

Available online at: <http://reactor.poltekaitpdg.ac.id/>**REACTOR****Journal of Research on Chemistry and Engineering**

| ISSN Online 2746-0401 |



Pengaruh Waktu Dan Temperatur Pelindian Terhadap Hasil Ekstraksi Nikel Laterit Menggunakan H₂SO₄ Pada Tekanan Atmosfer

Yulianti Malik^{1*}, Rizki Hardiono², Muh. Ridwan Septiawan¹

¹ Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali, Jl. Trans Sulawesi Desa Labota Kab. Morowali Sulawesi Tengah, 94974, Indonesia

² PT QMB New Energy Material, Departement Research and Development, Jl. Trans Sulawesi, Kec. Bahodopi Kab. Morowali, Sulawesi Tengah 94974, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: September 30, 2025

Revised: December 16, 2025

Available online: December 23, 2025

KEYWORDS

Atmospheric leaching, Sulfuric acid, Percent extraction, Acid consumption

CORRESPONDENCE

Name: Yulianti Malik

E-mail: yulianti@pilm.ac.id

ABSTRACT

The rising demand for nickel in electric vehicle batteries drives the adoption of hydrometallurgical processing, notably *Atmospheric Leaching* (AL) and High-Pressure Acid Leaching (HPAL), primarily using acid solutions like sulfuric acid for Ni extraction. Although AL offers lower operating costs and simpler equipment, it is typically challenged by high levels of Fe impurities and elevated acid consumption compared to HPAL. To address these limitations, this research investigated optimizing AL by manipulating key process parameters: time and temperature. The study focused on lateritic nickel ore leaching using 0.8 M sulfuric acid, maintaining a solid-to-liquid (S/L) ratio of 20% and a stirring speed of 350 rpm. Experiments were conducted across temperatures of 75, 85, and 95°C and durations from 2 to 8 hours. The optimal result was achieved at 95°C for 8 hours, yielding the highest Ni extraction of 55.81% and the lowest total acid consumption of 1399.45 kg/ton of ore. This indicates that increased temperature and duration accelerate the Ni reaction rate with the sulfuric acid. The extraction of Fe rapid initially decreased significantly over time due to saturation, which directly contributed to the desirable reduction in overall acid consumption.

PENDAHULUAN

Bijih nikel laterit umumnya diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu saprolit dan limonit [1]. Limonit merupakan jenis laterit dengan kandungan nikel yang lebih rendah (< 1,5%) sedangkan saprolite memiliki kadar nikel lebih besar (>1,5%) [2]. Limonit dapat ditemukan pada lapisan atas deposit laterit yang biasanya mengandung goethite [FeO(OH)] dan hematit (Fe₂O₃) [3]. Kandungan nikel pada limonit biasanya sekitar 0,5% - 1,7%, besi sebesar 40% - 60%, dan silika (< 20%) serta magnesium (<10%). Saprolit berada pada lapisan bawah laterit, yang dipisahkan oleh smektit. Kandungan nikel pada saprolit (1,5% - 3%), besi (<30%) serta magnesium silikat yang lebih tinggi lebih tinggi dibandingkan dengan limonit [4]. Umumnya laterit jenis saprolit lebih efisien jika diolah

menggunakan metode pirometalurgi, sedangkan laterit jenis limonit lebih cocok jika pengolahannya menggunakan metode hidrometalurgi [5].

Di Indonesia metode pirometalurgi masih menjadi pilihan mayoritas dalam pengolahan bijih nikel. Metode ini melibatkan proses pengolahan bijih laterit pada suhu tinggi yang memerlukan energi besar serta membutuhkan bijih laterit dengan kandungan nikel tinggi untuk menghasilkan fronikel atau nikel *matte* [6]. Seiring dengan semakin menipisnya cadangan bahan baku saprolit dan maraknya pengembangan nikel sebagai bahan utama baterai kendaraan listrik, maka pengolahan nikel laterit dengan hidrometalurgi juga ikut meningkat [7]. Metode hidrometalurgi dilakukan pada temperatur yang lebih rendah dengan melarutkan bijih dalam larutan kimia dan membutuhkan energi yang lebih sedikit [8]. Metode ini juga dapat menghasilkan

produk yang lebih murni dibandingkan dengan metode pirometalurgi [9]. Beberapa teknik dalam pelindian dengan metode hidrometalurgi antara lain *heap leaching*, proses Caron, *High Pressure Acid Leaching* (HPAL), dan proses *Atmospheric leaching* (AL) [10].

Atmospheric leaching menjadi perhatian dalam pelindian nikel laterit akhir-akhir ini, karena memiliki menggunakan peralatan yang sederhana dan perawatannya mudah dilakukan serta tingkat *recovery* nikel dan kobalt yang lebih efisien dibandingkan dengan metode *heap leaching* [10]. Metode *atmospheric leaching* (AL) dianggap lebih efisien karena selain dilakukan pada tekanan atmosfer juga beroperasi dengan temperatur rendah ($\leq 100^\circ\text{C}$), sehingga membutuhkan energi yang lebih kecil dan lebih ekonomis [11]. Proses ini dapat digunakan untuk mengolah bijih nikel limonit dan saprolit. Beberapa penelitian telah dilakukan tentang ekstraksi Ni menggunakan metode AL menggunakan asam baik organik maupun anorganik seperti asam sulfat [12] [13], asam klorida [14] dan berbagai jenis asam lainnya termasuk asam anorganik [15]. Asam sulfat mempunyai persen ekstraksi terhadap logam seperti Ni yang tinggi dan karena harga asam yang rendah serta tersedia secara luas [16]. Meskipun demikian, pelindian dengan *atmospheric leaching* (AL) umumnya menghasilkan filtrat dengan kandungan pengotor yang lebih tinggi dibandingkan dengan HPAL [17] serta terkendala pada konsumsi asam dan agen netralisasi yang tinggi [18]. Kondisi ini dapat diminimalisir dengan mengatur parameter/variabel proses pelindian yang digunakan. Variasi parameter seperti waktu dan temperatur diketahui mampu meningkatkan persen ekstraksi [19] [20].

METODOLOGI

Alat

Beberapa peralatan yang digunakan pada penelitian ini, antara lain: *ball mill*, ayakan 50, 100, 150, 200 dan 250 mesh, oven, gelas reaktor leher lima kapasitas 1 liter, kondensor dan pompa sirkulasi, *hot plate*, termometer raksa $0-110^\circ\text{C}$, neraca ($0-500\text{ gr}$), gelas ukur ukuran 250 ml, dan 500 ml, erlemeyer 500 ml, pipet volumen ukuran 50, 25, 20 dan 10 ml, corong kaca, serta alat uji/karakterisasi masing-masing: XRF dengan spesifikasi (*EDXRF analyzer ElvaX Plus*), XRD dengan spesifikasi (*Malvern Panalytical-Benchtop X-Ray Diffractometer, Aeris XRD*) dan AAS (*Flame with Autosampler & Hydride Vapour TYPE : iCE3300 BRAND*).

Bahan

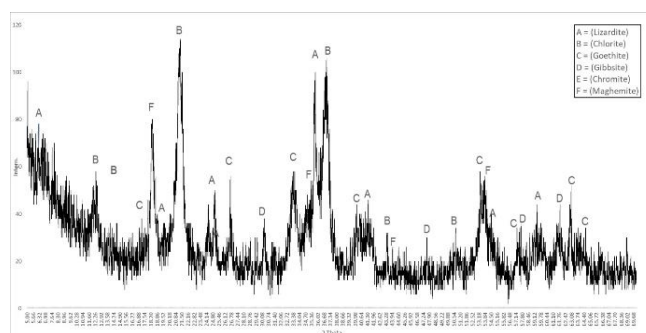
Bahan yang digunakan berupa bijih laterit nikel yang berasal dari kawasan industri Morowali, aquades dan asam sulfat Merck 18 M yang kemudian diencerkan menjadi 0.8 M.

Preparasi Bahan dan Karakterisasi Awal

Bahan berupa nikel laterit dipreparasi dengan pemanasan selama 24 jam pada temperatur 100°C . Setelah itu, dilakukan proses *milling* dan *sieving* hingga diperoleh sampel bijih dengan ukuran lolos pada ayakan 250 mesh. Bahan ini kemudian disampling untuk dikarakterisasi menggunakan XRF agar kandungan unsur yang dimiliki oleh bijih sebelum dilindih dapat diketahui sebagai data awal yang akan digunakan pada analisis persen ekstraksi Ni dan Fe. Hasil karakterisasi bijih nikel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Selain analisis komposisi unsur dengan XRF sampel bijih juga dianalisis dengan XRD untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat didalamnya. Berdasarkan analisis XRD (Gambar 1) diketahui adanya struktur *goethite* dan *hematite*, sedangkan unsur Si tersebar dalam bentuk *lizardite*. Nikel dalam bijih limonit juga ditemukan dalam bentuk larutan padat dengan mineral *goethite* ($\text{Fe}_2\text{Ni}(\text{OOH})$) [23]. Nikel pada bijih laterit selain berasosiasi dengan *goethite*, biasanya juga berasosiasi dengan mineral *lizardite*, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada bijih nikel laterit, nikel berasosiasi dengan *goethite* dan *lizardite* [16].

Tabel 1. Komposisi unsur bijih laterit

Unsur	Konsentrasi (%)	Unsur	Konsentrasi (%)
P	0,138	Co	0,323
S	0,393	Ti	0,086
Ni	1,310	Si	15,353
Fe	31,768	Ca	1,029
Mn	0,904	Mg	5,834
Cr	2,258	Zn	1,186



Gambar 1. Grafik Analisis XRD nikel laterit

Preparasi selanjutnya yang dilakukan adalah menyiapkan larutan asam sulfat. Penelitian ini dilakukan dengan variabel tetap berupa konsentrasi 0.8 M, S/L rasio 20%

dan kecepatan pengadukan 350 rpm, sedangkan variabel bebas berupa waktu dengan variasi (2, 4, 6 dan 8 jam) dan temperatur (75, 85 dan 95°C) serta variabel terikat yakni persen ekstraksi dan konsumsi asam. Asam sulfat disiapkan dengan pengenceran menggunakan aquades dari 18 M menjadi 0.8 M, jumlah larutan yang digunakan masing-masing variabel sebanyak 300 ml. Banyaknya larutan yang digunakan disesuaikan dengan jumlah variabel waktu dan temperatur yang digunakan.

Proses Pelindian

Pelindian dilakukan menggunakan reaktor berleher lima kapasitas 1 liter yang dilengkapi dengan kondensor untuk mengembunkan pelarut (air) yang menguap agar volume larutan dapat dijaga konstan dan dilakukan di atas *hot plate* untuk memperoleh temperatur yang diinginkan dan pengadukan dilakukan dengan *magnetic stirrer*. Kecepatan putaran pada proses pelindian dijaga tetap pada 350 rpm, pada tekanan atmosfer luar (*atmospheric leaching*) menggunakan asam sulfat sesuai konsentrasi yang ditentukan terlebih dahulu. Reagen pelindi yang digunakan adalah larutan asam sulfat sebanyak 300 ml dengan persen padatan 20% untuk seluruh percobaan.

Proses Penyaringan

Setelah melalui proses pelindian, *slurry* hasil leaching kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan filtrat dan residu. Proses penyaringan *slurry* dilakukan sebanyak 4 kali, masing-masing pada waktu 2, 4, 6 dan 8 jam. Hasil penyaringan berupa filtrat selanjutnya akan dikarakterisasi dengan AAS untuk mengetahui kadar Ni dan Fe pada filtrat. Hasil analisis disajikan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kandungan Ni dan Fe pada filtrat pelindian bijih nikel dengan asam sulfat

Waktu (jam)	Temp. (°C)	Konsentrasi (ppm)	
		Ni	Fe
2	75	369.1	8595.0
	85	483.2	6509.5
	95	494.5	9523.9
4	75	394.4	8695.5
	85	546.4	9547.7
	95	562.2	13279.8
6	75	440.3	4277.1
	85	571.2	10747.5
	95	779	7769.0
8	75	539.6	10777.3
	85	636.7	7518.3
	95	1462.3	5329

Analisis

Data yang telah diperoleh pada Tabel 1 dan Tabel 2 selanjutnya dianalisis untuk mengetahui persen ekstraksi Ni dan Fe serta konsumsi asam yang digunakan dalam

proses pelindian berdasarkan variasi waktu dan temperatur yang digunakan. Analisis persen ekstraksi dan konsumsi asam yang dilakukan menggunakan persamaan:

a) Persen ekstraksi

Perhitungan persen ekstraksi pada penelitian ini dihitung menggunakan persamaan berikut: [24]

$$\% \text{ ekstraksi} = \frac{C_p}{C_{po}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

C_p = kadar unsur dalam filtrat

C_{po} = kadar unsur dalam bijih

b) Konsumsi asam

Analisis konsumsi asam erat kaitannya dengan % ekstraksi yang dihasilkan, konsumsi asam dihitung dengan persamaan sebagai berikut: [25] [26][27]

$$\text{Konsumsi Asam} = \frac{\text{Mol asam terlarut} \times \text{Mr(Asam)}}{\text{Massa bijih/logam}} \quad (2)$$

dimana:

$$\text{Mol asam terlarut} = \text{mol logam terlarut} \quad (3)$$

$$\text{Mol logam terlarut} = \frac{\text{Massa bijih} \times \% \text{unsur pada bijih} \times \% \text{ekstraksi}}{\text{Mr logam}} \quad (4)$$

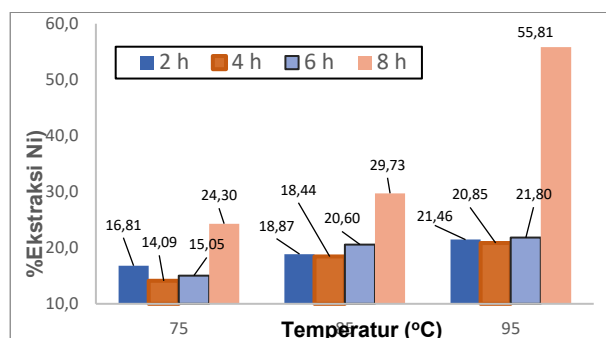
Konsumsi asam ditentukan dengan memperhatikan stoikiometri antara logam pada bijih dengan larutan asam yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persen Ekstraksi

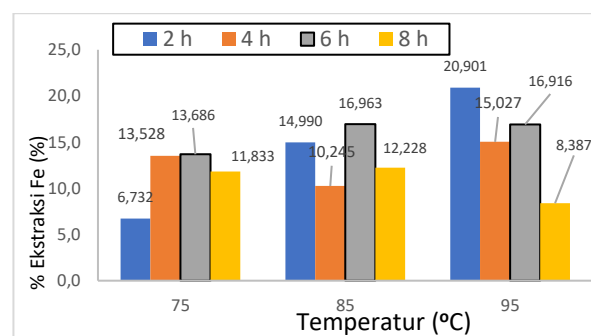
Penentuan persen ekstraksi pada penelitian ini dilihat keterkaitannya terhadap variabel pelindian yang digunakan yakni waktu dan temperatur. Pengaruh variabel pelindian (waktu dan temperatur) yang digunakan dalam proses pelindian terhadap persen ekstraksi nikel (Ni) ditampilkan pada Gambar 2. Secara umum waktu pelindian yang diberikan turut meningkatkan hasil ekstraksi logam Ni, dengan kata lain bahwa semakin lama waktu yang digunakan maka persen ekstraksi Ni juga akan semakin meningkat. Peningkatan ekstraksi Ni seiring dengan bertambahnya waktu secara umum terjadi karena pelindian merupakan proses kinetik di mana mineral-mineral yang mengandung nikel memerlukan waktu untuk bereaksi dan larut sepenuhnya dalam larutan asam sulfat [20]. Hal ini menyebabkan pada pelindian dengan waktu yang lebih singkat ekstraksi nikel masih rendah. Waktu yang diberikan dalam proses pelindian memiliki peran penting dalam memfasilitasi reaksi antara bahan yang akan dilindi dengan aktivator atau larutan yang digunakan. Bahkan pada suhu pelindian yang sama, variasi waktu pelindian dapat menghasilkan hasil yang berbeda [28] [29]. Nilai persen ekstraksi Ni tertinggi sebesar 55,81 % terjadi pada waktu

pelindian 8 jam pada temperatur 95°C. Semakin lama waktu kontak maka memungkinkan semakin banyak pula produk reaksi yang terbentuk [24].



Gambar 2. Grafik Pengaruh Waktu Dan Temperatur Terhadap Persen Ekstraksi Nikel (Ni)

Sementara persen ekstraksi Fe (Gambar 3) menunjukkan bahwa, pada waktu pelindian yang singkat cenderung menghasilkan persen ekstraksi yang lebih tinggi, sedangkan peningkatan waktu pelindian persen ekstraksi Fe semakin berkurang. Hal tersebut berkaitan dengan reaksi yang terjadi antara logam pada bijih dengan larutan asam sulfat. Pada tahap awal (durasi cepat) kinetika pelindian berlangsung lebih cepat untuk logam Fe, mekanisme awal yang cepat ini mencerminkan pelarutan fase mineral inang yang reaktif (seperti lempung dan Mg-silikat) yang melepaskan Fe. Jika durasi waktu diteruskan, laju pelindian akan menurun dan beralih ke tahap pelindian yang lebih lambat [21]. Fenomena ini terjadi karena adanya pelindian inkongruen (*incongruent leaching*). Unsur-unsur seperti Natrium (Na) dan Silika (Si) terlepas dengan cepat dan tajam, sementara logam lainnya (Ni, Co, Fe) mengikuti pola pelepasan yang melambat setelah fase mineral yang paling reaktif habis terlarut. Hal tersebut mengakibatkan durasi waktu yang lama akan menambah perolehan logam (*recovery*), namun dengan waktu yang lebih lama *recovery* akan semakin kecil (melambat) dibandingkan saat awal proses [21]. Penelitian ini menunjukkan pada awal pelindian, reaksi ekstraksi besi dapat berjalan dengan cepat, sementara nikel membutuhkan waktu lebih lama untuk terlarut sepenuhnya. Namun, setelah waktu pelindian tertentu, ekstraksi besi dapat mencapai tingkat jenuh atau reaksi pelindian terhadap besi menjadi lebih lambat, sementara ekstraksi nikel masih berlanjut [19].



Gambar 3. Grafik Pengaruh Waktu Dan Temperatur Terhadap Persen Ekstraksi Besi (Fe)

Selain dipengaruhi oleh waktu, persen ekstraksi Ni juga menunjukkan peningkatan dengan naiknya temperatur.. Peningkatan temperatur menyebabkan peningkatan persentase ekstraksi nikel karena pergerakan spesi pereaksi menjadi lebih aktif. Mobilitas yang tinggi ikut memperbesar peluang terjadinya tumbukan antar-spesi, yang secara langsung mendorong pembentukan produk reaksi lebih maksimal, sehingga intensitas tumbukan antar-pereaksi meningkat akan menghasilkan produk reaksi yang lebih banyak [30], semakin tinggi temperatur maka akan membantu mempercepat proses reaksi antara logam pada bijih dengan pelarut [31]. Selain itu, kenaikan temperatur dapat membantu menurunkan tegangan permukaan dan viskositas larutan, sehingga dapat meningkatkan difusi ion dan mengurangi adsorpsi logam pada residu. Dalam kinetika kimia, reaksi yang dikontrol oleh kimia permukaan sangat sensitif terhadap suhu. Peningkatan suhu memberikan energi kinetik lebih besar pada ion H asam sulfat untuk menyerang permukaan mineral nikel, memecah ikatan kimia mineral, dan melarutkan nikel ke dalam larutan secara efektif. [17].

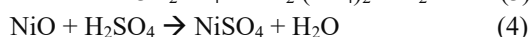
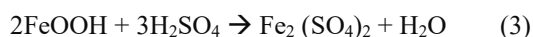
Hal yang sedikit berbeda dengan Fe, dimana peningkatan temperatur menunjukkan kecenderungan untuk persen ekstraksi yang menurun meskipun tidak signifikan. Pada temperatur yang lebih tinggi, reaksi pelindian nikel laterit dalam asam sulfat cenderung lebih selektif terhadap nikel, sedangkan besi lebih stabil dan kurang terlarut dalam kondisi tersebut. Pada suhu tinggi, besi (Fe) yang terlarut akan lebih cepat bereaksi membentuk endapan seperti Jarosit. Akibatnya, konsentrasi Fe yang tertinggal di dalam larutan (*final extraction*) menjadi menurun drastis, sementara nikel tetap larut. Dengan demikian, kenaikan temperatur pada penelitian ini justru menurunkan *recovery* besi karena besi diendapkan kembali [18].

Persentase ekstraksi besi cenderung lebih tinggi pada waktu pelindian yang lebih pendek, sedangkan peningkatan waktu pelindian dapat menyebabkan penurunan persentase ekstraksi besi. Studi ini

menunjukkan pada awal pelindian, reaksi ekstraksi besi dapat berjalan dengan cepat, sementara nikel membutuhkan waktu lebih lama untuk terlarut sepenuhnya. Namun, setelah waktu pelindian tertentu, ekstraksi besi dapat mencapai tingkat jenuh atau reaksi pelindian terhadap besi menjadi lebih lambat, sementara ekstraksi nikel masih berlanjut [19]. Pada temperatur yang lebih tinggi, reaksi pelindian nikel laterit dalam asam sulfat cenderung lebih selektif terhadap nikel, sedangkan besi lebih stabil dan kurang terlarut dalam kondisi tersebut. Pengaruh waktu terhadap persen ekstraksi besi didapatkan hasil persen ekstraksi besi tertinggi diwaktu awal pelindian [20].

Konsumsi Asam

Analisis konsumsi asam dari hasil pelindian yang dilakukan berkaitan erat dengan persen ekstraksi yang diperoleh. Pada penelitian ini persen ekstraksi hanya fokus pada logam nikel (Ni) dan besi (Fe) saja, sehingga analisis konsumsi asam mengacu pada reaksi yang terjadi terhadap kedua unsur logam tersebut. Perhitungan mol asam (H_2SO_4) mengikuti persamaan reaksi yang terjadi selama pelindian berlangsung. Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan XRD diketahui bahwa kandungan mineral pada bijih nikel yang digunakan mengandung goethite, sehingga persamaan reaksi yang terjadi selama pelindian berlangsung dapat dituliskan sebagai berikut:



Berdasarkan persamaan reaksi pada (a) dan (b) diketahui bahwa keduanya memiliki rasio (1:1), dan selanjutnya untuk mengetahui besar konsumsi asam dilakukan dengan menggunakan persamaan (2). Hasil analisis konsumsi asam dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsumsi asam sulfat dalam pelindian

Waktu (jam)	Temp (°C)	Konsumsi H_2SO_4 (kg/ton ore)		
		Ni	Fe	Total
2	75	33.50	1033.91	1067.41
	85	37.62	2302.23	2339.85
	95	42.77	3210.15	3252.93
4	75	28.08	2077.69	2105.77
	85	36.76	1573.55	1610.32
	95	41.57	2307.98	2349.56
6	75	30.01	2101.98	2131.99
	85	41.06	2605.22	2646.27
	95	43.46	2598.01	2641.47
8	75	48.44	1817.41	1865.86
	85	59.27	1878.01	1937.29
	95	111.26	1288.19	1399.45

Konsumsi asam yang digunakan turut dipengaruhi oleh persen ekstraksi logam dalam proses pelindian. Hasil ekstraksi baik Ni maupun Fe pada penelitian ini menunjukkan perubahan terhadap durasi waktu dan temperatur yang digunakan. Konsumsi asam total tertinggi sebesar 3252.93 kg/ton bijih, terjadi pada pelindian dengan waktu 2 jam dan temperatur 95 °C. Pada kondisi tersebut persen ekstraksi Fe menghasilkan nilai tertinggi. Besarnya konsumsi asam sulfat pada tahap ini lebih dipengaruhi oleh pemakaian asam dalam ekstraksi besi [18] khususnya pada tahapan awal pelindian. Konsumsi asam juga akan menjadi lebih banyak untuk mendukung laju difusi yang lebih tinggi [32]. Namun dengan bertambahnya durasi waktu pelindian ekstraksi Ni ikut meningkat, hal ini menjadikan konsumsi asam total untuk waktu pelindian yang lebih lama cenderung menurun. Konsumsi asam dalam proses pelindian ini terjadi melalui mekanisme pelarutan mineral yang bersifat inkongruen (tidak serempak). Proses tersebut diawali dengan pelepasan logam pengotor (*gangue*) dimana asam sulfat tidak hanya melarutkan Nikel (Ni) tetapi sebagian besar justru dikonsumsi untuk melarutkan logam pengotor utama yaitu Besi (Fe), termasuk Magnesium (Mg), dan Aluminium (Al) yang terdapat pada bijih dengan kandungan utama *lizardite*, *goethite* dan *hematite*. Hal tersebut mengakibatkan konsumsi asam yang lebih tinggi pada waktu pelindian yang lebih cepat akibat pelarutan mineral inang yang sangat reaktif [21].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini, maka disimpulkan bahwa variabel waktu dan temperatur yang digunakan memberikan pengaruh pada persen ekstraksi maupun konsumsi asam. Secara umum dapat dikatakan bahwa peningkatan waktu dan temperatur pelindian dapat menurunkan persen ekstraksi Fe sedangkan ekstraksi pada Ni meningkat. Persentase ekstraksi besi cenderung lebih tinggi pada waktu pelindian yang lebih pendek, kemudian menurun dengan berjalannya waktu karena reaksi ekstraksi Fe dapat berjalan dengan cepat, sementara Ni membutuhkan waktu lebih lama untuk terlarut sepenuhnya. Pada durasi pelindian yang lebih lama persen ekstraksi Fe dapat mencapai tingkat jenuh dan reaksi menjadi lebih lambat, sementara ekstraksi nikel masih berlanjut. Pada temperatur yang lebih tinggi, reaksi pelindian nikel laterit dalam asam sulfat cenderung lebih selektif terhadap Ni, sedangkan besi lebih stabil dan kurang terlarut dalam kondisi tersebut. Meningkatnya temperatur operasi, maka akan terjadi peningkatan signifikan dalam pemulihan mineral yang terlarut sehingga temperatur yang tinggi akan meningkatkan persen ekstraksi Ni untuk proses *atmospheric leaching*.

Meski demikian, pertimbangan lain harus tetap diperhatikan dalam menentukan pilihan temperatur proses yang akan digunakan dalam pelindian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Purnawan, D. K. Walanda, and M. Napitupulu, "Extraction of Nickel from Morowali Laterite Ore with Hydrochloric Acid (HCl)," *J. Akad. Kim.*, vol. 11, no. 3, pp. 134–139, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.fkip.untad.ac.id/index.php/jak/>
- [2] Z. Li, J., Yang, Y., Wen, Y., Liu, W., Chu, Y., Wang, R., & Xu, "Leaching kinetics and mechanism of laterite with NH₄ Cl-HCl solution," *Minerals*, vol. 10(9), pp. 1–11., 2020.
- [3] K. K. Mamyrbayeva, A. N. Kuandykova, T. A. Chepushtanova, and Y. S. Merkibayev, "Review on hydrometallurgical processing technology of lateritic nickel ore for the last 20 years in the world," *Non-ferrous Met.*, vol. 56, no. 1, pp. 13–21, 2024, doi: 10.17580/nfm.2024.01.03.
- [4] Johnny Wahyuadi and Adiyanto Naufal, "Pengaruh Waktu Pemangangan Dalam Proses Pirometalurgi Dengan Menggunakan Batubara sebagai Reduktor Terhadap Peningkatan Hasil Ekstraksi Ni Dari Batuan Saprolit," Jakarta, 2016.
- [5] A. Y. Nurfaidah, D. P. Lestaro, R. T. Azzahra, and D. R. Suminar, "View of Pengaruh Suhu dan Konsentrasi terhadap Proses Pemisahan Nikel dari Logam Pengotor Menggunakan Metode Leaching.pdf," *J. Fluida*, vol. 13, no. No.2 November 2020, pp. 83–91, 2020.
- [6] P. Prasetyo, "Sumber daya mineral di Indonesia khususnya bijih nikel laterit dan masalah pengolahannya sehubungan dengan UU Minerba 2019.," *In Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2016.
- [7] M. Z. Mubarak, *Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung Pengembangan Proses Ekstraksi Dan Berkadar Rendah Untuk Menghasilkan Bahan Baku Katoda Baterai Lithium-Ion*. Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2022.
- [8] S. and Firdiyono, "Pelindian Bijih Nikel Laterit Sulawesi Tenggara dalam Media Asam Sulfat. I," *ISBN 978-979- 8636-23-3* 527-534, 2014.
- [9] E. all. Wanta, "Studi Kinetika Proses Atmospheric Pressure Acid Leaching Bijih Laterit Limonit Menggunakan Larutan Asam Nitrat Konsentrasi Rendah.," *J. Rekayasa Proses*, vol. 12(2), pp. 77-84., 2018.
- [10] E. Febriana *et al.*, "Double acting liberation of Ni and Co in the pre-treatment process to increase recovery of nickel from low-grade nickel laterite," *J. Sustain. Min.*, vol. 23, no. 3, pp. 285–298, 2024, doi: 10.46873/2300-3960.1422.
- [11] D. Permana *et al.*, "Pelindian Bijih Nikel Laterit Kadar Rendah Menggunakan Metode Atmospheric Acid Leaching dalam Media Asam Klorida (HCl)," vol. 30, no. 2, pp. 203–214, 2020, doi: 10.14203/risetgeotam2020.v30.1097.
- [12] S. S. Mohammadreza, F., Mohammad, N., & Ziaeddin, "Nickel extraction from low grade laterite by agitation leaching at atmospheric pressure," *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 24, No. 4, pp. 543–548, 2014.
- [13] D. Erwin, Anshari., Wahab, Mili, M.Z., Nafiu, R., "Studi Pengaruh Variabel Proses dan Kinetika Ekstraksi Nikel dari Bijih Nikel Laterit Menggunakan Larutan Asam Sulfat Pada Tekanan Atmosferik," *J. Rekayasa Proses*, vol. 15, pp. 37–48, 2021.
- [14] C. Mystrioti, N. Papassiopi, A. Xenidis, and K. Komnitsas, "Counter-current leaching of low-grade laterites with hydrochloric acid and proposed purification options of pregnant solution," *Minerals*, vol. 8, no. 12, 2018, doi: 10.3390/min8120599.
- [15] F. E. Yunita and M. Z. Mubarak, "Nickel leaching from laterite ores by combination of organic and sulfuric acid," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2382, no. April, 2021, doi: 10.1063/5.0060750.
- [16] N. O. Astuti Widi, Tsuyoshi Hirajima, Keiko Sasaki, "Comparison of Atmospheric Citric Acid Leaching Kinetics of Nickel from Different Indonesian Saprolitic Ores.," *Hydrometall. 1*, vol. 61, pp. 138–51, 2016.
- [17] P. Zhang, L. Sun, H. Wang, J. Cui, and J. Hao, "Surfactant-assistant atmospheric acid leaching of laterite ore for the improvement of leaching efficiency of nickel and cobalt," *J. Clean. Prod.*, vol. 228, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.305.
- [18] V. Miettinen, J. Mäkinen, E. Kolehmainen, T. Kravtsov, and L. Rintala, "Iron control in atmospheric acid laterite leaching," *Minerals*, vol. 9, no. 7, pp. 1–13, 2019, doi: 10.3390/min9070404.
- [19] S. Javanshir, Z. H. Mofrad, and A. Azargoon, "Atmospheric pressure leaching of nickel from a low-grade nickel-bearing ore," *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, vol. 54, no. 3, pp. 890–900, 2018, doi: 10.5277/ppmp1891.
- [20] K. Liu and X. Su, "Atmospheric Acid Leaching of a Ferruginous Nickel Laterite," *Adv. Mater. Res.*, vol. 638, pp. 3196–3200, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.634-638.3196.
- [21] J. Maccarthy, J. Addai-mensah, and A. Nosrati, "Atmospheric acid leaching of siliceous goethitic Ni laterite ore : Effect of solid loading and temperature," *Miner. Eng.*, vol. 69, pp. 154–164, 2014, doi: 10.1016/j.mineng.2014.08.005.
- [22] A. Jia, J., Wang, S., Chen, L., & Prakash, "Atmospheric leaching of nickel and cobalt from laterite ores using sulfuric acid at moderate temperatures," *Hydrometallurgy*, vol. 185, pp. 71–78, 2019.
- [23] D. P. Senanayake, G., J. Childs, B. D. Akerstrom,

- “Reductive Acid Leaching of Laterite and Metal Oxides - A Review with New Data for Fe(Ni,Co)OOH and a Limonitic Ore.,” *Hydrometallurgy*, vol. 110 (4), pp. 13–32, 2011.
- [24] Y. I. Wahab, Deniyatno, Ismayanti, W., & Supriatna, “Pengaruh Variabel Pelindian Terhadap Ekstraksi Nikel Dalam Pelindian Bijih Nikel Laterit.,” *J. Sains Teknol.*, vol. 10(2), pp. 127–134, 2021.
- [25] L. D. Gita, “Pengaruh Penggunaan Air Laut dalam Pelindian Bijih Nikel Limonit dengan Larutan Asam Sulfat Pada Tekanan Atmosfer Terhadap Porsen Ekstraksi dan Konsumsi Asam,” Bandung, 2018.
- [26] A. Vignes, *Extractive Metallurgy* 2, 1 Vol. 2. London UK and Hoboken USA: ISTE Ltd UK and John Wiley & Sons, Inc USA, 2011.
- [27] F. Habashi, *Handbook of Extractive Metallurgy Edited by Fathi Habashi Volume II: Primary Metals*, 2 (Vol. 4)., vol. II. Weinheim; New York; Chichester; Brisbane ; Singapore ; Toront: WILEY-VCH, 1997.
- [28] B. I. W. McDonald, R. G., “Atmospheric Acid Leaching of Nickel Laterites Review. Part II. Chloride and BioTechnologies,” *Hydrometallurgy*, vol. 91 (1–4), pp. 56–69, 2008.
- [29] G. . Kusuma, “Pengaruh reduksi roasting dan konsentrasi leaching asam sulfat terhadap recovery nikel dari bijih limonite.,” Jakarta, 2012.
- [30] W. Wahab, D. Deniyatno, W. Ismayanti, and Y. I. Supriatna, “Pengaruh Variabel Pelindian Terhadap Ekstraksi Nikel Dalam Pelindian Bijih Nikel Laterit,” *JST (Jurnal Sains dan Teknol.*, vol. 10, no. 2, pp. 127–134, 2021, doi: 10.23887/jstundiksha.v10i2.33125.
- [31] A. Yanti, “Pengaruh Suhu dan Konsentrasi terhadap Proses Pemisahan Nikel dari Logam Pengotor Menggunakan Metode Leaching.pdf,” 2020.
- [32] F. Zhang, Y., & Muhammad, “Leaching Behavior of Nickel Laterite Ore in Sulfuric Acid Solution with the Addition of Sodium Sulfate,” *Minerals*, vol. 9 (4), p. 235, 2019.