

Pengaruh Konsentrasi Pelarut Asam (HNO_3 dan CH_3COOH) dan Temperatur Terhadap Persen Recovery Nikel Dari Hasil *Leaching* Bijih Laterit Morowali

Alexander Malau¹, Nurul Halizah², Gogo Pasaribu³, Hendi Lilih Wijayanto⁴, Ardiansah⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali

Email: alexander.malau@gmail.com

Abstrak. Salah satu daerah penghasil nikel terbesar di dunia adalah kabupaten Morowali, Indonesia. Nikel tahan karat adalah bahan baku untuk katoda baterai dan juga digunakan sebagai precursornya. Dalam penelitian ini, bijih laterit Morowali diekstraksi melalui proses yang dikenal sebagai ekstraksi padat-cair (*leaching*). Pelarut asam nitrat dan asam asetat digunakan untuk proses *leaching*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi dan suhu *leaching* larutan asam terhadap persen *recovery* nikel yang dihasilkan. *Leaching* dilakukan dengan variasi konsentrasi dan temperatur. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah *leaching* asam pada tekanan atmosfer (APAL). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam dan temperatur *leaching* meningkatkan persen *recovery* nikel yang diperoleh. Konsentrasi dan temperatur terbaik dari hasil penelitian ini adalah konsentrasi 7M dan temperatur 110°C menggunakan pelarut asam nitrat dengan persen *recovery* nikel yang diperoleh yaitu sebesar 23,14% dan 20,71%.

Kata Kunci: Bijih Laterit, *Atmospheric Acid Leaching*, Persen *Recovery* Nikel

Abstract. One of the largest nickel producing areas in the world is Morowali, Indonesia. Stainless nickel is the raw material for battery cathodes and is also used as its precursor. In this study, Morowali laterite ore was extracted through a process known as solid-liquid extraction (*leaching*). Nitric acid and acetic acid solvents were used for the *leaching* process. The purpose of this research was to determine the effect of concentration and temperature of *leaching* acid solution on the percent *recovery* of nickel produced. *Leaching* was carried out with variations in concentration and temperature. In this study, the method used was acid *leaching* at atmospheric pressure (APAL). The results of this study indicate that increasing acid concentration and *leaching* temperature increases the percent *recovery* of nickel obtained. The best concentration and temperature from the results of this research are 7M concentration and 110°C temperature using nitric acid solvent with a nickel *recovery* percent obtained of 23.14% and 20.71%.

Keywords: Laterite ore, *Atmospheric acid leaching*, Persen *recovery* nickel

Pendahuluan

Indonesia sebagai negara dengan iklim tropis mempunyai cadangan bijih nikel laterit yang sangat besar. Sekitar 12% cadangan nikel dunia terdapat di Indonesia dalam bentuk bijih nikel laterit. Deposit bijih nikel banyak ditemukan di wilayah Indonesia bagian timur, seperti Pulau Sulawesi, Pulau Maluku, dan Pulau Papua [1]. Pengembangan sepeda motor dan mobil listrik adalah bagian dari upaya pemerintah Indonesia untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor. Baterai adalah bagian penting dari sepeda motor listrik dan mobil Listrik [2]. Nikel yang digunakan dalam katode baterai dapat diperoleh dari bijih nikel laterit melalui proses hidrometalurgi, yaitu melalui tahapan pelindian dengan tekanan atmosfer. Selain itu, nikel dapat dimurnikan melalui berbagai proses, seperti ekstraksi pelarut, pengendapan pengotor, pertukaran ion, dan sebagainya [3]. Kebutuhan unsur logam ini dapat dipenuhi dengan memanfaatkan bijih laterit, terutama terdapat di negara tropis seperti Indonesia [4].

Nikel adalah salah satu logam paduan besi dan baja yang memiliki sifat mekanik seperti ketangguhan, ketahanan korosi, dan ketahanan oksidasi pada suhu tinggi. Pengolahan biji Nikel dapat dilakukan melalui proses peleburan pada suhu tinggi [5]. Nikel merupakan unsur penting dalam kehidupan manusia. Unsur logam ini banyak digunakan karena memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik dan mudah dibentuk



namun tahan lama. Nikel juga tergolong logam yang penting dan strategis. Logam ini juga sebagai salah satu bahan baku utama yang digunakan dalam produksi baja tahan karat, baja khusus, katalis, dan baterai. Selain itu, logam ini juga berperan penting dalam beberapa proses pengendapan logam keras dalam bentuk paduan seperti baja tahan karat [6]. Nikel secara alami terdiri dari dua jenis mineral utama yaitu sekitar 60% dalam sulfida dan 40% dalam laterit. Sebagian besar produksi nikel berasal dari mineral sulfida [7].

Pengolahan bijih nikel laterit kadar tinggi dapat dilakukan melalui jalur pirometalurgi atau hidrometalurgi atau kombinasi keduanya. Proses pirometalurgi menghasilkan feronikel dan nikel *matte* dari bijih nikel laterit kadar tinggi [8]. Proses pirometalurgi digunakan untuk mengolah bijih nikel berkadar tinggi, tetapi ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit berkadar rendah biasanya dilakukan dengan hidrometalurgi. Ini karena proses pirometalurgi tidak ekonomis dan nikel yang dihasilkannya memiliki grade yang rendah [9]. Proses hidrometalurgi adalah ekstraksi mineral dengan bantuan pelarut kimia atau *solvent* dan dilakukan pada suhu rendah. Prinsip dasar pelindian bijih nikel dengan asam pada tekanan atmosfer adalah bahwa bijih laterit nikel dapat dipindahkan ke larutan pelindian dan nikel akan terlarut di dalam asam. Proses hidrometalurgi dianggap lebih hemat energi dan ramah lingkungan daripada proses pirometalurgi serta prosesnya juga lebih mudah dikendalikan [10].

Saat ini, metode pelindian asam bertekanan tinggi (HPAL) dan metode pirometalurgi adalah dua teknologi utama untuk pengolahan nikel laterit. Namun, kedua metode ini memiliki beberapa kelemahan yaitu biaya investasi *autoclave* yang tinggi, masalah teknis dan konsumsi energi yang tinggi. Selain itu, kedua proses ini membutuhkan mineral nikel laterit berkualitas tinggi untuk proses produksi [11]. Di Indonesia, pemurnian nikel melalui metode pirometalurgi untuk memproses bijih saprolit ($\text{Ni} > 1,5\%$) telah dilakukan sedangkan metode hidrometalurgi untuk memproses bijih limonite ($\text{Ni} < 1,5\%$) masih akan dilakukan. Proses hidrometalurgi yang paling umum digunakan saat ini adalah *High Pressure Acid Leaching* (HPAL). Namun, HPAL memiliki kelemahan yaitu membutuhkan biaya modal yang tinggi dan masalah korosi [12].

Ekstraksi nikel dari bijih laterit limonit kadar rendah terutama dilakukan dengan hidrometalurgi. Selain nikel, bijih limonit biasanya mengandung 0,1-0,2% kobalt, 0,5-5% magnesium oksida, dan 40-50% besi. Perendaman bijih limonit dalam larutan asam seperti asam sulfat, asam klorida dan asam nitrat akan menghasilkan larutan yang mengandung nikel, kobalt, besi, magnesium dan beberapa unsur lain dengan konsentrasi lebih rendah seperti kromium, aluminium dan mangan [13]. Salah satu metode hidrometalurgi untuk memisahkan nikel dari bijih nikel laterit adalah pelindian asam atmosferik (AAL). Penggunaan proses AAL dinilai efektif dalam hal penghematan energi dan kemurnian produk yang diperoleh. Oleh karena itu, proses AAL ini diharapkan dapat diterapkan pada skala industri di Indonesia sehingga nikel laterit Indonesia dapat dimanfaatkan dengan lebih efektif dan efisien [14]. Metode hidrometalurgi yang dilakukan secara konvensional dengan bahan baku nikel laterit yaitu proses pelindian asam bertekanan tinggi (HPAL) yang sering digunakan karena mengendapkan besi sebagai hematit atau mineral oksida besi selama proses pelindian (*leaching*) berlangsung [15].

Penelitian ekstraksi bijih laterit dari Morowali telah dilakukan oleh Tyassena dengan menggunakan pelarut H_2SO_4 2M, dimana persen *recovery* nikel yang diperoleh lebih dari 60% dengan waktu *leaching* lebih dari 200 menit. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh variasi konsentrasi dari dua jenis asam yaitu asam anorganik

seperti asam nitrat dan asam organik seperti asam asetat terhadap persen *recovery* nikel. Penelitian ini juga menentukan pengaruh variasi kondisi temperatur *leaching* dan pengaruh 2 jenis asam yang berbeda (asam anorganik dan asam organik) terhadap persen *recovery* nikel.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan proses ekstraksi padat-cair (*leaching*) menggunakan asam nitrat dan asam asetat dengan variasi konsentrasi pelarut dan variasi temperatur proses *leaching*. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel bijih laterit dari kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah. Bijih laterit *ore* digerus di dalam *ball mill* dan kemudian dilakukan pengayakan sampai partikel berukuran 250mesh. Kemudian sampel dikeringkan di dalam oven selama 110⁰C selama 5 jam untuk menghilangkan kadar air. Selanjutnya sampel dikarakterisasi menggunakan instrument XRF untuk komposisi unsur yang terkandung di dalam sampel bijih laterit *ore* tersebut seperti yang diperoleh pada Tabel 1.

Pada tahapan prosedur yang pertama yaitu menggunakan 2 jenis pelarut asam yaitu asam nitrat (HNO₃) dan asam asetat (CH₃COOH) dengan variasi konsentrasi. Dimasukkan sampel yang berukuran 250 mesh sebanyak 50gram ke dalam labu uji yang berukuran 500ml. Kemudian ditambahkan pelarut asam nitrat 3M sebanyak 200ml. Selanjutnya dilakukan ekstraksi padat-cair atau *leaching* dengan pemanasan di atas *hotplate* pada temperatur 80⁰C dan kecepatan pengadukan menggunakan magnetic stirrer sebesar 700rpm selama 80 menit. Setelah proses *leaching* selesai, dilakukan pemisahan filtrat dari residu dengan menggunakan kertas saring yang diletakkan pada corong kaca dan ditampung filtrat yang terbentuk ke dalam erlenmeyer. Filtrat yang dihasilkan dari proses *leaching* dikarakterisasi menggunakan instrumen AAS untuk mengetahui kadar nikel di dalam filtrat tersebut. Proses *leaching* ini dilakukan dengan variasi konsentrasi pelarut asam nitrat 4M, 5M, 6M dan 7M. Kemudian dilakukan juga prosedur yang sama menggunakan pelarut asam asetat dengan variasi konsentrasi 4M, 6M dan 8M. Pada tahapan prosedur yang kedua masih menggunakan 2 jenis pelarut asam yaitu asam nitrat dan asam asetat dengan variasi temperatur proses *leaching*. Dimasukkan sampel yang berukuran 250 mesh sebanyak 50gram ke dalam labu uji yang berukuran 500ml. Kemudian ditambahkan pelarut asam nitrat 6M sebanyak 200ml. Selanjutnya dilakukan ekstraksi padat-cair atau *leaching* dengan pemanasan di atas *hotplate* pada temperatur 80⁰C dan kecepatan pengadukan menggunakan magnetic stirrer sebesar 700rpm selama 80 menit. Setelah proses *leaching* selesai, dilakukan pemisahan filtrat dari residu dengan menggunakan kertas saring yang diletakkan pada corong kaca dan ditampung filtrat yang terbentuk ke dalam erlenmeyer. Filtrat yang dihasilkan dari proses *leaching* dikarakterisasi menggunakan instrumen AAS untuk mengetahui kadar nikel di dalam filtrat tersebut. Proses *leaching* ini dilakukan dengan variasi temperatur proses *leaching* 60⁰C, 70⁰C, 80⁰C, 90⁰C, 100⁰C dan 110⁰C. Kemudian dilakukan juga prosedur yang sama menggunakan pelarut asam asetat dengan variasi temperatur proses *leaching* 60⁰C, 70⁰C, 90⁰C, 100⁰C dan 110⁰C.

Data hasil pengujian filtrat hasil *leaching* menggunakan instrument AAS diolah dengan menggunakan persamaan 1 [16].

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

Keterangan :

A = *recovery* nikel (%)

C_{po} = konsentrasi nikel dalam sampel bijih (ppm)

C_p = konsentrasi nikel dalam larutan hasil leaching (ppm)

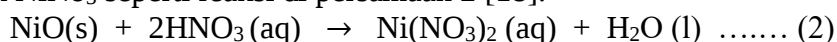
Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan sampel bijih laterit dari Morowali. Sampel ini terlebih dahulu dikarakterisasi menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam sampel bijih laterit sebagai bahan baku. Data komposisi kimia bijih laterit tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa sampel bijih laterit memiliki kandungan unsur Ni sebesar 5,32% dan unsur besi sekitar 60,41% serta unsur-unsur lainnya. Dengan komposisi kimia unsur-unsur tersebut, maka bijih laterit ini tergolong dalam bijih nikel laterit saprolit.

Tabel 1. Hasil analisis X-Ray Fluorescence (XRF) Ore laterit

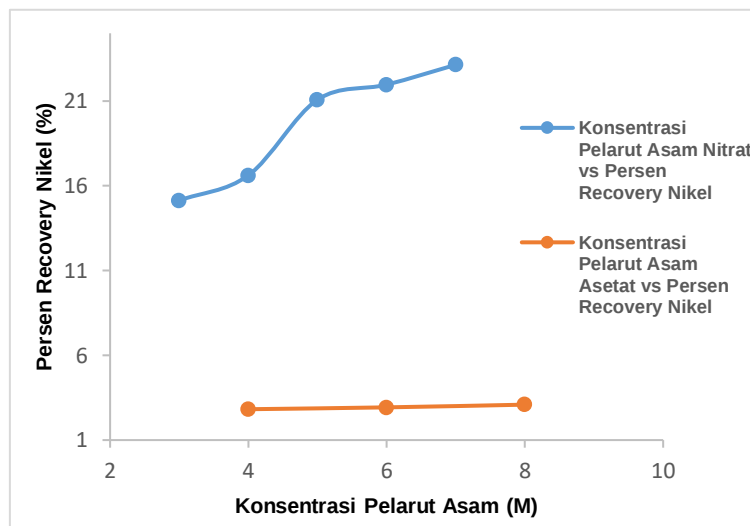
Unsur	Konsentrasi (m/m%)
Fe	60,41
Mg	15,20
Si	14,48
Ni	5,32
Mn	1,96
Cr	1,40
Ca	1,03
Zn	0,132
Nb	0,0335
Mo	0,0188
Sn	0,0083
In	0,0083

Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam nitrat yang digunakan untuk mengekstraksi bijih ore, maka persen *recovery* nikel yang dihasilkan semakin tinggi. Produk nikel nitrat dan air akan dihasilkan ketika molekul NiO dalam sampel berinteraksi dengan ion H⁺ dan NO₃⁻ [17]. Semakin tinggi konsentrasi asam nitrat yang digunakan, maka akan terdapat semakin banyak ion NO₃⁻ yang mengikat Ni sehingga membentuk NiNO₃ seperti reaksi di persamaan 2 [18].



Persen *recovery* nikel tertinggi yang diperoleh dari ekstraksi bijih ore menggunakan pelarut asam nitrat yaitu sebesar 23,14% dengan konsentrasi pelarut asam nitrat yang digunakan yaitu 7M. Gambar 1 juga menunjukkan ekstraksi bijih ore dengan pelarut asam asetat, dimana semakin tinggi konsentrasi pelarut asam asetat yang digunakan, maka persen *recovery* nikel yang dihasilkan semakin tinggi.

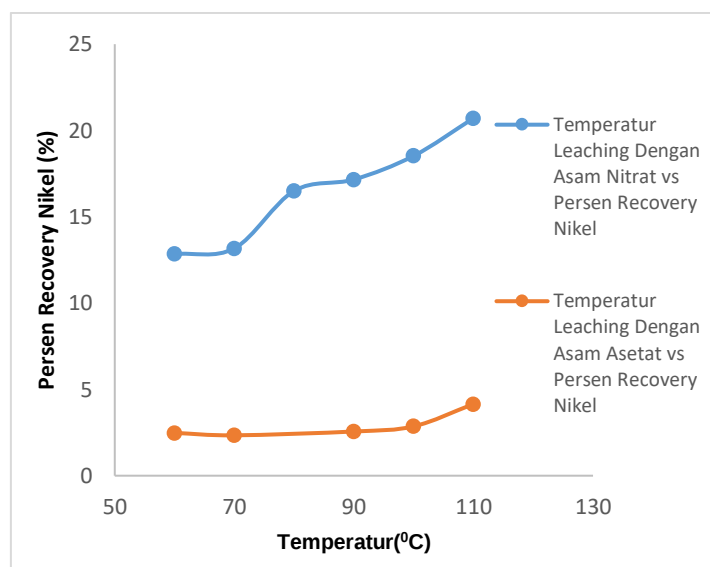
Semakin besar konsentrasi asam asetat yang digunakan untuk ekstraksi, maka semakin banyak ion H^+ yang terkandung di dalam larutan asam asetat sehingga meningkatkan peluang terjadinya reaksi ion H^+ molekul NiO [16]. Semakin tinggi konsentrasi asam asetat, maka akan semakin banyak juga ion CH_3COO^- yang mengikat Ni sehingga membentuk $Ni(CH_3COO)_2$ seperti reaksi di persamaan 3 [16].



Gambar 1. Grafik Pengaruh Konsentrasi Pelarut Asam Nitrat dan Asam Asetat Terhadap Persen Recovery Nikel

Persen *recovery* nikel tertinggi yang diperoleh dari ekstraksi bijih *ore* menggunakan pelarut asam asetat yaitu sebesar 3,09% dengan konsentrasi pelarut asam asetat yang digunakan yaitu 8M. Persen *recovery* nikel yang dihasilkan menggunakan asam nitrat dan asam asetat dengan menggunakan konsentrasi yang sama yaitu 4M terjadi perbedaan yang signifikan. Persen *recovery* nikel yang dihasilkan menggunakan pelarut asam nitrat 4M sebesar 16,62% sedangkan persen *recovery* nikel yang dihasilkan menggunakan pelarut asam asetat 4M sebesar 2,82%. Perbedaan persen *recovery* nikel yang dihasilkan dari kedua pelarut asam tersebut dengan konsentrasi yang sama 4M disebabkan oleh adanya perbedaan jumlah ion H^+ yang terkandung diantara kedua jenis asam tersebut. Pelarut asam nitrat sebagai pelarut anorganik memiliki jumlah ion H^+ lebih besar dibandingkan dengan asam asetat sebagai pelarut organik sehingga peluang terjadinya reaksi antara ion H^+ dan molekul nikel oksida (NiO) semakin besar [14].

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi kondisi temperatur dalam proses ekstraksi bijih *ore* dengan menggunakan pelarut asam nitrat, maka persen *recovery* nikel yang dihasilkan semakin tinggi. Persen *recovery* nikel tertinggi yang diperoleh dari ekstraksi bijih *ore* menggunakan pelarut asam nitrat yaitu sebesar 20,71% dengan kondisi temperatur ekstraksi yaitu $110^{\circ}C$. Ekstraksi bijih *ore* dengan pelarut asam nitrat dan asam asetat pada temperatur yang sama yaitu $110^{\circ}C$ menghasilkan persen *recovery* nikel yang berbeda secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan jumlah ion H^+ yang terkandung diantara kedua jenis asam tersebut. Pelarut asam nitrat sebagai pelarut anorganik memiliki jumlah ion H^+ lebih besar dibandingkan dengan asam asetat sebagai pelarut organik sehingga peluang terjadinya reaksi antara ion H^+ dan molekul nikel oksida (NiO) semakin besar [14].



Gambar 2. Grafik Pengaruh Temperatur *Leaching* Menggunakan Pelarut Asam Nitrat dan Asam Asetat Terhadap Persen *Recovery* Nikel

Demikian juga halnya dengan ekstraksi bijih *ore* dengan pelarut asam asetat, dimana semakin tinggi kondisi temperatur yang digunakan, maka persen *recovery* nikel semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan maka nikel yang dapat diekstraksi dari bijih laterit semakin banyak. Hal ini dapat terjadi karena peningkatan suhu operasi menyebabkan peningkatan energi kinetik antarmolekul sehingga juga meningkatkan frekuensi tumbukan antarmolekul. Peningkatan frekuensi tumbukan ini menyebabkan reaksi yang lebih besar untuk membentuk produk nikel nitrat dan nikel asetat [17]. Persen *recovery* nikel tertinggi yang diperoleh dari ekstraksi bijih *ore* menggunakan pelarut asam asetat yaitu sebesar 4,15% dengan dengan kondisi temperatur dari proses ekstraksi yaitu 110°C.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa proses ekstraksi padat cair (*leaching*) bijih *ore* laterit dari morowali menggunakan 2 jenis asam yang berbeda yaitu asam nitrat dan asam asetat menghasilkan persen *recovery* yang berbeda-beda. Semakin besar konsentrasi asam dan temperatur *leaching* yang digunakan, maka semakin besar persen *recovery* yang dihasilkan. Pelarut asam nitrat sebagai asam anorganik menghasilkan persen *recovery* yang lebih besar dibandingkan dengan asam asetat sebagai organik. Hasil persen *recovery* yang tertinggi diperoleh dari ekstraksi menggunakan asam nitrat dengan konsentrasi 7M pada temperatur 80°C dengan kecepatan 700rpm selama 80 menit sebesar 23,14%. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan proses *leaching* bijih *ore* dengan variasi waktu untuk menghasilkan data yang lebih kompleks terkait variabel yang mempengaruhi proses *leaching* bijih *ore*.

Daftar Pustaka

- [1] S. Hidayat, S. Yulianti, D. Anggreini, and S. Bahtiar, "Study of Nickel Leaching Using Sulfuric Acid and Phosphoric Acid on The Selectivity Nickel Ore," *J. Pijar Mipa*, vol. 16, no. 3, pp. 393–396, 2021, doi: 10.29303/jpm.v16i3.2602.
- [2] L. Suhaimi and E. Indrawati, "Pelindian Nikel Laterit Low-Grade Pomala Menggunakan Asam Organik Dan Asam Inorganik Pada Kondisi Atmosfir," *Hexag. J. Tek. dan Sains*, vol. 3, no. 2, pp. 8–12, 2022, doi: 10.36761/hexagon.v3i2.1642.
- [3] W. Astuti *et al.*, "Journal Homepage : Limonit Indonesia Menggunakan Pelindian Atmosferik LIMONIT INDONESIA MENGGUNAKAN PELINDIAN ATMOSFERIK EFFECT OF ORE CHARACTERISTIC ON THE EXTRACTION OF NICKEL FROM INDONESIAN LIMONITE ORES USING ATMPSPHERIC LEACHING Email : widi.mineral," *J. Met. Indones.*, vol. 43, no. 1, pp. 9–16, 2021.
- [4] K. C. Wanta, F. H. Tanujaya, R. F. Susanti, H. T. B. M. Petrus, I. Perdana, and W. Astuti, "Studi Kinetika Proses Atmospheric Pressure Acid Leaching Bijih Laterit Limonit Menggunakan Larutan Asam Nitrat Konsentrasi Rendah," *J. Rekayasa Proses*, vol. 12, no. 2, p. 19, 2018, doi: 10.22146/jrekpros.35644.
- [5] E. Budiyanto, L. D. Yuono, F. Bahfie, and D. Sulistiyo, "Ekstraksi limonit dengan metode dua tahap reduksi selektif dan magnetic separation dengan variasi waktu tahan dan suhu rendah," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.24127/trb.v10i1.1586.
- [6] I. W. A. Wirawan, D. K. Walanda, and M. Napitupulu, "Extraction of Nickel from Morowali Laterite Ore with Nitric Acid," *J. Akad. Kim.*, vol. 11, no. 2, pp. 91–95, 2022, doi: 10.22487/j24775185.2022.v11.i2.pp91-95.
- [7] S. hua GENG *et al.*, "Extraction of valuable metals from low nickel matte by calcified roasting–acid leaching process," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 29, no. 10, pp. 2202–2212, 2019, doi: 10.1016/S1003-6326(19)65126-5.
- [8] W. Wahab *et al.*, "Studi Pengaruh Variabel Proses dan Kinetika Ekstraksi Nikel dari Bijih Nikel Laterit Menggunakan Larutan Asam Sulfat pada Tekanan Atmosferik," *J. Rekayasa Proses*, vol. 15, no. 1, p. 37, 2021, doi: 10.22146/jrekpros.61533.
- [9] A. Y. Nurfaidah, D. P. Lestari, R. T. Azzahra, and D. R. Suminar, "Pengaruh Suhu dan Konsentrasi terhadap Proses Pemisahan Nikel dari Logam Pengotor Menggunakan Metode Leaching," *Fluida*, vol. 13, no. 2, pp. 81–92, 2020, doi: 10.35313/fluida.v13i2.2388.
- [10] F. Y. P. Tyassena, G. Prameswara, and A. F. Suherman, "Studi Pengaruh Konsentrasi Solvent Dan Kondisi Operasi Terhadap Persen (%) Recovery Nikel Pada Proses Atmospheric Leaching Ore Laterite Asal Morowali Dengan Asam Sulfat," *J. Chem. Process Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 49–54, 2023, doi: 10.33536/jcpe.v8i1.1761.
- [11] 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.
- [12] A. Muntaqin, L. Rahmasari, N. Lintang Edi Wahyuni, and R. Pasonang Sihombing, "the Effect of Sulfuric Acid Concentration on Nickel Recovery From Laterite Ore By Using Atmospheric Acid Leaching Method," *J. Kim. Ris.*, vol. 7,

- no. 1, pp. 20–27, 2022.
- [13] M. Z. Mubarak and L. I. Hanif, “Cobalt and Nickel Separation in Nitric Acid Solution by Solvent Extraction Using Cyanex 272 and Versatic 10,” *Procedia Chem.*, vol. 19, pp. 743–750, 2016, doi: 10.1016/j.proche.2016.03.079.
 - [14] D. Permana, R. Kumalasari, W. Wahab, and M. Musnajam, “Pelindian Bijih Nikel Laterit Kadar Rendah Menggunakan Metode Atmospheric Acid Leaching Dalam Media Asam Klorida (Hcl),” *Ris. Geol. dan Pertamb.*, vol. 30, no. 2, p. 203, 2020, doi: 10.14203/risetgeotam2020.v30.1097.
 - [15] X. J. Zhai, Q. Wu, Y. Fu, L. Z. Ma, C. L. Fan, and N. J. Li, “Leaching of nickel laterite ore assisted by microwave technique,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 20, no. SUPPL.1, pp. s77–s81, 2010, doi: 10.1016/S1003-6326(10)60016-7.
 - [16] M. Arifin, S. Bakhri, I. M. Juradi, S. Bakri, R. S. Nurhawaisyah, and A. I. M. Mulia, “Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Organik Terhadap Nilai Recovery Pada Proses PelindianNikelThe Effect of Variation of Organic Acid Concentrations on Recovery in the Nickel ProcessSLeaching,” *J. Chem. Process Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 81–86, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.33096/jcpe.v8i2.624>
 - [17] T. Qulub Al Asrori, H. Nabila Putri, and N. Ketut Sari, “Ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit sorowako dengan asam nitrat,” *Inov. Tek. Kim.*, vol. 7, no. 2, pp. 53–57, 2022.
 - [18] M. W. Fathoni and M. Z. Mubarak, “Studi perilaku pelindian bijih besi nikel limonit dari pulau halmahera dalam larutan asam nitrat,” *Maj. Metal.*, vol. 30, no. 3, pp. 115–124, 2015.