

## Efek Pemanasan Terhadap Tingkat Pelindian Nikel Dan Kobalt Dari Bijih Limonit Pulau Kabaena Menggunakan Asam Sulfat

### *Effects of Roasting on Nickel and Cobalt Leaching Rates from Kabaena Island Limonite Ore Using Sulfuric Acid*

Ridwan Saputra<sup>1\*</sup> dan Sufriadin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

\*e-mail penulis: ridwansaputra2709@gmail.com

#### ABSTRAK

Pemanfaatan bijih limonit sangat mendesak untuk dilakukan karena ketersediaan bijih berkadar tinggi yang semakin berkurang. Bijih limonit lebih cocok diolah secara hidrometalurgi, seperti pelindian pada tekanan atmosfer. Proses pemanasan bijih dapat meningkatkan porositas mineral, sehingga logam lebih mudah diekstraksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efek pemanasan terhadap tingkat pelindian nikel dan kobalt dari bijih limonit menggunakan asam sulfat. Pemangangan bijih dilakukan pada suhu antara 100°C hingga 600°C dengan interval 100°C, kemudian dilakukan pelindian menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi 2 M, suhu pelindian 80°C, persen padatan 10%, dan kecepatan pengadukan 400 rpm selama 1 jam. Karakterisasi sampel menggunakan analisis mikroskopis, *X-Ray Diffraction*, *X-Ray Fluorescence*, dan *Atomic Absorption Spectrophotometry*. Hasil analisis mineralogi menunjukkan bahwa sampel tersusun dari *quartz* (SiO<sub>2</sub>), *tal* (Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>(OH)<sub>2</sub>), *goethite* (FeOOH), *lizardite* (Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>9</sub>(OH)<sub>4</sub>), *montmorillonite* (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>), dan *gibbsite* (Al(OH)<sub>3</sub>). Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa sampel mengandung SiO<sub>2</sub> (42,17%), Ni (1,67%), Co (0,06%), Fe (18,84%), MgO (4,48%), dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,83%). Setelah pemangangan bijih dengan suhu 500°C beberapa mineral bertransformasi menjadi fasa mineral lain, yaitu *goethite* menjadi *hematite-proto* dan *tal* menjadi *spinel*. Masing-masing tingkat pelindian nikel dan kobalt maksimum terjadi pada suhu pemangangan 600°C dan 500°C sebesar 54,07% dan 15,90%. Oleh karena itu, pemanasan bijih memiliki pengaruh terhadap tingkat pelindian nikel dan kobalt karena dapat mengubah struktur utama mineral yang tidak berharga dan kristal *goethite* menjadi *hematite*, sehingga interaksi lebih cepat antara larutan pelindian dengan logam nikel dan kobalt selama proses pelindian.

**Kata kunci:** Nikel, Kobalt, Pemangangan Bijih, Hidrometalugi, Asam Sulfat

#### ABSTRACT

*The utilization of limonite ore is urgent due to the diminishing availability of high-grade ore. Limonite ore is more suitable for hydrometallurgical processing, such as leaching at atmospheric pressure. Roasting the ore can increase the porosity of the mineral, making it easier to extract the metals. This study aims to analyze the effect of roasting on the leaching rate of nickel and cobalt from limonite ore using sulfuric acid. Ore roasting was carried out at temperatures between 100°C and 600°C with an interval of 100°C, then leached using sulfuric acid with a concentration of 2 M, a leaching temperature of 80°C, a solids percentage of 10%, and a stirring speed of 400 rpm for 1 hour. The samples were characterized using microscopic analysis, X-Ray Diffraction, X-Ray Fluorescence, and Atomic Absorption Spectrophotometry. Mineralogical analysis showed that the samples were composed of quartz (SiO<sub>2</sub>), talc (Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>(OH)<sub>2</sub>), goethite (FeOOH), lizardite (Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>9</sub>(OH)<sub>4</sub>), montmorillonite (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>),*

#### How to Cite:

Saputra, R., Sufriadin, S. 2024. Efek Pemanasan Terhadap Tingkat Pelindian Nikel Dan Kobalt Dari Bijih Limonit Pulau Kabaena Menggunakan Asam Sulfat. Mining Science and Technology Journal, 3 (3): 158 – 167.

---

#### Published By:

Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara

#### Address:

Jl. Kapt. Piere Tendean, No. 109, Baruga, Kota  
Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara

#### Article History:

Submited 13 August 2024  
Received in from 31 Desember 2024  
Accepted 31 Desember 2024

and gibbsite ( $Al(OH)_3$ ). The chemical analysis results show that the samples contain  $SiO_2$  (42.17%), Ni (1.67%), Co (0.06%), Fe (18.84%), MgO (4.48%), and  $Al_2O_3$  (3.83%). After roasting the ore at 500°C some minerals transformed into other mineral phases, namely goethite to hematite- proto and talc to spinel. The maximum nickel and cobalt leaching rates occurred at roasting temperatures of 600°C and 500°C at 54.07% and 15.90%, respectively. Therefore, ore roasting has an influence on the leaching rate of nickel and cobalt because it can change the main structure of worthless minerals and goethite crystals to hematite, resulting in faster interaction between the leaching solution and the nickel and cobalt metals during the leaching process.

**Keywords:** Nickel, Cobalt, Ore Roasting, Hydrometallurgy, Sulfuric Acid

## PENDAHULUAN

Sumber daya nikel saat ini termasuk bijih nikel sulfida dan bijih nikel laterit, yang masing-masing menyumbang sekitar 30% dan 70% dari cadangan nikel dunia. Namun, lebih dari 60% produksi nikel berasal dari bijih nikel sulfida karena nikel dalam bijih sulfida dapat dengan mudah diperkaya dan diperoleh kembali dengan flotasi konvensional serta pemisahan magnetik dan gravitasi. Bijih nikel sulfida tingkat tinggi telah dieksploitasi terlebih dahulu dan semakin menipis, maka bijih nikel laterit dengan kadar nikel rendah secara bertahap menjadi sumber daya utama untuk produksi nikel (Bahfie dkk., 2021). Pemanfaatan bijih limonit sangat mendesak untuk dilakukan karena ketersediaan bijih berkadar tinggi yang semakin berkurang, sebagai upaya peningkatan nilai tambah bijih berkadar rendah serta efektivitas penambangan karena keberadaan lapisan bijih limonit yang berada di atas lapisan bijih saprolit (Fathoni dan Mubarak, 2015). Lapisan limonit adalah tempat terakumulasinya konsentrasi unsur residual selama laterisasi dan pencucian terjadi. Lapisan limonit menyisakan kelompok unsur (Fe, Al, Mn, dan Cr). Pada lapisan ini pengayaan nikel dapat terikat pada struktur mineral *goethite* bersama sejumlah unsur seperti aluminium, mangan dan kromium (Masri dkk., 2023).

Proses pengolahan nikel laterit dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu proses pirometalurgi dan proses hidrometalurgi. Nikel laterit jenis saprolit lebih cocok untuk diolah dengan menggunakan proses pirometalurgi, sedangkan proses hidrometalurgi lebih cocok digunakan untuk mengolah nikel laterit jenis limonit (Mukhtar dkk., 2022). Seiring dengan meningkatnya kebutuhan nikel, diperlukan metode pengolahan nikel laterit yang lebih ekonomis. Untuk bijih nikel laterit jenis limonit lebih cocok diolah secara hidrometalurgi, seperti pelindian pada tekanan atmosfer. Proses pelindian atmosferik dipilih karena membutuhkan biaya investasi dan mempunyai resiko teknis yang relatif rendah. Selain itu, proses ini mampu memberikan *recovery* logam-logam bernilai yang tinggi seperti Ni dan Co serta memerlukan energi rendah, sehingga sangat efisien dari segi ekonomi dan operasional (Febriana dkk., 2018).

Pada proses pemisahan nikel secara hidrometalurgi terdapat faktor faktor yang mempengaruhi ekstraksi nikel yaitu jenis asam, pemanasan bijih, suhu, dan konsentrasi larutan. Jenis dan konsentrasi asam memberikan pengaruh terhadap persen ekstraksi nikel. Selain itu pengaruh perlakuan awal bijih nikel menggunakan proses pemanasan bijih juga berpengaruh terhadap hasil persen ekstraksi nikel. Proses pemanasan bijih menyebabkan terjadinya perluasan mineral yang mengakibatkan porositas jadi lebih besar sehingga memudahkan terjadinya interaksi asam dengan mineral dan logam lebih mudah diekstraksi. Ekstraksi nikel laterit menggunakan pelarut asam kuat yaitu asam sulfat, asam klorida, dan asam nitrat (Yanuar dkk., 2024).

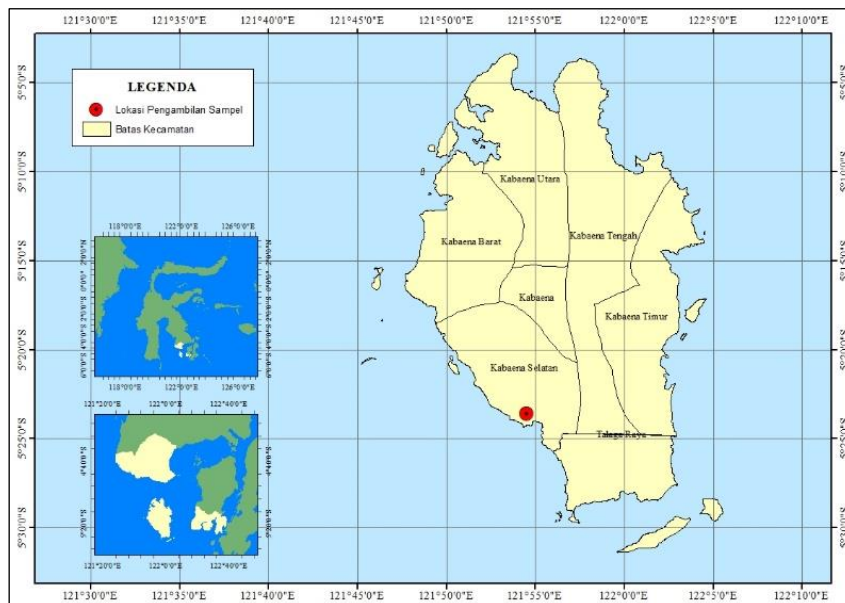
*Atmospheric leaching* menjadi perhatian karena dapat beroperasi pada temperatur > 100°C pada tekanan atmosferik, dapat mengolah bijih nikel laterit kadar rendah, memiliki biaya operasi rendah, dan dapat diaplikasikan pada bijih nikel limonit dan saprolite (Wahab dkk., 2021). Salah satu faktor yang mempengaruhi proses ekstraksi nikel secara hidrometalurgi yaitu faktor temperatur dan rasio padat cair. Penelitian yang dilakukan oleh (Solihin dan Firdiyono, 2018) menunjukkan bahwa persentase ekstraksi nikel bervariasi pada rentang suhu 30°C hingga 90°C. Pada suhu rendah, persentase ekstraksi nikel sangat rendah yaitu sekitar 36%, sementara pada suhu tinggi, persentase ekstraksi nikel

meningkat drastis mencapai sekitar 70% pada suhu 90°C. Hasil percobaan tersebut membuktikan bahwa suhu berpengaruh terhadap persentase ekstraksi logam. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi *Atmospheric Leaching* (AL) menggunakan variasi suhu pemanasan bijih untuk menganalisis efek pemanasan terhadap tingkat pelindian nikel dan kobalt dari bijih limonit menggunakan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) yang diharapkan dapat menjadi alternatif solusi dalam pengolahan bijih nikel laterit kadar rendah.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel bijih nikel laterit jenis limonit dilakukan di Pulau Kabaena, tepatnya pada Blok A1-07 PT Anugrah Harisma Barakah (AHB) *Site* Malapulu. PT Anugrah Harisma Barakah adalah salah satu perusahaan swasta yang ada di Indonesia dengan bahan galian yang diproduksi yaitu nikel, yang secara administratif berlokasi di Desa Pongkalaero, Kecamatan Kabaena Selatan, Kabupaten Bombana dan Desa Kokoe, Kecamatan Talaga Raya, Kabupaten Buton Tengah, Provinsi Sulawesi Tenggara. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *random sampling*, dimana pengambilan sampel dilakukan pada sembarang titik di area penambangan. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel bijih nikel laterit jenis limonit

### Preparasi Sampel

Preparasi sampel adalah proses persiapan sampel atau pengurangan massa dan ukuran dari *gross sample* sampai pada ukuran yang sesuai dengan ketentuan agar layak untuk diuji di laboratorium. Tujuan preparasi yaitu untuk menyiapkan suatu zat atau material yang akan dianalisis di laboratorium. Preparasi sampel meliputi beberapa tahapan yaitu pencampuran sampel, reduksi ukuran sampel, pengayakan sampel, dan penimbangan sampel.

### Pemanggangan Sampel Bijih

Pemanggangan sampel bijih (*roasting*) adalah proses pemanasan sampel bijih limonit dibawah titik lelehnya (*fusion temperature*) dengan adanya udara berlebih. *Roasting* dilakukan sebagai proses *pre-treatment* bijih sebelum dilakukan proses pelindian. Proses pemanggangan bijih ini dapat memberikan efek berupa penghilangan unsur lain melalui proses penguapan sehingga membuka poros lapisan laterit dan mengubah fase mineral pembawa Fe, Mg, dan Si (Prameswara, 2023). Proses pemanggangan sampel bijih limonit dilakukan menggunakan *Muffle Furnace* tipe Yamato FO310 dengan suhu 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, dan 600°C selama 2 jam.

## Pengenceran Reagen Pelindian

Pengenceran adalah proses penurunan konsentrasi larutan dengan penambahan zat pelarut seperti air murni (akuades) ke dalam larutan yang pekat untuk menurunkan konsentrasi larutan dari yang semula pekat menjadi lebih encer sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan. Kegiatan pengenceran reagen pelindian dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) sebesar 2 Molar. Konsentrasi 2 M larutan asam sulfat diperoleh dengan menuangkan asam sulfat pekat ( $H_2SO_4$  98%) sebanyak 109 mL ke dalam *beaker glass*, kemudian dicampurkan air murni (akuades) sebanyak 891 mL, lalu diaduk perlahan sampai merata sehingga diperoleh larutan dengan volume 1000 mL larutan asam sulfat dengan konsentrasi sebesar 2 M.

## Pelindian

Pelindian adalah proses ekstraksi material atau zat terlarut dari padatan dengan menggunakan cairan sebagai bahan pelarutnya (reagen). Kegiatan pelindian dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat pekat ( $H_2SO_4$  98%) dengan kondisi pelindian yaitu konsentrasi asam pelarut 2 M, waktu pelindian 1 jam, suhu pelindian  $80^\circ C$ , persen padatan 10% (10 gram sampel bijih limonit dalam 100 mL pelarut asam sulfat) dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Pada tahap pelindian yang harus diperhatikan yaitu semua komponen yang dibutuhkan dalam pelindian ini sudah terpasang sesuai dengan fungsinya masing-masing dan juga suhu pelindian berada pada suhu  $80^\circ C$  dengan putaran *magnetic stir bar* tepat pada bagian tengah dari labu leher dua.

## Penyaringan (Filtrasi)

Penyaringan adalah proses pemisahan partikel zat padat dari fluida dengan melewati fluida tersebut melalui suatu medium penyaring atau medium berpori (*filter cloth*), dimana zat padat itu tertahan. Metode penyaringan yang digunakan yaitu metode *Buchner*. Metode penyaringan *Buchner* menggunakan corong *buchner* pada labu *Erlenmeyer*, kertas saring dan pompa vakum. Fungsi dari vakum dapat mempercepat proses penyaringan dan filtrat hasil metode ini lebih jernih. Kertas saring yang digunakan pada penelitian ini yaitu kertas saring Whatman Nomor 42 dengan diameter disesuaikan dengan diameter corong *buchner*. Hasil dari penyaringan yaitu berupa larutan kaya (*pregnant solution*) dan residu.

## Karakterisasi Sampel

Karakterisasi sampel adalah proses yang bertujuan untuk menentukan sifat-sifat fisik, kimia, dan mineralogi dari suatu sampel. Metode yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari mikroskopis, *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), dan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

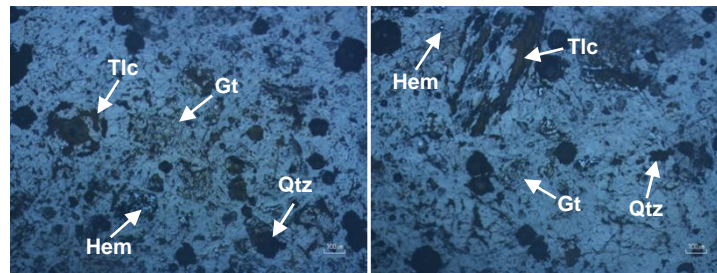
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Sampel Bijih Limonit

Karakterisasi bijih limonit yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu karakterisasi mineralogi dan karakterisasi kimia. Karakterisasi mineralogi bertujuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis mineral, struktur kristal, bentuk, ukuran, dan distribusi mineral yang terdapat pada sampel bijih limonit, sedangkan karakterisasi kimia bertujuan untuk menentukan jenis dan jumlah unsur-unsur serta senyawa kimia yang terdapat pada sampel bijih limonit. Karakterisasi mineralogi menggunakan analisis mikroskopis dan *X-Ray Diffraction* (XRD), sedangkan karakterisasi kimia menggunakan analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

### Analisis Mikroskopis

Analisis mikroskopis bijih bertujuan untuk mengidentifikasi mineral-mineral bijih yang terkandung pada sampel bijih limonit. Analisis mikroskopis dilakukan pada sampel awal penelitian dengan mengamati warna, bentuk kristal, dan hubungan antar kristal yang terdapat pada sampel bijih limonit dalam bentuk sayatan poles. Kenampakan mineral dari hasil analisis mikroskop (fotomikrografi) tipe Nikon Eclipse LV100N POL dengan pembesaran 100 $\mu m$  dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Kenampakan mineral hasil analisis mikroskopis sampel bijih limonit

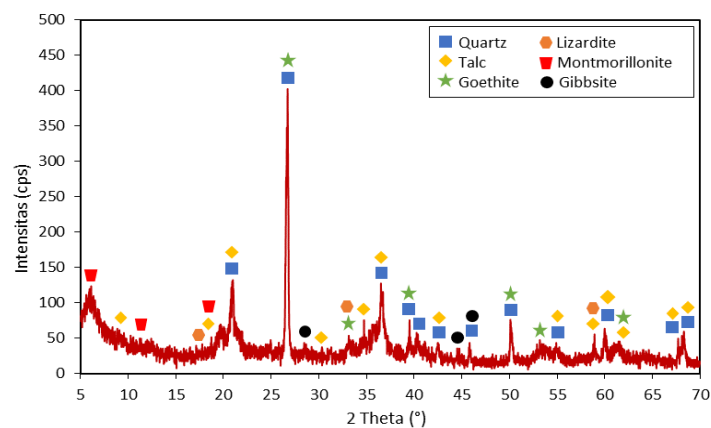
Hasil analisis mikroskopis pada pembesaran 100µm menunjukkan beberapa mineral yang terdapat pada sampel bijih limonit yaitu *quartz* (Qtz), *talc* (Tlc), *goethite* (Gt), dan *hematite* (Hem). Mineral *quartz* (Qtz) diinterpretasikan berwarna hitam dengan bentuk kristal tidak sempurna (*anhedral*) yang berukuran 50-100 µm. Mineral *talc* (Tlc) diinterpretasikan berwarna coklat dengan bentuk kristal *anhedral-subhedral* yang berukuran 50-150 µm. Mineral *goethite* (Gt) diinterpretasikan berwarna putih keabu-abuan dengan bentuk kristal *anhedral-subhedral* yang berukuran 50-300 µm. Mineral *hematite* (Hem) diinterpretasikan berwarna putih dengan bentuk kristal *anhedral-subhedral* yang berukuran 20-40 µm.

### Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu senyawa atau jenis mineral-mineral yang terkandung pada sampel yang hasilnya berupa difraktogram. Karakterisasi mineralogi menggunakan metode XRD ini dilakukan pada sampel awal (sampel bijih limonit sebelum pemanggangan bijih) dan sampel bijih limonit setelah pemanggangan bijih dengan ukuran partikel < 200 mesh (75 micron).

### Sampel Bijih Limonit Sebelum Pemanggangan Bijih

Hasil analisis XRD pada sampel awal bijih limonit berupa difraktogram yang diperoleh menggunakan perangkat lunak *Impact Match!3 trial version* dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Difraktogram sampel awal bijih limonit

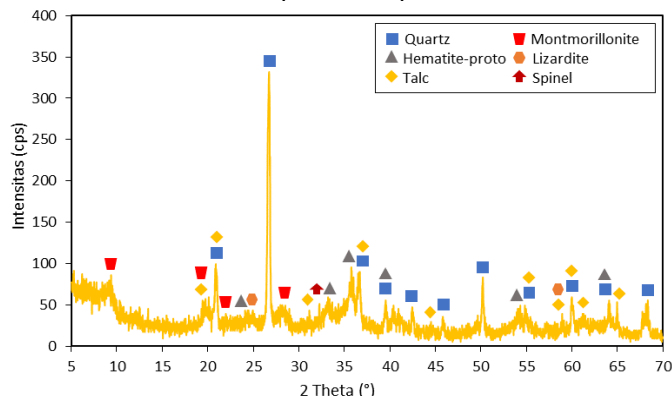
Hasil analisis XRD berupa difraktogram digambarkan dalam grafik intensitas dan sudut difraksi (*2 theta*). Fasa mineral yang terdapat pada sampel awal bijih limonit yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Fasa mineral sampel awal bijih limonit

Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
<i>Quartz</i>	[SiO <sub>2</sub> ]	59,4
<i>Talc</i>	[Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> (OH) <sub>2</sub> ]	23,3
<i>Goethite</i>	[FeOOH]	9,1
<i>Lizardite</i>	[Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>9</sub> (OH) <sub>4</sub> ]	3,8
<i>Montmorillonite</i>	[CaAl <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> ]	2,5
<i>Gibbsite</i>	[Al(OH) <sub>3</sub> ]	1,9

### Sampel Bijih Limonit Setelah Pemanggangan Bijih

Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) pada sampel *roasting* (pemanggangan bijih) dilakukan pada suhu pemanggangan 500°C karena memiliki tingkat pelindian Ni dan Co paling optimal. Hasil analisis XRD pada sampel bijih limonit setelah pemanggangan bijih berupa difraktogram yang diperoleh menggunakan perangkat lunak *Impact Match!3 trial version* dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Difraktogram sampel bijih limonit setelah pemanggangan bijih

Hasil analisis XRD berupa difraktogram digambarkan dalam grafik intensitas dan sudut difraksi (*2 theta*). Fasa mineral yang terdapat pada sampel bijih limonit setelah pemanggangan bijih pada suhu 500°C dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Fasa mineral sampel bijih limonit setelah pemanggangan

Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
Quartz	[SiO <sub>2</sub> ]	58,8
Hematite-proto	[Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ]	17,7
Talc	[Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> (OH) <sub>2</sub> ]	9,8
Montmorillonite	[CaAl <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> ]	7,7
Lizardite	[Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>9</sub> (OH) <sub>4</sub> ]	5,9
Spinel	[MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ]	0,7

### Analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) bertujuan untuk menentukan konsentrasi elemen atau komposisi kimia yang ada pada sampel bijih limonit. Analisis XRF ini dilakukan pada sampel awal penelitian dengan ukuran partikel < 200 mesh dalam bentuk *press pellet*. Hasil dari analisis XRF ini menunjukkan persentase unsur dan senyawa dalam satuan persen yang dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil analisis XRF sampel awal

Sample ID	Komposisi (%)							
	Ni	Co	Fe	SiO <sub>2</sub>	Mg O	Ca O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TA-RS LIM	1,6 7	0,0 6	18,8 4	42,1 7	4,48	0,1 3	3,83	1,13

### Analisis *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS)

Analisis *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) bertujuan untuk menentukan konsentrasi unsur nikel (Ni) dan kobalt (Co) yang terdapat pada sampel bijih limonit menggunakan prinsip absorpsi atom. Analisis AAS ini dilakukan pada sampel awal penelitian dalam bentuk bubuk berukuran < 200 mesh. Hasil analisis AAS ini menunjukkan kandungan unsur Ni dan Co dalam satuan mg/Kg kemudian dikonversi kedalam satuan persen yang dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil analisis AAS sampel awal

Kadar	Unsur	Ni	Co
	(mg/Kg = ppm)	15.562,25	630,79
	(%)	1,56	0,06

## Hasil Pelindian Bijih Limonit

Hasil dari pelindian yaitu berupa larutan hasil pelindian (*pregnant solution*) dan residu pelindian. Larutan hasil pelindian dianalisis menggunakan analisis *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), sedangkan residu hasil pelindian dianalisis menggunakan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD).

### Analisis Larutan Kaya (*Pregnant Solution*)

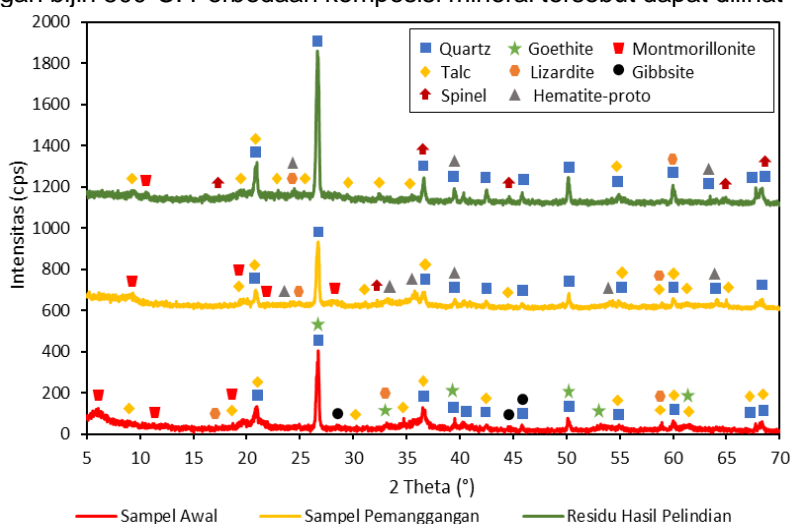
Analisis *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dilakukan pada sampel hasil pelindian dalam bentuk larutan (*pregnant solution*) yang bertujuan untuk menentukan konsentrasi unsur nikel (Ni) dan kobalt (Co). Hasil analisis AAS ini menunjukkan kandungan unsur Ni dan Co dalam satuan mg/L yang kemudian diinterpretasi untuk menentukan suhu pemanggangan dengan tingkat pelindian nikel dan kobalt yang paling optimal dalam larutan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Hasil analisis AAS sampel hasil pelindian berupa larutan kaya (*pregnant solution*) dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil analisis AAS sampel hasil pelindian menggunakan asam sulfat

Sample ID	Suhu Pemanasan (°C)	Ni (mg/L)	Co (mg/L)
T100	100	909,87	11,69
T200	200	994,56	13,26
T300	300	900,54	11,16
T400	400	897,08	9,54
T500	500	1.018,37	13,37
T600	600	1.121,9	13,28

### Analisis Residu Pelindian

Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan pada residu hasil pelindian yang bertujuan untuk mengetahui mineral-mineral yang terdapat pada residu hasil pelindian dan mengetahui perubahan mineral pada sampel penelitian. Residu hasil pelindian yang dianalisis yaitu residu dari sampel yang memperoleh ekstraksi atau tingkat pelindian Ni dan Co yang paling optimal yaitu pada suhu pemanggangan bijih 500°C. Komposisi mineral atau fasa mineral yang terkandung dalam residu hasil pelindian berbeda dengan komposisi mineral pada sampel awal bijih limonit dan sampel setelah pemanggangan dengan suhu pemanggangan bijih 500°C. Perbedaan komposisi mineral tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Perbandingan difraktogram sampel awal, pemanggangan bijih, dan residu hasil pelindian

Berdasarkan perbandingan difraktogram sampel awal bijih limonit, sampel setelah pemanggangan, dan setelah pelindian Gambar 5 menunjukkan bahwa terjadi perubahan intensitas mineral yang ada pada sampel. Hal ini disebabkan karena mineral tersebut mengalami disolusi saat proses pelindian berlangsung. Perbandingan *peak* mineral antara sampel awal bijih limonit, sampel setelah pemanggangan, dan setelah pelindian menunjukkan terjadi peningkatan *peak* pada mineral *quartz* karena tidak mengalami disolusi pada saat pelindian dan terjadi penurunan sebagian *peak* pada mineral *talc*, *spinel*, dan *gibbsite* karena terdisolusi parsial atau sebagian pada saat pelindian, serta terjadi penurunan *peak* pada mineral *goethite*, *lizardite*, *hematite-proto*, dan *montmorillonite* karena mengalami disolusi menyeluruh pada saat pelindian. Pola difraktogram dari masing-masing sampel (sampel awal bijih limonit

dan sampel setelah pemanggangan) menunjukkan bahwa beberapa mineral bertransformasi menjadi fasa mineral lain. Pada suhu pemanggangan 500°C, terlihat intensitas *goethite* berkurang yang menandakan fasa mineral terdekomposisi atau bertransformasi menjadi fasa mineral lain yaitu *hematite- proto*. Pemanggangan pada suhu 500°C juga dapat mengubah *talc* menjadi mineral lain yaitu *spinel*.

### Analisis Tingkat Pelindian Nikel dan Kobalt

Tingkat pelindian adalah persentase dari jumlah logam yang berhasil diekstraksi dari bijih dibandingkan dengan jumlah logam total yang terdapat dalam bijih awal. Tingkat pelindian dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi asam, waktu pelindian, ukuran partikel bijih, dan sifat kimia mineral. Tingkat pelindian yang optimal yaitu dapat memaksimalkan ekstraksi logam dengan menggunakan bahan kimia dan energi yang paling sedikit. Tingkat pelindian logam (Ni dan Co) pada penelitian ini dihitung menggunakan rumus efisiensi pelindian dalam Dong *et al.* (2023) pada Persamaan 1 berikut ini.

$$\eta = \frac{C_i \times V}{m \times W_i} \times 100\% \tag{1}$$

Dimana  $\eta$  (tingkat pelindian, %),  $C_i$  (konsentrasi logam (mg/L) dalam *Pregnant Leach Solution*),  $V$  (volume PLS, L),  $m$  (massa sampel, Kg), dan  $W_i$  (kadar logam, mg/Kg).

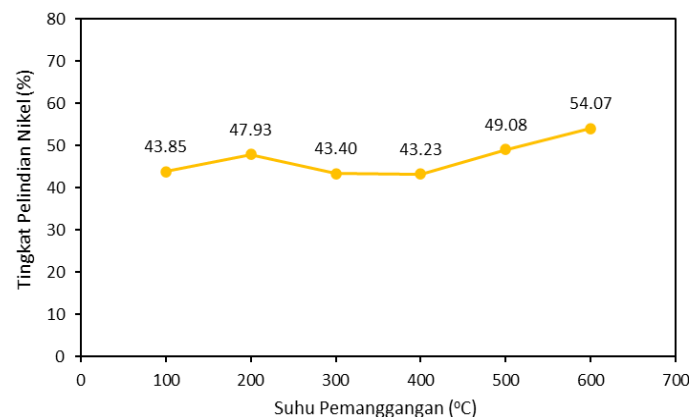
### Tingkat Pelindian Nikel

Tingkat pelindian nikel (Ni) menggunakan asam sulfat pada setiap suhu pemanggangan bijih dihitung menggunakan Persamaan 1 dan diperoleh hasil seperti pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Perolehan nikel dan tingkat pelindiannya setelah pelindian menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Sample ID	Kadar Ni Awal (mg/Kg)	Kadar Ni <i>pregnant solution</i> (mg/L)	Tingkat Pelindian Ni (%)
T100	15.562,25	909,87	43,85
T200		994,56	47,93
T300		900,54	43,40
T400		897,08	43,23
T500		1.018,37	49,08
T600		1.121,9	54,07

Tingkat pelindian nikel berdasarkan pengaruh suhu pemanggangan bijih disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Tingkat pelindian nikel menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada setiap suhu pemanggangan

Berdasarkan grafik tingkat pelindian nikel menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada setiap suhu pemanggangan bijih (Gambar 6) menunjukkan bahwa tingkat pelindian nikel maksimum terjadi pada suhu pemanggangan 600°C dengan tingkat pelindian yang diperoleh yaitu sebesar 54,07%. Hal ini mengidentifikasi bahwa *goethite* sebagai mineral pembawa nikel pada limonit dengan suhu pemanggangan 600°C telah mengalami perubahan atau transformasi menjadi *hematite*, sehingga mineral *goethite* mengalami perombakan dan menimbulkan lebih banyak pori-pori yang menyebabkan terjadinya pelepasan nikel atau lebih banyak nikel yang terekspos sehingga proses ekstraksi lebih mudah terjadi (Li *et al.*, 2009).

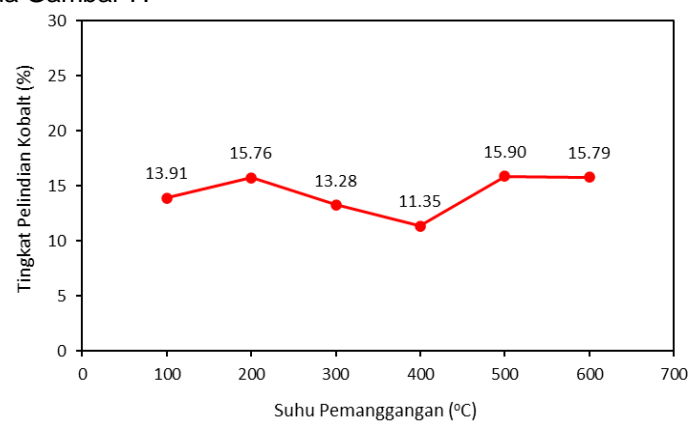
## Tingkat Pelindian Kobalt

Tingkat pelindian kobalt (Co) menggunakan asam sulfat pada setiap suhu pemanggangan bijih dihitung menggunakan Persamaan 1 dan diperoleh hasil seperti pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Perolehan kobalt dan tingkat pelindiannya setelah pelindian menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Sample ID	Kadar Co Awal (mg/Kg)	Kadar Co pregnant solution (mg/L)	Tingkat Pelindian Co (%)
T100	630,79	11,69	13,91
T200		13,26	15,76
T300		11,16	13,28
T400		9,54	11,35
T500		13,37	15,90
T600		13,28	15,79

Tingkat pelindian kobalt berdasarkan pengaruh suhu pemanggangan bijih disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Tingkat pelindian kobalt menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada setiap suhu pemanggangan

Berdasarkan grafik tingkat pelindian kobalt menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada setiap suhu pemanggangan bijih (Gambar 7) menunjukkan bahwa tingkat pelindian kobalt maksimum terjadi pada suhu pemanggangan 500°C dengan tingkat pelindian yang diperoleh yaitu sebesar 15,90%. Menurut Li *et al.* (2009) pelindian kobalt tidak dipengaruhi secara nyata oleh suhu pemanggangan. Hal ini mengimplikasikan bahwa struktur yang terdiri dari mineralogi inang Co yang dominan dalam bijih tidak berubah atau hancur secara signifikan oleh pemanggangan. Hasil percobaan pelindian menunjukkan bahwa tingkat ekstraksi Ni dan Co masih rendah. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pelarutan *goethite* yang tidak sempurna sebagai pembawa Ni dan Co. Oleh karena itu, Ni dan Co yang terlarut dalam larutan pelindian (PLS) kemungkinan besar berasal dari logam yang teradsorpsi pada permukaan *goethite*. Kemungkinan lain dari rendahnya tingkat ekstraksi Ni dan Co pada percobaan ini adalah pembentukan silika berbutir halus selama proses laterisasi atau pembentukan silika amorf selama proses pelindian dapat menyerap Ni dan Co dari PLS (Sufriadin *et al.*, 2020).

## KESIMPULAN

- Berdasarkan analisis mineralogi, komposisi mineral dari sampel bijih limonit Pulau Kabaena tersusun dari mineral-mineral yang didominasi oleh *quartz* (SiO<sub>2</sub>), *talc* (Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>(OH)<sub>2</sub>), *goethite* (FeOOH), *lizardite* (Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>9</sub>(OH)<sub>4</sub>), *montmorillonite* (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>), dan *gibbsite* (Al(OH)<sub>3</sub>). Analisis kimia menunjukkan bahwa sampel termasuk kedalam jenis limonit kadar tinggi karena mengandung Ni > 1,5%. Komposisi kimia dari sampel bijih limonit didominasi oleh SiO<sub>2</sub> sebesar 42,17%. Sementara untuk kadar Ni yaitu sebesar 1,67%, Co sebesar 0,06%, Fe sebesar 18,84%, MgO sebesar 4,48%, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 3,83% dengan rasio S/M yaitu sebesar 9,41.
- Tingkat pelindian nikel maksimum terjadi pada suhu pemanggangan 600°C yaitu sebesar 54,07%. Sedangkan tingkat pelindian kobalt maksimum terjadi pada suhu pemanggangan 500°C yaitu sebesar 15,90%. Oleh karena itu, pemanasan bijih sebelum dilakukan pelindian (*roasting pretreatment*) memiliki pengaruh terhadap tingkat pelindian nikel dan kobalt. Suhu pemanasan

secara signifikan mempengaruhi perolehan logam nikel dan kobalt yang sebagian besar berada pada fasa *goethite* sehingga dapat mengubah struktur utama mineral yang tidak berharga dan kristal *goethite* menjadi *hematite* yang memungkinkan interaksi lebih cepat antara larutan pelindian dengan logam nikel dan kobalt selama proses pelindian.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan perusahaan PT Anugrah Harisma Barakah Site Malapulu yang telah memberikan kesempatan dan dukungan kepada penulis untuk melakukan pengambilan sampel di lokasi penambangan perusahaan dan Ketua Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan kesempatan melakukan penelitian di laboratorium, serta Kak Muhammad Zahran Mubarak, ST., yang telah membantu penulis melakukan analisis sampel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bahfie, F., Manaf, A., Astuti, W., Nurjaman, F., Herlina, U., 2021. Tinjauan Teknologi Proses Ekstraksi Bijih Nikel Laterit. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 17(3): 135-152.
- Dong, B., Tian, Q., Xu, Z., Wang, Q., & Li, D., 2023. *The Effect of Pre-roasting on Atmospheric Sulfuric Acid Leaching of Saprolitic Laterites. Hydrometallurgy*, 218: 1-8.
- Febriana, E., Tristiyan, A., Mayangsari, W., Prasetyo, A. B., 2018. Kinetika dan Mekanisme Pelindian Nikel dari Bijih Limonit: Pengaruh Waktu dan Temperatur. *Majalah Metalurgi*, 33(2): 61-68.
- Li, J., Li, X., Hu, Q., Wang, Z., Zhou, Y., Zheng, J., Liu, W., & Li, L., 2009. *Effect of Pre-Roasting on Leaching of Laterite. Hydrometallurgy*, 99: 84-88.
- Masri, Mili, M. Z., Nafiu, W. R. A., Tugo, L. J., & Rifai, L. O. A., 2023. Mineralogi dan Properti Keteknikan Endapan Nikel Laterit Daerah Tobimeita - Langgikima, Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. *Jurnal GEOSAPTA*, 9(2): 117-125.
- Mukhtar, M., Arninda, A., & Diana, S., 2022. Pengaruh Konsentrasi HCL Terhadap Persen *Recovery* Nikel Laterit Pada Proses Pelindian. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri IX*, 9(1), pp. 185-188.
- Fathoni, M. W., & Mubarak, M. Z. (2015). Studi Perilaku Pelindian Bijih Besi Nikel Limonit dari Pulau Halmahera Dalam Larutan Asam Nitrat. *Majalah Metalurgi*, 30(3): 115-124.
- Prameswara, G., 2023. Perilaku Leaching dari Roasted Laterite Ore Dalam Peningkatan Rekoveri Logam. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 2(2): 60-64.
- Solihin., & Firdiyono, F., 2018. Perilaku Pelarutan Logam Nikel dan Besi dari Bijih Nikel Kadar Rendah Sulawesi Tenggara. *Majalah Metalurgi*, 29(2): 139-144.
- Sufriadin, Widodo, S., Nur, I., Ilyas, A., & Ashari, M. Y., 2020. *Extraction of Nickel and Cobalt from Sulawesi Limonite Ore in Nitric Acid Solution at Atmospheric Pressure. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 875: 1-6.
- Wahab., Anshari, E., Mili, M. Z., Nafiu, W. R. A., Khaq, M. N., Deniyatno., Firdaus., & Supriyatna, Y. I., 2021. Studi Pengaruh Variabel Proses dan Kinetika Ekstraksi Nikel dari Bijih Nikel Laterit Menggunakan Larutan Asam Sulfat Pada Tekanan Atmosferik. *Jurnal Rekayasa Proses*, 15 (1): 37-48.
- Yanuar, E., Alkaf, S. M. A., & Bahtiar, S., 2024. Pengaruh Jenis Asam & Konsentrasi Asam Terhadap Persentase Ekstraksi Nikel dari Bijih Nikel Laterit Pomalaa Sulawesi Tenggara. *HEXAGON (Jurnal Teknik dan Sains)*, 5(1): 32-41.