

Research Paper

Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Organik Terhadap Nilai *Recovery* Pada Proses Pelindian Nikel

The Effect of Variation of Organic Acid Concentrations on Recovery in the Nickel Process SLeaching

Mubdiana Arifin^a, Syamsul Bakhri^b, Muhammad Idris Juradi^a, Suriyanto Bakri^a, Sitti Ratmi Nurhawaisyah^a,
Muhammad Ilham Angga Mulia^c

^aTeknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Univeristas Muslim Indonesia, Makassar, 90231 Indonesia

^bTeknik Kimia Fakultas, Teknologi Indsustri, Univeristas Muslim Indonesia, Makassar, 90231 Indonesia

^cTeknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Univeristas Muslim Indonesia, Makassar, 90231 Indonesia

Artikel Histori : Submitted 12 October 2023, **Revised** 23 October 2023, **Accepted** 27 November 2023, **Online** 30 November 2023

 <https://doi.org/10.33096/jcpe.v8i2.624>

ABSTRAK: Nikel merupakan salah satu hasil pertambangan yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang kehidupan. Nikel digunakan sebagai bahan paduan logam dan pelapis logam. Proses pengolahan nikel dari bijih nikel laterit jenis limonit dengan metode *Atmospheric Pressure Acid Leaching* (APAL) dinilai lebih murah dibandingkan metode hidrometalurgi lainnya, karena konsumsi energi dan biaya operasionalnya cukup rendah, sehingga dapat dijadikan salah satu metode pengolahan nikel alternatif. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh peningkatan konsentrasi pelarut asam organik terhadap persen perolehan nikel. Media pelarut yang digunakan adalah larutan asam asetat (CH_3COOH). Sebelum proses pelindian, dilakukan uji karakterisasi awal menggunakan analisis XRD, XRF dan AAS untuk mengetahui komposisi mineralogi dan kimia sampel bijih nikel yang akan digunakan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan konsentrasi asam asetat yaitu 2,5, 5, 7,5, dan 10 M, ukuran partikel -200 mesh, suhu operasi 90°C, kecepatan pengadukan 200 rpm, dan waktu pelindian selama 120 menit. Analisa kandungan nikel setelah proses pelindian menggunakan analisis AAS, kemudian dihitung persen pereolehan nikelnya. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi asam asetat berpengaruh terhadap perolehan nikel. Peningkatan konsentrasi asam asetat juga meningkatkan persentase perolehan nikel. Hasil terbaik pada proses pelindian yaitu pada konsentrasi asam asetat 10 M dengan perolehan nikel sebesar 96,159%.

Kata Kunci : Nikel, pelindian, konsentrasi, asam asetat, perolehan

ABSTRACT: Nickel is a mining product that is widely used in various fields of life. Nickel is used as a metal alloy and metal coating material. The nickel processing process from limonite-type laterite nickel ore using the *Atmospheric Pressure Acid Leaching* (APAL) method is considered cheaper than other hydrometallurgical methods, because the energy consumption and operational costs are quite low, so it can be used as an alternative nickel processing method. The aim of this research was to determine the effect of increasing the concentration of organic acid solvent on the percent nickel recovery. The solvent medium used is acetic acid solution (CH_3COOH). Before the leaching process, an initial characterization test was carried out using XRD, XRF, and AAS analysis to determine the mineralogical and chemical composition of the nickel ore sample to be used. This research was carried out using acetic acid concentrations of 2.5, 5, 7.5, and 10 M, particle size -200 mesh, operating temperature of 90°C, stirring speed of 200 rpm, and leaching time of 120 minutes. Analysis of the nickel content after the leaching process uses AAS analysis, then the percent nickel recovery is calculated. The results showed that the concentration of acetic acid affected nickel recovery. Increasing the concentration of acetic acid also increases the percentage of nickel recovery. The best results in the leaching process were at an acetic acid concentration of 10 M with a nickel recovery of 96.159%.

Keywords : Nickel, leaching, concentration, acetic acid, recovery

1. PENDAHULUAN

Secara umum endapan bijih nikel di dunia diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu bijih nikel sulfida dan bijih nikel laterit (oksida dan silikat). Endapan nikel laterit adalah hasil proses pelapukan lanjut pada batuan ultrabasa yang mengandung nikel-silikat yang biasanya terbentuk di daerah beriklim tropis hingga subtropis. Indonesia menempati urutan ketiga didunia dengan potensi produksi nikel laterit terbesar saat ini [1]. Hal ini

Published by
Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI) Makassar- Sulawesi Selatan
e-mail : jcpe@umi.ac.id

Corresponding Author *
mubdiana.arifin@umi.ac.id



didasarkan pada total cadangan bijih nikel laterit sebesar 5,2 miliar ton nikel laterit dari total sumberdaya sebesar 17,3 miliar ton [2]. Potensi nikel laterit di Indonesia tersebar di beberapa wilayah seperti Provinsi Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara dan Maluku Utara. Nikel merupakan salah satu logam strategis karena memiliki sifat diantaranya yaitu kuat, lunak, tahan benturan, *ductility* serta diaplikasikan cukup luas pada produk berbahan *stainless steel*, produksi logam *non-ferrous*, *electroplating*, industri kimia, pesawat terbang, dan peralatan militer [3].

Dalam proses pengolahan nikel laterit, terdapat 2 jalur proses pengolahan untuk memenuhi kebutuhan nikel dunia, yaitu dengan jalur pirometalurgi dan jalur hidrometalurgi. Pirometalurgi atau peleburan adalah suatu proses dimana suatu logam diekstraksi atau dipisahkan dari bijihnya dengan cara dipanaskan pada suhu tinggi, sehingga proses tersebut memakan banyak energi dan produk yang dihasilkan merupakan turunan yang banyak mengandung mineral lainnya, selain itu, bijih nikel yang digunakan yaitu jenis saprolit yang memiliki kadar nikel tinggi ($\text{Ni} \geq 1,8\%$) [4]. Meskipun memiliki kekurangan, namun di Indonesia saat ini jalur pirometalurgi masih mendominasi untuk proses pengolahan nikel laterit yang menghasilkan produk *ferronickel*, *nickel matte*, atau *nickel pig iron*. Disisi lain, dikarenakan semakin sulitnya ditemukan bijih nikel saprolit yang memiliki kadar nikel yang tinggi, oleh karena itu industri pertambangan mulai mengembangkan teknologi lain dengan jalur hidrometalurgi untuk mengolah bijih nikel laterit berkadar rendah [5]. Metode Caron dan metode *High Pressure Acid Leaching* (HPAL) adalah metode hidrometalurgi yang umum digunakan pada skala industri. Namun, kedua proses tersebut tentunya memiliki kekurangan jika ditinjau dari aspek lingkungan, energi, dan ekonomi [6]. Untuk mengatasi kelemahan pada metode Caron dan HPAL tersebut, digunakanlah metode alternatif lain dengan mengaplikasikan metode *Atmospheric Pressure Acid Leaching* (APAL). Metode APAL diketahui lebih efektif sebab mempunyai beberapa kelebihan yaitu cukup efisien dalam *recovery* logam nikel dan kobal, biaya operasional, kebutuhan energi yang relatif rendah [7], peralatan prosesnya cukup simpel, dan mudah untuk dilakukan *maintenance* [8]. Konsentrasi nikel yang dihasilkan dari proses *leaching* menggunakan tekanan atmosfer dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu operasi, ukuran partikel, jenis asam dan konsentrasi asam yang digunakan, perlakuan bijih sebelum proses *leaching*, dan waktu *leaching* [9]. Metode *leaching* pada tekanan atmosfer dapat dilakukan menggunakan beberapa jenis asam, baik asam anorganik maupun asam organik sebagai pelarut. Asam anorganik yang umum digunakan seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam nitrat (HNO_3), dan asam klorida (HCl), sedangkan untuk asam organik antara lain asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$), asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), dan asam asetat (CH_3COOH) [10].

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, menggunakan asam asetat sebagai pelarut pada proses *leaching* nikel laterit. Hasilnya, persen ekstraksi nikel menggunakan pelarut asam asetat pada konsentrasi larutan sebesar 1 M dan 2 M, dengan suhu operasi 60°C masing-masing sebesar 0,49% dan 0,37%, sedangkan persen ekstraksi nikel pada suhu 95°C masing-masing sebesar 0,34% dan 0,23% [11]. Penelitian lainnya, yang juga menggunakan asam asetat sebagai pelarut sebanyak 300 mL dengan variasi konsentrasi 75%, 50% dan 25%. Konsentrasi asam 25% pada pH 2 menghasilkan persentase *recovery* nikel tertinggi sebesar 40% [12]. Dari beberapa penelitian masih menunjukkan persen *recovery* yang rendah, hal ini kemungkinan karena menggunakan konsentrasi asam asetat yang rendah juga. Di sisi lain, asam asetat (CH_3COOH) telah terbukti digunakan sebagai pelarut logam berat dan sifat kelarutannya melebihi asam anorganik [13]. Fokus penelitian ini untuk mengetahui pengaruh konsentrasi asam asetat terhadap nilai *recovery* pada proses pelindian nikel laterit menggunakan metode APAL.

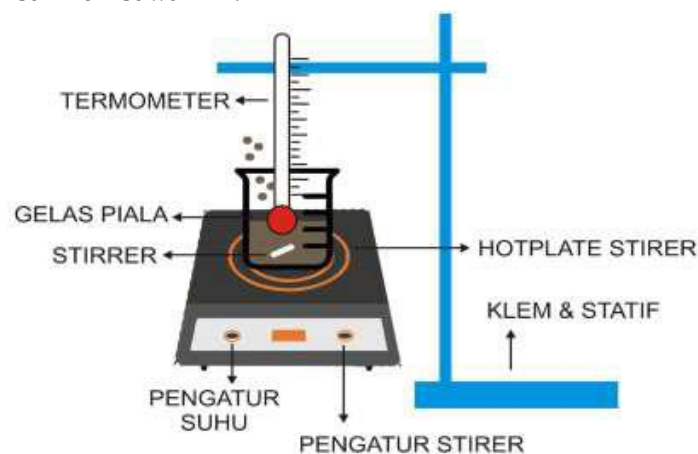
2. METODE PENELITIAN

2.1 Preparasi dan Karakterisasi Sampel Awal

Sampel bijih nikel yang digunakan berasal dari salah satu perusahaan pertambangan nikel laterit yang berlokasi di Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Sampel bijih harus disiapkan terlebih dahulu (preparasi) sebelum dapat digunakan dalam proses *leaching*. Proses preparasi diawali dengan pengeringan sampel dengan cara *drying* menggunakan oven selama ± 4 jam pada suhu 105°C , kemudian sampel bijih diremukkan menggunakan *jaw crusher* dan *double roll crusher*, selanjutnya sampel di *grinding* menggunakan *ball mill* lalu dilanjutkan proses pengayakan menggunakan *sieve shaker*. Ukuran fraksi yang digunakan dalam penelitian yaitu fraksi -200 mesh , karena dari hasil analisis ayak, fraksi ini yang paling banyak diperoleh. Selain itu juga dari beberapa penelitian menyebutkan ukuran -200 mesh sebagai ukuran optimum yang digunakan dalam proses *leaching* nikel. Selanjutnya dilakukan proses *sampling* untuk mengambil masing-masing sebanyak 3 gr sampel untuk karakterisasi awal bijih nikel menggunakan analisis *X-ray Diffraction* (XRD Shimadzu Maxima X-700), *X-ray Fluorescence* (Panalytical Epsilon 3 XRF), dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS Buck Scientific 205).

2.2 Proses Pelindian Bijih Nikel Laterit

Setelah proses preparasi tahap selanjutnya yaitu proses *leaching* nikel laterit yang menggunakan metode Atmospheric Pressure Acid *Leaching* (APAL), yaitu suatu proses *leaching* dimana tekanan atmosferis digunakan dalam prosesnya. Alat utama penelitian ini adalah serangkaian alat proses *leaching* nikel seperti yang ditampilkan pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Rangkaian alat yang digunakan pada proses *leaching* nikel pada tekanan atmosfer [14]

Proses *leaching* dimulai dengan memasukkan larutan asam asetat sebanyak 100 ml ke dalam gelas kimia lalu dipanaskan hingga mencapai suhu 90°C menggunakan *hot plate*, setelah suhu tercapai sampel nikel laterit seberat 10 gram dicampur dengan larutan asam asetat, kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm selama 120 menit. Pada penelitian variasi konsentrasi asam asetat yang digunakan ini adalah 2,5, 5, 7,5, dan 10 M. Setelah proses *leaching* berakhir dilakukan proses penyaringan untuk memisahkan filtrat (cairan) dan residu (padatan). Filtrat yang dihasilkan kemudian dianalisis kandungan nikelnya menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Hasil analisa nikel yang terlarut kemudian dihitung persen *recovery*. Persen *recovery* nikel menunjukkan rasio persentase antara konsentrasi nikel yang diukur dalam sampel cair dan konsentrasi nikel asli dalam sampel bijih. Persamaan 1 di bawah ini digunakan untuk menghitung persen hasil *leaching* nikel [9]:

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

Keterangan:

α = *recovery* nikel (%),

C_p = konsentrasi nikel dalam sampel bijih (ppm),

C_{po} = konsentrasi nikel dalam larutan hasil *leaching* (ppm).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisis Karakterisasi Sampel Awal

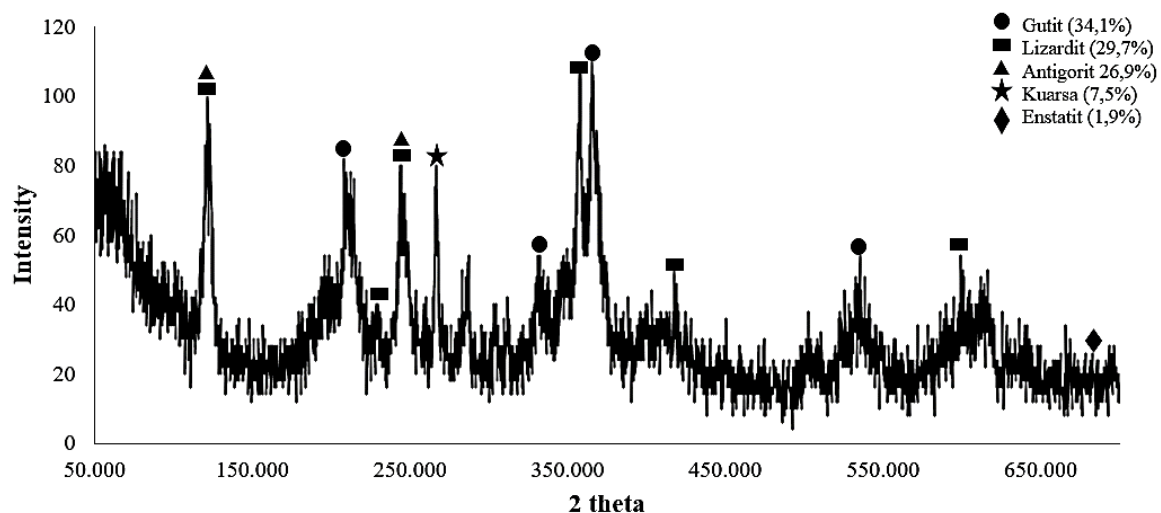
Tujuan dilakukan analisis menggunakan XRF adalah untuk mengetahui seberapa besar kadar dari nikel serta mineral logam lainnya pada sampel bijih yang digunakan. Hasil analisa XRF disajikan pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil analisis XRF pada sampel nikel laterit

No.	Unsur	%
1	Ni	1,43
2	Fe	21,48
3	Co	0,05
4	Mg	14,54
5	Si	15,01
6	Al	2,09
7	Ca	0,59
8	Mn	1,67
9	Cr	0,40
10	S	0,02

Hasil analisa XRF menunjukkan bahwa sampel nikel yang digunakan didominasi oleh unsur besi (Fe) 21,48%, silika (Si) 15,01% dan magnesium (Mg) 14,54%. Selain itu, terdapat pula unsur lainnya seperti Mn, Co, Cr, Al, dan S dengan persentase <2%. Bijih nikel laterit digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu bijih limonit dan bijih saprolit. Kandungan nikel pada bijih limonit adalah 1,0-1,5 % dan pada bijih saprolit 1,5-3,0% [15]. Kadar nikel yang terkandung pada sampel sebesar 1,43%. Sehingga, bijih nikel yang digunakan tergolong dalam bijih nikel berkadar rendah (*low-grade*) jenis limonit.

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui komposisi mineral yang mengandung unsur Ni, Fe serta mineral asosiasinya. Analisis menggunakan XRD dengan pola difraktogram memberikan rangkaian puncak difraksi yang bervariasi intensitasnya sepanjang nilai 2θ tertentu. Nilai intensitas rangkaian puncak/*peak* bergantung pada jumlah atom atau ion dalam sampel [16]. Pola difraksi pada padatan juga bergantung pada kisi kristal dan panjang gelombang yang digunakan atau dihasilkan [17]. Pola difraksi sampel bijih nikel laterit yang dianalisis dengan XRD ditunjukkan pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Hasil analisis XRD sampel bijih nikel laterit yang digunakan dalam penelitian

Hasil analisis XRD di atas menunjukkan bahwa pada sampel bijih nikel laterit yang digunakan dalam penelitian terkandung sejumlah mineral seperti mineral gutit ($\text{FeO}(\text{OH})$), lizardit ($\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$), antigorit ($(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), kuarsa (SiO_2) dan enstatit ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$), yang ditunjukkan oleh masing-masing puncaknya. Puncak (peak) pada gambar diatas menandakan mineral-mineral tersebut dalam bentuk kristalin. Keberadaan unsur Ni, Co dan Mn tidak teridentifikasi pada pola XRD seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas, dikarenakan unsur-unsur tersebut terdistribusi pada mineral gutit dan antigorit [18]. Sebagian besar nikel berada dalam zona larutan padat dengan mineral gutit [19] dan mineral gutit adalah mineral yang dominan disebagian besar laterit jenis limonit [20].

Analisis *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) juga dilakukan untuk mengetahui kadar logam Ni, Fe, dan Mg dalam bentuk zat terlarut sebelum dilakukan proses *leaching*. Hasil analisa AAS sampel bijih dapat dilihat pada tabel 2.

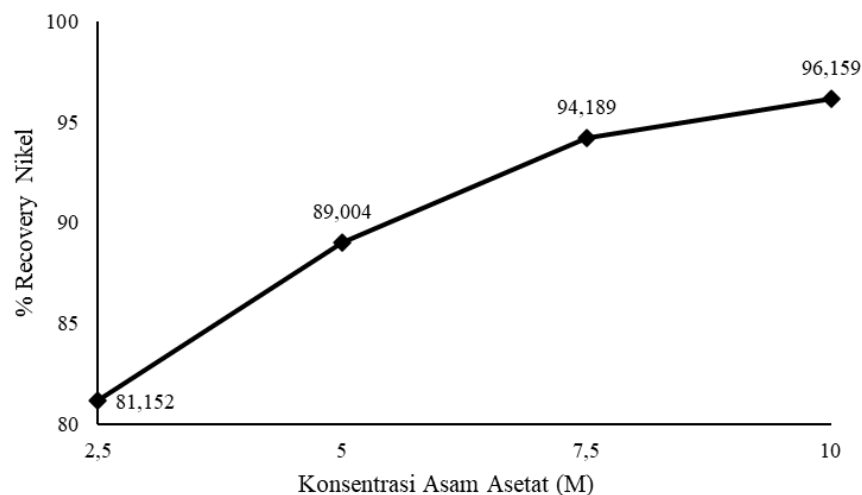
Tabel 2. Hasil kadar Ni, Fe dan Mg dalam sampel bijih dengan AAS

Unsur	Kadar (ppm)	%
Ni	14.214,38	1,421438
Fe	215.776,64	21,57766
Mg	141.870,45	14,18704

Hasil analisis di atas menyatakan konsentrasi logam Ni, Fe dan Mg pada sampel bijih yang dianalisis menggunakan AAS mempunyai nilai yang tidak berbeda jauh dengan hasil analisis XRF.

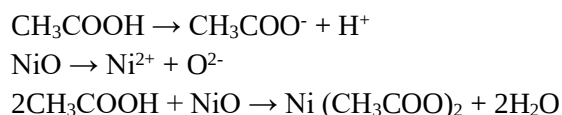
3.2 Hasil *Leaching* Nikel Laterit Menggunakan Pelarut Asam Asetat

Konsentrasi asam sebagai pelarut pada proses *leaching* nikel laterit adalah salah satu faktor yang penting karena, menunjukan seberapa banyak molekul asam dalam proses *leaching* [11]. Penelitian ini menggunakan asam asetat sebagai pelarut. Asam asetat memiliki rumus molekul CH_3COOH juga dikenal sebagai asam *methane carbocyclic* atau *ethanoic acid* merupakan salah suatu senyawa organik. Asam asetat merupakan bahan kimia dengan bau khas yang tidak berwarna dan dapat larut dalam air, aseton, benzena, alkohol, dan etil eter. Selain itu, asam asetat juga sangat cocok digunakan untuk pelarut senyawa organik [21]. Hubungan antara persen *recovery* nikel dengan peningkatan konsentrasi asam asetat ditampilkan pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Grafik hubungan % *recovery* dengan konsentrasi asam asetat

Berdasarkan hasil penelitian menyatakan bahwa menggunakan konsentrasi asam asetat yang lebih tinggi juga dapat menaikkan nilai *recovery* nikelnya. Konsentrasi asam sebagai pelarut menunjukkan berapa banyak jumlah ion H^+ yang terdapat didalam larutan asam, kemudian bereaksi dengan bijih nikel. Semakin banyak ion H^+ dalam larutan asam, semakin besar peluang untuk terjadinya reaksi antara molekul NiO dengan ion H^+ juga semakin besar [22]. Reaksi antara molekul NiO dengan ion CH_3COO^- dan H^+ dalam sampel membentuk produk nikel asetat dan air. Persamaan reaksi pada proses *leaching* nikel laterit menggunakan pelarut asam asetat mengikuti persamaan sebagai berikut:



Ketika konsentrasi pelarut meningkat, maka jumlah mineral terlarut atau logam berharga juga meningkat. Sebab, konsentrasi yang lebih tinggi akan memperlaju proses yang sedang berlangsung. Akan tetapi, untuk setiap pelarut yang digunakan terdapat konsentrasi optimal. Konsentrasi larutan asam akan mempengaruhi kinetika serta efisiensi pada proses pelarutan [23]. Penelitian yang dilakukan menyatakan hasil yang sejalan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya [24], dimana hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa peningkatan konsentrasi asam pada pelindian atmosfer juga dapat meningkatkan ekstraksi logam dari bijih laterit dan menyebabkan lebih banyak pelarutan nikel.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam asetat (CH_3COOH) yang digunakan maka persen *recovery* nikel juga semakin tinggi, dimana pada konsentrasi asam asetat 10 M memberikan persentase *recovery* tertinggi sebesar 96,159%.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada pemberi dana penelitian yaitu LP2S (Lembaga Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya) Universitas Muslim Indonesia yang secara langsung telah membantu biaya penelitian ini. Ucapan terima kasih dapat juga disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian ini yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wakila, M.H., Heriansyah, A.F., Firdaus, F. and Nurhawaisyah, S.R, 2019, Pengaruh Tingkat Pelapukan Terhadap Kadar Nikel, *Jurnal Geomine*, Vol. 7, No. 1 April, pp. 30–35.
- [2] Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, 2023, Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2022, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung.
- [3] B. I. Whittington, D. Muir, *Pressure Acid Leaching of Nickel Laterites: A Review*, 2000, *Miner. Process. Extr. Metall. Rev.*, Vol. 21, No. 6, pp. 527–599.
- [4] P. Prasetyo, 2016, Tidak Sederhana Mewujudkan Industri Pengolahan Nikel Laterit Kadar Rendah Di Indonesia Sehubungan Dengan Undang-Undang Minerba 2009, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 12(3), 195-207, Vol. 12, pp. 195–207.
- [5] A. Oxley, N. Barcza, 2013, *Hydro-pyro Integration In The Processing of Nickel Laterites*, *Miner. Eng.*, vol. 54, pp. 2–13, 2013.
- [6] A. B. Reynaldi, 2016, Nikel Laterit Hasil Roasting Menggunakan Asam Sulfat Dengan Metode *Leaching*, Skripsi, Universitas Trisakti.
- [7] J. Li *et al*, 2020, *Leaching Kinetics and Mechanism of Laterite With $\text{NH}_4\text{Cl-HCl}$ Solution*, *Minerals*, Vol. 10, No. 9, pp. 1–11.
- [8] M. A. R. Önal and Y. A. Topkaya, 2014, *Pressure acid Leaching of Çaldağ Lateritic Nickel Ore: An Alternative to Heap Leaching*, *Hydrometallurgy*, Vol. 142, pp. 98–107.
- [9] D. Permana, R. Kumalasari, W. Wahab, M. Musnajam, Pelindian Bijih Nikel Laterit Kadar Rendah Menggunakan Metode Atmospheric Acid *Leaching* Dalam Media Asam Klorida (HCl), *Riset Geologi dan Pertambangan*, Vol. 30, No. 2, p. 203.
- [10] R. G. McDonald and B. I. Whittington, 2008, *Atmospheric Acid Leaching of Nickel Laterites Review. Part I. Sulphuric Acid Technologies*, *Hydrometallurgy*, Vol. 91, No. 1–4, pp. 35–55.
- [11] L. Suhaimi, E. Indrawati, 2022, Pelindian Nikel Laterit *Low-Grade* Pomala Menggunakan Asam Organik dan Asam Inorganik Pada Kondisi Atmosfir,” *Hexagon Jurnal Teknik dan Sains*, Vol. 3, No. 2, pp. 8–12.
- [12] H. S. E. A. Gustiana, I. M. Bendiyasa, H. T. B. M. Petrus, F. R. Mufakhir, and W. Astuti, 2018, Pelindian Nikel dari Nikel Laterit Pomalaa Menggunakan Asam Asetat, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan, April, pp. 1–7.
- [13] Y. Yan, J. Gao, J. Wu, B. Li, 2014, *Effects of Inorganic and Organic Acids on Heavy Metals Leaching in Contaminated Sediment*,” *An Interdisciplinary Response to Mine Water Challenges 10*, Vol. 10, pp. 406–410.
- [14] Islami Fadhilah. M, 2019, Pengaruh Variasi Konsentrasi H_2SO_4 Terhadap Nilai *Recovery* Nikel Pada Proses *Leaching* Nikel Laterit. Skripsi. Politeknik ATI Makassar.
- [15] A. Y. Nurfaidah, D. P. Lestari, R. T. Azzahra, and D. Ratna Suminar, 2020, Kajian Pustaka Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Terhadap Proses Pemisahan Nikel Dari Logam Pengotor Menggunakan Metode *Leaching*, *Fluida*, 13(2), pp.81-92.
- [16] R. Kembar Sari, 2016, Potensi Mineral Batuan Tambang Bukit 12 Dengan Metode XRD, XRF Dan AAS, *Eksakta*, Vol. 2, pp. 13–23, 2016.

- [17] M. Munasir, T. Triwikantoro, M. Zainuri, D. Darminto, 2012, Uji XRD Dan XRF Pada Bahan Mineral (Batuan Dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO_3 DAN SiO_2), *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 2, No. 1, p. 20-29.
- [18] G. Senanayake, J. Childs, B. D. Akerstrom, D. Pugaev, 2011, *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, No. 1–4, pp. 13–32.
- [19] J. H. Kyle, 2010, *Nickel Laterite Processing Technologies – Where To Next? In: ALTA 2010 Nickel/Cobalt/Copper Conference, 24 – 27 May, Perth, Western Australia.*
- [20] Q. Guo, J. K. Qu, T. Qi, G. Y. Wei, B. B. Han, 2012, *Activation Pretreatment of Limonitic Laterite Ores by Alkali-Roasting Using NaOH*, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, Vol. 19, No. 2, pp. 100–105.
- [21] Faisal, M. M, 2023. *Desain Proyek Pabrik Asam Asetat Menggunakan Metode Oksidasi n-Butana dengan Kapasitas 19.000 Ton/Tahun*, Skripsi, Universitas Diponegoro.
- [22] R. Ariana, 2016, *Ekstraksi Nikel Dari Bijih Nikel Laterit Sorowako Dengan Asam Nitrat*, *Inovasi Teknik Kimia*, Vol. 7, No. 2, pp. 1–23.
- [23] Gupta, Chiranjib Kumar, 2003, *Chemical Metallurgy, Principles and Practice*. Copyright Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Mumbai 400085. India: Bhabha Atomic Research Centre
- [24] S. Javanshir, Z. H. Mofrad, A. Azargoon, 2018, *Atmospheric Pressure Leaching of Nickel from a Low-Grade Nickel-Bearing Ore*, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, Vol. 54, No. 3, pp. 890–900.