

**DISERTASI**

**STUDI PELINDIAN, OPTIMASI EKSTRAKSI, DAN  
PRESIPITASI Ni DARI BIJIH LIMONIT LAPAOPAO,  
KABUPATEN KOLAKA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

*STUDY OF LEACHING, EXTRACTION OPTIMIZATION, AND  
PRECIPITATION OF NI FROM LIMONITE ORE OF LAPAOPAO,  
KOLAKA REGENCY, SOUTHEAST SULAWESI PROVINCE*

**SUHARTO  
D033201001**



**PROGRAM STUDI DOKTOR  
TEKNOLOGI KEBUMIHAN DAN LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

# **PENGAJUAN DISERTASI**

## **STUDI PELINDIAN, OPTIMASI EKSTRAKSI, DAN PRESIPITASI Ni DARI BIJIH LIMONIT LAPAOPAO, KABUPATEN KOLAKA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disertasi  
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor  
Program Studi Teknologi Kebumian Dan Lingkungan

Disusun dan diajukan oleh

**SUHARTO**  
D033201001

Kepada

**PROGRAM STUDI DOKTOR  
TEKNOLOGI KEBUMIAN DAN LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**DISERTASI**

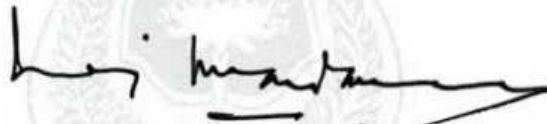
**STUDI PELINDIAN, OPTIMASI EKSTRAKSI, DAN PRESIPITASI NI  
DARI BIJIH LIMONIT LAPAOPAO, KABUPATEN KOLAKA, PROVINSI  
SULAWESI TENGGARA**

**SUHARTO**  
D033201001

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Doktor Teknologi Kebumian dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Juni 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Promotor



Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, ST, M. Phil  
NIP. 19800428 200501 1 001

Co. Promotor,



Dr. Sufriadin, ST., MT  
Nip 19660817 200012 1 001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T  
00012 1 002

Co. Promotor,



Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT  
Nip 19700606 199412 2 001

Ketua Program Studi S3  
Teknologi Kebumian &  
Lingkungan



Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT  
Nip 19700606 199412 2 001



## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Suharto  
NIM : D033201001  
Program Studi : Teknologi Kebumian Dan Lingkungan  
Jenjang : S3

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi berjudul **“Studi Pelindian, Optimasi Ekstraksi, dan Presipitasi Ni dari Bijih Limonit Lapaopao, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara”** adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Dr. Sufriadin, S.T., MT, dan Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT sebagai co-promotor-1 dan co-promotor-2). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka Disertasi ini. Sebagian dari isi Disertasi ini telah dipublikasikan di Prosiding (IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 921 (2021) 012040 dan DOI:10.1088/1755-1315/921/1/012040) sebagai artikel dengan judul **“Preliminary Study of Scandium Enrichment in Lateritic Profile from Weathered Ultramafic Rock in Lapaopao Area Kolaka Regency of Southeast Sulawesi”** dan di Jurnal Physicochem. Probl. Miner. Process., 60(3), 2024, 189217 (terindeks Scopus, Q-3, dengan nilai SJR: 0.30) sebagai artikel dengan judul **“Leaching Behaviour of Limonite Ores from Lapaopao, Southeast Sulawesi, Indonesia: Effect of Mineralogy and Acid Types”**.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Juli 2024

Yang Menyatakan



Suharto



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga Disertasi ini dapat diselesaikan.

Gagasan utama penelitian ini dilatar belakangi oleh keberadaan bijih nikel limonit berkadar rendah yang tersebar berlimpah di Indonesia dimana potensi bijih ini belum bisa dimanfaatkan dan dikelola dengan baik sehingga pengembangan dan riset tentang teknologi pengolahan bijih nikel limonit berkadar rendah di Indonesia perlu dilakukan secara intensif sebagai langkah solusi alternatif agar potensi bijih nikel limonit kadar rendah ini dapat diolah dan dimanfaatkan secara optimal.

Bukan hal yang mudah untuk mewujudkan gagasan-gagasan tersebut dalam sebuah susunan Disertasi, berkat bimbingan, arahan dan motivasi berbagai pihak maka Disertasi ini bisa disusun sebagaimana kaidah-kaidah yang dipersyaratkan, dan untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Eng Adi Maulana, ST, M. Pil sebagai promotor, Dr. Sufriadin, ST., MT sebagai co-promotor-1, dan Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT sebagai co-promotor-2.
2. Prof. Dr. rer. nat. Ir A.M. Imran, Prof. Dr. Eng. Asri Jaya HS ST., MT, Dr. Adi Tonggirof ST., MT, Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, MT dan Dr. Eng. Widi Astuti, S.T., M.T sebagai komisi tim penguji.
3. Rektor Universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh Program Doktor serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.
4. Bapak Atto Sampetoding dan Bapak Derian Sakmiwata selaku Owner dan pimpinan PT. Ceria Nugraha Utama yang telah mengizinkan kami serta memberikan dukungan finansial untuk melaksanakan penelitian di lapangan dan kepada Bapak Dr. Sufriadin, ST., MT atas kesempatan untuk menggunakan fasilitas dan peralatan di Laboratorium. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Fadly Eka Raharja, Hastri Allo dan Ibnu Ramadhan atas tuannya dalam pengujian di laboratorium.

hirnya, kepada istri tercinta Sutriani Suyuti beserta kedua anak tercinta Mushawwir dan Inayah Nurazizah dan kedua orang tua tercinta saya





mengucapkan terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan dorongan mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada seluruh rekan handai taulan atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Penulis

Suharto



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## ABSTRAK

**SUHARTO.** *Studi Pelindian, Optimasi Ekstraksi, dan Presipitasi Ni dari Bijih Limonit Lapaopao, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara* (dibimbing oleh **Adi Maulana, Ulva Ria Irfan, Sufriadin**)

Bijih nikel limonit berkadar rendah yang tersebar di Indonesia khususnya yang ada di Lapaopao Sulawesi Tenggara memiliki potensi yang cukup besar namun belum bisa dikelola secara maksimal karena keterbatasan teknologi untuk mengekstraksi nikel dari material tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik mineralogi dan geokimia laterit Lapaopao, mengevaluasi pengaruh mineralogi dan penggunaan jenis asam yang berbeda terhadap tingkat ekstraksi Ni- Co dari pelindian bijih limonit secara *atmospheric leaching* serta mengoptimasi parameter pelindian dan *recovery* Ni-Co yang optimal. Analisis mineralogi dan geokimia dilakukan pada dua titik bor profil laterit A dan B. Evaluasi terhadap tingkat ekstraksi berdasarkan sifat mineralogi dan penggunaan jenis asam dilakukan pada tiga contoh bijih limonit. Percobaan optimasi ekstraksi dan *recovery* Ni-Co dirancang dengan menggunakan metode Taguchi dan *Full Factorial*. Berdasarkan pola sebaran dan model pengkayaan Ni pada profil laterit, jenis bijih pada profil A didominasi oleh bijih limonitik sedangkan pada profil B dominan didominasi oleh bijih saprolitik. Hasil studi awal keterdapatan skandium dalam bijih laterit nikel di Lapaopao ini menunjukkan akumulasi skandium yang cukup tinggi pada zona limonit yakni sebesar 81 ppm dimana berpotensi menjadi produk sampingan (*by product*) dari pengolahan bijih limonit ke depan. Dari studi awal pelindian bijih limonit menunjukkan perilaku ekstraksi Ni sangat dipengaruhi oleh variasi mineralogi dan jenis asam pelarut yang digunakan. Hasil ekstraksi Ni dan Co dengan menggunakan tiga jenis pelarut untuk ketiga jenis material limonit menunjukkan bahwa tingkat ekstraksi paling tinggi dihasilkan oleh larutan HCl diikuti HNO<sub>3</sub> kemudian H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Dari hasil optimasi ekstraksi dengan metode Taguchi, kondisi optimum pelindian ditemukan pada suhu 100°C, rasio perbandingan padatan-cairan 10%, konsentrasi HCl 6 M dan waktu 480 menit dengan tingkat ekstraksi nikel sebesar 95.20%. Hasil optimasi *recovery* yang dilakukan secara *full factorial* dengan presipitasi secara bertahap menunjukkan bawah kondisi optimum untuk pemisahan Fe pada tahap 1 ditemukan pada suhu 75°C dan pH 3, pemisahan Al pada tahap 2 ditemukan pada suhu 75°C dan pH 4 sedangkan presipitasi Ni pada tahap 3 ditemukan pada suhu 50°C dan pH 7.

**Kata kunci:** Mineralogi, *Atmospheric Leaching*, *Hydrochloric Acid*, *Taguchi Method*, Lapaopao.



## ABSTRACT

**SUHARTO.** Study of Leaching, Extraction Optimization, and Precipitation of Ni from Limonite Ore of Lapaopao, Kolaka Regency, Southeast Sulawesi Province (supervised by **Adi Maulana, Ulva Ria Irfan, Sufriadin**)

The low grade limonite nickel ore which is distributed in Indonesia, especially along the Lapaopao area, Southeast Sulawesi, has a large potential but unfortunately it still cannot be utilized due to limited extraction technology to process this material. The aim of this research is to analyze the mineralogical and geochemical characteristics of Lapaopao laterite, evaluate the influence of mineralogy and the use of various types of acid on the Ni extraction rate from limonite ore by atmospheric leaching, and optimize the Ni leaching and *recovery* parameters. The mineralogical and geochemical analyzes were carried out from two drill holes profiles both A and B respectively. Evaluation of extraction rates based on mineralogical properties and acid use was carried out from three limonite ore samples. Ni extraction and *recovery* optimization experiments were designed using the Taguchi and Full Factorial methods. Based on the distribution pattern and Ni enrichment model in the laterite profile, the type of ore in profile A is dominated by limonite ore, while in profile B it is dominated by saprolitic ore. The results of the initial study on the present of scandium in laterite nickel ore in Lapaopao showed that there was a high accumulation of scandium in the limonite zone, namely 81 ppm, which could be potentially become as by-product of processing of nickel ore in the future. Preliminary studies on limonite ore leaching show that the extraction behavior of Ni is strongly affected by the variations of mineralogy and the type of solvent acid were used. The results of the Ni extraction using three types of solvents shows that the highest extraction level was resulted by the HCl solution followed by HNO<sub>3</sub> then H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. By using the Taguchi method, the optimum leaching conditions are given at 100°C, 10% of solid-liquid ratio, 6 M of HCL acid concentration and 480 minutes of leaching time with 95.20% of Ni extraction level. The *recovery* optimization showing the Fe precipitation in first stage are at a temperature of 75°C and pH 3, Al precipitation in stage 2 is at a temperature of 75°C and pH 3. temperature 75°C and pH 4, while Ni deposition in stage 3 was found at a temperature of 50°C and pH 7.

**Keywords:** Mineralogy, Atmospheric Leaching, Hydrochloric Acid, Taguchi Method, Lapaopao.



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERSETUJUAN DISERTASI .....	ii
DISERTASI .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	x
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xviii
DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN DAN SIMBOL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	I-1
I.1. Latar Belakang .....	I-1
I.2. Rumusan Permasalahan .....	I-4
I.3. Tujuan Penelitian .....	I-5
I.4. Batasan Masalah .....	I-5
I.5. Manfaat Penelitian .....	I-6
BAB II KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN .....	II-1
II.1. Kerangka Konseptual .....	II-1
II.1.1. Pengaruh mineralogi terhadap tingkat ekstraksi .....	II-1
II.1.2. Pengaruh jenis asam pelarut terhadap ekstraksi .....	II-2
II.1.3. Optimasi ekstraksi Ni .....	II-3
II.1.4. Optimasi <i>recovery</i> Ni .....	II-3
II.2. Hipotesis .....	II-5
II.3. State of the Art .....	II-6
II.3.1. Penelitian yang relevan .....	II-6
II.3.2. Kebaruan riset .....	II-18
II.4. Bagan dan Kerangka Operasional .....	II-19
MODEL PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT DAN POTENSI PEMANFAATAN SKANDIUM BERDASARKAN ANALISIS MINERALOGI OKIMIA DARI ENDAPAN LATERIT LAPAOPAO .....	III-1
Abstrak .....	III-1



III.2.	Pendahuluan .....	III-1
III.3.	Metodologi Penelitian .....	III-3
III.4.	Hasil dan Pembahasan .....	III-6
	III.4.1. Analisis mineralogi .....	III-6
	III.4.2. Analisis geokimia .....	III-9
	III.4.3. Model profil endapan laterit .....	III-15
	III.4.4. Potensi pengayaan skandium .....	III-22
	III.4.5. Ekstraksi nikel dan Skandium dari bijih laterit .....	III-27
III.5.	Kesimpulan .....	III-30
III.6.	Daftar Pustaka .....	III-31
<b>BAB IV PENGARUH MINERALOGI DAN JENIS ASAM TERHADAP PERILAKU PELINDIAN Ni SECARA ATMOSFERIK DARI BIJIH LIMONIT LAPAOPAO .....</b>		
IV.1.	Abstrak .....	IV-1
IV.2.	Pendahuluan .....	IV-1
IV.3.	Metodologi Penelitian .....	IV-4
	IV.3.1. Material .....	IV-4
	IV.3.2. Metode .....	IV-5
IV.4.	Hasil dan Pembahasan .....	IV-8
	IV.4.1. Karakterisasi bijih limonit .....	IV-8
	IV.4.2. Pengaruh mineralogi terhadap disolusi bijih .....	IV-12
	IV.4.3. Pengaruh jenis asam terhadap tingkat ekstraksi Ni dan Co ...	IV-17
	IV.4.4. Proses pelindian bijih limonit dalam larutan asam .....	IV-18
IV.5.	Kesimpulan .....	IV-21
IV.6.	Daftar Pustaka .....	IV-21
<b>BAB V OPTIMASI EKSTRAKSI NIKEL DARI BIJIH LIMONIT LAPAOPAO DENGAN PELINDIAN ATMOSFERIK MENGGUNAKAN ASAM KLORIDA .....</b>		
V.1.	Abstrak .....	V-1
V.2.	Pendahuluan .....	V-1
V.3.	Metodologi Penelitian .....	V-3
	V.3.1. Material .....	V-3
	V.3.2. Metode .....	V-4
	V.3.3. Penilaian Kinerja Hasil Percobaan .....	V-8
	Hasil dan Pembahasan .....	V-9
	V.4.1. Pelindian Atmosferik Tahap Awal .....	V-9



V.4.2. Pelindian Atmosferik Tahap Lanjutan .....	V-12
V.4.3. Optimasi Parameter Pelindian.....	V-14
V.4.4. Persentase Kontribusi.....	V-17
V.5. Kesimpulan .....	V-20
V.6. Daftar Pustaka.....	V-20
<b>BAB VI OPTIMASI RECOVERY Ni DARI PREGNANT LEACH SOLUTION (PLS) HASIL PELINDIAN SECARA ATMOSFERIK BIJIH LIMONIT LAPAOPAO .....</b>	
VI.1. Abstrak.....	VI-1
VI.2. Pendahuluan.....	VI-1
VI.3. Metodologi Penelitian .....	VI-4
VI.3.1. Rancangan percobaan.....	VI-4
VI.3.2. Tahapan penelitian .....	VI-5
VI.3.3. Analisis data .....	VI-8
VI.4. Hasil dan Pembahasan .....	VI-9
VI.4.1. Analisis PLS.....	VI-9
VI.4.2. Pemisahan logam Fe, Al dan Ni.....	VI-9
VI.4.3. Analisis keragaman (Anova).....	VI-18
VI.4.4. Optimalisasi <i>recovery</i> Ni.....	VI-22
VI.5. Kesimpulan .....	VI-24
VI.6. Daftar Pustaka.....	VI-25
<b>BAB VII PEMBAHASAN UMUM .....</b>	
VII.1. Karakteristik Bijih Laterite dan Potensi Ekstraksi Nikel dan logam Skandium .....	VII-1
VII.2. Pengaruh Mineralogi dan Jenis Asam Terhadap Perilaku Pelindian Nikel .....	VII-2
VII.3. Optimasi Ekstraksi Nikel Dengan Pelindian Secara Atmosferik Menggunakan HCL.....	VII-3
VII.4. Optimasi <i>Recovery</i> Ni dari Larutan PLS .....	VII-4
<b>BAB VIII KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	
VIII.1. KESIMPULAN.....	VIII-1
VIII.2. SARAN.....	VIII-2
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	
AN.....	IX-10



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Ringkasan hasil penelitian terdahulu terkait ekstraksi Ni dari bijih laterit nikel.....	II-15
<b>Tabel 3.1</b>	Komposisi mineralogi bedrock ultramafik Lapaopao berdasarkan pengamatan petrografi.....	III-6
<b>Tabel 3.2</b>	Komposisi mineralogi profil laterit dari pelapukan batuan ultramafik Lapaopao .....	III-8
<b>Tabel 3.3.</b>	Komposisi geokimia unsur major dan minor profil laterit dari pelapukan batuan ultramafik Lapaopao .....	III-10
<b>Tabel 3.4</b>	Mineral bijih utama dalam endapan Ni Laterite. Sebagian besar mineral tidak kristalin dengan kandungan Ni yang bervariasi (Butt dan Cluzel, 2013).....	III-21
<b>Tabel 4.1</b>	Analisis semi-kuantitatif mineral (XRD) yang diidentifikasi dari contoh bijih limonit Lapaopao, Sulawesi Tenggara.....	IV-10
<b>Tabel 4.2</b>	Komposisi kimia bijih limonit Lapaopao berdasarkan hasil analisis XRF .....	IV-11
<b>Tabel 4.3</b>	Analisis semi kuantitatif mineral (XRD) yang terkandung dalam ketiga residu pelindian menggunakan HCL dan perhitungan tingkat disolusi mineral (pelindian pada suhu 100°C dan rasio S/L 15%) .....	IV-15
<b>Tabel 4.4</b>	Analisis semi-kuantitatif (XRD) terhadap mineral yang mengandung residu pelindian Ore-2 dan mineral pelarut dihitung dari berbagai perlakuan asam (pelindian pada suhu 100°C dan rasio S/L 15%) .....	IV-16
<b>Tabel 4.5</b>	Tingkat ekstraksi Ni dan Co dari hasil pelindian atmosferik bijih limonit Lapaopao (pada kondisi 100°C dan 15% rasio S/L ratio selama 4 jam menggunakan HCl, HNO <sub>3</sub> dan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	IV-17
<b>Tabel 5.1</b>	Variasi parameter ekstraksi Ni bijih limonit pada pelindian tahap pertama .....	V-5
<b>Tabel 5.2</b>	Variabel (faktor) dan level percobaan untuk optimasi ekstraksi Ni dari hasil pelindian atmosferik bijih limonit .....	V-5
<b>Tabel 5.3</b>	Tabel orthogonal array desain percobaan berdasarkan metode Taguchi (Roy, 2010).....	V-6
<b>Tabel 5.4</b>	Ekstraksi Ni dan Co dari hasil pelindian atmosferik bijih limonit Lapaopao menggunakan HCl (pada kondisi parameter ekstraksi). .....	V-10
<b>Tabel 5.5</b>	Hasil eksperimen uji pelindian berdasarkan desain tabel <i>orthogonal array</i> L <sub>16</sub> (4 <sup>5</sup> ) .....	V-13
	↳ Rencana dan hasil percobaan optimasi ekstraksi Ni berdasarkan rancangan tabel <i>orthogonal array</i> L <sub>16</sub> (4 <sup>5</sup> ).....	V-14



<b>Tabel 5.7</b>	Perhitungan rasio S/N rata-rata untuk setiap faktor dan level dari percobaan ekstraksi Ni .....	V-15
<b>Tabel 5.8</b>	Kondisi optimum percobaan ekstraksi Ni .....	V-17
<b>Tabel 5.9</b>	Rata-rata total tingkat ekstraksi EoM (EoM <sub>T</sub> ) untuk faktor tertentu pada level ke-k dari hasil percobaan ekstraksi Ni.....	V-18
<b>Tabel 5.10</b>	Persentase kontribusi masing-masing faktor .....	V-19
<b>Tabel 6.1</b>	Variable (faktor) dan level percobaan untuk optimasi presipitasi Ni dari PLS hasil pelindian atmosferik bijih limonit.....	VI-5
<b>Tabel 6.2</b>	Komposisi larutan <i>pregnant leach solution</i> (PLS).....	VI-9
<b>Tabel 6.3</b>	Tingkat penghilangan Ni dan Fe dari larutan PLS pada pengendapan tahap pertama berdasarkan rancangan uji kombinasi faktorial penuh .....	VI-10
<b>Tabel 6.4</b>	Kondisi presipitasi hematit, goetit, besi hidroksida dan garam hidroksil menurut Babcan, 1971 (Basturkcu and Acarkan, 2017) .....	VI-12
<b>Tabel 6.5</b>	Komposisi larutan filtrat-1 .....	VI-13
<b>Tabel 6.6</b>	Tingkat penghilangan Ni dan Al pada pengendapan tahap kedua berdasarkan rancangan uji kombinasi faktorial penuh.....	VI-14
<b>Tabel 6.7</b>	Komposisi larutan filtrat-2 .....	VI-16
<b>Tabel 6.8</b>	Tingkat penghilangan Ni dan Co pada pengendapan tahap ketiga berdasarkan rancangan uji kombinasi faktorial penuh.....	VI-16
<b>Tabel 6.9</b>	Total tingkat penghilangan logam Ni dan Fe pada kombinasi perlakuan faktor A (Suhu) dan faktor B (pH) dari hasil percobaan presipitasi tahap 1 .....	VI-19
<b>Tabel 6.10</b>	Total tingkat penghilangan logam Ni dan Al pada kombinasi perlakuan faktor A (Suhu) dan faktor B (pH) dari hasil percobaan presipitasi tahap 2.....	VI-19
<b>Tabel 6.11</b>	Total tingkat penghilangan logam Ni dan Co pada kombinasi perlakuan faktor A (Suhu) dan faktor B (pH) dari hasil percobaan presipitasi tahap 3.....	VI-20
<b>Tabel 6.12</b>	Persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap penghilangan Ni ( <i>nickel loss</i> ) pada pemisahan tahap 1 .....	VI-20
<b>Tabel 6.13</b>	Persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap presipitasi Fe pada pemisahan tahap 1.....	VI-21
<b>Tabel 6.14</b>	Persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap presipitasi Ni pada pemisahan tahap 2 .....	VI-21
<b>Tabel 6.15</b>	Persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap presipitasi Al pada pemisahan tahap 2.....	VI-22
<b>Tabel 6.16</b>	Persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap presipitasi Ni ( <i>nickel precipitation</i> ) pada pemisahan tahap 3.....	VI-22





**Tabel 6.17** Persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap presipitasi Co  
(*cobalt precipitation*) pada pemisahan tahap 3 ..... VI-22

**Tabel 6.18** Kondisi optimum percobaan *recovery* Ni ..... VI-24



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1** Peta penyebaran ophiolite (elias, 2013)..... I-1
- Gambar 1.2** Lito-tekonik sulawesi dan lokasi penelitian (peta dimodifikasi dari kadasman dkk, 2004) ..... I-2
- Gambar 2.1** Kerangka konseptual penelitian ..... II-5
- Gambar 2.2** Diagram alir kerangka operasional tahapan penelitian ..... II-20
- Gambar 3.1** Pengamatan lapangan profil laterit; (a) lapisan limonit dan pucuk besi (onggang, 2015); (b) profil umum laterit di lapaopao (kadasman, 2019)..... III-3
- Gambar 3.2** Peta daerah penelitian dan lokasi pengambilan contoh material pofil laterit..... III-4
- Gambar 3.3** Foto peralatan mesin bor dan contoh material laterit ..... III-5
- Gambar 3.4** Photo micrograph dari sayatan tipis bedrock; (a) harzburgite di mana olivin dan augit terlihat sebagai kristal kuning dan hijau; enstatite muncul sebagai kristal abu-abu tua dan hitam; (b) l herzolit diubah sementara serpentin-klorit terlihat sebagai massa abu-abu kehijauan. .... III-7
- Gambar 3.5** Pola difraksi xrd; (a) profil laterit a profile; (b) profil laterit b profile. Goethite=gth, gibbsite=gbs, maghemite=mgh, talc=tlc, hematite=hmt, chlorite= chl, lizardite=liz, olivine=olv, orthopyroxene=opx, clinopyroxene=cpx, and quartz=qtz..... III-9
- Gambar 3.6** Diagram skematik profil laterit lapaopao yang memperlihatkan variasi ketebalan limonit dan saprolit dari masing-masing profil; (a) profil laterit a; (b) profil laterite b ..... III-15
- Gambar 3.7** Diagram skematik yang memperlihatkan perbandingan profil laterit antara laterit new caledonia (elias, 2002), sorowako (ahmad, 2008) dan lapaopao ..... III-16
- Gambar 3.8** Diagram pola distribusi unsur geokimia yang memperlihatkan hubungan antara kandungan unsur (%) mgo, sio<sub>2</sub>, fe, al<sub>2</sub>o<sub>3</sub>, cao, ni, na<sub>2</sub>o dan mno dengan kedalaman secara vertikal (m); (a) profil laterit a; (b) profil laterit b ..... III-17
- Gambar 3.9** Diagram pola distribusi unsur geokimia yang memperlihatkan hubungan antara kandungan unsur sc (ppm), % mgo, sio<sub>2</sub>, fe, al<sub>2</sub>o<sub>3</sub>, cao, ni, na<sub>2</sub>o dan mno dengan kedalaman secara vertical (m) profil laterit c ..... III-24
- 3.10** Diagram plot geokimia yang memperlihatkan hubungan antara sc dengan fe, al<sub>2</sub>o<sub>3</sub>, cr<sub>2</sub>o<sub>3</sub>, dan mgo pada profil laterit c..... III-25
- 3.11** Diagram konseptual proses *recovery* Ni dan sc dan menggunakan solvent extraction (sx) dengan cara pelindian (kaya et al. 2017) III-29



- Gambar 4.1** Peta daerah penelitian dan lokasi pengambilan contoh bijih limonit .....IV-5
- Gambar 4.2** Proses pengambilan contoh bijih limonit dengan melakukan penggalian menggunakan excavator ..... IV-5
- Gambar 4.3** Metode dan tahapan penelitian..... IV-6
- Gambar 4.4** Proses preparasi contoh untuk uji ekstraksi. 1) homogenisasi material; 2) quartering; 3) penggilingan; dan 4) screening #200 ..... IV-7
- Gambar 4.5** Foto peralatan uji analisis yang digunakan. 1) mikroskop polarisasi type nikon eclipse lv100n pol; 2) x-ray diffractometer (xrd) merek shimadzu (maxima x-7000); 3) x-ray fluorescence (xrf) merek bruker s8 tiger; dan 4) atomic absorption spectrofotometry (aas) merek spectraa ..... IV-7
- Gambar 4.6** Uji ekstraksi bijih limonit. 1) proses pelindian secara atmosferik; 2) larutan pls; 3) residu ..... IV-8
- Gambar 4.7** Optical photomicrographs (a and b) dan backscattered electron (bse) images (c and d) dari contoh bijih limonit lapaopao memperlihatkan tekstur yang bervariasi. Gth goethite, gbs gibbsite, tlc talc, mgh maghemite, hem hematite, dan qz quartz. Singkatan mineral menurut whitney dan evans (whitney and evans, 2010)..... IV-9
- Gambar 4.8** Pola xrd dari material original limonite ore-1, limonite ore-2 and limonite ore-3 from lapaopao. Gth = goethite, gbs= gibbsite, mgh= maghemite, tlc= talc, hmt= hematite, liz= lizardite, and qtz= quartz. Note: unit of d-spacing dalam satuan angstrom (Å)..... IV-10
- Gambar 4.9** Perbandingan pola xrd antara bijih asli dengan residu padat yang terlindih menggunakan hcl, hno<sub>3</sub> dan h<sub>2</sub>so<sub>4</sub>. Bijih-1 (a), bijih-2 (b), dan bijih-3 (c) dari daerah lapaopao setelah dilakukan pelindian pada suhu 100 °c dengan s/l 15%. ..... IV-13
- Gambar 4.10** Sem micrographs dari contoh bijih limonit awal (a) dan leached residues (b) yang memperlihatkan perubahan tekstur dan morfologi akibat proses pelindian dengan hcl 4m..... IV-14
- Gambar 4.11** Menunjukkan grafik tingkat ekstraksi ni (kiri) and co (kanan) hasil pelindian atmosferik dari tiga contoh bijih limonit lapaopao (pelindian pada 100°C; 15% of s/l ratio; asam hcl, hno<sub>3</sub> dan h<sub>2</sub>so<sub>4</sub>) ..... IV-18
- Gambar 5.1** Diagram flow penelitian uji percobaan pelindian. .... V-7
- Gambar 5.2** Uji pelindian bijih limonit. A) proses atmospheric leaching; b) leach liquor; c) leach residue..... V-7
- 5.3** Peralatan *atomic absorption spectrometer* (aas) untuk analisa contoh..... V-8



- Gambar 5.4** Grafik yang memperlihatkan hubungan tingkat ekstraksi ni dan co dengan: (a) rasio padatan-cair (a); (b) konsentrasi asam; (c) suhu pelindian; dan (d) waktu pelindian ..... V-10
- Gambar 5.5** Pengaruh suhu (a), rasio padat-cairan (b), konsentrasi asam (c) dan waktu pelindian (d) terhadap rasio s/n untuk ekstraksi nikel dari bijih laterit..... V-16
- Gambar 5.6** Histogram of percentage contribution of each factor for the ni extraction from the leaching experiment..... V-19
- Gambar 6.1** Diagram presipitasi hidroksida, 25°C (monhemius, 1977) ..... VI-4
- Gambar 6.2** Tahapan penelitian..... VI-8
- Gambar 6.3** Pengaruh suhu dan ph terhadap tingkat presipitasi fe dan kehilangan ni dengan variasi suhu pada ph 3 dan variasi ph pada suhu 75°C..... VI-11
- Gambar 6.4** Area stabilitas untuk senyawa besi berdasarkan fungsi ph dan suhu dari larutan besi(iii) sulfat 0,5m (chen and cabri, 1986) ..... VI-12
- Gambar 6.5** Pengaruh suhu dan ph terhadap tingkat presipitasi al dan kehilangan ni dengan variasi suhu pada ph 4 dan variasi ph pada suhu 75°C .....VI-14
- Gambar 6.6** Eh-ph diagram for part of the system ai-o-h. The assumed activity of dissolved ai =  $10^{-4}$ ,  $10^{-6}$ . (brookins, 1988) ..... VI-15
- Gambar 6.7** Pengaruh suhu dan ph terhadap tingkat presipitasi ni dan co dengan variasi suhu pada ph 7 dan variasi ph pada suhu 50°C ..... VI-17
- Gambar 6.8** Eh-ph diagram for part of the system ni-o-h. The assumed activity of dissolved ai =  $10^{-4}$ ,  $10^{-6}$ . (brookins, 1988) ..... VI-17
- Gambar 6.9** Proses *recovery* Ni dimulai dari pemisahan fe (1a-1d), pemisahan al (2a-2d) dan presipitasi Ni (3a-3d) ..... VI-23



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data Manajemen Conto
- Lampiran 2. Data Analysis Petrografi (Bedrock)
- Lampiran 3. Data Analisis Phases XRD (Laterit A & B)
- Lampiran 4a. Data Analysis XRF Geokimia (Laterit A & B)
- Lampiran 4b. Data Analysis XRF Geokimia (Laterit A & B)
- Lampiran 4c. Data Analysis XRF Geokimia (Laterit A & B)
- Lampiran 4d. Data analysis XRF geokimia (laterit C)
- Lampiran 4e. Data analysis XRF geokimia (laterit C)
- Lampiran 4f. Data analysis ICP-OES geokimia (laterit C)
- Lampiran 5a. Data Analysis Phases XRD (Bijih Limonit)
- Lampiran 5b. Data Analisis Phases XRD (HCL-Residue)
- Lampiran 5c. Data Analisis Phases XRD (Ore2-Residue)
- Lampiran 6. Data Analysis XRF Geokimia (Bijih Limonit)
- Lampiran 7a. Data Analysis AAS Ekstraksi Bijih Limonit (HCL & HNO<sub>3</sub>)
- Lampiran 7b. Data Analysis AAS Ekstraksi Bijih Limonit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- Lampiran 8a. Data Analysis AAS Ekstraksi Pendahuluan (HCL)
- Lampiran 8b. Data Analysis AAS Ekstraksi Pendahuluan (HCL)
- Lampiran 8c. Data Analysis AAS Ekstraksi Pendahuluan (HCL)
- Lampiran 9d. Data Analysis AAS Ekstraksi Pendahuluan (HCL)
- Lampiran 9. Data Analysis AAS Optimasi Ekstraksi (HCl)
- Lampiran 10a. Data Analysis AAS Optimasi *Recovery* (Presipitasi Fe)
- Lampiran 10b. Data Analysis AAS Optimasi *Recovery* (Presipitasi Al)
- Lampiran 10c. Data Analysis AAS Optimasi *Recovery* (Presipitasi Ni)





## DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN DAN SIMBOL

Istilah/ Singkatan/ Simbol	Arti dan Keterangan
<i>Atmospheric leaching</i>	= Salah satu jenis proses pelindian yang dilakukan pada tekanan atmosferik (1 atm).
<i>Extraction</i> (Ekstraksi)	= Proses awal untuk memisahkan/ mengurai logam melalui proses perombakan struktur kimia mineral dari mineral bijih yang berupa padatan.
<i>Leaching</i> (Pelindian)	= Salah satu jenis proses ekstraksi yang dilakukan secara hidrometalurgi dengan menggunakan lixiviant (zat pelarut) agar ion-ion logam penting bisa larut ke dalam larutan.
<i>Lixiviant</i>	= Zat pelarut berupa ion atau senyawa yang dapat melarutkan padatan melalui interaksi atau asosiasi kimia.
<i>Precipitation</i> (Presipitasi)	= Salah satu jenis proses pemulihan yang dilakukan dengan cara pengendapan untuk memisahkan padatan dan cairan.
<i>Pregnant leach solution</i>	= Larutan yang mengandung kation dan anion dari hasil proses pelindian.
<i>Recovery</i> (Pemulihan)	= Proses lanjutan untuk proses pengambilan kembali logam target dari larutan hasil ekstraksi.
<i>Smelting</i> (Peleburan)	= Salah satu jenis proses ekstraksi yang dilakukan secara pirometalurgi.
<i>Rich solution</i>	= Larutan yang kaya akan logam kation (Contoh Ni, Co, Mn) yang telah dipisahkan dari Fe dan Al.
AAS	= Atomic Absorption Spectrometer.
AL	= Amospheric Leaching.
BBD	= Box–Behnken Design.
CCD	= Central Composited.
CCL	= Counter Current Leaching.
CNI	= Ceria Nugraha Indotama.
HCL	= Hydro Chloric Acid.
HPAL	= High Pressure Acid Leaching.
	= Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry.
	= Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains.



MHP	= Mixed Hydroxide Precipitate.
MSP	= Mixed Sulphide Precipitate.
PLS	= <i>Pregnant Leach Solution</i> .
RAL	= Rancangan Acak Lengkap.
RKEF	= Rotary Kiln Electric Furnace.
RSM	= <i>Respond Surface Method</i> .
SEM-EDX	= Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray.
SX	= Solvent Extraction.
XRD	= X-Ray Diffraction.
XRF	= X-Ray Fluorescence.
Chl	= Chlorite.
Cl	= Clay mineral.
Cpx	= Clinopyroxene.
Mgs	= Magnesite.
Olv	= Olivine.
Opx	= Orthopyroxene.
Phl	= Phlogopite.
Ser	= Sericite.
Spl	= Spinel.
Srp	= Serpentine (Srp).
Tlc	= Talc.
BRK	= Bedrock.
HS	= Hard Saprolite.
RL	= Red Limonite.
SS	= Soft Saprolite.
TR	= Transition Zone.
YL	= Yellow Limonite.
Å	= Satuan Angstrom.
$D_{i,j}$	= Dissolution rates mineral $i$ dari leached laterite ore $j$ .
$\gamma$	= Tingkat ekstraksi.
	= Energi aktivasi.
	= Signal to Noise ratio.
	= Analysis of variance.



$S_T$	= Jumlah kuadrat total.
$S_F$	= Jumlah kuadrat faktorial.
$V_F$	= Keragaman.
$S'_F$	= <i>Pure sum of squares</i> .
$P_F$	= Persentase kontribusi.



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara produsen pengeksportir nikel yang memiliki potensi sumberdaya dan cadangan bijih nikel dari endapan laterit yang cukup besar di dunia. Tahun 2020, Indonesia tercatat sebagai negara yang memiliki cadangan nikel terbesar di dunia diikuti oleh Australia, Brasil, Rusia, Cuba dan Filipina (International Nickel Study Group, 2021). Endapan laterit nikel yang potensial di Indonesia ini kebanyakan tersebar di wilayah timur seperti Sulawesi, Halmahera, Gebe dan Kepulauan Gag. Endapan ini berasosiasi dengan batuan ultramafik yang berasal dari batuan *ophiolite* kerak samudera yang tersingkap ke atas permukaan karena proses tektonik (Simandjuntak dkk, 1991). Penyebaran *ophiolite* di Indonesia diperlihatkan pada **Gambar 1.1** (Elias, 2013).

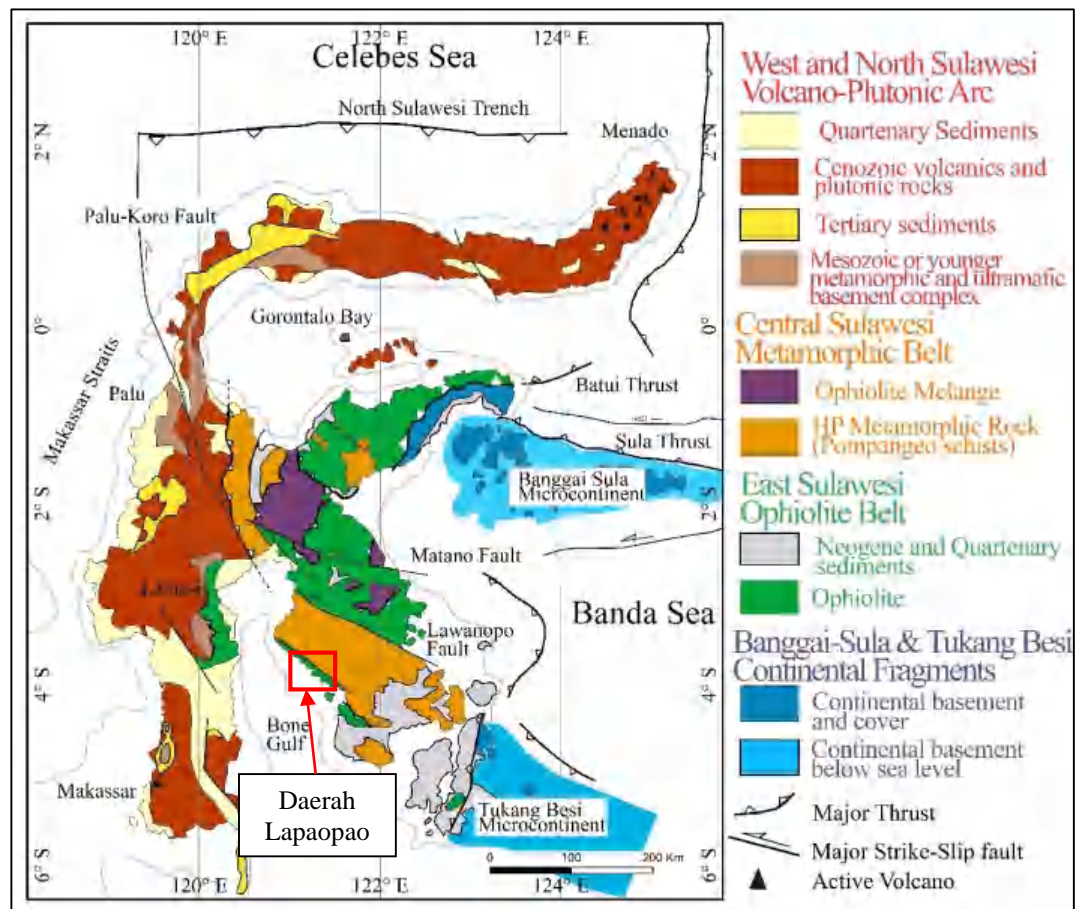


**Gambar 1.1** Peta penyebaran ophiolite (Elias, 2013)

Di daerah Sulawesi, sebaran batuan ultramafik ini juga ditemukan di pantai barat lengan Sulawesi Timur khususnya di daerah Lapaopao. Batuan ini merupakan bagian dari blok ultramafik dari *East Sulawesi ophiolite* dimana pada daerah ini juga ditemukan batuan metamorf dari kompleks Pompangeo (Kadarusman dkk., 2004) yang terlihat pada **Gambar 1.2**. Dari hasil penyelidikan eksplorasi yang telah dilakukan oleh PT Ceria Nugraha Indotama (CNI) telah dilaporkan bahwa potensi bijih nikel laterit yang ada di Lapaopao ini diperkirakan mencapai sekitar



167 juta ton bijih basah meliputi 101 juta ton bijih limonit dan 66 juta ton bijih saprolit dengan luas sebaran laterit kurang-lebih 4,000 Ha (Kadariusman, 2019).



**Gambar 1.2** Lito-tektonik Sulawesi dan lokasi penelitian (peta dimodifikasi dari Kadariusman dkk., 2004)

Potensi bijih limonit ini sangat menarik namun sayangnya belum bisa diolah dan dimanfaatkan secara maksimal karena keterbatasan teknologi ekstraksi nikel dari bijih laterit nikel yang ada saat ini di Indonesia. Pada umumnya, teknologi pengolahan bijih nikel yang telah dioperasikan saat ini masih berupa proses *pyrometallurgy* dimana hanya bisa digunakan untuk mengolah bijih saprolit dan limonit yang berkadar tinggi saja. Akibatnya dalam kegiatan eksploitasi bijih laterit nikel ini, lapisan limonit yang mengandung nikel berkadar rendah ini hanya bisa dimanfaatkan sebagai limbah (*waste*) dan dibuang ke *disposal* saja. Dengan demikian, semua bijih nikel limonit berkadar rendah belum bisa dimanfaatkan dan dikelola dengan baik. Kondisi ini sangat kurang menguntungkan bagi negara kita





utamanya dalam kaitannya dengan pengelolaan dan konservasi sumberdaya mineral, baik dari segi aspek ekonomi maupun aspek lingkungan.

Untuk itu, pengolahan bijih nikel secara *hydrometallurgy* mulai banyak dikembangkan saat ini sebagai bagian dari upaya konservasi sumberdaya mineral khususnya pemanfaatan dan pengolahan bijih limonit tersebut. Metode ini cocok untuk mengolah bijih limonit khususnya bijih limonit berkadar rendah (<1.5% Ni) agar potensi bijih nikel limonit ini dapat diolah dan dimanfaatkan secara optimal. Diharapkan metode ini bisa dikembangkan dan diaplikasikan untuk pengolahan bijih limonit berkadar nikel rendah yang cukup melimpah di wilayah Indonesia. Secara ringkas, ada 2 (dua) proses utama dari metode ini yakni proses ekstraksi dan proses *recovery*.

Proses ekstraksi adalah proses awal untuk memisahkan/mengurai logam melalui proses perombakan struktur kimia mineral dari mineral bijih yang berupa padatan. Salah satu proses ekstraksi yang umum dikenal adalah proses pelindian (*Leaching*) dimana proses ekstraksi ini dilakukan dengan menggunakan lixiviant (zat pelarut) agar ion-ion logam penting bisa larut ke dalam larutan. *Atmospheric leaching* adalah salah satu jenis pelindian yang dilakukan dalam tangki terbuka pada suhu yang rendah (<105°C) dengan kondisi tekanan atmosfer (Kyle, 2010). Adapun proses *recovery* adalah proses pengambilan kembali logam target dari larutan hasil ekstraksi. Presipitasi adalah salah satu jenis proses *recovery* yang dilakukan untuk memisahkan padatan dan cairan guna menghasilkan produk antara (*intermediate product*) Ni-Co berupa *mixed sulphide precipitate* (MSP) atau *mixed hydroxide precipitate* (MHP) (Kyle, 2010).

Berbagai studi dan riset percobaan uji ekstraksi skala laboratorium secara atmosferik telah banyak dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan model ekstraksi nikel-kobal lebih efektif dan efisien (Basturkcu dan Acarkan, 2016; Guo dkk., 2015; Javanshir dkk., 2018). Uji ekstraksi ini biasanya dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter seperti suhu, waktu, volume larutan, konsentrasi asam pelarut yang digunakan (Drinkard, 2001; Dry, 2015; Kyle, 2010; McDonald dan



on, 2008a). Dari berbagai riset dan pengembangan metode pelindian k yang telah dilakukan, beberapa jenis asam telah diujicobakan untuk tikan ekstraksi nikel dan kobalt yang optimal seperti asam sulfat

(Ağaçayak dan Aras, 2017; Basturkcü dan Acarkan, 2016; Javanshir dkk., 2018; Sufriadin dkk., 2011), asam nitrat (Fathoni dan Mubarak, 2015; Saka, 2014) dan asam klorida (Aras dan Ağaçayak, 2017; Göveli, 2006; Guo dkk., 2015; Mystrioti dkk., 2018; Türkmen dkk., 2018).

Untuk itu, peneliti sangat tertarik untuk melakukan riset pengembangan uji ekstraksi dan *recovery* ini dengan melakukan studi optimasi parameter uji yang digunakan untuk mendapatkan hasil pelindian dan presipitasi Ni yang lebih optimal. Adapun topik penelitian yang akan dilakukan adalah **“Studi Pelindian, Optimasi Ekstraksi, dan Presipitasi Ni dari Bijih Limonit Lapaopao, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara”**.

## I.2. Rumusan Permasalahan

Ada beberapa hal yang telah diidentifikasi dan akan diangkat dalam penelitian ini antara lain: 1) Beberapa hasil ekstraksi nikel-kobal pada proses Pelindian secara atmosferik (*atmospheric leaching*) menunjukkan tingkat ekstraksi yang berbeda dan relatif masih rendah (<90%) dimana kemungkinan disebabkan oleh perbedaan karakteristik mineralogi bijih material dan reaktivitas jenis asam yang digunakan; 2) konsumsi asam dan jenis asam serta parameter pelindian yang digunakan bervariasi untuk menghasilkan ekstraksi nikel yang tinggi (> 90%) sehingga perlu optimasi parameter ekstraksi yang tepat; 3) *recovery* nikel-kobal yang rendah yang dapat disebabkan karena hilang saat terjadinya *co*-presipitasi dengan besi (Fe) dan aluminium (Al) sehingga perlu optimasi parameter presipitasi yang tepat. Untuk itu, penulis mencoba merumuskan beberapa permasalahan dalam proposal rencana penelitian ini, antara lain:

- a. Bagaimana pengaruh mineralogi bijih Ni laterit terhadap ekstraksi Ni dan Co pada proses pelindian secara atmosferik yang menggunakan asam klorida, asam nitrat dan asam sulfat?
- b. Bagaimana optimasi parameter pelindian (*leaching*) secara *Atmospheric leaching* yang digunakan untuk meningkatkan ekstraksi Ni dan Co secara optimal?.

Bagaimana optimasi parameter presipitasi yang digunakan untuk meningkatkan *recovery* Ni dan Co dari larutan *pregnant leach solution* (PLS) secara optimal?



### I.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan hipotesis yang akan dikembangkan di atas, maka tujuan penelitian yang akan dilakukan ini adalah untuk:

- a. Menganalisis pengaruh mineralogi terhadap ekstraksi Ni dari bijih limonit pada tekanan atmosfer menggunakan asam klorida, asam nitrat dan asam sulfat.
- b. Mengoptimasi parameter pelindian bijih limonit pada tekanan atmosfer untuk mendapatkan ekstraksi Ni yang optimal.
- c. Mengoptimasi parameter presipitasi larutan PLS untuk mendapatkan *recovery* Ni yang optimal.

### I.4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan dengan efektif sesuai dengan target waktu dan biaya yang tersedia, maka ruang lingkup penelitian akan dibatasi beberapa hal antara lain metodologi penelitian, jenis material dan peralatan yang digunakan. Oleh karena itu, ruang lingkup studi akan difokuskan pada beberapa aspek sebagai berikut:

- a. Metode penelitian: 1) metode sampling secara selektif pada beberapa titik contoh yang dianggap mewakili, 2) metode pengujian dibatasi pada metode ekstraksi *Atmospheric Leaching*
- b. Jenis material yang digunakan adalah material bijih limonit berkadar rendah dengan bahan berupa pelarut asam klorida asam nitrat dan asam sulfat.
- c. Penelitian dilakukan dengan menggunakan peralatan uji berupa peralatan percobaan (*experiment*) yang dibatasi dalam skala laboratorium

### I.5. Manfaat Penelitian

Penelitian tentang studi pelindian, optimasi ekstraksi, dan presipitasi Ni dari bijih limonit Lapaopao, Kabupaten Kolaka diharapkan memiliki banyak implikasi ya dalam sudut pandang ilmiah tetapi juga dalam kebutuhan praktis. Oleh u, dengan melakukan studi dan penelitian ini, beberapa manfaat yang un dapat diberikan secara signifikan sebagai berikut:



- a. Dalam konteks teoritis dan kajian ilmiah, penelitian ini bisa menjadi salah satu sumbangan ilmu pengetahuan geokimia mineral bagi pengembangan pengolahan bijih nikel limonit berkadar rendah utamanya dalam optimasi model ekstraksi secara *Atmospheric leaching* (AL) dan *recovery* Ni yang dapat dikembangkan untuk tahap selanjutnya.
- b. Dalam konteks penerapan dan kebijakan, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam membuat model pengolahan nikel limonit kadar rendah yang lebih efektif dan efisien sehingga bijih yang terolah dapat bernilai ekonomis. Disamping itu, dapat diterapkan di daerah lain, yang memiliki kondisi geologi sumberdaya mineral yang serupa dengan daerah penelitian.

Adapun luaran penelitian yang diharapkan dari penelitian ini adalah menghasilkan suatu rancangan model ekstraksi dan *recovery* Ni dari bijih limonit dengan parameter yang optimum yang telah diuji pada skala laboratorium. Rancangan ini dapat dikembangkan sebagai penelitian yang lanjutan pada skala *pilot-plant* dimana diharapkan dapat menghasilkan suatu *prototype* baru untuk pengolahan bijih nikel laterit kadar rendah (*low grade limonite*) skala kecil khususnya di area Lapaopao atau pada lokasi yang lain yang memiliki kesamaan karakteristik mineralogi.



## BAB II

### KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

#### II.1. Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual penelitian ini disusun berdasarkan pada pemikiran dasar tentang teknik pemisahan (*separation technique*) logam nikel-kobalt dari bijih nikel berkadar rendah dengan cara pelindian secara atmosferik *Atmospheric Leaching* melalui proses hidrometalurgi. Proses pemisahan logam Ni ini dilakukan dalam 2 (dua) tahapan yakni: 1) ekstraksi dengan proses pelindian (*leaching*) dan 2) *recovery* dengan proses pengendapan atau presipitasi (*precipitation*).

Secara konseptual, ada beberapa aspek yang akan diperhatikan dalam proses ekstraksi dan *recovery* nikel-kobalt ini antara lain: 1) hubungan antara mineralogi bijih dengan perilaku ekstraksi Ni; 2) hubungan antara jenis asam pelarut (*lixiviant*) yang digunakan untuk mengekstraksi logam dengan perilaku ekstraksi Ni; dan 3) proses ekstraksi dan *recovery* Ni dari bijih laterit nikel.

##### II.1.1. Pengaruh Mineralogi Terhadap Tingkat Ekstraksi

Dari beberapa hasil riset tentang studi ekstraksi nikel-kobalt secara *atmospheric leaching* menunjukkan bahwa tingkat ekstraksi nikel-kobalt pada umumnya masih relatif rendah (<90%) dan bervariasi. Proses ekstraksi nikel, kobalt dan besi dari bijih dari laterit nikel secara *atmospheric leaching* (AL) ini sangat tergantung pada kondisi mineralogi bijih material yang akan diekstraksi (MacCarthy dkk., 2014; Rice dan Strong, 1974). Kondisi mineralogi yang berbeda seperti struktur kimia mineral dari masing-masing mineral bijih yang menyusun bijih laterit tersebut akan mempengaruhi tingkat kelarutan masing-masing mineral dimana hal ini sangat penting dalam proses pelindian logam dari bijih, terutama untuk ekstraksi Ni-Co dari bijih laterit melalui proses hidrometalurgi ini (Crundwell, 2013; Top dkk., 2020).

Menurut Rice dan Strong (1974), untuk ekstraksi bijih nikel yang menggunakan leaching, struktur kimia mineral merupakan faktor yang lebih penting juga. Bijih yang mengandung Mg-Ni silicate jauh lebih mudah diolah daripada bijih yang mengandung oksida nikel. Tingkat ekstraksi bervariasi tergantung komposisi mineral



utama yang ada. Pada kondisi yang sama, hampir semua nikel dan besi dari serpentin (*magnesium-hydrous silicate*) dapat diekstraksi lebih mudah dibandingkan dengan nikel dan besi pada limonit yang mana hanya bisa diekstraksi 50% (terutama yang mengandung Goethite). Ekstraksi nikel dari limonit terbukti agak sulit karena bentuk struktur kimia mineralnya yang dipengaruhi posisi nikel dalam kisi *goethite* (Rice dan Strong, 1974). Pengaruh kondisi mineralogi dan geokimia bijih laterit terhadap ekstraksi juga diperkuat oleh beberapa peneliti yang lain. Menurut Wang, mineral siderite dan chrysotile dalam bijih sangat mudah tercuci diikuti oleh goetite dalam range rasio perbandingan asam/ore dan magnetit dan maghemite cukup aktif (Wang dkk., 2012).

Dari hasil kajian studi pelindian atmosferik yang dilakukan dengan menggunakan asam sulfat dari tiga sampel laterit Cina, Liu dkk (2009) melaporkan urutan dissolusi mineral sebagai berikut: *lizardite* > *goethite* > *maghemite* > *magnetite* > hematite > chromite > ringwoodite. Perbedaan dalam pelindian goetit, maghemit, dan magnetit ini dapat disebabkan oleh perbedaan struktur kristal mineral dari material bijih tersebut. Substitusi unsur dalam mineral umumnya diyakini secara signifikan mengubah kecepatan disolusi, sehingga perbedaan kecil dalam pada kandungan kimianya dapat berdampak besar pada perilaku ekstraksi mineral (Landers dkk., 2009).

### II.1.2. Pengaruh Jenis Asam Pelarut Terhadap Ekstraksi

Menurut MacCarthy dkk (2014), penggunaan jenis asam pelarut dalam proses ekstraksi sangat memegang peranan penting dalam kaitannya dengan tingkat kinetika ekstraksi. Dari beberapa penelitian uji ekstraksi bijih *limonite* metode *atmospheric leaching*, hasilnya menunjukkan bahwa waktu pelindian yang diperlukan untuk mencapai ekstraksi nikel-kobalt di atas 90% umumnya relatif cukup lama (> 3 jam) dibanding metode HPAL (< 1 jam). Hal ini dapat disebabkan oleh reaktivitas asam pelarut yang digunakan pada kondisi *atmospheric leaching*.

Studi kinetika pelarutan bijih laterit kadar rendah dengan menggunakan jenis asam yaitu asam sulfat, asam nitrat dan asam klorida yang telah dilakukan oleh (Ayanda dkk., 2011). Studi tersebut menunjukkan bahwa pelarutan laterit sangat dipengaruhi oleh konsentrasi ion hidrogen dengan nilai energi





aktivasi sebesar 60.23 kJmol<sup>-1</sup>, 64.31 kJmol<sup>-1</sup> dan 67.53 kJmol<sup>-1</sup> untuk masing-masing asam klorida, asam nitrat dan asam sulfat secara berurutan. Urutan peningkatan energi aktivasi ( $E_a$ ) untuk tiga jenis asam yang diselidiki diperlihatkan sebagai berikut:

$$E_a (\text{HCL}) < E_a (\text{HNO}_3) < E_a (\text{H}_2\text{SO}_4)$$

Oleh karena itu, HCl akan menyebabkan pelindian laterit yang lebih tinggi dari pada HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada proses ekstraksi secara atmospheric leaching untuk penggunaan konsentrasi ion hidrogen dan suhu yang sama (Ayanda dkk, 2011).

### II.1.3. Optimasi Ekstraksi Ni

Ekstraksi nikel-kobalt dari bijih limonit dilakukan dengan proses pelindian (*leaching*) secara *Atmospheric leaching*. Secara konseptual dan praktikal, ekstraksi bijih nikel laterit memang sedikit lebih rumit dibandingkan dengan bijih nikel sulfida karena unsur nikel dalam bijih laterit tidak berada dalam fase/bentuk logam kristal terpisah dan bebas. Unsur nikel tersebut terikat secara kimia dengan mineral sekunder dari produk pelapukan terutama *serpentine*, *clay*, and *iron oxyhydroxides*. Untuk itu perlu dilakukan simulasi uji pelindian untuk mendapatkan tingkat ekstraksi dan *recovery* yang Ni yang optimal.

Tahapan dan proses optimasi ekstraksi ini dibuat berdasarkan atas pemilihan parameter-parameter variabel prediktor yang tepat dari hasil uji pelindian yang dilakukan. Variabel prediktor yang umum digunakan untuk metode *atmospheric leaching* antara lain: suhu, waktu, konsentrasi dan perbandingan volume asam pelarut terhadap bijih nikel yang akan diekstraksi (Javanshir dkk., 2018).

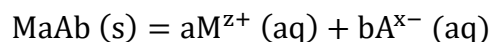
### II.1.4. Optimasi Recovery Ni

*Recovery* Ni dari larutan hasil pelindian dilakukan dengan cara presipitasi (*precipitation*). Larutan hasil pelindian biasa disebut *Pregnant Leach Solution* (PLS) mengandung logam nikel-kobalt, besi, aluminum dan beberapa jenis logam lainnya yang terlarut. Logam nikel akan dipresipitasi dalam bentuk produk *mixed hydroxide* (MSP) dengan penambahan agen penetral Ca(OH)<sub>2</sub> dan NaOH melalui proses tahapan presipitasi awal besi dan aluminum. Biasanya *recovery* kobalt pada saat presipitasi menjadi rendah karena hilang (*nickel loss*) di



awal proses presipitasi besi dan aluminum karena terjadinya co-presipitasi dengan Fe dan Al.

Presipitasi nikel hidroksida berkorelasi dengan supersaturasi ion nikel di mana nikel melebihi titik jenuh kelarutannya dalam larutan. Supersaturasi adalah salah satu parameter terpenting yang menentukan perilaku pembentukan kristal padat dari ionnya dalam larutan air. Untuk reaksi pembentukan kristal padat berikut;



Dimana:

Ma = *Metal* atau logam (M) dengan koefisien (a)  
Ab = *Anion* (A) dengan koefisien (b)

Pembentukan MaAb padat dapat terjadi jika  $\log Q > \log K_{sp}$ , dimana

$$Q = [M^{z+}]^a \cdot [A^{x-}]^b$$

$K_{sp}$  adalah konstanta hasil kali kelarutan dan  $Q = K_{sp}$  pada kondisi jenuh.

Untuk memenuhi kondisi di mana  $\log Q > \log K_{sp}$ , dua pendekatan berbeda dapat dilakukan:

- (a) Untuk  $\log Q$  tertentu, kurangi  $\log K_{sp}$  dan
- (b) Untuk  $\log K_{sp}$  tertentu, kan  $\log Q$ .

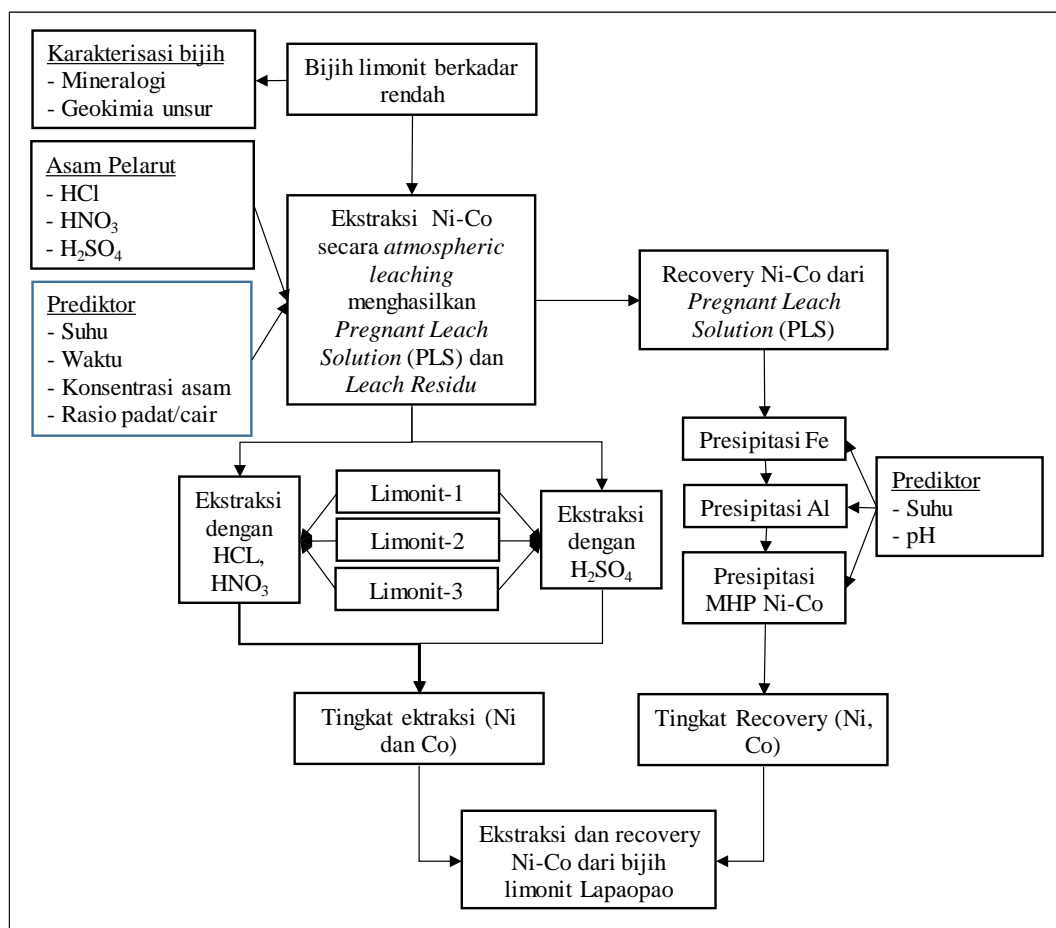
Pendekatan pertama biasanya mengacu pada istilah "kristalisasi" dimana  $\log K_{sp}$  diturunkan oleh perubahan suhu (yaitu dengan pemanasan dan pendinginan), sedangkan istilah "presipitasi" biasanya dikaitkan dengan kondisi di mana  $\log Q > \log K$  (yaitu pendekatan kedua). Pendekatan kedua dilakukan dengan penambahan reagen kimiawi (presipitan) yang berubah  $[M^{z+}]$  atau  $[A^{x-}]$ .

Presipitasi dan kristalisasi logam dari larutan mengikuti tiga tahap utama, dimulai dengan pembentukan kondisi jenuh, diikuti oleh nukleasi dan pertumbuhan kristal dimana untuk mencapai kondisi jenuh ini ada empat metode utama umumnya diambil yang meliputi perubahan suhu, penguapan pelarut, penambahan pengendapan kimia (zat penetral) dan perubahan komposisi larutan (Mubarok dan Lieberto, 2013)

Tahapan dan proses optimasi *recovery* untuk logam Ni dari larutan PLS akan didasarkan atas pemilihan parameter-parameter variabel prediktor yang tepat uji presipitasi yang dilakukan.



Berdasarkan uraian diatas tentang ekstraksi dan *recovery* Ni dari bijih nikel berkadar rendah maka dibuat suatu kerangka konseptual yang akan dijadikan sebagai panduan awal dalam melakukan penelitian ini. Kerangka konseptual dari penelitian ini diperlihatkan pada **Gambar 2.1** dibawah ini.



**Gambar 2.1** Kerangka konseptual penelitian

## II.2. Hypothesis

Berdasarkan rumusan masalah dan kerangka konseptual yang dikembangkan di atas dan mengacu pada pustaka, maka dapat disusun hipotesis penelitian sebagai berikut:

- ✓ Tingkat ekstraksi Ni dari bijih limonite berkadar rendah secara *atmospheric leaching* dapat dipengaruhi oleh kondisi mineralogi bijih dan jenis asam pelarut yang digunakan.



Ekstraksi Ni dari bijih limonit berkadar rendah secara *Atmospheric*

*leaching* dapat dilakukan secara optimal dengan pemilihan parameter uji pelindian yang tepat dari aspek suhu, waktu, konsentrasi, dan rasio S/L. Semakin tinggi suhu, konsentrasi dan waktu ekstraksi dan semakin rendah rasio S/L maka tingkat ekstraksi Ni semakin tinggi.

- ✓ *Recovery* untuk memisahkan Ni dari PLS berupa presipitasi campuran nikel-kobal hidroksida (MHP) dapat dilakukan secara optimal dengan pemilihan parameter uji presipitasi yang tepat dari aspek temperatur dan pH. Semakin tinggi perlakuan suhu dan pH larutan maka proses presipitasi Ni akan semakin tinggi.

### II.3. State of the Art

Dalam konteks *State of the Art* dari penelitian ini, peneliti mencoba mengkaji beberapa penelitian yang relevan dengan tren penelitian terkini dan menetapkan prioritas penelitian dari topik yang dipilih, serta melakukan identifikasi kesenjangan-kesenjangan pengetahuan (*knowledge gap*) yang belum diteliti atau belum terjawab. Hasil dari kajian ini dapat dijadikan sebagai referensi awal, pembanding dan dapat memperkaya metode penelitian khususnya dalam melakukan uji ekstraksi nikel-kobalt ini. Parameter ekstraksi yang digunakan dan hasil ekstraksi yang dicapai menjadi kajian dan evaluasi untuk rencana pengembangan penelitian yang akan dilakukan.

Hasil kajian terhadap penelitian sebelumnya dan identifikasi tentang *knowledge gap* tersebut diharapkan akan mendapatkan suatu rumusan tentang kebaharuan (*novelty*) dari penelitian ini.

#### II.3.1. Penelitian yang Relevan

Ada cukup banyak penelitian sebelumnya yang telah dipublikasikan dari jurnal internasional yang berhubungan dengan topik penelitian dan dapat dijadikan sebagai bahan kajian awal. Adapun topik penelitian yang akan diteliti adalah berkaitan dengan proses ekstraksi dan *recovery* Ni dari pelindian secara atmosferik alurgi. Beberapa Jurnal yang terkait dengan uji ekstraksi nikel secara alurgi tersebut seperti yang terlihat pada **Tabel 2.1** antara lain:



- 1) Penelitian dengan judul *Innovative technology for processing saprolitic laterite ores by hydrochloric acid atmospheric pressure leaching*, diambil dari jurnal *Minerals Engineering* 71 (2015) diteliti oleh Qiang dkk. Uji Ekstraksi *Atmospheric Leaching* dilakukan dengan menggunakan asam klorida (HCl) dan tambahan teknologi *leaching* dengan inovasi *spray hydrolysis*. Contoh bijih laterit saprolit dari Filipina. Bijih mengandung Ni = 1.57%, Co = 0.046%, Fe = 20.95%, Mg = 12.57%, Si = 12.36%, Cr = 0.62%, Al = 0.96%. Bijih laterit didominasi oleh serpentine  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$  dan sedikit *goethite* FeO(OH). Proses *leaching* optimal pada konsentrasi larutan asam klorida 20% berat, suhu 80°C, waktu 60 menit, dan rasio cairan-padatan 3,5 mL / g dengan hasil ekstraksi dari bijih laterit saprolitik dapat larut sebanyak 98.9% berat Ni, 97.8% berat Fe, dan 80.9% berat Mg.
- 2) Penelitian tesis dengan judul *Nickel Extraction from Gördes Laterites by Hydrochloric Acid Leaching* dari *Department of Mining Engineering, Middle East Technical University: Ankara* diteliti oleh Göveli pada tahun 2016. Uji ekstraksi *Atmospheric leaching* dengan asam klorida (HCL) dilakukan pada material bijih laterit limonit Manisa-Gördes region. Bijih laterit mengandung Ni = 1.84 %, Co = 0.13 %, Fe = 56.8% dan MgO = 0.5%. Mineral bijih utama terdiri dari *hematite, goethite, dolomite, quartz and smectite*. Perlakuan pre-konsentrasi dilakukan dengan *magnetic separator* namun tidak berhasil. Percobaan dilakukan pada suhu 50°C, 75°C dan 100°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi pelindian yang bisa dioptimalkan berdasarkan pada ukuran partikel: 100% -1 mm, konsentrasi HCl: 3 N, waktu 3 jam, suhu 100°C, rasio kepadatan solid/cair 1/30 dengan ekstraksi mencapai 87,26% nikel
- 3) Penelitian yang lain dengan judul *Counter-Current Leaching of Low-Grade Laterites with Hydrochloric Acid and Proposed Purification Options of Pregnant Solution* diambil dari jurnal *Minerals* 2018, 8, 599 diteliti oleh Mystrioti dkk (2018). Uji ekstraksi *atmospheric leaching* dengan asam klorida (HCl) dan *presipitasi nikel-kobalt dan logam lainnya dari larutan pregnant leach solution (PLS)* Uji *atmospheric leaching* dari bijih laterit kadar rendah Ari Larco Kastoria (northern Greece). Kandungan Ni 0.88%,



Co = 0.06%, Fe = 22.42%, Mg = 7.58%, Si = 0.04%, Al = 0.48%, Ca = 2.78%, Cr = 0.19%, Mn = 0.42% dan LOI = 13.22. Bijih laterit didominasi oleh mineral quartz, goethite, calcite, and lizardite ((Mg,Al)<sub>3</sub>[(Si,Fe)<sub>2</sub>O<sub>5</sub>](OH)<sub>4</sub>). Proses leaching dilakukan pada pulp density 30% dengan mode *Counter Current Leaching* (CCL). Ekstraksi leaching satu step yang optimal dilakukan pada konsentrasi HCL 4M, suhu 80°C dan S/L 10% menghasilkan 98% Ni dan 96% Co.

- 4) Penelitian dengan judul *Dissolution Behaviour of Lateritic Nickel Ore in HCl and HCl-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH-H<sub>2</sub>O Medias* dari proceeding IMMC 2018, 19th International Metallurgy & Materials Congress diteliti oleh Türkmen dkk (2018). Uji ekstraksi *Atmospheric Leaching*, dengan asam klorida (HCL) dan campuran asam klorida dengan etanol (HCl-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH-H<sub>2</sub>O). Contoh laterit saprolit high grade dari Karacam, Turki. Bijih laterit mengandung Ni = 1.87%, Co = 0.09%, Fe = 26.77%, Mg = 3.39%, LOI = 11.44. Dari hasil percobaan, parameter optimum yang didapatkan adalah pada kondisi temperatur 70°C, konsentrasi 8N HCL dan lama reaksi 90 menit dengan jumlah kadar Ni dan Fe yang didapatkan dalam larutan masing-masing 97.09% dan 97.84%. Pengujian *leaching* dengan menggunakan kombinasi asam klorida dan etanol tidak memberikan hasil yang lebih bagus dari route asam klorida.
- 5) Penelitian tesis dengan judul *Extraction Of Nickel And Cobalt From Lateritic Ores By Nitric Acid* diambil dari *The Graduate School Of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University* diteliti oleh Saka pada tahun 2014. Dijelaskan bahwa penelitian ini menggunakan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) sebagai asam pelarut untuk uji ekstraksi *Atmospheric leaching*. *Study mineralogy* dan Kinetika ekstraksi *leaching* untuk nikel dan kobalt dari kombinasi tipe bijih laterit (limonite 70% dan nontronite 30%) Gordes/Manisa, Turki. Bijih limonite mengandung Ni = 1.28%, Co = 0.083%, Fe = 28.70%, As = 0.68%, Al = 3.09%, Mg = 1.36%, Cr = 1.36% dan SiO<sub>2</sub> = 28.80%. Sedangkan bijih nontronite mengandung Ni 1.20%, Co 0.068%, Fe 15.95%, As 0.02%, Al = 2.80%, Mg = 4.15%, Cr = 0.36% dan SiO<sub>2</sub> = 44.90%. Hasil uji ekstraksi didapatkan kondisi optimum





*leaching* pada temperatur 104°C dengan konsentrasi 378 g/l asam nitrat, 48 jam lama percobaan, ukuran partikel -600 um (micron) rasio S/L 1/5 wt/vol. *Recovery* yang dihasilkan untuk nikel dan kobalt masing-masing 95.4% dan 96.6%. Perhitungan konsumsi asam nitrat yang diperlukan sebanyak 1.282 kg / ton bijih kering komposisi bijih untuk campuran bijih 70% limonit dan 30% nontronit.

- 6) Penelitian dengan judul *Studi perilaku pelindian bijih besi nikel limonit dari Pulau halmahera dalam larutan asam nitrat*, diambil dari majalah *Metalurgi*, V 30.3.2015 diteliti oleh Fathoni dan Mubarok (2015). Uji ekstraksi *Atmospheric Leaching* dengan Asam Nitrat (HNO<sub>3</sub>) Material bijih nikel laterit limonit dari Pulau Halmahera. Bijih laterit limonit mengandung Ni = 1.08%, Fe = 25.91%, SiO<sub>2</sub> = 39.31%, MgO = 7.68%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 5.27%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 37.01%, MnO = 0.54%, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1.6%, CaO = 0.27%, K<sub>2</sub>O = 0.011%. Mineral bijih didominasi oleh *quartz* (SiO<sub>2</sub>) dan *goethite* (FeOOH) yang diikuti oleh *hematite* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), *antigorite* (Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) dan *pyrochroite* (Mn(OH)<sub>2</sub>). Hasil uji ekstraksi nikel yang tertinggi selama 8 jam dicapai pada konsentrasi asam 6 molar (3x stoikiometri), 10% padatan dan temperatur 95°C yaitu 94% Ni dengan konsumsi asam mencapai 970 kg/ton bijih. Variabel yang paling berpengaruh dalam proses pelindian adalah temperatur dengan persen kontribusi mencapai 78%.
- 7) Penelitian dengan judul *Study on Mineralogy and Chemistry of The Saprolitic Nickel Ores from Soroako, Sulawesi, Indonesia: Implication for the Lateritic Ore Processing*, diambil dari *Journal SE Asian Appl. Geol.*, Jan–Jun 2011, Vol. 3(1) diteliti oleh Sufriadin dkk (2011). Uji ekstraksi *Atmospheric Leaching* dilakukan dengan menggunakan asam sulfat (Sulphuric Acid) untuk material bijih saprolit dari Soroako tipe East Ore (EO) dan West Ore (WO). Mineral bijih mengandung masing-masing: West Ore (WO) Ni = 2.13%, Co = 0.02%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 15.78%, SiO<sub>2</sub> = 49.24, MgO = 23.21%, LOI = 7.23; East Ore (EO) Ni = 1.77%, Co = 0.02%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 24.97%, SiO<sub>2</sub> = 38.87, MgO = 15.45%, LOI = 12.05. Bijih laterit nikel WO didominasi oleh mineral *forsterite* (38%), *serpentine* (6%), enstatite (17%), quartz (23%), *Talc* (10%) dan spinel/ *goethite* (3%) sedangkan bijih EO



didominasi oleh mineral *serpentine* (54%), *enstatite* (22%), quartz (4%), *amphibole* (15%) dan *maghemite* (4%). Perlakuan percobaan berupa sampel bijih kering dengan 50 ml larutan asam sulfat 25%. Kemudian dipanaskan pada suhu 90°C dengan kecepatan pengadukan pada 500rev / minus REXIMRSH-1A *magnetic stirrer*. Waktu leaching 30 hingga 180 menit dimana waktu yang optimum untuk ekstraksi logam sampel WO dan EO dapat dicapai masing-masing selama 150 dan 120 menit. Hasil ekstraksi Ni yang dicapai untuk bijih tipe WO dan EO masing-masing adalah 47% dan adalah 58%

- 8) Penelitian yang berjudul *Leaching Behaviour of A Turkish Lateritic Ore In The Presence of Additives* diambil dari jurnal *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 52(1) yang diteliti oleh Basturkcu and Acarkan (2016). Basturkcu melakukan uji ekstraksi sistem agitasi *Atmospheric Leaching* dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Material bijih nikel berasal dari Caldag Region of Manisa, Turkey. Analisa ICP, XRF, bijih nikel limonit mengandung Ni = 1.2%, Co = 0.062%, Fe = 24.8%,  $SiO_2$  = 40.9%, MgO = 5.88%,  $Al_2O_3$  = 4.0%, CaO = 0.66%, MnO = 0.383%, dan LOI = 9.26. Analisa XRD, mineral bijih didominasi oleh mineral quartz dan goethite dan sedikit serpentine. Uji proses *leaching* dengan variabel ekstraksi yang digunakan yakni rasio padat/cair 10%, kecepatan agitasi 500 rpm, dan suhu 80°C selama 8 jam leaching dengan 928 kg/Mg konsumsi  $H_2SO_4$  menghasilkan *recovery* ekstraksi yang optimum sebanyak 98,2% Ni, = 98,9% Co dan 98,6% Fe.
- 9) Penelitian yang berjudul *Atmospheric Pressure Leaching of Nickel from a Low Grade Nickel Bearing Ore* diambil dari jurnal *Physicochem. Probl. Miner. Process*, 54(3) diteliti oleh Javanshir dkk (2018). Uji ekstraksi *Atmospheric leaching* dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan Hydrochloric Acid dilakukan dari material bijih lateritik limonit berkadar rendah dari Sarbisheh, Southern Khorasan, Iran Komposisi: NiO = 0.8%,  $Co_3O_4$  = 0.1%,  $Fe_2O_3$  = 62.1%, MgO = 0.64%,  $SiO_2$  = 24.5%,  $Al_2O_3$  = 1.12%, Mineral bijih didominasi oleh *goethite* dan *hematite*. Dari hasil percobaan yang dilaporkan kondisi optimum *recovery* nikel pada kondisi 5M  $H_2SO_4$ , 0.25 g/cm<sup>3</sup> S/L, 90°C dan 2 jam. *leaching* asam sulfur lebih tinggi dari asam



klorida. Pra-kalsinasi untuk meningkatkan *goethite* menjadi hematite untuk meningkatkan ekstraksi dilakukan pada waktu dan temperatur yang berbeda. 30-180 menit dan 180°C-540°C dengan pencapaian *recovery* dari 69–95%. pelarutan tertinggi dari proses pra-kalsinasi dicapai pada suhu 540°C dan waktu 120 menit.

- 10) Penelitian yang berjudul *Leaching behavior of metals from limonitic laterite ore by high pressure acid leaching* diambil dari journal Trans - Nonferrous Met. Soc. China 21 diteliti oleh GUO Xue-yi dkk pada tahun 2011, Uji ekstraksi *High Pressure Acid leaching (HPAL)* dengan asam sulfat. Material limonit berasal dari Tubay Region, Minadanao Filipina. Bijih limonit mengandung Ni = 1.28%, Co = 0.17%, Fe = 45.81%, Al = 2.90%, Si = 1.55%, Cr = 1.22%, Ca = 1.01%, Mg = 0.76%, Mn = 0.86%, Zn = 0.15%, Cu = 0.01%. Mineral bijih umumnya didominasi oleh mineral *goethite* (FeOOH). Kondisi optimal yang didapatkan pada penambahan sulfur dari bijih 250 kg/ton, suhu pelindian 250°C, waktu pelindian 1 jam dan rasio L/S 3:1. Hasil ekstraksi yang optimal dari Proses *leaching* ini *recovery* yang didapatkan dari bijih laterit nikel sebesar Ni 97%, Co 96%, Mn 93% dan Mg 95%.
- 11) Penelitian yang berjudul *High pressure acid leaching of a refractory lateritic nickel ore* diambil dari jurnal *Minerals Engineering 24 (2011)* diteliti oleh Kaya and Topkaya (2011). Uji ekstraksi *High Pressure Acid Leaching (HPAL)* dengan asam sulfat. Material limonit dari Gordes / Manisa, Turki. Bijih mengandung Ni = 1.28%, Co = 0.083%, Fe = 28.70%, MgO = 2.26%, SiO<sub>2</sub> = 28.8%, MnO = 0.59%, As = 0.68% dan CaO = 1.27%. Hasil pengujian, parameter yang uji yang paling optimal dilakukan pada suhu 255°C dengan rasio berat asam sulfat terhadap bijih 0,30 dengan ukuran partikel 100% -850 *micron* dilarutkan selama 1 jam, didapatkan 87,3% nikel dan 88,8% kobalt dalam bijih dapat diekstraksi ke dalam larutan PLS. Hasil ekstraksi yang didapatkan masih di bawah nilai yang diinginkan kemungkinan karena adanya kesulitan dari mineral hematit diekstrak. Diperkirakan mineral hematit yang terbentuk dari ubahan mineral *goethite* yang mengalami pemanasan sebelum pelindian



dimana setelah terjadi ubahan menjadi hematit ini terjadi penurunan yang luar biasa pada ekstraksi nikel dan kobal. Penambahan *additive* berupa HCl, ion besi, ion tembaga dan belerang dalam larutan dicoba untuk memudahkan *leaching* mineral hematit untuk meningkatkan ekstraksi nikel-kobalt yang ada dalam bijih laterit nikel limonitik. Dengan perlakuan penambahan aditif tersebut menunjukkan peningkatan ekstraksi nikel dan kobalt sebesar 3%

- 12) Penelitian dengan judul *High Pressure Sulphuric Acid Leaching Of Lateritic Nickel Ore* diambil dari jurnal *Physicochem. Probl. Miner. Process. 53 (1)* diteliti oleh Ucyildiz and Girgin (2017), Uji ekstraksi *high pressures sulphuric acid leaching* (HPAL) dengan asam sulfat. Material bijih limonit dari mid-Anatolia region, Turki. Bijih mengandung Ni = 1.37%, Co = 0.076%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 47.72%, SiO<sub>2</sub> = 29.44%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 4.02%, MgO = 1.56%, CaO = 1.91%, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 2.38%, MnO = 0.75% dan S = 0.03%. Bijih mineral didominasi oleh mineral *goethite* dan *quartz*, dan sedikit carbonates (calcite, dolomite), smectite, hematite and asbolane. Variabel pengujian antara lain: rasio asam/ bijih (0,1-0,6 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> / g bijih kering), suhu (200°C-240°C) dan waktu (30-120 menit) untuk melihat pengaruh terhadap hasilnya. Eksperimen *leaching* menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu *leaching* meningkat terus menerus jumlah Ni dan Co terlarut, dan terus menurun jumlah Fe terlarut dari sampel bijih nikel laterit. Nilai rasio disolusi 86,4%, 92,8%, 95,1% dan 96,6% Ni masing-masing diperoleh setelah 30, 60, 90 dan 120 menit leaching pada rasio asam/bijih 0,3 dan suhu pelindian 240°C.

Tahapan selanjutnya setelah proses pelindian adalah mengambil kembali (*recovery*) nikel-kobalt dari larutan PLS. Ada dua metode yang umum untuk mengambil kembali (*recovery*) nikel dan kobal dari larutan PLS yakni metode 1) metode *solvent* atau *liquid-liquid extraction* dan 2) *intermediate precipitate*. Metode ekstraksi pelarut (*solvent extraction*) dilanjutkan dengan *electrowinning* untuk lkan produk akhir logam nikel dan kobalt berupa katoda. Metode *ate precipitate* menggunakan agen pengendap seperti Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH dan tuk menghasilkan produk intermediate dalam bentuk *mixed hydroxide*



*precipitate* (MHP) dan *mixed sulphide precipitate* (MSP). Salah satu metode yang dianggap efisien untuk *recovery* nikel dan kobalt adalah pengendapan nikel-kobalt dalam bentuk *mixed hydroxide precipitate* (MHP).

Beberapa jurnal penelitian terkait dengan uji presipitasi untuk mengambil kembali (*recovery*) nikel-kobalt dalam bentuk nikel hidroksida telah dilakukan oleh Mubarak (Mubarak and Lieberto, 2013) dan Safitri dkk (Safitri et al., 2018). Adapun pemisahan nikel-kobalt serara langsung dari PLS dengan ekstraksi pelarut dilakukan oleh (Mubarak and Hanif, 2016).

- 1) Penelitian dengan judul *Precipitation of Nickel Hydroxide from Simulated and Atmospheric-Leach Solution of Nickel Laterite Ore*, *Procedia Earth and Planetary Science* oleh Mubarak and Lieberto (2013), Material untuk uji presipitasi nikel hidroksida diambil dari larutan PLS hasil ekstraksi *agitation leaching (atmospheric)* contoh bijih laterit nikel dari Pulau Gag. Variabel uji antara lain: pengaruh pH, temperatur, penambahan agen, tipe agen penetral (seperti NaOH, NH<sub>3</sub> and MgO) terhadap persentase presipitasi nikelnya. Persentase presipitasi nikel hidroksida tertinggi 99,9% diperoleh pada kondisi bawah pH 9 pada temperatur 50°C. Pengendapan nikel hidroksida dalam larutan buatan mengikuti kinetika reaksi orde pertama dengan energi aktivasi 21,5 kJ / mol. Penggunaan MgO sebagai agen penetral menunjukkan persentase dari presipitasi nikel dan kinetika presipitasi lebih baik daripada agen NH<sub>3</sub> dan NaOH.
- 2) Penelitian dengan judul *Recovery of Nickel and Cobalt as MHP from Limonitic Ore Leaching Solution: Kinetics Analysis and Precipitate Characterization* diambil dari *Proceedings of the International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM2017)* yang diteliti oleh Safitri dkk pada (2017). Uji presipitasi produk *Mixed Hydroxide Precipitation* (MHP) nikel dan kobalt dari larutan PLS hasil ekstraksi leaching bijih nikel limonit dari Soroako yang telah dipisahkan logam besi dari larutan PLS tersebut dengan menggunakan *slurry* MgO sebagai *seed*/ agen penetral dan kontrol pH, suhu, ama presipitasi dan penambahan *seed* (agen penetral MgO). Presipitasi pada pH = 7, suhu = 50°C selama 30 menit, tanpa penambahan *seed* agen penetral menghasilkan *recovery* nikel dan kobalt masing-masing 82,8% dan 92%,



dengan co-presipitasi besi dan mangan masing-masing 70% dan 24,2%. Penambahan *seed* meningkatkan presipitasi secara signifikan untuk nikel dan kobalt masing-masing menjadi 99,9% dan 99,1%. Namun, dengan penambahan *seed* ke dalam menyebabkan peningkatan signifikan presipitasi mangan dari 24,2% menjadi 39,5% pada penambahan 1 g *seed* per 200 mL PLS

- 3) Penelitian dengan judul *Cobalt and Nickel Separation in Nitric Acid Solution by Solvent Extraction Using Cyanex 272 and Versatic 10* diambil dari jurnal *Procedia Chemistry 19* diteliti oleh M.Z. Mubarak dan L.I. Hanifa diteliti pada tahun 2016, Uji pemisahan nikel dan kobalt dari larutan *Pregnant Leach Solution* (PLS) dengan menggunakan *solvent extraction* (SX) Cyanex 272 and Versatic 10. Larutan *Pregnant Leach Solution* (PLS) dari bijih limonite Halmahera yang dileach dengan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) konsentrasi 8M pada temperatur  $95^\circ\text{C}$  selama 8 jam. Larutan PLS mengandung: Ni = 1.13 g/l, Co = 0.14 g/l, Fe = 30.52 g/l, Mg = 3.47 g/l and Al = 2.14 g/l. Pemisahan nikel dan kobalt dari PLS dengan beberapa variabel: variasi pH kesetimbangan, konsentrasi ekstraktan, suhu dan rasio volume organik ke fase berair (rasio O/A). Peningkatan kesetimbangan pH, konsentrasi ekstraktan, rasio O/A dan suhu cenderung meningkatkan ekstraksi kobalt dan ko-ekstraksi nikel. Kondisi terbaik untuk pemisahan Co dan Ni diperoleh pada kesetimbangan pH = 5, konsentrasi Cyanex 272 = 20% (v/v), suhu =  $25^\circ\text{C}$  dan rasio O/A = 1/1. Pemisahan Co-Ni dan Mg dari PLS dapat dilakukan dengan baik melalui 2 tahap -SX menggunakan Versatic 10 diikuti oleh Cyanex 272 dan stripping secara selektif kandungan organik dari ekstraksi tahap kedua dengan menggunakan asam sulfat 1 molar.





**Tabel 2.1** Ringkasan hasil penelitian terdahulu terkait ekstraksi Ni-Co dari bijih laterit nikel

NO.	JUDUL	PENELITI	MATERIAL BIJIH	PARAMETER	ASAM	HASIL
1	Innovative technology for processing saprolitic laterite ores by hydrochloric acid atmospheric pressure leaching	(Guo dkk., 2015)	Bijih saprolit Filipina, Ni 1.57%, Co 0.046%, Fe 20.95%, Mg 12.57%, Si 12.36%, Cr 0.62%, Al 0.96%.	Suhu pelindian 80°C, waktu 60 menit, konsentrasi asam 25% dan rasio cairan-padatan 3,5 ml /g,	HCl	PLS 98,9% Ni, 97,8% Fe dan 80,9% Mg
2	Nickel Extraction From Gördes Laterites By Hydrochloric Acid Leaching	(Göveli, 2006)	Bijih limonite Manisa-Gördes, 1.84 % Ni, 0.13 % Co, Fe 56.8% dan MgO 0.5%	Suhu pelindian 100°C, waktu 120 menit, konsentrasi asam 3N, rasio kepadatan solid/liquid 1/30	HCl	PLS 87,26% Ni
3	Counter-Current Leaching of Low-Grade Laterites with Hydrochloric Acid and Proposed Purification Options of Pregnant Solution	(Mystrioti dkk., 2018)	Bijih saprolit Ari Larco Kastoria (northern Greece), Ni 0.88%, Co 0.06%, Fe 22.42%, Mg 7.58%, Si 0.04%, Al 0.48%, Ca 2.78%, Cr 0.19%, Mn 0.42% dan LOI 13.22	Suhu pelindian 80°C, agitator 500 rpm, konsentrasi asam 4M dan density bubuk ( <i>pulp</i> ) 10-30% w/v).	HCl	PLS 98% Ni dan 96% Co. presipitasi pemisahan 40%Ni and 38% Co
4	Dissolution Behaviour of Lateritic Nickel Ore in HCl and HCl-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH-H <sub>2</sub> O Medias	(Türkmen dkk., 2018)	Bijih saprolit Karacam, Turki Ni 1,87%, Co 0,09%, Fe 26,77%, Mg 3,39%, LOI 11,44	Suhu pelindian 70°C, waktu 90 menit, Konsentrasi asam HCL 8N	HCl	PLS 97,0 % Ni dan Fe 97,8%
5	Extraction Of Nickel And Cobalt From Lateritic Ores by Hydrochloric Acid	(Saka, 2014)	Bijih laterit (limonite 70% dan nontronite 30%) Gordes/Manisa, Turki limonite Ni 1.28%, Co 0.083%, Fe 28.70,%, As 0.68%, Al 3.09%, Mg 1.36%,	Suhu pelindian 104°C, waktu 48 jam, ukuran partikel -600 um, konsentrasi HNO <sub>3</sub> 378 g/l, rasio S/L 1/5 wt/vol.	HNO <sub>3</sub>	PLS 95,4% Ni dan 96,6% Co. Konsumsi asam nitrat 1.282 kg/ton bijih kering



			Cr 1.36% dan SiO <sub>2</sub> 28.80%. Nontronite Ni 1.20%, Co 0.068%, Fe 15.95%, As 0.02%, Al 2.80%, Mg 4.15%, Cr 0.36% dan SiO <sub>2</sub> 44.90%.			
6	Studi perilaku pelindian bijih besi nikel limonit dari Pulau halmahera dalam larutan asam nitrat	(Fathoni dan Mubarak, 2015)	Bijih limonite Halmahera, Ni 1,08%, Fe 25,91%, SiO <sub>2</sub> 39,31%, MgO 7,68%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5,27%, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 37,01%, MnO 0,54%, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,6%, CaO 0,27%, K <sub>2</sub> O 0,011%	Suhu pelindian 95°C, waktu 8 jam, konsentrasi asam nitrat HNO <sub>3</sub> 6M, rasio padat/cair 10%	HNO <sub>3</sub>	PLS dengan 94% Ni
7	Study On Mineralogy and Chemistry Of The Saprolitic Nickel Ores From Soroako, Sulawesi, Indonesia: Implication For The Lateritic Ore Processing	(Sufriadin dkk., 2011)	Bijih saprolit Soroako, West Ore (WO) Ni 2.13%, Co 0.02%, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 15.78%, SiO <sub>2</sub> 49.24, MgO 23.21%, LOI 7.23; East Ore (EO) Ni 1.77%, Co 0.02%, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 24.97%, SiO <sub>2</sub> 38.87, MgO 15.45%, LOI 12.05	Suhu pelindian 90°C, waktu 150 menit (WO) dan 120 menit (EO), kecepatan agitasi 500 rpm, Konsentrasi asam sulfat 25%	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PLS WO 47% Ni, dan 70% Co  PLS EO 58% Ni dan 48% Co
8	Leaching Behaviour of A Turkish Lateritic Ore In The Presence of Additives	(Basturkcü dan Acarkan, 2016)	Bijih limonite Caldag Region of Manisa, Turkey, Ni 1.2%, Co 0.062%, Fe 24.8%, SiO <sub>2</sub> 40.9%, MgO 5.88%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 4.0%, CaO 0.66%, MnO 0.383%, dan LOI 9.26	Suhu pelindian 80°C, waktu 8 jam kecepatan agitasi 500 rpm, rasio padat/cair 10%	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PLS 98,2% Ni 98,9% Co dan 98,6% Fe



9	Atmospheric pressure leaching of nickel from a low-grade nickel bearing ore	(Javanshir dkk., 2018)	Bijih limonit Sarbisheh, Southern Khorasan, Iran, NiO 0.8%, Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 0.1%, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 62.1%, MgO 0.64%, SiO <sub>2</sub> 24.5%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.12%,	Suhu pelindian 90°C , waktu 120 menit, konsentrasi asam H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 5M, rasio 0.25 g/cm <sup>3</sup> S/L. Pra kalsinasi 540°C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PLS 95% Ni
10	Leaching behavior of metals from limonitic laterite ore by high pressure acid leaching	(Guo dkk., 2011)	Bijih limonit Tubay Region, Minadanao Filipina , Ni 1.28%, Co 0.17%, Fe 45.81%, Al 2.90%, Si 1.55%, Cr 1.22%, Ca 1.01%, Mg 0.76%, Mn 0.86%	Suhu pelindian 250°C , waktu pelindian 1 jam dan rasio S/L 1/3.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PLS 97% Ni, 96% Co, 93% Mn dan 95% Mg
11	High Pressure Acid Leaching of Refractory Lateritic Nickel Ore	(Kaya dan Topkaya, 2011)	Bijih limonit dari Gordes / Manisa, Turki , Ni 1.28%, Co 0.083%, Fe 28.70%, MgO 2.26%, SiO <sub>2</sub> 28.8%, MnO 0.59%	Suhu pelindian 255°C , waktu 60 menit, ukuran partikel 100% - 850 micron, rasio berat asam sulfat/ bijih 0,30.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PLS 87,3% Ni dan 88,8% Co
12	High Pressure Sulphuric Acid Leaching Of Lateritic Nickel Ore	(Ucyildiz dan Girgin, 2017)	Ni 1.37%, Co 0.076%, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 47.72%, sio <sub>2</sub> 29.44%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 4.02%, mgo 1.56%, cao 1.91%, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 32.38%, mno 0.75% dan S 0.03%	Suhu pelindian 240°C , waktu 120 menit, rasio asam/ bijih (0,1-0,6 g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> / g bijih kering)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PLS 96,6% Ni
13	Leaching Behaviour of Limonite Ores from Lapaopao, Southeast Sulawesi, Indonesia: Effect of Ore Mineralogy and Acid	S. Onggang dkk., 2024	Bijih limonit Lapaopao, Sulawesi, Ni 1.29%, Co 0.13%, Fe 38.8%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 14.4%, MgO, 2.43%	Suhu pelindian (60°C, 80°C, 100°C, Waktu (2,4,8) jam, Konsentrasi 4 M, rasio padat/cair % (10,20,30)	HNO <sub>3</sub> , HCL & H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Leaching (PLS) dan presipitasi (concentrate MHP)



### II.3.2. Kebaruan Riset

Ada beberapa novelty atau kebaruan yang diharapkan dalam penelitian ini baik yang bersifat perbaikan (*improvement*) maupun yang bersifat temuan baru (*invention*). Kebaruan yang bersifat perbaikan merupakan peningkatan metode kerja dari teori/ praktek yang sudah ada sebelumnya sedangkan kebaruan yang bersifat temuan baru akan menjadi salah satu opsi metode baru tambahan yang dapat merubah/ mengganti sebagian metode sebelumnya dalam proses ekstraksi nikel-kobal dari bijih limonit yang dinilai kurang efektif. Nilai kebaruan dalam kaitannya dengan perbaikan yang dimaksudkan disini yakni pemilihan parameter-parameter yang tepat yang akan digunakan pada proses *leaching* untuk mendapatkan hasil ekstraksi nikel-kobal yang optimal dimana hal ini memang belum pernah dilakukan untuk studi pada bijih nikel limonit kadar rendah di daerah Lapaopao.

Salah satu kebaruan yang bersifat temuan baru yang didapatkan dalam penelitian ini adalah identifikasi mineral bijih yang ada di limonit sebagai mineral kunci yang berpengaruh terhadap proses pelindian Ni yang dilakukan secara *atmospheric leaching*. Adapun nilai kebaruan yang bersifat temuan baru lainnya dalam penelitian ini adalah proses pemisahan logam Fe dan Al dari larutan PLS yang dilakukan secara bertahap (*multi stage precipitation*) dengan menggunakan agen penetral  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  untuk presipitasi logam Fe dan Al dan agen penetral NaOH untuk presipitasi Ni dalam bentuk hidroksida (MHP). Secara teoritis, penggunaan kedua agen penetral yakni  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan NaOH ini sangat memungkinkan digunakan dalam proses ekstraksi bijih limonit kadar rendah ini dan secara praktek kedua agen ini sudah banyak digunakan sebagai agen penetral dalam industri lain yang berbeda.

Ada beberapa tahap dalam penelitian ini yang merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya, penelitian ini secara langsung membandingkan performa media asam yang umum digunakan dalam proses leaching. Hal ini dilakukan untuk melihat secara langsung efektivitas masing – masing media asam dalam rak logam – logam target. Secara keseluruhan proses, pemilihan NaOH mengendapkan nikel dalam bentuk *Mixed Hydroxide Precipitate* (MHP) dan metode yang dilihat baru digunakan dimana penelitian-penelitian



sebelumnya lebih banyak menggunakan MgO. Pengembangan metode pengendapan MHP menggunakan NaOH akan dilakukan dengan perlakuan pH dan konsentrasi yang berbeda sehingga dapat diperoleh kondisi yang optimum.

Secara umum, penelitian ini dilakukan pada rentang suhu yang relatif rendah (70°C–100°C) untuk meminimalkan penggunaan energi. Dari sudut pandang kebaruan penelitian, proses hidrometalurgi yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dikategorikan sebagai proses *low temperature atmospheric leaching*.

Dalam penelitian ini, peneliti mencoba mengkombinasikan beberapa metode yang telah ada untuk mengatasi beberapa kekurangan sebelumnya. Untuk itu, beberapa simulasi dengan kombinasi parameter yang akan diuji coba. Peneliti tetap memilih jalur pemrosesan *Atmospheric Leaching* dengan beberapa tambahan inovasi yang akan diterapkan dalam uji laboratorium.

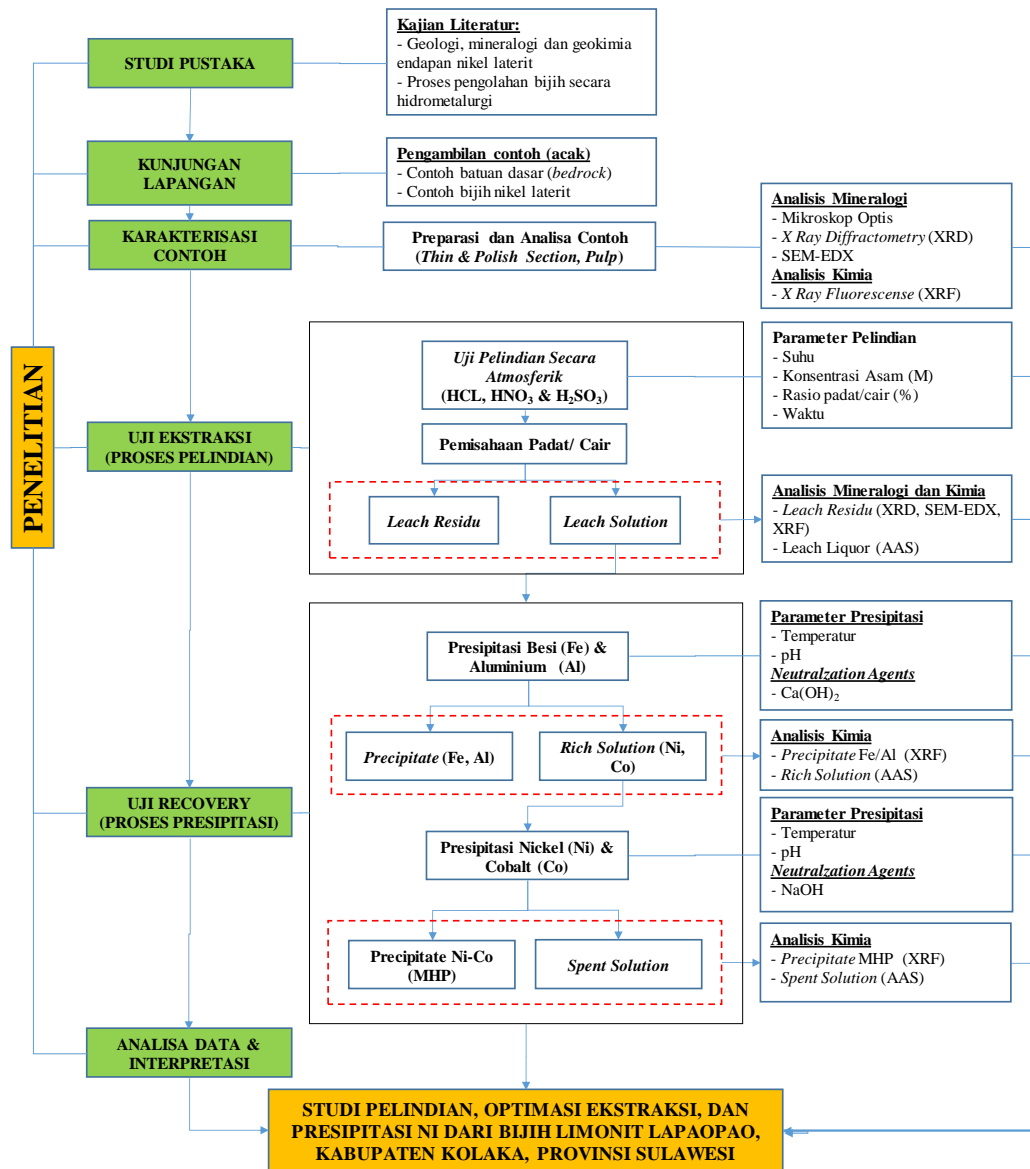
#### II.4. Bagan dan Kerangka Operasional

Bagan kerangka operasional penelitian merupakan bagan atau skema yang menerangkan urutan prosedur penelitian yang dilakukan mulai dari awal sampai dengan analisis data. Dengan mempertimbangkan target waktu, biaya dan hasil yang akan dicapai maka beberapa tahapan kegiatan telah dirancang sedemikian rupa agar target dan tujuan penelitian bisa tercapai dengan baik. Beberapa kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat diringkas menjadi beberapa tahapan antara lain: 1) Studi Pustaka, 2) Kunjungan Lapangan, 3) Karakterisasi Conto, 4) Uji ekstraksi dan 5) Uji *recovery* (**Gambar 2.2**).

Berdasarkan kerangka operasional penelitian yang telah dibuat maka penulisan Disertasi ini akan diuraikan dalam 4 (empat) topik yakni:

- 1) Model profil endapan nikel laterit dan potensi pengayaan skandium berdasarkan analisis mineralogi dan geokimia dari endapan laterit Lapaopao
- 2) Pengaruh mineralogi dan jenis asam terhadap perilaku pelindian Ni secara atmosferik dari bijih limonit Lapaopao
- 3) Optimasi ekstraksi nikel dari bijih limonit lapaopao dengan pelindian atmosferik menggunakan asam klorida
- 4) Optimasi *recovery* Ni dari pregnant leach solution (pls) hasil pelindian secara atmosferik bijih limonit lapaopao





Gambar 2.2 Diagram alir kerangka operasional tahapan penelitian

