam sampel yang berbentuk pelet dengan komposisi Na₂SO₄ 10% dan suhu yang dijadikan variabel tetap, diperoleh hasil peningkatan kadar Fe dan Ni yang cenderung stabil. Namun peningkatan yang paling signifikan yaitu terjadi pada penambahan batubara sebanyak 20%. Peningkatan ini disebabkan karena dengan meningkatnya kandungan batubara maka kandungan silikat yang berasal dari Batubara dalam hasil reduksi juga meningkat. Peningkatan kadar silikat mendorong terbentuknya fasa Na₃MgAl(SiO₄)₂ yang diduga Ni dan Fe ikut terperangkap di dalam struktur Na₃MgAl(SiO₄)₂ (Subagja, 2016).

2.6 *Magnetic Separation*

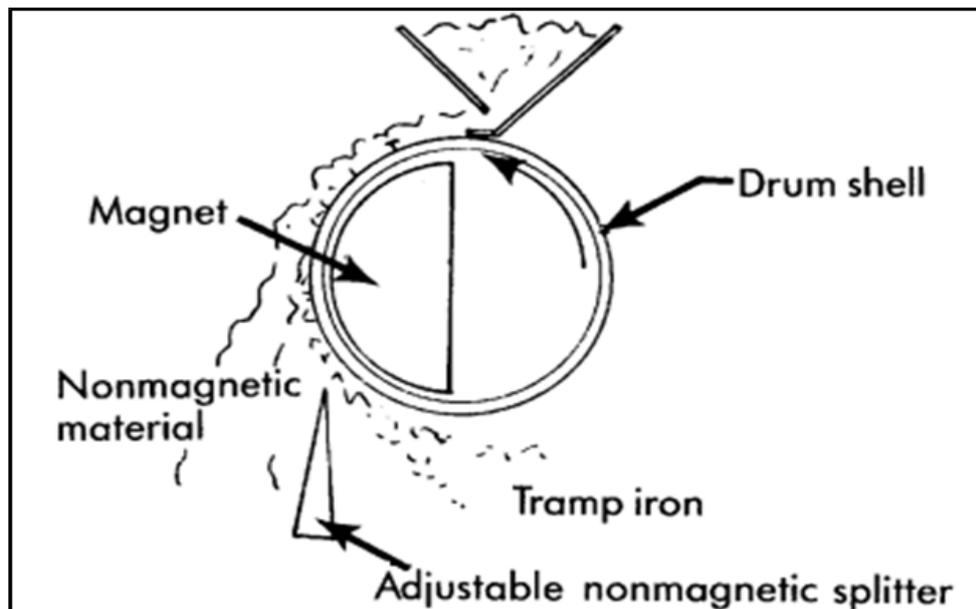
Metode benefisiasi yang paling umum digunakan untuk bijih besi adalah gravitasi dan metode pemisahan magnetik. Perolehan mineral berharga dari bijih alami dengan

gravitasi proses konsentrasi adalah salah satu teknik tertua dan paling ekonomis. Meskipun pada abad ke-20 konsentrasi gravitasi telah sebagian digantikan oleh teknik lain, terutama, flotasi dan pemisahan magnetik, hasilnya belum maksimal. Teknik pemisahan gravitasi banyak digunakan dalam benefisiasi mineral karena biayanya yang murah, mudah dioperasikan, dan ramah lingkungan. Teknik ini berbasis pada kecepatan pengendapan diferensial dari partikel penyusun bijih (Seifelnassr *et al.*, 2012). Selain itu, untuk meningkatkan kadar bijih besi berdasarkan karakteristik dapat digunakan metode *magnetic separation* yang dikombinasikan dengan pemisahan gravitasi (Svoboda, 2004).

Setiap mineral memiliki nilai kemagnetan tertentu yang dapat digunakan sebagai sifat pembeda dengan mineral lainnya. Dengan memanfaatkan perbedaan nilai kemagnetan mineral inilah, proses pemisahan secara magnetik dapat dilakukan. Ada banyak rancangan/desain alat pemisah secara magnetik (*magnetic separator*). Dalam penelitian ini digunakan desain tipe magnetik drum. *Drum magnetic separator* adalah perangkat pemisah secara magnetik yang paling banyak diterapkan dibanding desain-desain lainnya, seperti *magnetic pulley*, *plate magnet*, *grate magnet*, dan *suspended magnet*. Dapat dilihat pada Gambar 2.5 yang memperlihatkan ilustrasi *drum magnetic separator*.

Magnetic separator tipe drum diterapkan untuk umpan dengan partikel berukuran halus sekitar beberapa sentimeter sampai ukuran mikrometer, dan dapat dioperasikan dengan cara kering ataupun basah. Berdasarkan magnet yang digunakan, alat pemisah ini dibedakan menjadi dua, yaitu pemisah magnetik dengan intensitas rendah dan intensitas tinggi. Pada *magnetic separator* intensitas rendah menggunakan magnet ferrit yang merupakan magnet konvensional. Sedangkan untuk teknologi yang lebih mutakhir, *magnetic separator* berintensitas tinggi menggunakan magnet paduan logam tanah jarang (REE). Rancangan dasar untuk semua jenis *drum magnetic separator* pada prinsipnya sama. Balok-balok magnet permanen disusun pada posisi sebagian

drum, sehingga material dapat lepas dari magnet drum ketika putaran telah mencapai bagian drum yang tak bermagnet. Gabungan magnet dapat terdiri dari tiga sampai sembilan balok-balok magnet yang disusun berlawanan arah polaritasnya, mencakup sudut sekitar 90° sampai 120° (Usachyov dan Korytny, 1998).



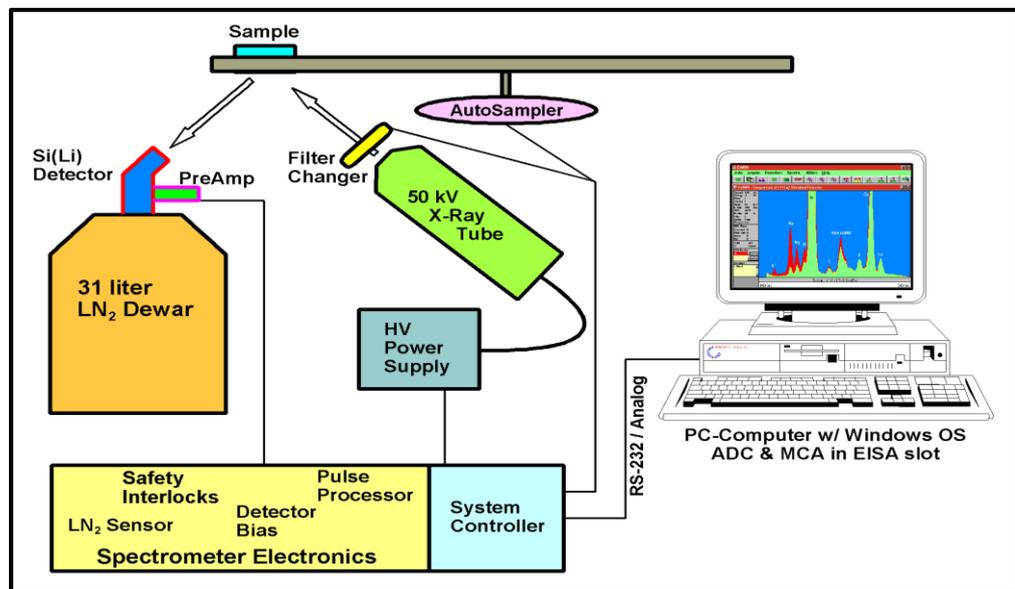
Gambar 2.5 *Drum magnetic separator* (Svoboda, 2004)

2.7 Analisis Kimia (*X-Ray Fluorescence*)

Metode analisis yang biasa digunakan untuk pengendalian kualitas bijih nikel laterit yaitu dengan *X-ray fluorescence* (XRF) spektrometer adalah suatu alat x-ray digunakan yang relatif *non*-destruktif dalam analisis kimia batuan, mineral, sedimen dan cairan (Munasir, 2012). Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efekfotolistrik. Efekfotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X).

Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini

akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi) (Munasir, 2012). Berikut adalah Gambar 2.6 yang memperlihatkan skema kerja alat XRF (Munasir, 2012):



Gambar 2.6 Skema kerja alat XRF (Fitton, 1997)

Prinsip Kerja XRF Metode XRF tergantung pada prinsip-prinsip dasar yang umum untuk beberapa metode instrumen lain yang melibatkan interaksi antara berkas elektron dan sinar-x dengan sampel, termasuk: X-ray spektroskopi (misalnya, SEM-EDS), difraksi sinar-X (XRD), dan panjang gelombang dispersif spektroskopi (microprobe WDS). Analisis unsur-unsur utama dan jejak dalam bahan oleh *x-ray fluorescence* dimungkinkan oleh perilaku atom ketika mereka berinteraksi dengan radiasi. Ketika bahan-bahan dengan energi tinggi, radiasi panjang gelombang pendek (misalnya, sinar-X), mereka dapat terionisasi. Energi radiasi yang cukup untuk mengeluarkan sebuah elektron akan menyebabkan atom menjadi tidak stabil dan sebuah elektron terluar menggantikan elektron yang hilang. Ketika ini terjadi, energi dilepaskan karena energi yang mengikat penurunan orbital elektron dalam dibandingkan dengan elektron luar. Radiasi yang dipancarkan adalah energi yang lebih rendah dari insiden utama sinar-X dan disebut

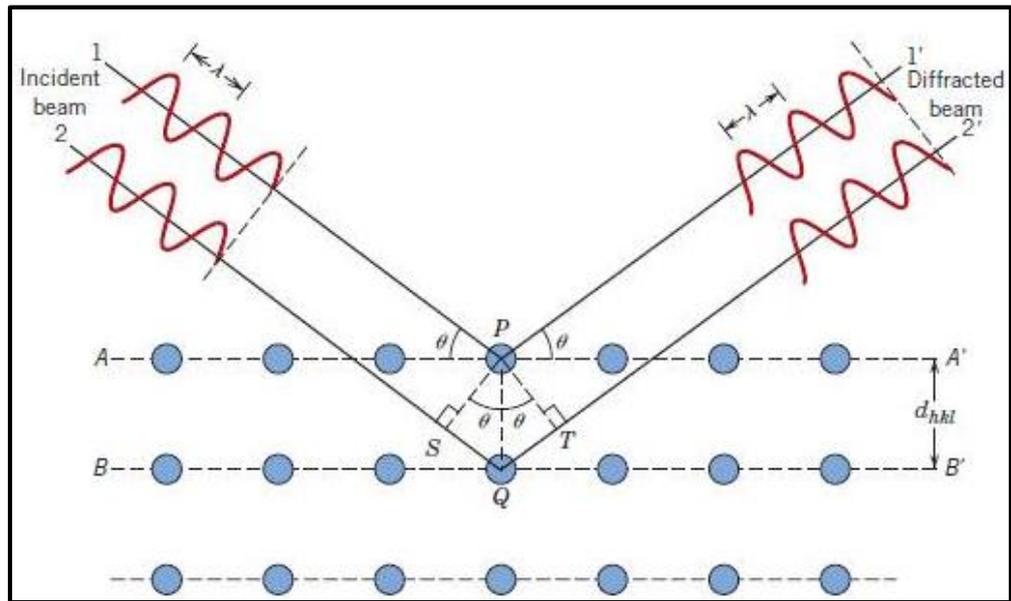
radiasi neon. Karena energi dari foton yang dipancarkan adalah karakteristik transisi antara orbital elektron yang spesifik dalam elemen tertentu, neon dihasilkan sinar-X dapat digunakan untuk mendeteksi kelimpahan unsur-unsur yang hadir dalam sampel (Munasir, 2012).

2.8 Analisis Mineralogi (*X-Ray Diffraction*)

Analisis XRD merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui jenis mineral yang terdapat dalam sampel atau material. Cara kerja analisis XRD yaitu sampel atau material digerus sampai jadi bubuk (*powder*). Data hasil sinar X dalam bentuk spektrum difraksi yang terdeteksi oleh dektektor kemudian ditransfer atau terekam ke komputer berupa grafik peak intensitas, yang dilanjutkan dengan analisis jarak antar bidang kisi kristal kemudian dibandingkan menggunakan hukum Bragg seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

X-Ray diffraction adalah suatu teknik analisis yang digunakan untuk mencirikan fase kristalin dari berbagai macam bahan, XRD biasanya digunakan dalam analisis mineralogi dan identifikasi bahan yang tidak diketahui. Data difraksi secara fundamental diturunkan oleh susunan atom dan molekul yang dijelaskan oleh kristalografi material (Andrei *et al.*, 2015).

Proses analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan pola difraktogram yang menghasilkan deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Besarnya nilai intensitas dari deretan puncak-puncak tersebut tergantung pada jumlah atom atau ion yang terkandung di dalam sampel. Pola difraksi pada padatan tergantung pada kisi kristal dan panjang gelombang yang digunakan atau dihasilkan (Munasir *et al.*, 2012).



Gambar 2.7 Difraksi sinar-X (Grant,1998)

Hasil difraksi sinar-x dicetak pada kertas dengan sumber pancaran radiasi Cu Ka dan dengan filter nikel. Data difraksi sinar-X dari sampel kemudian dibandingkan dengan kartu JCPDS (*Joint Committee Powder Diffraction Standard*). Dari nilai difraksi sinar-X yang menghasilkan intensitas dan sudut difraksi, dianalisis untuk menentukan jenis struktur kristalnya dengan mencocokkan pada data ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*) untuk semua sampel yang diuji. Informasi yang diperoleh dari data difraksi sinar X yaitu: (1) Posisi puncak difraksi memberikan gambaran terkait parameter kisi (a), jarak antar bidang (d_{hkl}), struktur kristal dan orientasi dari sel satuan; (2) intensitas relatif puncak difraksi memberikan gambaran tentang posisi atom dalam sel satuan; (3) bentuk puncak difraksi memberikan gambaran tentang ukuran kristal dan ketidak sempurnaan kisi (Munasir *et al.*, 2012).

Keluaran utama dari pengukuran data difraksi serbuk dengan difraktometer adalah sudut 2θ dan intensitas pada sudut yang sesuai. Dalam hal ekstraksi informasi, terdapat 3 karakter dasar puncak difraksi yang memeberikan gambaran mengenai kondisi pengukuran dan sifat-sifat kristal; yaitu, posisi, tinggi dan lebar serta bentuk

difraksi. Untuk lebih jelasnya, Tabel 2.2 menunjukkan informasi dalam karakter tinggi, posisi, dan lebar dan bentuk puncak difraksi (Nayiroh, 2014).

Tabel 2.2 Informasi uji diperoleh dalam difraktogram (Nayiroh, 2014)

Karakter	Informasi dari material	Informasi dari instrumen
Posisi puncak	- Fasa kristal/ identifikasi	- Kesalahan 2θ - Ketidaktepatan penempatan sampel
	- Struktur kristal	
	- Parameter kisi	
	- Regangan seragam (<i>uniform strain</i>)	
Tinggi puncak	- Identifikasi	
	- Komposisi	
	- Hamburan tak koheren	
	- Fasa-anti (<i>antiphase</i>)	
	- <i>Extinction</i>	
- <i>Preferred-orientation</i>		
Lebar dan bentuk puncak	- Ukuran kristal (bukan partikel atau butir/grain)	- Duplet radiasi (misal. $K\alpha_1$ dan $K\alpha_2$) - Divergensi aksial - Kedataran permukaan sampel
	- Distribusi ukuran Kristal	
	- Regangan tak seragam (<i>non-uniform strain</i>)	
	- Dislokasi, cacat kristal, <i>stacking-fault</i>	

Ada 2 cara analisis data difraksi, yaitu: (1) analisis kualitatif yang sering disebut dengan proses identifikasi fasa, dengan melalui pencocokan puncak-puncak difraksi dengan kartu PDF (*Powder Diffraction File*). Langkah-langkah dalam mengidentifikasi fasa dengan menggunakan *software*, terdiri dari: *peak search* (menentukan posisi puncak) dan *search match* dapat dilakukan dengan cara manual maupun cara berbasis komputer. (2) Analisis kuantitatif digunakan untuk mengetahui informasi lebih lanjut mengenai material yang diuji, yaitu komposisi fasa.

Pola difraksi yang diperoleh dari difraktometer menggambarkan status kristalinitas material yang diuji. Yang pertama dapat dilihat dengan kasat mata dari sebuah pola difraksi adalah keberadaan fasa kristal dan fasa amorf. Keberadaan fasa

kristal dapat segera dilihat dari adanya puncak-puncak difraksi, sedangkan material amorf memberikan pola berbentuk punuk difraksi atau intensitas latar yang tidak teratur. Komposisi fasa kristal dan material amorf pada material uji dapat dapat dihitung menggunakan metode analisis lanjut dari data difraksi yang telah terukur. Identifikasi berikutnya adalah menentukan fasa (kristal) apa saja yang terdapat di dalam materi uji. Pada dasarnya identifikasi fasa didasarkan pada pencocokan data posisi-posisi puncak difraksi terukur dengan basis data (database) fasa-fasa yang telah dikompilasi.

Misalnya dalam bentuk kartu PDF (*Powder Diffraction File*). Kartu PDF untuk sebuah fasa berisi informasi mengenai: (1) nama fasa (termasuk nama khas fasa tersebut, misalnya nama mineralnya), (2) sifat fisik dan kristalografi (cara memperoleh material tersebut, densitasnya, grup ruang dan sebagainya), (3) posisi puncak dan intensitas relative untuk Panjang gelombang radiasi tertentu (Nayiroh, 2014).

Ada beberapa keuntungan dari teknik XRD di laboratorium sains (Andrei *et al.*, 2015):

- a. Tidak merusak sampel, cepat, dan mudah;
- b. Akurasi tinggi untuk perhitungan d-spacing;
- c. Dapat dilakukan insitu;
- d. Memungkinkan karakterisasi kristal tunggal, poli, dan bahan amorf;
- e. Tersedia untuk ribuan sistem material.