

Optimasi Parameter Proses Leaching Bijih Nikel Laterit Menggunakan Asam Sitrat sebagai Pelarut Ramah Lingkungan

Irhamni Nuhardin-1^{a*}, Rafdi Abdul Majid-2^a

^aProdi Teknologi Rekayasa Metalurgi, Politeknik Dewantara,
Jalan K.H. Ahmad Razak 2 No. 7, Kota Palopo, Indonesia

*Email : irhamni.in@gmail.com

Abstrak

Nikel merupakan logam strategis yang banyak digunakan dalam industri baja tahan karat, baterai, serta berbagai paduan logam berperforma tinggi. Sebagian besar cadangan nikel dunia berada dalam bentuk bijih laterit yang umumnya memiliki kadar nikel relatif rendah sehingga memerlukan teknologi ekstraksi yang efisien. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan dalam pengolahan bijih laterit adalah proses hidrometalurgi melalui pelindian (leaching). Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi parameter proses leaching bijih nikel laterit menggunakan asam sitrat sebagai pelarut ramah lingkungan. Parameter yang dievaluasi meliputi ukuran partikel bijih (100 mesh, 150 mesh, dan 200 mesh) serta konsentrasi asam sitrat (0,5 M; 1 M; dan 2 M) pada kondisi operasi tetap yaitu suhu 80°C, waktu leaching 60 menit, dan rasio padat-cair 1:5. Karakterisasi awal bijih dilakukan menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) untuk mengetahui komposisi unsur utama dalam sampel. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar nikel awal dalam bijih sebesar 1,67% dengan dominasi unsur Fe₂O₃ dan SiO₂ yang mengindikasikan karakteristik bijih laterit tipe limonit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam sitrat dan pengecilan ukuran partikel memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan persen recovery nikel. Nilai recovery tertinggi sebesar 78,29% diperoleh pada ukuran partikel 200 mesh dengan konsentrasi asam sitrat 2 M. Hasil ini menunjukkan bahwa luas permukaan partikel dan kekuatan larutan pelindian berperan penting dalam meningkatkan efisiensi proses ekstraksi nikel. Penggunaan asam sitrat sebagai pelarut organik juga memberikan keuntungan dari sisi keberlanjutan lingkungan dibandingkan penggunaan asam anorganik kuat. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pelindian bijih nikel laterit berbasis pelarut organik yang lebih ramah lingkungan.

Kata Kunci : *Asam Sitrat, Hidrometalurgi, Leaching, Nikel Laterit, Recovery Nikel*

1. Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu logam penting yang memiliki peran strategis dalam perkembangan industri modern. Logam ini banyak dimanfaatkan dalam pembuatan baja tahan karat, paduan logam berkekuatan tinggi, katalis industri, serta material aktif pada baterai kendaraan listrik. Seiring meningkatnya kebutuhan teknologi energi bersih dan kendaraan

listrik, permintaan global terhadap nikel juga mengalami peningkatan yang signifikan. Kondisi tersebut mendorong pengembangan teknologi pengolahan bijih nikel yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan untuk mendukung ketersediaan bahan baku industri di masa depan [3].

Sebagian besar sumber daya nikel di dunia ditemukan dalam bentuk bijih laterit

yang terbentuk akibat proses pelapukan batuan ultramafik pada wilayah beriklim tropis. Diperkirakan lebih dari 70% cadangan nikel global berada dalam bentuk laterit, sedangkan sisanya berasal dari endapan sulfida. Karakteristik bijih laterit umumnya memiliki kadar logam yang relatif rendah serta komposisi mineral yang kompleks sehingga memerlukan metode ekstraksi yang tepat agar proses perolehan nikel dapat dilakukan secara optimal dan ekonomis[1].

Bijih nikel laterit terbagi menjadi dua tipe utama yaitu limonit dan saprolit[2]. Limonit biasanya berada pada lapisan permukaan dan didominasi oleh mineral oksida besi seperti *goethite* dan *hematite* dengan kadar nikel relatif rendah[3]. Sementara itu, saprolit berada pada lapisan yang lebih dalam dengan kandungan magnesium silikat yang lebih tinggi serta kadar nikel yang relatif lebih besar[4]. Karakteristik mineralogi tersebut mempengaruhi metode pengolahan yang digunakan dalam proses ekstraksi nikel[5].

Teknologi pengolahan nikel laterit secara umum dapat dibagi menjadi dua pendekatan utama, yaitu proses pirometalurgi dan hidrometalurgi. Proses pirometalurgi seperti pembuatan ferronikel dan nickel pig iron (NPI) umumnya digunakan untuk bijih saprolit dengan kadar nikel yang lebih tinggi. Metode ini membutuhkan konsumsi energi yang besar dan menghasilkan emisi karbon yang signifikan. Sehingga proses hidrometalurgi menjadi alternatif yang lebih efisien untuk mengolah bijih limonit dengan kadar nikel rendah.

Salah satu metode hidrometalurgi yang banyak digunakan adalah proses pelindian atau leaching. Proses ini melibatkan pelarutan logam dari matriks bijih menggunakan larutan pelindian sehingga logam target dapat dipisahkan dari mineral pengotor. Keberhasilan proses leaching dipengaruhi oleh berbagai parameter operasi seperti ukuran partikel bijih, jenis pelarut, konsentrasi pelarut, suhu proses, waktu kontak, serta rasio padat-cair[6].

Pelarut yang umum digunakan dalam proses leaching bijih nikel laterit adalah asam anorganik seperti asam sulfat atau asam klorida[7]. Meskipun efektif dalam melarutkan logam, penggunaan asam anorganik kuat sering menimbulkan permasalahan lingkungan dan memerlukan sistem pengolahan limbah yang kompleks[8]. Pengembangan pelarut alternatif yang lebih ramah lingkungan menjadi topik penelitian yang semakin penting dalam bidang hidrometalurgi[9].

Asam sitrat merupakan salah satu asam organik yang berpotensi digunakan sebagai agen pelindian dalam ekstraksi logam[10]. Senyawa ini bersifat biodegradable, relatif tidak beracun, dan mampu membentuk kompleks dengan ion logam seperti Ni^{2+} . Kemampuan kompleksasi tersebut dapat meningkatkan kelarutan logam dalam larutan sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi proses leaching. Selain itu, penggunaan asam sitrat dapat mengurangi dampak lingkungan dibandingkan dengan penggunaan asam mineral kuat [11].

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa parameter proses seperti ukuran partikel bijih dan konsentrasi pelarut memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi pelindian logam. Ukuran partikel yang lebih kecil umumnya meningkatkan luas permukaan kontak antara bijih dan larutan pelindian, sehingga mempercepat proses difusi dan reaksi pelarutan logam. Sementara itu, peningkatan konsentrasi pelarut dapat meningkatkan kekuatan kimia larutan dalam melarutkan logam target [12].

Optimasi parameter proses leaching menggunakan pelarut organik seperti asam sitrat masih memerlukan kajian lebih lanjut [13]. terutama dalam konteks pengolahan bijih nikel laterit berkadar rendah. Penelitian yang komprehensif mengenai interaksi antara ukuran partikel dan konsentrasi pelarut sangat diperlukan untuk memperoleh kondisi operasi yang optimal [14].

Berdasarkan latar belakang diatas penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi

dan mengoptimasi parameter proses leaching bijih nikel laterit menggunakan asam sitrat sebagai pelarut ramah lingkungan. Parameter yang dikaji meliputi ukuran partikel bijih dan konsentrasi larutan asam sitrat terhadap persen recovery nikel yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi hidrometalurgi yang lebih berkelanjutan dalam pengolahan sumber daya nikel laterit.

2. Metodologi

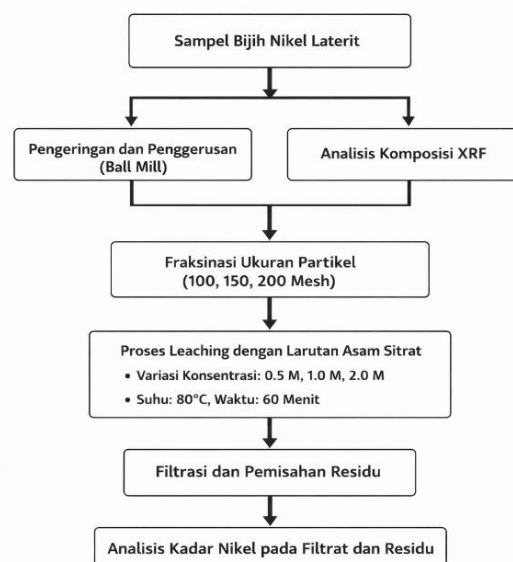
Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijih nikel laterit yang diperoleh dari wilayah pertambangan nikel di Indonesia. Sampel bijih dikarakterisasi untuk mengetahui komposisi unsur menggunakan metode *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Bahan kimia yang digunakan sebagai pelarut adalah asam sitrat dengan variasi konsentrasi tertentu. Selain itu digunakan aquades sebagai pelarut tambahan dalam pembuatan larutan pelindian.

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: 1). Ball mill untuk proses pengecilan ukuran bijih; 2). Sieve shaker untuk klasifikasi ukuran partikel; 3). Hot plate magnetic stirrer; 4). Labu leher lima; 5). Kondensor reflux; 6). Sistem filtrasi vakum; 7). X-Ray Fluorescence (XRF)

Sampel bijih nikel laterit terlebih dahulu dikeringkan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam material. Setelah proses pengeringan, bijih dihancurkan menggunakan ball mill hingga diperoleh ukuran partikel yang lebih halus. Selanjutnya sampel diayak menggunakan sieve shaker untuk memperoleh fraksi ukuran partikel 100 mesh, 150 mesh dan 200 mesh. Sampel yang telah dipreparasi kemudian dianalisis menggunakan XRF untuk menentukan komposisi kimia awal bijih.

Larutan asam sitrat disiapkan dengan konsentrasi 0,5 M, 1 M, dan 2 M. Proses leaching dilakukan menggunakan labu

leher lima yang dilengkapi dengan kondensor untuk menjaga kestabilan sistem selama pemanasan. Parameter operasi proses leaching adalah suhu 80°C, waktu 60 menit, rasio padat-cair 1:5, kecepatan pengadukan 200 rpm. Sampel bijih dimasukkan ke dalam reaktor bersama larutan pelindian dan dipanaskan pada suhu yang telah ditentukan. Setelah proses leaching selesai, campuran disaring menggunakan sistem filtrasi vakum untuk memisahkan residu padat dari filtrat. Residu padatan kemudian dianalisis menggunakan XRF untuk menentukan kadar nikel setelah proses pelindian.



3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa bijih nikel yang digunakan memiliki kadar nikel sebesar sekitar 1,67%. Selain nikel, unsur yang dominan dalam sampel adalah Fe_2O_3 dan SiO_2 yang merupakan komponen utama pada bijih laterit tipe limonit.

Tabel 1. Komposisi Kimia Bijih Nikel Laterit berdasarkan analisis XR

No	Komponen	Kadar (%)
1	Ni	1.67
2	Fe_2O_3	44.69
3	SiO_2	35.75
4	Al_2O_3	1.87
5	Cr_2O_3	1.48

No	Komponen	Kadar (%)
6	MnO	0.62
7	CaO	0.51
8	TiO ₂	0.04

Berdasarkan Tabel 1 komponen dominan pada bijih adalah Fe₂O₃ dan SiO₂ yang menunjukkan karakteristik bijih laterit tipe limonit. Kandungan nikel sebesar 1,67% menunjukkan bahwa bijih tersebut tergolong bijih nikel kadar rendah sehingga memerlukan metode ekstraksi yang efektif untuk meningkatkan perolehan logam.

Tingginya kandungan oksida besi menunjukkan bahwa mineral penyusun utama bijih kemungkinan berupa goethite dan hematite. Keberadaan mineral ini sering menjadi tantangan dalam proses ekstraksi karena besi dapat ikut larut selama proses pelindian[15], [16].

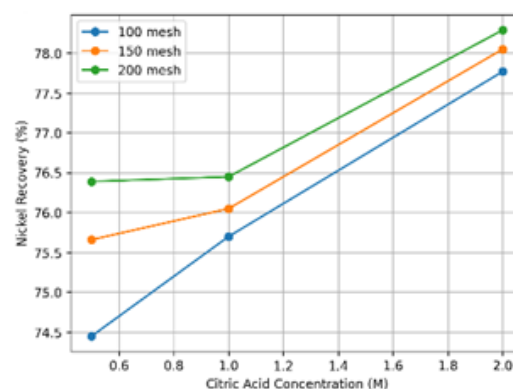
Ukuran partikel merupakan salah satu faktor penting dalam proses leaching karena mempengaruhi luas permukaan reaksi antara bijih dan larutan pelindian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengecilan ukuran partikel dari 100 mesh menjadi 200 mesh meningkatkan persen recovery nikel secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya luas permukaan partikel yang bersentuhan langsung dengan larutan pelindian.

Tabel 2. Persen Recovery Nikel Pada Variasi Ukuran Partikel Dan Konsentrasi Asam Sitrat

Ukuran Partikel (mesh)	0.5 M	1.0 M	2.0 M
100	74.45	75.70	77.77
150	75.66	76.05	78.05
200	76.39	76.45	78.29

Tabel 2 menunjukkan bahwa peningkatan ukuran partikel yang lebih halus dan konsentrasi asam sitrat yang lebih

tinggi menghasilkan peningkatan persen recovery nikel. Hal ini menunjukkan bahwa kedua parameter tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi proses leaching.



Gambar 2. Hubungan Konsentrasi Asam Sitrat Terhadap Persen Recovery Nikel Pada Berbagai Ukuran Partikel

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa peningkatan konsentrasi asam sitrat memberikan kecenderungan peningkatan persen recovery nikel pada seluruh variasi ukuran partikel. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi pelarut berperan penting dalam meningkatkan kemampuan pelindian logam dari matriks bijih. Konsentrasi yang lebih tinggi meningkatkan ketersediaan ion sitrat dalam larutan yang mampu membentuk kompleks dengan ion Ni²⁺ sehingga mempercepat proses pelarutan nikel selama proses leaching berlangsung

Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar area kontak yang tersedia sehingga mempercepat proses difusi ion logam dari matriks mineral ke dalam larutan[17], [18]. Kondisi ini meningkatkan efisiensi reaksi pelindian dan menghasilkan recovery nikel yang lebih tinggi[19], [20].

Konsentrasi pelarut juga berperan penting dalam menentukan efektivitas proses pelindian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan

konsentrasi asam sitrat dari 0,5 M menjadi 2 M menghasilkan peningkatan persen recovery nikel.

Fenomena ini dapat dijelaskan melalui mekanisme kompleksasi antara ion Ni^{2+} dengan anion sitrat dalam larutan. Konsentrasi pelarut yang lebih tinggi meningkatkan jumlah molekul asam sitrat yang tersedia untuk bereaksi dengan logam. Selain itu, peningkatan konsentrasi juga meningkatkan keasaman larutan sehingga mempercepat proses pelarutan mineral yang mengandung nikel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi ukuran partikel yang lebih kecil dan konsentrasi pelarut yang lebih tinggi memberikan hasil recovery terbaik. Nilai recovery tertinggi sebesar 78,29% diperoleh pada ukuran partikel 200 mesh dengan konsentrasi asam sitrat 2 M. Kombinasi parameter tersebut menghasilkan kondisi optimum karena (a) luas permukaan reaksi meningkat, (b) kekuatan larutan pelindian meningkat, (c) reaksi pelindian berlangsung lebih efisien.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa parameter proses leaching memiliki pengaruh signifikan terhadap recovery nikel dari bijih laterit. Ukuran partikel yang lebih kecil dan konsentrasi asam sitrat yang lebih tinggi mampu meningkatkan efisiensi proses pelindian.

Nilai recovery nikel tertinggi sebesar 78,29% diperoleh pada ukuran partikel 200 mesh dengan konsentrasi asam sitrat 2 M. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa asam sitrat memiliki potensi sebagai pelarut alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam proses ekstraksi nikel dari bijih laterit.

Daftar Pustaka

[1] A. D. Dalvi, W. G. Bacon, and R. C. Osborne, "The past and the future of nickel laterites," in *PDAC 2004 International Convention, Trade*

Show & Investors Exchange, The prospectors and Developers Association of Canada Toronto, 2004, pp. 1–27.

- [2] F. Bahfie, A. Manaf, W. Astuti, F. Nurjaman, and U. Herlina, "Tinjauan teknologi proses ekstraksi bijih nikel laterit," *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 17, no. 3, pp. 135–152, 2021, doi: <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol17.No3.2021.1156>.
- [3] R. Saputra, "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," 2024, *Universitas Hasanuddin*.
- [4] N. P. Imalianda, S. U. Pratomo, S. Sutarto, and P. P. A. Darmawan, "Karakteristik Unsur Nikel berdasarkan Litologi, Mineralogi, dan Analisis Fraksi Butir pada Zona Saprolit di Lapangan 'K', Pulau Gebe, Kabupaten Halmahera Tengah, Provinsi Maluku Utara, Indonesia," *J. Geosains dan Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 111–122, 2024, doi: <https://doi.org/10.14710/jgt.7.2.2024.111-122>.
- [5] R. Gunawan, "Tahapan Penambangan Nikel Laterit," *Min. Sci. Technol. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 84–92, 2025, doi: <https://doi.org/10.54297/minetech-journal.v4i2.914>.
- [6] G. Prameswara, I. Trisnawati, P. Mulyono, A. Prasetya, and H. T. B. M. Petrus, "Leaching Behaviour and Kinetic of Light and Heavy Rare Earth Elements (REE) from Zircon Tailings in Indonesia: Prameswara, Trisnawati, Mulyono, Prasetya, and Petrus," *Jom*, vol. 73, no. 4, pp. 988–998, 2021.
- [7] M. Arifin, S. Bakhri, M. I. Juradi, S. Bakri, S. R. Nurhawaisyah, and M. I.

- A. Mulia, "Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Organik Terhadap Nilai Recovery Nikel Pada Proses Leaching Nikel Laterit," *J. Chem. Process Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 81–88, 2023, doi: <https://doi.org/10.33096/jcpe.v8i2.624>.
- [8] G. N. Affandi, P. C. G. Berlianti, N. R. Ramadhania, R. S. Abi Shawaaba, and D. O. Radianto, "Efektivitas Pengolahan Limbah Fisik (Padat Dan Cair) Dengan Menggunakan Teknologi Inovatif," *J. Wilayah, Kota Dan Lingkungan. Berkelanjutan*, vol. 3, no. 1, pp. 84–98, 2024, doi: <https://doi.org/10.58169/jwikal.v3i1.368>.
- [9] P. Riani and U. A. Fannin, "Penentuan Kadar Kalium Sorbat dan Persen Recovery pada Selai dengan Metoda High Performance Liquid Chromatography," *React. J. Res. Chem. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 25–28, 2020, doi: <https://doi.org/10.52759/reactor.v1i2.7>.
- [10] G. L. Hakim, A. Prasetya, P. Mulyono, and H. T. B. M. Petrus, "Studi Optimasi Komposisi Red Mud dan Asam Sitrat untuk Phytomining," *Envirotek J. Ilm. Tek. Lingkungan.*, vol. 16, no. 2, 2024, doi: <https://doi.org/10.33005/envirotek.v16i2.1921>.
- [11] Mukhtar, M., Arninda, A. and Diana, S., Pengaruh Konsentrasi Terhadap Persen Recovery Nikel Laterit Pada Proses Pelindian, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri IX, 2022
- [12] Wang, X., Li, J. and Chen, Y., Organic Acid Leaching of Metals from Lateritic Ores, *Hydrometallurgy*, 190, 105–112, 2020.
- [13] Rahman, A. and Lee, J., Nickel Extraction from Lateritic Ores: A Review of Hydrometallurgical Techniques, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 50(6), 2400–2412, 2019.
- [14] M. Ridwan Septiawan et al., "Pengendapan nikel sulfat hasil pelindian bijih nikel laterit menggunakan metode solvent displacement crystallization (SDC)," *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 17, no. 2, 2023. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.83282>.
- [15] K. C. Wanta, W. Astuti, H. T. B. M. Petrus, and I. Perdana, "Product diffusion-controlled leaching of nickel laterite using low concentration citric acid leachant at atmospheric condition," *International Journal of Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 410–421, 2022. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i2.4641>
- [16] Setiawan, A. Nabilah, S. Oediyani, R. Subagja, J. Irawan, and A. N. Syahid, "Kinetic of dissolution of nickel limonite calcine by sulfuric acid solution," *Jurnal Metalurgi*, vol. 38, no. 3, pp. 109–116, 2023. <https://doi.org/10.55981/metalurgi.2023.740>
- [17] S. Solihin, A. Syarif, N. Dewi, and H. Permana, "The kinetic profile of iron dissolution from laterite ore in chloric acid solution," *Indonesian Mining Journal*, vol. 22, no. 1, pp. 1–10, 2020. <https://doi.org/10.30556/imj.Vol22.No1.2019.970>
- [18] Y. Wang, Y. Wu, Y. Fan, "Leaching kinetics of limonite-type laterite nickel ore at atmospheric pressure," *JOM*, vol. 76, pp. 6363–6375, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11837-024-06470-0>
- [19] S. A. Zen and E. Yanuar, "Pengaruh jenis asam dan konsentrasi asam terhadap persentase ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit Pomalaa Sulawesi Tenggara," *Hexagon*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2023. <https://doi.org/10.36761/hexagon.v5i1.3237>.
- [20] Y. P. Tyassena, Y. Sari, and A. A. I.

S. Yusuf, “Pengaruh ukuran partikel terhadap % recovery pada proses leaching bijih nikel laterit asal Pulau Kabaena Sulawesi Tenggara,” Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, 2022.