

SKRIPSI

STUDI PENINGKATAN KADAR DAN PEROLEHAN NIKEL PADA BIJIH SERPENTINIT DENGAN METODE FLOTASI KOLOM

Disusun dan diajukan oleh

NUR HIKMAH

D621 16 001



PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI PENINGKATAN KADAR DAN PEROLEHAN NIKEL PADA BIJIH
SERPENTINIT DENGAN METODE FLOTASI KOLOM**

Disusun dan diajukan oleh

**NUR HIKMAH
D62116001**

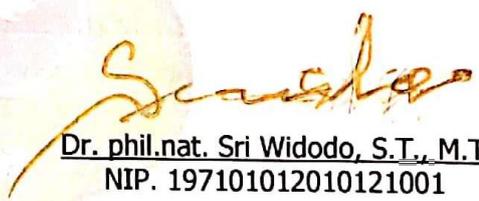
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 6 Januari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

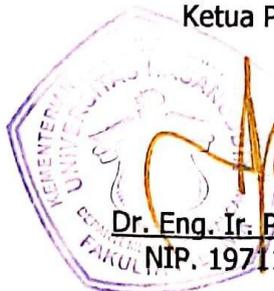

Dr. Sufriadin, S.T., M.T.
NIP. 196608172000121001

Pembimbing Pendamping,


Dr. phil.nat. Sri Widodo, S.T., M.T.
NIP. 197101012010121001

Ketua Program Studi,


Dr. Eng. Ir. Purwanto, S.T., M.T.
NIP. 197111282005011002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Hikmah
NIM : D62116001
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI PENINGKATAN KADAR DAN PEROLEHAN NIKEL PADA BIJIH SERPENTINIT DENGAN METODE FLOTASI KOLOM

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, 6 Januari 2021

Yang menyatakan



ABSTRAK

Nikel merupakan salah satu logam penting dalam bidang infrastruktur dan teknologi. Sumberdaya nikel terdapat pada dua endapan yaitu endapan sulfida dan endapan laterit. Nikel laterit terbentuk dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengandung mineral ferro-magnesian terutama olivin. Serpentin merupakan salah satu produk dari alterasi olivin. Kadar konsentrat nikel berkisar antara 1% sampai 3% dan dalam beberapa kasus, tidak melebihi 4%. Usaha yang dapat dilakukan dalam peningkatan kadar bijih nikel yaitu dengan proses benefisiasi baik secara kimia maupun fisika. Salah satu metode benefisiasi yang dapat diterapkan yaitu flotasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik, menganalisis pengaruh ukuran butir dan waktu flotasi terhadap peningkatan kadar nikel dan menghitung *recovery* nikel pada bijih serpentin daerah Latowu menggunakan flotasi kolom yang dilakukan di Laboratorium. Penelitian ini menggunakan asam oleik sebagai kolektor dan minyak pinus sebagai *frother*, sedangkan variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah ukuran butir dan waktu flotasi. Fraksi ukuran butir yang digunakan yaitu $-212+150\ \mu\text{m}$, $-150+106\ \mu\text{m}$, $-106+75\ \mu\text{m}$, dan $-75\ \mu\text{m}$. Waktu yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit. Hasil analisis mineralogi mengindikasikan sampel bijih serpentin mengandung mineral-mineral seperti lizardit ($\text{Fe}_4\text{SiO}_5(\text{OH})_4$), magnetit (Fe_3O_4), olivin (Mg_2SiO_4), kromit (FeCr_2O_4), dan kuarsa (SiO_2). Hasil analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*) sampel awal menunjukkan kadar 1,318% Ni dan 10,142% Fe_2O_3 . Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan kadar nikel pada ukuran butir $-106+75\ \mu\text{m}$ menjadi 1,336% dan peningkatan kadar nikel pada waktu flotasi 25 menit menjadi 1,321%.

Kata kunci: bijih nikel; serpentin; flotasi kolom; kadar; ukuran butir; waktu.

ABSTRACT

Nickel is one of the important metals in infrastructure and technology industries. Nickel resources are found in two deposits, namely sulfide and laterite deposits. Laterite nickel was formed from the chemical weathering process of ultramafic rocks containing ferromagnesian minerals especially olivine. Serpentinite is one of the products of olivine alteration. Nickel grades range from 1% to 3% and in some cases does not exceed 4%. Efforts that can be made in increasing nickel ore grades are by the process of beneficiation that can be done both chemically and physically. One of the beneficiation methods that can be applied is flotation. This study aims to examine the characteristics, analyze the effect of grain size and flotation time on the nickel grades increase and calculate nickel recovery in serpentinite ore in Latowu area using column flotation in the laboratory. The study used oleic acid as a collector and pine oil as a frother, while the variables used in this study were grain size and time of flotation. The fraction of the grain size used were -212+150 μm , -150+106 μm , -106+75 μm , and -75 μm . The time used in this study was 10 minutes, 15 minutes, 20 minutes, and 25 minutes. Mineralogy analysis indicates serpentinite ore samples contain minerals such as lizardite ($\text{Fe}_4\text{SiO}_5(\text{OH})_4$), magnetite (Fe_3O_4), olivine (Mg_2SiO_4), chromite (FeCr_2O_4), and quartz (SiO_2). The results of the initial sample XRF (X-Ray Fluorescence) analysis showed grades of 1.318% Ni and 10.142% Fe_2O_3 . The results showed an increase in nickel grades in the grain size of -106+75 μm to 1.336% and an increase in grades at the flotation time of 25 minutes to 1.321%.

Keywords: nickel ore; serpenitinite; column flotation; grade; grain size; time.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Studi Peningkatan Kadar Perolehan Nikel pada Bijih Serpentin dengan Metode Flotasi Kolom".

Skripsi ini disusun untuk mengaplikasikan ilmu yang didapatkan selama berkuliah di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin untuk diajukan sebagai syarat menyelesaikan studi. Skripsi ini berisi analisis yang dilakukan selama penelitian.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih pada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan baik secara moril maupun materi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T., selaku koordinator LBE Pengolahan Bahan Galian dan dosen pembimbing I penulis, serta Bapak Dr. phil.nat. Sri Widodo, S.T., M.T., yang telah meluangkan waktu sebagai pembimbing II penulis. Terima kasih kepada segenap dosen Teknik Pertambangan yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.

Terima kasih kepada seluruh mahasiswa Teknik Pertambangan angkatan 2016, dan juga kepada seluruh anggota LBE Pengolahan Bahan Galian yang telah banyak membantu dan memberi dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi. Terima kasih sedalam – dalamnya kepada Bapak alm H.Fatahuddin dan Ibu Hj.Rohani selaku orang tua serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan keterbatasan selama penelitian dan dalam penyusunan skripsi, sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan guna menutupi kekurangan dan keterbatasan penulis dalam penyusunan

skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca.

Makassar, November 2020

Nur Hikmah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
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 Daerah Pengambilan Sampel.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Nikel.....	7
2.2 Serpentin	9
2.3 Flotasi.....	12
2.4 Analisis Mikroskopis.....	21
2.5 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	22
2.6 Analisis <i>X-Ray Fluorescence Spectrometry</i> (XRF)	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	26

3.1 Preparasi Sampel	26
3.2 Percobaan Flotasi Kolom.....	29
3.3 Penimbangan Sampel	31
3.4 Penamaan Sampel	32
3.5 Karakterisasi dan Analisis Sampel	33
3.6 Perhitungan <i>Recovery</i>	38
3.7 Diagram Alir Penelitian	40
BAB IV KARAKTERISTIK DAN FLOTASI BIJIH SERPENTINIT.....	41
4.1 Karakteristik Bijih Serpentininit	41
4.2 Perolehan Ni dan Fe ₂ O ₃ dari Proses Flotasi Kolom Berdasarkan Variabel Fraksi Ukuran Butir	48
4.3 Perolehan Ni dan Fe ₂ O ₃ dari Proses Flotasi Berdasarkan Variabel Waktu Flotasi ...	57
BAB V PENUTUP.....	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta lokasi pengambilan sampel	6
2. 1 Persentase sumberdaya nikel dunia (Nickel Institute, 2016)	7
2.2 Mekanisme penempelan mineral pada gelembung	17
2.3 Klasifikasi kolektor (Wills and Munn, 2006)	19
2.4 Eksitasi karakteristik sinar-X dengan sinar-X energi tinggi (Leng, 2008).....	24
3.1 Proses peremukan material menggunakan palu geologi	27
3.2 Proses penggerusan material menggunakan <i>agate mortar</i>	28
3.3 Proses pengayakan sampel bijih serpentinit	29
3.4 Proses pencampuran dan pengadukan sampel dengan reagen sebelum dilakukan flotasi.....	30
3.5 Alat Flotasi Kolom	31
3.6 Timbangan digital	32
3.7 Sampel hasil flotasi	33
3.8 Kegiatan analisis mikroskopis	35
3.9 Alat XRD tipe shimadzu maxima-X XRD 7000	36
3.10 Kegiatan analisis XRF sampel bijih serpentinit	37
3.11 Diagram alir penelitian.....	40
4.1 Kenampakan mikroskopis bijih serpentinit dengan mikroskop polarisasi refraksi medan pandang pertama. (A) Nikol sejajar (B) Nikol silang	42
4.2 Kenampakan mikroskopis bijih serpentinit dengan mikroskop polarisasi refraksi pada medan pandang kedua. (A) Nikol sejajar (B) Nikol silang	43
4.3 Kenampakan mikroskopis bijih serpentinit dengan mikroskop polarisasi refraksi pada medan pandang ketiga. (A) Nikol sejajar (B) Nikol silang	43

4.4 Kenampakan mikroskopis bijih serpentinit dengan mikroskop polarisasi refraksi pada medan pandang keempat. (A) Nikol sejajar (B) Nikol silang	44
4.5 Kenampakan mikroskopis bijih serpentinit dengan mikroskop polarisasi refraksi pada medan pandang kelima. (A) Nikol sejajar (B) Nikol silang	45
4.6 Difractogram hasil analisis XRD	46
4.7 Grafik persentase produk flotasi kolom berdasarkan variabel fraksi ukuran butir ..	50
4. 8 Grafik hubungan kadar konsentrat terhadap fraksi ukuran butir	52
4.9 Grafik hubungan kadar konsentrat terhadap fraksi ukuran butir	52
4.10 Grafik <i>recovery</i> Ni dan Fe ₂ O ₃ berdasarkan fraksi ukuran butir	56
4.11 Grafik persentase produk flotasi kolom berdasarkan variabel waktu flotasi	58
4.12 Grafik hubungan kadar konsentrat terhadap waktu flotasi	60
4.13 Grafik hubungan kadar konsentrat terhadap waktu flotasi	61
4.14 Grafik <i>recovery</i> Ni dan Fe ₂ O ₃ berdasarkan variabel waktu flotasi	64

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4. 1 Komposisi mineral bijih serpentinit.....	45
4.2 Komposisi kimia sampel awal	48
4.3 Jumlah produk benefisiasi dengan metode flotasi berdasarkan variabel fraksi ukuran butir.....	49
4.4 Komposisi kimia konsentrat hasil flotasi berdasarkan variabel fraksi ukuran butir .	51
4.5 Komposisi kimia tailing hasil flotasi berdasarkan variabel fraksi ukuran butir	54
4.6 <i>Recovery</i> Ni dan Fe ₂ O ₃ berdasarkan variabel fraksi ukuran butir.....	55
4.7 Jumlah produk benefisiasi dengan metode flotasi berdasarkan variabel waktu flotasi.....	57
4.8 Komposisi kimia konsentrat hasil flotasi berdasarkan variabel waktu flotasi	59
4.9 Komposisi kimia tailing hasil flotasi berdasarkan variabel waktu flotasi	62
4.10 <i>Recovery</i> Ni dan Fe ₂ O ₃ berdasarkan variabel waktu flotasi	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Analisis Mikroskopis	72
B Analisis XRD.....	78
C Analisis XRF	82
D Perhitungan LOI.....	84
E Perhitungan <i>Recovery</i>	87

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu elemen yang paling umum di bumi dan terjadi secara ekstensif di kerak bumi dan inti bumi (Nickel Institute, 2016). Nikel banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena memiliki ketahanan terhadap oksidasi dan korosi oleh alkali, kekuatan pada suhu tinggi, dan dapat membentuk paduan dengan logam lainnya (Bide, 2008).

Nikel laterit terbentuk pada proses pelapukan kimia yang lama dari batuan ultramafik yang mengandung mineral ferro-magnesian. Batuan ultramafik terdiri dari dunit, peridotit, piroksinit, hornblendit, dan serpentinit. Serpentin merupakan produk paling umum dari alterasi olivin karena pengaruh larutan hidrotermal pada suhu antara 200°C hingga 500°C. Selama proses ini beberapa unsur nikel yang mudah larut berpindah dan beberapa tetap di serpentin, atau berasosiasi dengan magnetit yang merupakan produk bersama dari serpentinisasi (Dalvi and Robert, 2004).

Salah satu karakteristik utama bijih nikel adalah kadar nikel yang terkandung tidak melebihi 4% Ni. Biasanya, kadar nikel adalah antara 1% dan 3% Ni dan dalam beberapa kasus, tidak melebihi 4%. Hal ini disebabkan, bijih nikel tersebut terkandung dalam berbagai inklusi, terutama peridotit dan mineral sulfida yang menyebabkan konsentrasi nikel memiliki kadar rendah (Bulatovic, 2007). Usaha yang dapat dilakukan dalam peningkatan kadar bijih nikel yaitu dengan proses benefisiasi. Proses benefisiasi dapat dilakukan secara kimia maupun fisika, proses benefisiasi secara fisika dapat dilakukan dengan metode gravitasi dan magnetik, sedangkan benefisiasi secara kimia dan fisika dapat dilakukan dengan metode flotasi. Konsentrasi flotasi mendominasi

proses pengolahan mineral pada tambang tembaga, emas dan logam dasar skala besar. Hal ini disebabkan karena proses ini tidak tergantung pada densitas dan perbedaan gaya gravitasi serta mudah dikendalikan melalui reagen-reagen tertentu dalam merubah sifat permukaan mineral. Flotasi merupakan salah satu dari banyak metode pemisahan dan dapat digunakan untuk pemisahan fase, misalnya untuk menghilangkan partikel padat atau tetes minyak dari air (Drzymala, 2007).

Flotasi bisa menjadi proses yang sangat efisien untuk pemisahan mineral padatan dan pengolahan air limbah. Namun demikian, flotasi sangat dipengaruhi oleh sifat permukaan mineral itu sendiri. Kondisi utama agar proses flotasi berlangsung dengan baik yaitu adanya partikel-partikel tertentu (yang akan diapungkan) menempel pada gelembung udara kemudian bersama-sama naik ke permukaan. Ukuran partikel menjadi salah satu faktor yang menentukan proses flotasi dapat berlangsung dengan baik karena ukuran partikel dapat menentukan keterapungan (*floatability*) dari suatu partikel (Drzymala, 2007). Selain itu, jenis reagen dalam flotasi juga mempengaruhi proses flotasi, reagen kimia digunakan untuk menciptakan suatu kondisi agar proses flotasi berlangsung dengan baik dan mineral yang diinginkan dapat terapungkan sebagai konsentrat.

Upaya dalam meningkatkan kadar suatu bijih telah banyak dilakukan dalam industri pertambangan. Bijih yang diolah akan mengalami peningkatan kadar, sehingga dari hasil pengolahan tersebut diharapkan diperoleh keuntungan seperti mengurangi ongkos pengangkutan dari tempat pengolahan sampai tempat peleburan, mengurangi biaya peleburan, dan mengurangi bahan imbuhan (*flux*) selama peleburan, karena semakin tinggi kadar bijih berarti kadar mineral pengotor semakin kecil, sehingga *flux* yang dibutuhkan juga semakin sedikit. Penelitian ini diharapkan agar nikel yang berasosiasi dengan bijih serpentinit dapat ditingkatkan kadarnya dengan metode flotasi kolom.

1.2 Rumusan Masalah

Nikel merupakan salah satu logam penting dalam dunia infrastruktur dan teknologi, namun kadar bijih nikel berkisar antara 1% sampai 3% dan dalam beberapa kasus, tidak melebihi 4%. Usaha yang dapat dilakukan dalam peningkatan kadar bijih nikel yaitu dengan proses benefisiasi yang merupakan proses pengolahan bahan galian dengan memisahkan mineral berharga dengan mineral pengotornya. Salah satu metode benefisiasi yang dapat diterapkan yaitu flotasi kolom. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukanlah penelitian untuk mengetahui karakteristik, pengaruh ukuran butir dan waktu flotasi terhadap peningkatan kadar nikel dan menghitung *recovery* Ni dari proses flotasi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini, adalah:

1. Mengetahui karakteristik mineralogi bijih serpentinit sampel penelitian.
2. Menganalisis pengaruh ukuran butir sampel dan waktu flotasi terhadap peningkatan kadar nikel pada bijih serpentinit.
3. Menghitung *recovery* nikel dari bijih serpentinit.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk mengetahui efektivitas pengolahan bijih serpentinit, menghasilkan perolehan konsentrat nikel dari bijih serpentinit dan menghasilkan konsentrat nikel yang diharapkan dapat dimanfaatkan kembali sebagaimana fungsi nikel pada umumnya yaitu untuk pembuatan *stainless steels*.

1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan. Penelitian ini dilakukan pada bulan April sampai bulan Agustus. Adapun tahapan kegiatan penelitian yang dilaksanakan 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 yang digunakan pada saat penelitian.

2. Studi Literatur

Tahapan ini merupakan tahapan yang dilakukan setelah dan selama dilakukannya penelitian ini. Tahapan ini melakukan kajian kepustakaan untuk menunjang dan memahami *state of the art* dari topik yang akan diteliti dan sebagai petunjuk dalam menentukan rancangan penelitian serta persiapan yang menyangkut segala sesuatu yang dibutuhkan dalam proses penyusunan tugas akhir. Tahapan studi literatur yang dilakukan dapat melalui jurnal, buku, artikel dan referensi lainnya yang berkaitan dengan masalah yang akan dikaji pada penelitian.

3. Penelitian di Laboratorium

Tahapan ini meliputi preparasi sampel, flotasi sampel, karakterisasi awal maupun karakterisasi setelah dilakukan flotasi pada sampel. Preparasi sampel adalah kegiatan mempersiapkan sampel sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, preparasi sampel dilakukan dengan cara mereduksi ukuran butir

sampel. Proses flotasi sampel dilakukan dengan menggunakan reagen. Karakterisasi sampel dilakukan dengan analisis XRD, analisis XRF, dan analisis mikroskopis. Analisis XRD digunakan untuk mengkarakterisasi sampel awal struktur kristal material. Analisis XRF digunakan untuk mengetahui kadar nikel dan besi sebelum dan setelah dilakukan proses flotasi sehingga dapat diketahui *recovery* dari hasil flotasi. Analisis mikroskopis digunakan untuk mengamati mineral yang ada pada bijih serpentin di bawah mikroskop dengan menggunakan sayatan tipis.

4. Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan tahapan mengumpulkan data-data hasil analisis dan mengolah data-data yang telah didapatkan sehingga diperoleh pemecahan masalah dari penelitian ini. Data dari analisis XRF dibandingkan serta dikaji sehingga didapatkan *recovery* dari sampel yang telah diteliti.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

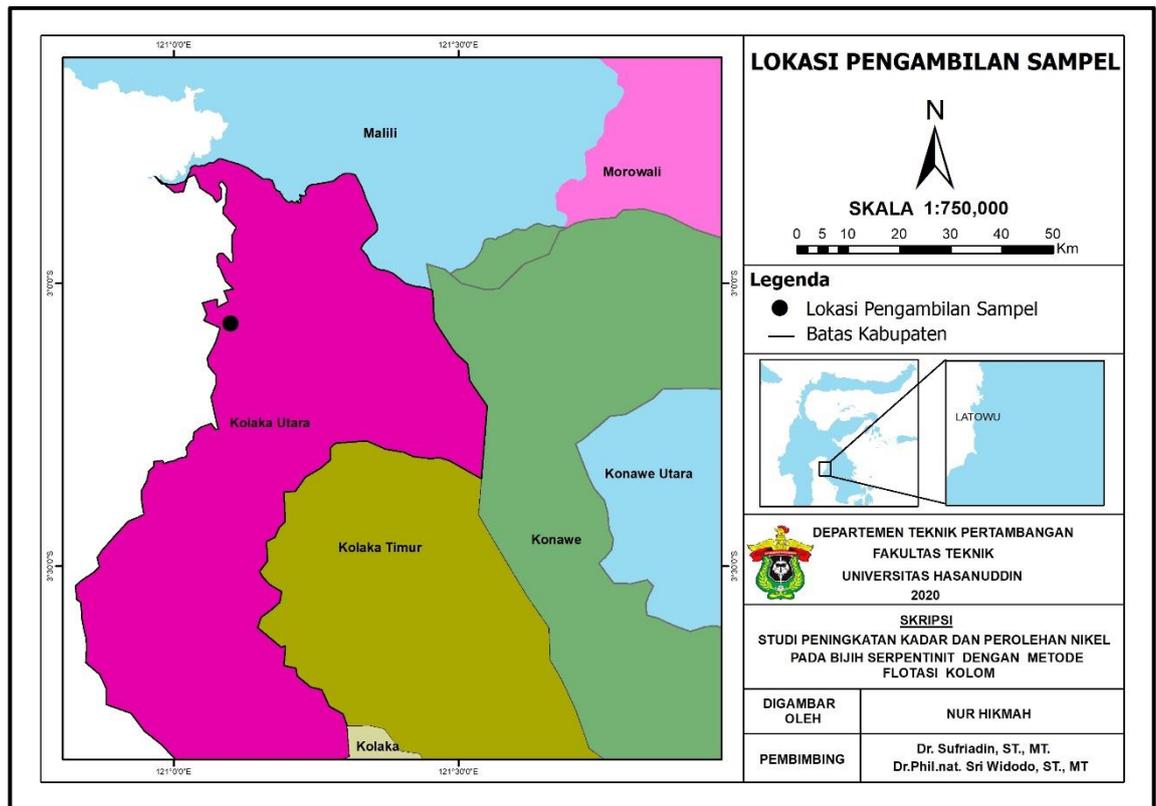
Tahapan ini merupakan tahapan paling akhir yang dilakukan dalam rangkaian kegiatan penelitian. Seluruh hasil penelitian akan disusun dan dilaporkan secara sistematis sesuai aturan penulisan buku putih yang telah ditetapkan oleh Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin.

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-saran untuk menyempurnakan laporan tugas akhir dari tim penguji, pembimbing dan peserta seminar. Laporan tugas akhir yang telah direvisi selanjutnya diserahkan ke Departemen Teknik Pertambangan.

1.6 Daerah Pengambilan Sampel

Secara administratif daerah pengambilan sampel terletak di Desa Latowu, Kecamatan Batuputih, Kabupaten Kolaka Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Sedangkan secara astronomis daerah pengambilan sampel berada pada $3^{\circ}2'28.39''$ LS - $121^{\circ}4'49.00''$ BT. Lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 1.1.



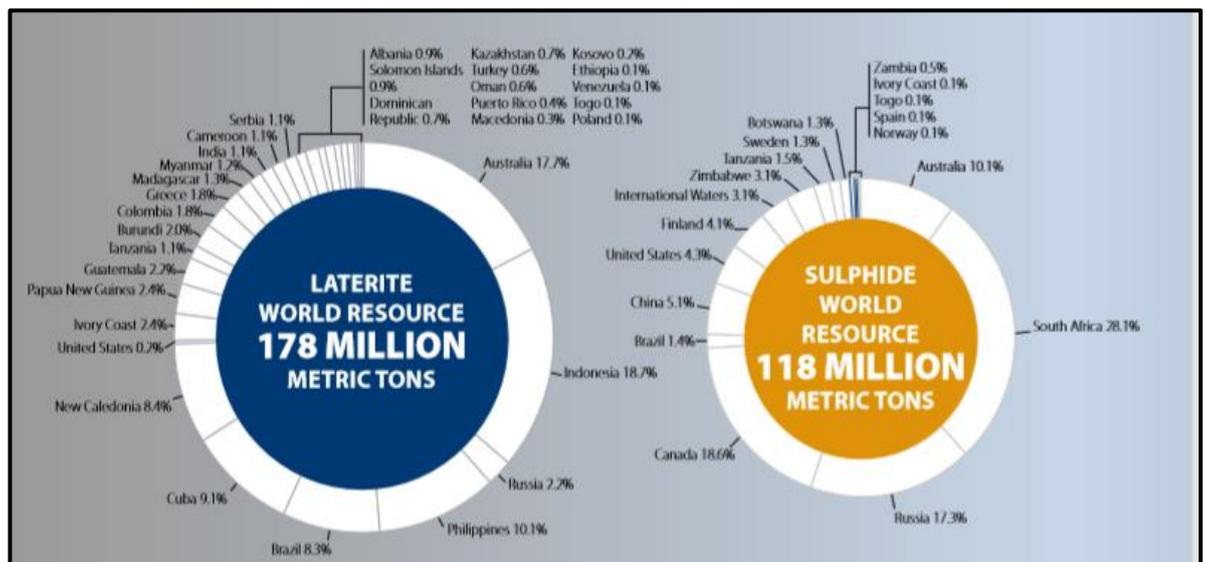
Gambar 1.1 Peta lokasi pengambilan sampel

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nikel adalah logam penting dalam metalurgi modern dengan kegunaan utama dalam *stainless steel* (sekitar 45 persen) dan paduan berbasis nikel (sekitar 39 persen) (US. Geological Survey, 2010). Sumber daya nikel dunia terdapat di dua endapan yaitu endapan sulfida dan endapan laterit. Jumlah sumber daya nikel di endapan sulfida adalah 28% dari total sumber daya yang ada, sedangkan terdapat 72% sumber daya nikel pada endapan laterit (Dalvi and Robert, 2004). Berikut ini Gambar 2.1 menunjukkan persentase sumberdaya nikel laterit dan nikel sulfida diberbagai negara.



Gambar 2.1 Persentase sumberdaya nikel dunia (Nickel Institute, 2016)

Bijih nikel terdiri atas Ni-sulfida (*nickel sulphides*) dan Ni-laterit (*nickel laterites*). Mineral Ni-Sulfida umumnya terbentuk secara primer dan berasosiasi dengan batuan mafik dan ultramafik (piroksinit, harzburgit, dan dunit). Endapan bijih nikel ini

juga terjadi bersama-sama bijih kromit (Cr), sedangkan Ni-laterit merupakan bentuk sekunder endapan bijih nikel. Ni-sulfida yang ditemukan pada kedalaman ratusan meter di bawah permukaan tanah, Ni-laterit terdapat pada kedalaman yang relatif lebih dangkal, yaitu sekitar 15 – 20 meter di bawah permukaan tanah.

Bijih nikel laterit adalah endapan nikelferrous yang terjadi karena proses mineral olivin pada peridotit terdekomposisi oleh air tanah yang bersifat asam. Bijih nikel limonit adalah jenis endapan yang terjadi akibat proses dekomposisi air tanah yang bersifat asam, sehingga magnesium (MgO) dan nikel (Ni) terlarut, sedangkan silikon tersuspensi sebagai koloid silika ke lapisan bawah. Bijih nikel garnierit/saprolit adalah jenis endapan yang terjadi akibat proses pelindihan. Larutan yang masih mengandung magnesium, nikel, dan silika ke lapisan bawah sampai akhirnya larutan asam dinetralkan oleh batuan dan tanah pelapukan (Sukandarrumidi, 1999). Zona pelapukan kimiawi yang kaya akan bijih nikel berada pada zona saprolit. Bijih nikel tidak hanya berasosiasi dengan garnierit, tapi Ni juga dapat mensubstitusi Fe dan Mg pada mineral silikat, khususnya serpentinit. Komposisi kimia dari mineral-mineral mafik (termasuk olivin) dalam iherzolit yang mengandung Ni dan Cr (Atmadja, 1974).

Perbedaan menonjol dari nikel saprolit dan limonit adalah kandungan Fe (besi) dan Mg (magnesium), bijih saprolit mempunyai kandungan Fe rendah dan Mg tinggi sedangkan limonit kandungan Fe tinggi dan Mg rendah (Dalvi and Robert 2004). Di bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindihan, yang sering disebut sebagai zona hipogen.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan bijih nikel ini adalah sebagai berikut (Waheed, 2009):

- a. Batuan asal, batuan asal untuk terbentuknya endapan nikel adalah batuan ultrabasa. Terdapat elemen Ni pada olivin dan piroksen.

- b. Struktur yang umum dijumpai pada zona laterit nikel adalah struktur kekar (*joint*).
- c. Iklim, pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur.
- d. Proses pelarutan kimia dan vegetasi, dimana unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan batuan menjadi *soil*. Air tanah yang mengandung CO₂ memegang peranan penting didalam proses pelapukan kimia.
- e. Topografi yang landai akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan.
- f. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi. Waktu lateritisasi tiap ketebalan 1 mm membutuhkan waktu sekitar 100 tahun.

Faktor-faktor tersebut sangat terkait satu sama lain. Saat batuan keluar ke permukaan, maka secara bertahap akan mengalami dekomposisi. Proses kimia dan mekanik yang disebabkan oleh udara, air dan temperatur akan menghancurkan batuan tersebut menjadi tanah dan lempung.

2.2 Serpentin

Istilah serpentin digunakan sebagai nama kelompok mineral dari tiga mineral utama (lizardit, krisotil, antigorit) atau sebagai istilah umum ketika mineralogi individu tidak diketahui atau ditentukan (Moody, 1976). Serpentin adalah kelompok mineral magnesium hidro-silikat ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) yang merupakan mineral sekunder hasil ubahan mineral silikat yang kaya Mg. Umumnya, mineral ini dicirikan oleh kilap sutra,

permukaan agak licin, pecahan konkoidal, dan berbentuk granular (Sufriadin dkk., 2009).

Serpentin merupakan produk paling umum dari alterasi olivin karena pengaruh larutan hidrotermal pada suhu antara 200°C hingga 500°C. Selama proses ini beberapa unsur nikel yang mudah larut berpindah dan beberapa tetap di serpentin, atau berasosiasi dengan magnetit yang merupakan produk bersama dari serpentinisasi (Dalvi and Robert, 2004). Reaksi pembentukan serpentin adalah sebagai berikut:



Piroksin + Olivin + Air = Serpentin

Serpentinisasi adalah suatu reaksi eksotermis, hidrasi di mana air bereaksi dengan mineral ultramafik seperti olivin dan piroksin untuk menghasilkan lizardit, antigorit dan atau krisotil. Lizardit dan krisotil dalam serpentin lebih umum daripada antigorit, kehadiran antigorit mengindikasikan bahwa serpentin telah mengalami metamorfosis program. Kelompok mineral serpentin paling didominasi oleh lizardit, namun data termodinamik untuk lizardit sangat terbatas secara eksperimental (Palandri and Reed, 2004). Namun berdasarkan perhitungan data termodinamik oleh Holland dan Powell (1998) diindikasikan antigorit lebih stabil daripada krisotil pada suhu dari 25 °C sampai 350°C dan krisotil terjadi secara alami di bawah suhu 350 °C.

Batuan yang terserpentinisasi terbentuk dari mineral primer (olivin dan piroksin) yang retak dan dipotong oleh banyak *vein/ets* dari serpentin. Olivin biasanya digantikan oleh serpentin dengan struktur *mesh*, sedangkan piroksin umumnya digantikan oleh bastit. Pola perubahan dalam butir olivin dikontrol oleh fraktur persegi panjang tidak teratur yang asli (Atmadja *et al.*, 1974).

Tinjauan rinci mengenai komposisi kimia dari lizardit, krisotil dan antigorit, yaitu (Moody, 1976):

- a. Antigorit memiliki kadar SiO_2 yang relatif tinggi, sedangkan kadar MgO dan H_2O^+ relatif rendah;
- b. Krisotil memiliki kandungan Al_2O_3 yang relatif rendah;
- c. Lizardit memiliki kadar Fe_2O_3 yang relatif tinggi tetapi kadar FeO yang relatif rendah;
- d. Lizardit dan krisotil mengandung H_2O^+ melebihi formula ideal;
- e. Antigorit memiliki yang kandungan $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ tertinggi sedangkan lizardit memiliki kandungan $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ terendah.

Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya proses serpentinisasi adalah adanya penambahan air, adanya pelarutan magnesia (atau penambahan silika), adanya pelepasan besi dalam olivin (Fe , Mg), konversi besi yang lepas dari ikatan ferro (Fe^{2+}) menjadi ferri (Fe^{3+}) untuk membentuk magnetit berbutir halus. Akibatnya batuan terserpentinisasi umumnya akan menjadi lebih magnetik (Waheed, 2009). Mineral yang paling umum yang menyertai serpentinisasi olivin merupakan magnetit berbutir halus. Partikel halus dari magnetit, natif ferro-nikel dan chrome-spinel biasanya dikaitkan dengan massa serpentin. Rangkaian partikel magnetit terjadi sebagai string terputus-putus mengikuti garis kristal asli olivin. Magnetit sebagian mewakili besi yang bebas selama serpentinisasi. Partikel opak ini juga hadir sebagai gumpalan tidak teratur dalam massa serpentin, seperti *veinlets* dan *rim*s tipis yang melingkupi kristal olivin (Atmadja *et al.*, 1974). Apabila serpentinisasi berlanjut, magnetit akan membentuk butiran yang lebih kasar, dan pada tahap akhir magnetit akan bermigrasi keluar dari struktur *mesh* ke arah *veinlet* yang saling memotong dan menyebabkan batuan menjadi berwarna hijau (Sufriadin dkk., 2009).

Secara umum batuan dasar penghasil tanah laterit merupakan batuan - batuan ultramafik dimana batuan yang rendah akan unsur Si, namun tinggi akan unsur Fe, Mg dan terdapat unsur Ni yang berasal langsung dari mantel bumi. Kehadiran mineral serpentin pada batuan ultramafik menjadi suatu peranan penting dalam pembentukan karakteristik tanah laterit yang ada terutama pada pengkayaan unsur logam Ni pada tanah laterit. Proses serpentinisasi akan menyebabkan perubahan tekstur mineralogi dan senyawa pada mineral olivin maupun piroksin pengurangan atau perubahan komposisi unsur Mg, Ni dan Fe pada mineralnya (Waheed, 2009).

2.3 Flotasi

Pengolahan bahan galian adalah proses/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/kimia bahan galian yang bersangkutan.

Banyak ragam cara proses pengolahan dan untuk setiap bahan galian yang mengandung mineral tertentu membutuhkan proses pengolahan yang spesifik berdasarkan perbedaan sifat fisika mineral-mineral yang terkandung dalam bahan galian. Beberapa sifat fisika yang seringkali dijadikan dasar pengolahan suatu bahan galian adalah berat jenis, sifat kemagnetan, sifat kelistrikan, sifat permukaan mineral terhadap gelembung udara (mudah dibasahi atau tidak), dan lain-lain. Disamping itu bentuk dan ukuran partikel suatu mineral serta derajat liberasinya juga sangat menentukan dalam pengolahan bahan galian.

Logam nikel dapat diperoleh dari dua jenis bijih yaitu bijih nikel sulfida dan laterit. Ekstraksi Ni dari bijih sulfida lebih murah dibanding Ni laterit, namun dengan semakin menipisnya sumberdaya dan cadangan Ni sulfida mendorong meningkatnya minat penelitian untuk memperoleh logam Ni dari bijih laterit secara ekonomis

(Farrokhpay and Filippov, 2016). Salah satu karakteristik utama bijih nikel adalah kadar konsentrat nikel yang terkandung tidak melebihi 18% Ni. Biasanya, kadar konsentrat adalah antara 6% dan 11% Ni dan dalam beberapa kasus, tidak melebihi 4%. Hal ini disebabkan, bijih nikel tersebut terkandung dalam berbagai inklusi, terutama peridotit dan mineral sulfida yang menyebabkan konsentrat nikel memiliki kadar rendah (Bulatovic, 2007).

Flotasi bijih nikel belum banyak dilakukan dibandingkan dengan mineral lain, oleh karena itu sangat sedikit yang diketahui tentang daya apung mineral nikel. Sebagian besar penelitian bekerja pada flotasi nikel. Flotasi nikel telah dilakukan oleh (a) laboratorium produksi nikel terbesar (Inco, Falconbridge, WMC), dan (b) oleh para peneliti di Rusia tentang bijih dari deposit Rusia. Masalah yang terkait dengan daya apung nikel adalah mengandung *gangue* mineral lain dan oleh karena itu sifat permukaan individu mineral dapat bervariasi dari satu deposit ke deposit lainnya. Jenis mineral *gangue* memainkan peran penting dalam sifat apung nikel dan tembaga - mineral nikel. Dari beberapa percobaan yang telah dilakukan memberikan fakta bahwa nikel relatif mudah mengambang (Bulatovic, 2007). Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai upaya peningkatan kadar bijih nikel, adapun beberapa hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kadar bijih nikel dari proses flotasi yang dilakukan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Zhao, 2010) menggunakan sampel serpentin yang berasal dari Provinsi Lioing, Cina Utara dengan karakteristik sampel menunjukkan keberadaan mineral lizardit, antigorit, dan krisotil. Proses flotasi menggunakan ethyl xanthate sebagai kolektor, terpenic oil sebagai frother, percobaan flotasi yang dilakukan menggunakan air sebanyak 50 cm³ sedangkan ukuran partikel yang digunakan +38-106µm. Dari hasil flotasi dengan pH 8,1 menggunakan waktu selama 3 menit menghasilkan perolehan lizardit yang sangat rendah 3%-4% setelah 3

menit flotasi, namun perolehan krisotil lebih tinggi dibanding antigorit dan lizardit yaitu sebesar 6%-10% setelah 3 menit waktu flotasi. Penelitian ini juga melakukan percobaan dengan penambahan dosis kolektor sebesar 20 mg/L sehingga terjadi peningkatan pH. Hasil dari flotasi ini menghasilkan perolehan lizardit sangat rendah 2-4% setelah dilakukan flotasi 3 menit, sedangkan perolehan krisotil 10%-15% setelah 3 menit flotasi, hasil ini lebih tinggi dibanding antigorit dan lizardit. Hasil flotasi tertinggi dengan pH 6 menghasilkan perolehan krisotil 15%.

Penelitian lain mengenai peningkatan kadar bijih nikel dengan metode flotasi menggunakan sampel laterit yang diambil pada 3 zona yang berbeda, yaitu limonit, saprolit dan intermediate. Karakteristik sampel dianalisis menggunakan XRD, pada sampel limonit dan intermediate didapati mineral spinel, goetit dan kuarsa dengan sedikit mineral serpentin, olivin dan lempung, sedangkan pada sampel saprolit terdapat mineral serpentin, goetit, siderit, spinel, kuarsa, olivin dan lempung (nontronit dan saponit) (Farrokhpay *et al.*, 2018).

Sodium oleate (NaOl), dodecylamine (DDA) dan Aero 6493 (Cytec, USA), dan HDMA digunakan sebagai kolektor, methyl isobutyl carbinol (MIBC) digunakan sebagai frother, apabila diperlukan pH diatur menggunakan larutan NaOH atau HCl. Penelitian ini menggunakan sampel sebanyak 600 gram dan air sebanyak 2 Liter dengan waktu flotasi yang bervariasi antara 5 dan 15 menit, pada penelitian ini membandingkan dosis reagen yang digunakan sehingga didapatkan dosis reagen yang paling efektif dalam proses flotasi (Farrokhpay *et al.*, 2018).

Analisis menggunakan sampel limonit tidak didapatkan peningkatan kadar nikel setelah proses flotasi dengan menggunakan reagen yang berbeda dan kondisi yang berbeda, namun untuk sampel saprolit dan *intermediate* hasil flotasi yang dihasilkan mengalami peningkatan signifikan. Hasil flotasi terbaik ditunjukkan oleh sampel saprolit, dimana terjadi peningkatan kadar nikel dari 3,0% Ni menjadi 4,2% Ni dengan

menggunakan kolektor HDMA. Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan kondisi terbaik untuk meningkatkan kadar bijih nikel diperoleh menggunakan kolektor HDMA pada Ph 10 sedangkan untuk kolektor DDA dan NaOI menghasilkan konsentrat nikel dengan kadar yang lebih rendah (Farrokhpay *et al.*, 2018).

Flotasi digunakan di seluruh industri pengolahan mineral pada abad terakhir karena kemampuannya untuk mengolah bijih kompleks dengan kadar rendah, di mana ukuran partikel mineral terlalu kecil untuk teknik pemisahan lainnya. Flotasi ini bisa menjadi proses yang sangat efisien untuk pemisahan mineral padatan dan pengolahan air limbah, serta untuk menghilangkan tinta kertas daur ulang, pembersihan elektrolit (pemisahan minyak), menghilangkan kontaminan radioaktif dari tanah dan karbon dari *fly ash*.

Dalam pengolahan bahan galian, flotasi didefinisikan sebagai suatu teknik pengolahan mineral berdasarkan sifat fisika dan kimia permukaan mineral. Dalam proses flotasi mineral, sampel akan bercampur dengan air dan membentuk *slurry* sedangkan udara akan membentuk suatu gelembung, kemudian karena sifat hidrofobitas mineral yang berbeda, maka mineral yang memiliki sifat hidrofobik akan naik kepermukaan sel flotasi (Palabiyik, 2018). Flotasi merupakan proses selektif dan dapat digunakan untuk memisahkan bijih tertentu yang bersifat kompleks seperti timbal-seng, tembaga-seng, dll. Awal flotasi dikembangkan untuk memisahkan sulfida dari tembaga, timah, dan seng. Bidang flotasi kini telah diperluas sehingga telah mencakup platinum, nikel, dan emas, serta mineral oksida, seperti hematit dan kasiterit, mineral oksida, seperti malasit dan kerusit, dan mineral non-logam seperti fluorit, fosfat, dan batubara (Wills and Munn, 2006).

Flotasi merupakan salah satu dari banyak metode pemisahan dan dapat digunakan untuk pemisahan fase, misalnya untuk menghilangkan partikel padat atau tetes minyak dari air. Flotasi lebih sering digunakan untuk pemisahan partikel yang

memiliki hidrofobitas berbeda. Hidrofobitas adalah fitur bahan yang mengkarakterisasi kemampuannya untuk dibasahi dengan cairan dengan adanya fase gas. Dalam pemrosesan mineral, padatan yang mudah dibasahi dengan air disebut hidrofilik, sedangkan padatan dengan afinitas terbatas untuk pembasahan disebut hidrofobik. Sebagai hasil dari hidrofobik, partikel melekat pada gelembung gas yang membentuk agregat partikel udara yang lebih ringan dari air, dan bergerak ke atas permukaan air. Partikel hidrofilik tidak menempel pada gelembung dan jatuh ke dasar tangki pengapungan (Drzymala, 2007).

Secara umum, zat hidrofobik berfluktuasi yang memiliki sudut kontak air lebih besar dari nol melekat pada gelembung gas, membentuk agregat partikel gelembung yang stabil dan bergerak ke atas lapisan busa (*froth flotation*) atau antarmuka cairan / gas (film/kulit) di mana mereka dikumpulkan sebagai konsentrat. Zat hidrofilik atau sedikit hidrofobik tidak melekat pada gelembung gas dan tenggelam (Kowalczyk *et al.*, 2016).

Kondisi utama agar proses flotasi berlangsung dengan baik yaitu adanya partikel-partikel tertentu (yang akan diapungkan) menempel pada gelembung udara kemudian bersama-sama naik ke permukaan. Syarat agar hal ini dipenuhi antara lain (Drzymala, 2007):

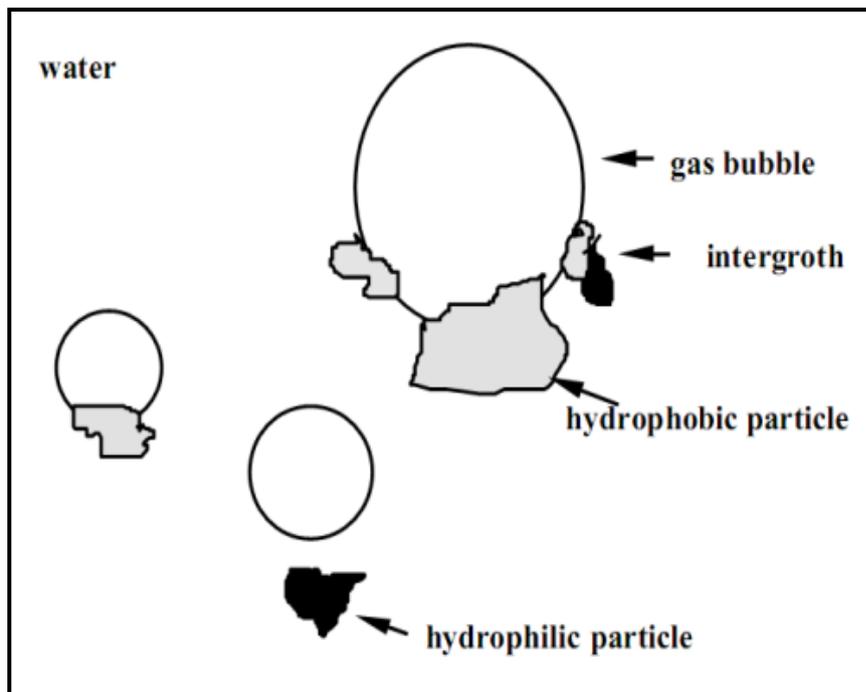
1. Ukuran partikel harus cukup kecil;
2. Gelembung harus cukup besar;
3. Sifat-sifat fisik yang menentukan apakah partikel menempel pada gelembung atau tidak.

Keterapungan (*floatability*) dari suatu partikel ditentukan oleh kecenderungannya untuk menempel pada permukaan gelembung udara, dan ini terutama tergantung pada sifat-sifat permukaan partikel. Massa jenis dan sifat-sifat fisika lainnya memegang peranan yang sangat kecil.

Proses perlekatan partikel pada gelembung udara dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu:

1. Partikel - gelembung udara saling mendekati, menghasilkan suatu lapis tipis diantaranya. Di daerah ini partikel bergerak menurut hukum hidrodinamika.
2. Penipisan lapis tipis air. Daerah ini disebut lapis *diffusion bonding*.
3. Hilangnya lapis tipis air. Gerakan partikel dikendalikan oleh gaya interaksi lapis rangkap dan gaya interaksi molekul. Perlekatan diawali dengan terbentuknya kontak tiga fasa yang dengan cepat meluas.

Aspek-aspek penting dalam proses flotasi meliputi aspek teknis, fisik dan kimia. Aspek teknis meliputi desain sistem flotasi, pembuatan gelembung dan sistem pelepasan partikel. Aspek fisik meliputi geometri dan dinamika partikel dan gelembung. Sedangkan aspek kimia meliputi mekanisme penempelan partikel pada permukaan gelembung dimana melibatkan reagen untuk mengubah sifat permukaan partikel (Kelly and Spottiswood, 1982).



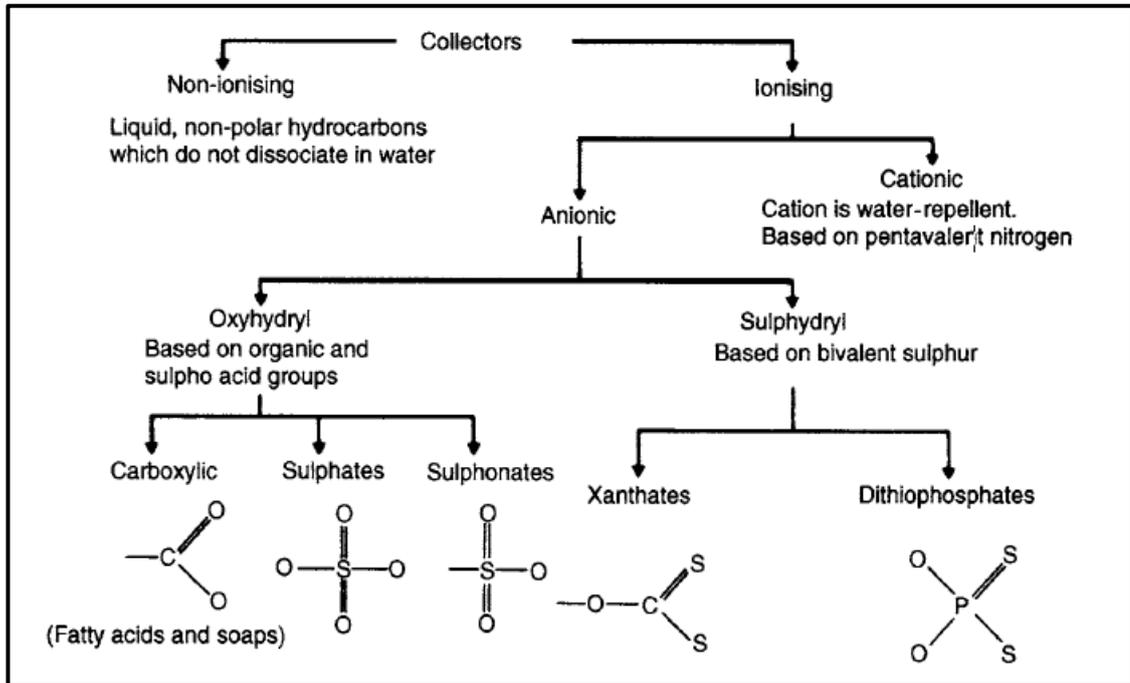
Gambar 2.2 Mekanisme penempelan mineral pada gelembung udara dalam proses flotasi (Drzymala, 2007)

Gambar 2.2 memperlihatkan penempelan mineral berharga ke gelembung udara merupakan mekanisme yang paling penting dan mewakili sebagian besar partikel yang diperoleh sebagai konsentrat. Meskipun flotasi sejatinya adalah mekanisme dominan untuk pemulihan mineral berharga, efisiensi pemisahan antara mineral berharga dan mineral pengotor juga tergantung pada tingkat *entrainment* dan *entrapmen* fisik. Tidak seperti pengapungan yang sebenarnya, yang secara kimia selektif terhadap sifat-sifat permukaan mineral, baik mineral pengotor maupun mineral-mineral berharga dapat diperoleh dengan cara *entrainment* dan *trap* (Wills and Munn, 2006).

Sebagian besar mineral secara alami bersifat hidrofilik, untuk mencapai pemisahan dengan flotasi, permukaan satu mineral harus secara selektif diubah menjadi hidrofobik (Kelly and Spottiswood, 1982). Pada proses flotasi, reagen kimia digunakan untuk menciptakan suatu kondisi agar proses flotasi berlangsung dengan baik. Setiap reagen kimia yang ditambahkan mempunyai fungsi yang spesifik. Ada tiga kelompok utama reagen kimia yang biasa digunakan dalam proses flotasi yaitu kolektor, *frother* (pembuih), dan *modifier*.

2.3.1 Kolektor

Kolektor merupakan substansi yang selektif melapisi mineral-mineral tertentu dan membuatnya menjadi penolak air (hidrofobik) dengan menyerap ion atau molekul pada permukaan mineral, mengurangi kestabilan dari lapisan hidrat yang memisahkan permukaan mineral dan gelembung udara sehingga permukaan mineral akan mampu menempel pada gelembung udara (Wills and Munn, 2006). Kolektor utama yang digunakan dalam flotasi bijih nikel adalah xanthate dan pada tingkat lebih rendah, dithiophosphate dan mercaptans (Bulatovic, 2007). Kolektor dapat diklasifikasikan seperti pada Gambar 2.3. Kolektor dapat dibagi dalam 2 grup besar, yaitu kolektor anionik dan kolektor kationik.



Gambar 2.3 Klasifikasi kolektor (Wills and Munn, 2006)

Kolektor anionik dapat dibedakan berdasarkan struktur formulanya menjadi *oxyhydril collector* dan *sulphydril collector*. Kolektor anionik ditentukan oleh adanya adanya ion dari hidrokarbon grup dimana ion yang efektif adalah anion. Kolektor anionik merupakan kolektor yang paling banyak digunakan dalam flotasi mineral. Kolektor anionik dapat dibagi menjadi dua jenis, *oxyhydril collector* dan *sulphydril collector*. Kolektor kation adalah kolektor dimana ion yang efektif adalah kation. Sifat menolak airnya dihasilkan dari kation yang grup polarnya berdasarkan pentavalen nitrogen, biasanya digunakan senyawa amina. Anion yang digunakan berupa halida atau hidroksida yang tidak beraksi secara aktif dengan mineral.

Pada *oxyhydril collector*, *organic acid* dan asam sulfo (sulpho-acid) sebagai grup polar. Dimana *acid hydrogen (equivalent metal)* dihubungkan dengan rantai hidrokarbon oleh satu atom oksigen. Contoh dari *oxyhydril* adalah *carboxylates (fatty acid)*, *sulphate* dan *sulphonate*. *Carboxylates* adalah *oxyhydril collector* yang luas

digunakan di industri. Anggota dari *carboxylates* antara lain *oleic acid*, *sodium oleate*, *synthetic fatty acids*, dan *tall oils*. *Oleic acid* [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$] adalah contoh dari *unsaturated fatty acids* yang mana lebih penting dibandingkan *saturated fatty acids* (seperti *stearic* dan *palmitic acid*) karena lebih selektif (Bulatovic, 2007).

Jenis kolektor anionik yang lain adalah *sulphydryl collector*. *Sulphydryl collector* merupakan jenis yang paling banyak digunakan. Polar grupnya berisi bivalent sulphur (*thio compound*) dan *acid hydrogen* (atau *equivalent metal*) dihubungkan melalui atom belerang (*bivalent*). Jenis ini sangat kuat dan sangat selektif dalam flotasi mineral-mineral sulfida. Kolektor thiol yang paling banyak digunakan adalah xanthogenates atau secara teknis disebut dengan xanthates dan dithiophosphates. Xanthates merupakan kolektor yang penting untuk mineral sulfida (Wills and Munn, 2006).

Kolektor kationik memiliki karakteristik dimana penolakan air dilakukan oleh kelompok polar yang didasarkan pada pentavalen nitrogen, amina. Anion dari kolektor tersebut biasanya halida, atau lebih jarang hidroksida, yang tidak mengambil bagian dalam reaksi dengan mineral. Kolektor kationik sangat sensitif terhadap pH medium. Kolektor jenis ini digunakan untuk pengapungan oksida, karbonat, silikat, dan logam alkali tanah seperti barit, karnalit dan silit.

2.3.2 *Frother*

Frother ditambahkan untuk menstabilkan pembentukan gelembung dalam fase pulp dan untuk meningkatkan kinetika flotasi. Pentingnya fase buih untuk kinerja flotasi menjadi faktor yang mempengaruhi stabilitas buih yang secara ekstensif diteliti (Wills and Munn, 2006).

Pada flotasi mineral sulfida reagen pembuih yang biasa digunakan adalah jenis organik yang heteropolar yang umum diterapkan pada flotasi mineral-mineral lainnya, dimana sebagai gugus polar umumnya adalah hidroksil (OH^-). Pilihan frother dalam flotasi bijih nikel juga tergantung pada sifat bijih serta pada mineral *gangue* yang ada.

Secara umum, tipe alkohol frother, seperti methyl-isopropyl carbonol (MIBC) telah digunakan secara komersial. Sedangkan alkohol siklik (minyak pinus) dalam campuran dengan frother tipe glikol memberikan hasil metalurgi yang baik. Frother tipe glikol biasanya digunakan dalam kasus di mana ada masalah buih yang disebabkan oleh viskositas *pulp* yang tinggi (Bulatovic, 2007).

2.3.3 *Modifier*/Regulator

Modifier/Regulator digunakan secara luas pada proses flotasi untuk memodifikasi kolektor, baik dengan mengintensifkan atau mengurangi penolak airnya yang memiliki pengaruh terhadap permukaan mineral. Dengan demikian *modifier*/Regulator dapat menjadikan kolektor lebih selektif terhadap mineral tertentu. Regulator dapat digolongkan sebagai aktivator, depresan, atau pengubah pH (Wills and Munn, 2006).

Dalam proses flotasi yang mengandung bijih tembaga-nikelsulfida, mineral serpentin secara signifikan mengurangi kinerja flotasi tembaga-nikel sulfida. Studi yang dilakukan pada flotasi Yanbian copper-nickel ore menggunakan *dispersant* berupa natrium phitat sangat efektif untuk mengontrol MgO dalam pengapungan bijih tembaga-nikel. Studi menunjukkan *grade* dan *recovery* dari 6,86% Ni dan 69,01% menjadi 8,03% Ni dan 71,44% sedangkan MgO mengalami penurunan dari 9,07% menjadi 5,78% (Zhao *et al.*, 2020).

2.4 Analisis Mikroskopis

Pengamatan mineragrafi adalah kegiatan dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis mineral atau hubungan antar mineral logam dengan mengamati tekstur mineral bijih. Pengamatan mineragrafi yang akan dilakukan menggunakan sayatan poles/sayatan tipis dan alat mikroskop. Sifat optik dan sifat fisik merupakan bentuk identifikasi mineral bijih yang mana sifat optik itu sendiri antistropisme, warna, refleksi

ganda, dan refleksi dalam sedangkan sifat fisik meliputi bentuk kristal, habit, belahan dan kembaran (Craigh and Vaughan, 1981).

Mikroskop polarisasi adalah mikroskop yang digunakan dalam pembelajaran spesimen geologi, khususnya pada pengamatan sayatan tipis dan sayatan poles dari batuan. Jenis mikroskop polarisasi memiliki bentuk yang hampir sama dengan mikroskop pada umumnya, namun fungsinya tidak hanya memperbesar benda-benda mikro dan menggunakan cahaya biasa, pada mikroskop polarisasi cahaya yang digunakan adalah cahaya terpolarisasi. Cahaya terpolarisasi terpusat pada satu arah, sedangkan cahaya biasa bergerak dalam arah gerakan acak. Dengan cahaya terpolarisasi ini kita dapat melihat ciri-ciri atau sifat-sifat dari kristal dan mineral secara jelas, terutama dari segi warna, karena setiap mineral memiliki warna tersendiri. Selain itu yang membedakan antara mikroskop konvensional dengan mikroskop polarisasi adalah adanya beberapa komponen tambahan pada mikroskop polarisasi, seperti keping analisator, kompensator, polarisator, dan lensa amici-bertrand (Isbandi, 1986).

2.5 Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-Ray diffraction (XRD) 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).

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.

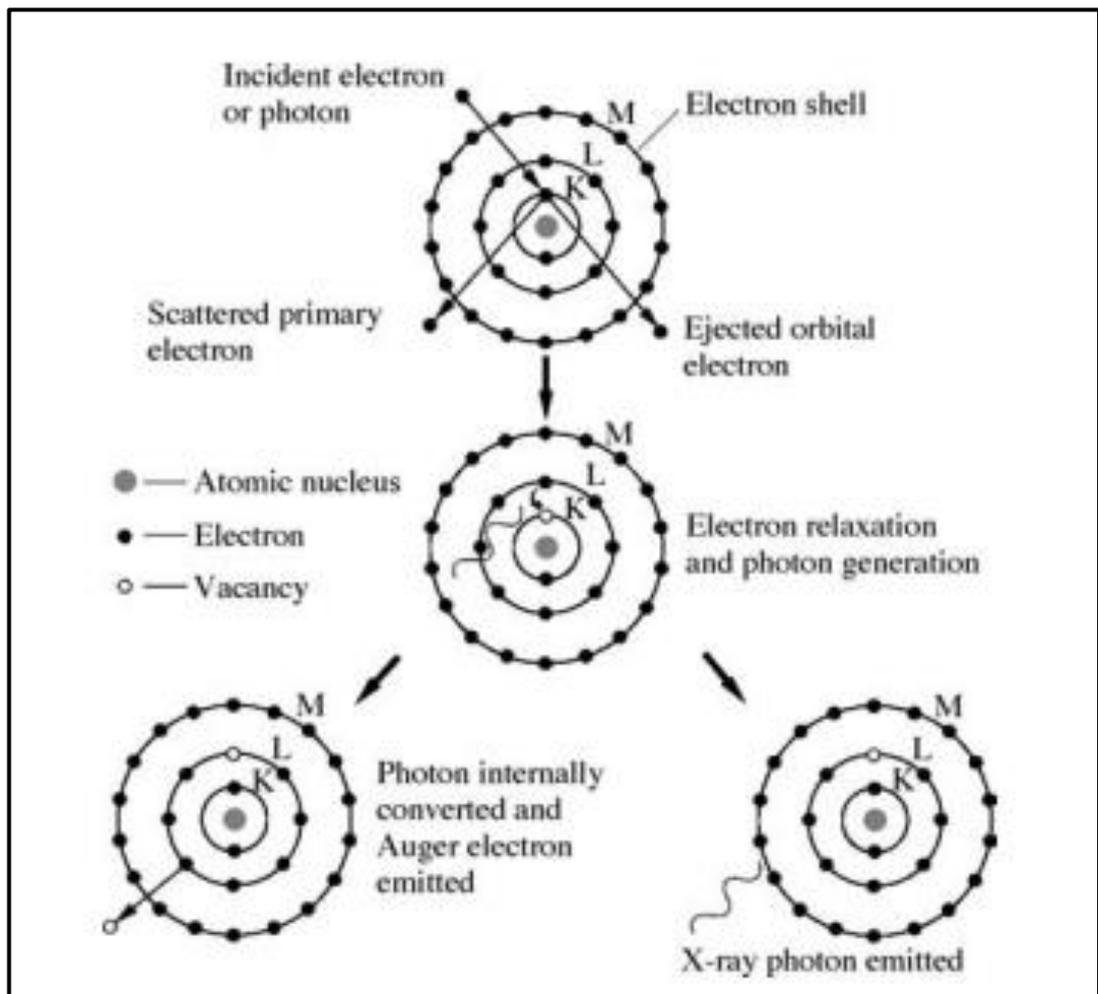
Komponen utama XRD (*X-Ray Diffraction*) yaitu terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), sampel *holder* dan pendeteksi. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ . Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Widyawati, 2012).

Hasil yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) adalah grafik difraktogram. Difraktogram adalah output yang merupakan grafik antara 2θ (*diffraction angle*) pada sumbu X versus intensitas pada sumbu Y. Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut 2θ per menit, sehingga sumbu X setara dengan sudut 2θ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik. Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Besarnya intensitas relatif deretan puncak bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada dan distribusinya di dalam sel satuan material. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar-x yang digunakan (Warren, 1969).

2.6 Analisis *X-Ray Fluorescence Spectrometry* (XRF)

XRF adalah metode analisis yang cepat, non-destruktif dengan preparasi sampel sederhana yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia dari berbagai jenis material. Perangkat XRF menghasilkan sinar-X untuk meradiasi sampel, setelah

disinari sinar-X, elemen dalam sampel akan memancarkan radiasi sinar-X neon dengan energi diskrit khusus untuk jenis elemen. Prinsip XRF adalah pengukuran dari energi radiasi yang dipancarkan oleh sampel untuk mengidentifikasi elemen (analisis kualitatif) dan pengukuran intensitas energi yang dipancarkan untuk menentukan jumlah elemen yang ada dalam sampel (analisis kuantitatif) (Brouwer, 2003).



Gambar 2.4 Eksitasi karakteristik sinar-X dengan sinar-X energi tinggi (Leng, 2008).

Gambar 2.4 secara skematik mengilustrasikan pembangkitan karakteristik dari sinar-X ketika atom diradiasi oleh partikel energi tinggi. Ketika partikel energi tinggi, seperti foton sinar-X, elektron atau neutron, menyerang elektron dalam kulit bagian dalam atom, energi partikel dapat cukup tinggi untuk menumbuk elektron keluar dari

posisi semula dalam atom, tersingkirnya elektron meninggalkan atom sebagai elektron bebas dan atom terionisasi, karena ionisasi adalah keadaan tereksitasi, atom akan cepat kembali ke keadaan normal setelah mengisi ulang bagian dalam elektron kulit terluar. Sementara itu, perbedaan energi antara elektron kulit terluar dan elektron kulit dalam akan menghasilkan foton X-Ray (karakteristik sinar-X) (Leng, 2008).