

PENGARUH VARIABEL PELINDIAN TERHADAP EKSTRAKSI NIKEL DALAM PELINDIAN BIJIH NIKEL LATERIT

Wahab^{1*}, Deniyatno¹, Windi Ismayanti¹, Yayat Iman Supriatna²

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Universitas Halu Oleo, Jl. H.E.A. Mokodompit Kampus Hijau Bumi Tridharma Anduonou Kendari, 93132, Sulawesi Tenggara, Indonesia

²Balai Penelitian Teknologi Mineral, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Ir. Sutami Km 15, Tanjung Bintang, 35361, Lampung Selatan, Indonesia

e-mail: wahab151289@gmail.com

Abstrak

Pelindian bijih nikel laterit pada tekanan atmosfer menjadi perhatian karena memiliki beberapa kelebihan yaitu biaya operasional dan kebutuhan energi yang rendah. Dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh temperatur, konsentrasi asam, dan waktu pelindian terhadap persen ekstraksi nikel. Dalam penelitian ini variabel yang digunakan yaitu temperatur (80°C, 90°C, 100°C), konsentrasi asam sulfat (0,8 molar, 1,1 molar, 1,4 molar) dan waktu pelindian (80 menit, 90 menit, 100 menit). Agen pelindi yang digunakan yaitu larutan asam sulfat. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh persen ekstraksi nikel tertinggi yaitu 91,430% pada temperatur 100°C dan waktu pelindian 180 menit. Hasil Analysis of Variance (ANOVA) menunjukkan urutan variabel yang paling yaitu konsentrasi asam sulfat (B), temperatur (A), waktu pelindian (C), interaksi temperatur-waktu pelindian (AC), interaksi temperatur-konsentrasi asam sulfat (AB), interaksi temperatur-konsentrasi asam sulfat-waktu pelindian (ABC), dan interaksi temperatur-waktu pelindian (BC).

Kata kunci: bijih nikel, pelindian, ekstraksi nikel

Abstract

Leaching laterite nickel ore at atmospheric pressure is of concern because it has several advantages, namely low operating costs and low energy requirements. In this research, the variable effect of temperature, acid concentration and leaching time will be studied on the percent nickel extraction. The research variables used were temperature (80°C, 90°C, 100°C), sulfuric acid concentration (0.8 molar, 1.1 molar, 1.4 molar), and leaching time (80 minutes, 90 minutes, 100 minutes). The leaching agent used was a sulfuric acid solution. Based on the research results, the highest percentage of nickel extraction is 91.430% at a temperature of 100°C and a leaching time of 180 minutes. The results of the Analysis of Variance (ANOVA) showed that the order of variables that most influenced nickel extraction was sulfuric acid concentration (B), temperature (A), leaching time (C), temperature-leaching time (AC) interaction, temperature-sulfuric acid concentration (AB), the interaction temperature-sulfuric acid concentration-leaching time (ABC), and the interaction temperature-leaching time (BC).

Keywords : ore nickel, leaching, nickel extraction

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki cadangan nikel laterit terbesar di dunia (Astuti et al., 2015)(Sudiby et al., 2018). Bijih nikel laterit dapat diklasifikasikan menjadi bijih nikel limonit dan saprolite (Thubakgale et al., 2013)(Rice, 2016). Kadar nikel dan magnesium pada lapisan saprolite lebih tinggi dibanding pada lapisan limonit,

tetapi untuk kadar besi lebih tinggi pada lapisan limonit dibanding pada lapisan saprolite (Safitri et al., 2018). Produksi nikel dari bijih nikel laterit dapat ditempuh melalui proses pirometalurgi, hidrometalurgi atau kombinasi antara keduanya (Mubarok & Lieberto, 2013). Bijih nikel laterit pada lapisan saprolite yang banyak mengandung nikel diolah melalui proses pirometalurgi

menghasilkan feronikel atau nikel matte sedangkan pada lapisan limonit yang sedikit mengandung nikel diolah melalui proses hidrometalurgi (Astuti et al., 2015)(Kursunoglu et al., 2018).

Salah satu metode hidrometalurgi yang menjadi perhatian yaitu pelindian pada tekanan atmosfer (*atmospheric leaching*) karena memiliki beberapa kelebihan yaitu cukup efisien dalam merecoveri nikel dan kobal karena biaya operasional dan kebutuhan energi yang relatif rendah (Li et al., 2020; Mystrioti et al., 2018; Wang et al., 2012; Miettinen et al., 2019), peralatan proses cukup simple, dan mudah dilakukan maintenance (Önal & Topkaya, 2014). Selain itu, recoveri nikel dan kobal untuk metode *atmospheric leaching* lebih tinggi dibanding *heap leaching* (Kyle, 2010). Studi pelindian bijih nikel laterit menggunakan larutan asam sulfat sebelumnya telah dilakukan oleh (Mohammadreza et al., 2014) yang mempelajari pengaruh temperatur dan konsentrasi asam terhadap persen ekstraksi nikel dengan persen ekstraksi nikel tertinggi yaitu 62,49%. Hasil yang diperoleh belum cukup maksimal karena nilai ekstraksi hanya sekitar 60%. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh variabel temperatur, konsentrasi asam dan waktu yang lebih tinggi terhadap persentase ekstraksi nikel. selain itu, dalam penelitian ini dilakukan *analisis of variance* untuk menentukan urutan variabel yang paling berpengaruh serta menggunakan *surface* dan *countour plot* untuk melihat pengaruh ketiga variabel terhadap persen ekstraksi nikel.

METODE

Karakterisasi Sampel Bijih Nikel Laterit

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel bijih nikel laterit. Sebelum dilakukan pelindian, sampel bijih nikel ditentukan komposisinya menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). Hasil analisis XRF sampel bijih nikel laterit disajikan pada Tabel 1.

Desain Eksperimen

Desain eksperimen pelindian bijih nikel laterit menggunakan *minitab software*. Dalam penelitian ini terdapat tiga faktor yang akan dipelajari yaitu temperatur pelindian

(A), konsentrasi asam sulfat (B), dan waktu pelindian (C) serta setiap percobaan dilakukan 2 replikasi sehingga terdapat 54 percobaan yang dilakukan. Pengkodean dan kondisi percobaan aktual masing-masing disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Hasil analisis XRF sampel bijih nikel laterit

Unsur	Kadar (%)
Fe	9,403
Si	8,077
Ni	1,021
Al	1,159
Ca	0,968
Cr	0,340
Mn	0,175
Co	0,063
S	0,042
P	0,022
V	0,011
Sb	0,035
Cd	0,022
Zn	0,0094

Tabel 2. Pengkodean level variabel percobaan

Variabel	Simbol	Level Variabel		
		-1	0	+1
Temperatur	A	80	90	100
Kons. H ₂ SO ₄	B	0,8	1,1	1,4
Waktu	C	80	90	100

Proses Pelindian

Pelindian bijih nikel laterit menggunakan larutan asam sulfat (H₂SO₄) (merck, 99,99%). Sebanyak 20 gram sampel yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam reaktor pelindian dan ditambahkan larutan H₂SO₄ sebanyak 100 mL dengan variasi konsentrasi 0,8 molar, 1,1 molar, dan 1,4 molar. Sampel bijih nikel dan larutan H₂SO₄ yang ada di dalam reaktor kemudian dipanaskan hingga mencapai temperatur 80°C, 90°C, dan 100°C dengan variasi waktu pelindian yaitu 120 menit, 150 menit, dan 180 menit. Setelah proses pelindian, kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dan residu. Filtrat yang diperoleh kemudian diukur kadar nikelnya menggunakan Atomic Absorption Spectrometry (AAS). Persen ekstraksi nikel dihitung mengikuti persamaan (1) (Kursunoglu & Kaya, 2016).

$$\% \text{ ekstraksi Ni} = \frac{\text{Ni dalam larutan leaching}}{\text{Ni dalam ore}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 3. Kondisi aktual percobaan

No	Kondisi Percobaan			
	A	B	C	
1	-1	-1	-1	80°C; 0,8 M; 120 menit
2	-1	-1	0	80°C; 0,8 M; 150 menit
3	-1	-1	+1	80°C; 0,8 M; 180 menit
4	-1	0	-1	80°C; 1,1 M; 120 menit
5	-1	0	0	80°C; 1,1 M; 150 menit
6	-1	0	+1	80°C; 1,1 M; 180 menit
7	-1	+1	-1	80°C; 1,4 M; 120 menit
8	-1	+1	0	80°C; 1,4 M; 150 menit
9	-1	+1	+1	80°C; 1,4 M; 180 menit
10	0	-1	-1	90°C; 0,8 M; 120 menit
11	0	-1	0	90°C; 0,8 M; 150 menit
12	0	-1	+1	90°C; 0,8 M; 180 menit
13	0	0	-1	90°C; 1,1 M; 120 menit
14	0	0	0	90°C; 1,1 M; 150 menit
15	0	0	+1	90°C; 1,1 M; 180 menit
16	0	+1	-1	90°C; 1,4 M; 120 menit
17	0	+1	0	90°C; 1,4 M; 150 menit
18	0	+1	+1	90°C; 1,4 M; 180 menit
19	+1	-1	-1	100°C; 0,8 M; 120 menit
20	+1	-1	0	100°C; 0,8 M; 150 menit
21	+1	-1	+1	100°C; 0,8 M; 180 menit
22	+1	0	-1	100°C; 1,1 M; 120 menit
23	+1	0	0	100°C; 1,1 M; 150 menit
24	+1	0	+1	100°C; 1,1 M; 180 menit
25	+1	+1	-1	100°C; 1,4 M; 120 menit
26	+1	+1	0	100°C; 1,4 M; 150 menit
27	+1	+1	+1	100°C; 1,4 M; 180 menit

HASIL DAN PEMBAHASAN

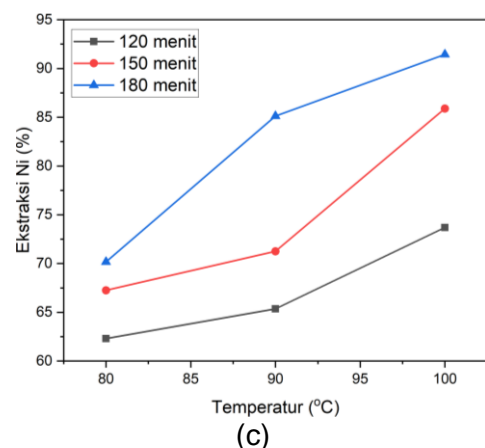
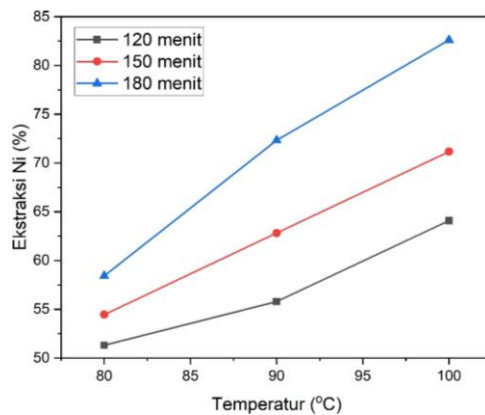
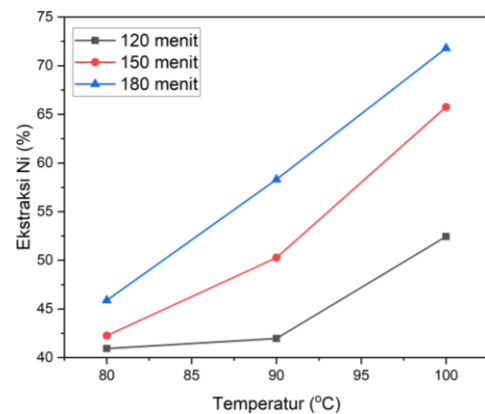
HASIL

Pengaruh Temperatur Terhadap Persentase Ekstraksi Nikel

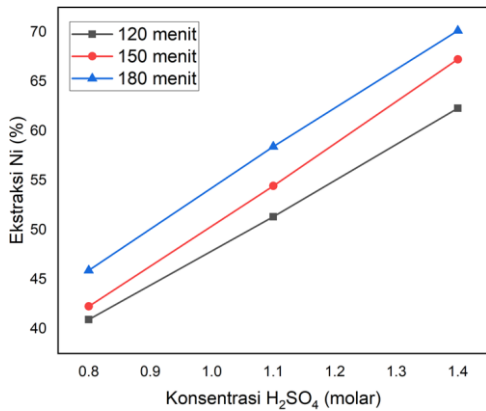
Dalam penelitian ini, untuk mempelajari pengaruh temperatur terhadap persen ekstraksi nikel maka dilakukan variasi temperatur yaitu 80°C, 90°C dan 100°C. Pengaruh temperatur terhadap persentase ekstraksi nikel disajikan pada Gambar 1.

Pengaruh Konsentrasi H₂SO₄ Terhadap Persentase Ekstraksi Nikel

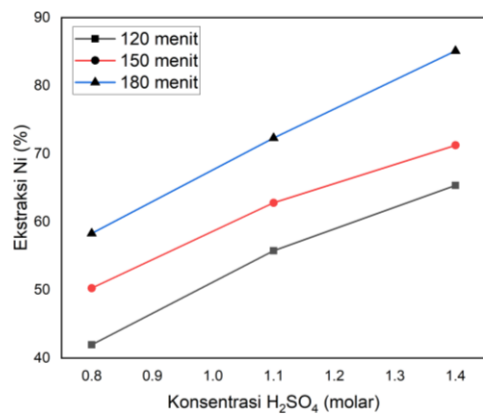
Selain temperatur, dalam penelitian ini juga dipelajari pengaruh konsentrasi H₂SO₄ terhadap persen ekstraksi nikel. Variasi konsentrasi H₂SO₄ yang dilakukan pada penelitian ini yaitu 0,8 molar, 1,1 molar dan 1,4 molar. Pengaruh variabel konsentrasi H₂SO₄ terhadap persen ekstraksi nikel disajikan pada Gambar 2.



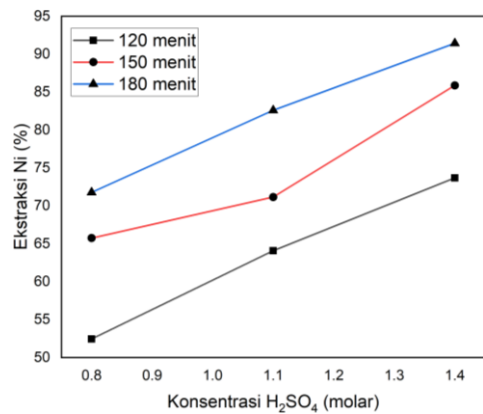
Gambar 1. Pengaruh temperatur terhadap persentase ekstraksi nikel pada (a) 0,8 molar H₂SO₄, (b) 1,1 molar H₂SO₄, (c) 1,4 molar H₂SO₄



(a)



(b)

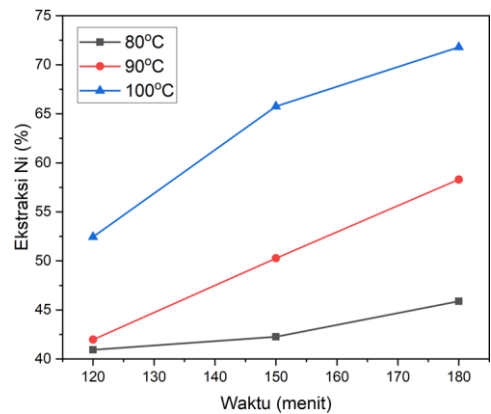


(c)

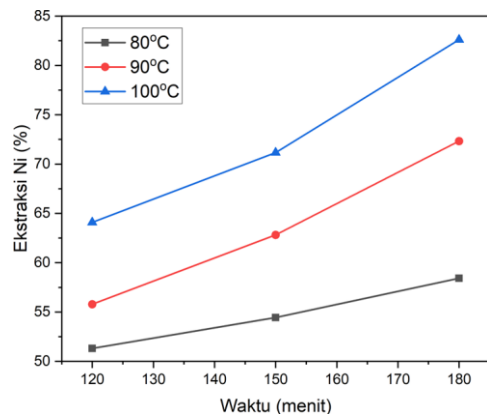
Gambar 2. Pengaruh konsentrasi H₂SO₄ terhadap persentase ekstraksi nikel pada (a) 80°C, (b) 90°C, (c) 100°C

Pengaruh Waktu Terhadap Persentase Ekstraksi Nikel

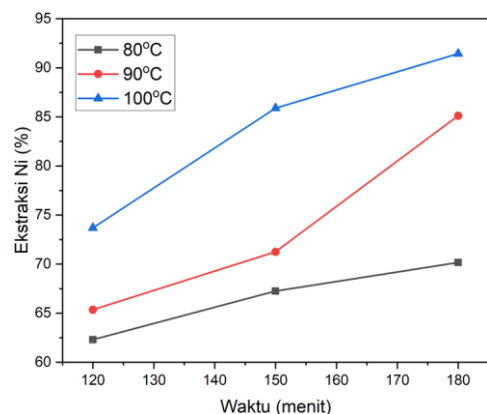
Pengaruh lama waktu pelindian juga dipelajari dalam penelitian ini. Proses pelindian dilakukan pada variasi waktu 120 menit, 150 menit, dan 180 menit. Pengaruh waktu terhadap persen ekstraksi nikel disajikan pada Gambar 3.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Pengaruh waktu terhadap persentase ekstraksi nikel pada (a) 80°C, (b) 90°C, (c) 100°C

Analisis Variabel yang Paling Berpengaruh

Dalam penelitian ini, penentuan urutan variabel yang paling berpengaruh terhadap persen ekstraksi nikel menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) 3 faktor. Jika p-value > 0,05 atau F-value < F_{0,05,v1,v2} maka H₀ diterima yang menunjukkan tidak ada

pengaruh variabel tersebut terhadap hasil. H_0 ditolak jika $p\text{-value} < 0,05$ atau $F\text{-value} > F_{0,05,v_1,v_2}$ yang menandakan terdapat pengaruh yang signifikan dari variabel

terhadap hasil yang dievaluasi (persen ekstraksi nikel). Hasil perhitungan ANOVA 3 faktor disajikan pada 0.

Tabel 4. Hasil perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) 3 faktor

Faktor	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F-value	$F_{0,05,v_1,v_2}$	P-value	Result	Rank
A	2	3.080,18	1.540,09	109.132,01	3,350	0.000	reject	2
B	2	4.570,37	2.285,19	161.930,03	3,350	0.000	reject	1
C	2	1.825,21	912,60	64.667,89	3,350	0.000	reject	3
AB	4	34,47	8,62	610,68	2,730	0.000	reject	5
AC	4	283,32	70,83	5.018,99	2,730	0.000	reject	4
BC	4	13,41	3,35	237,51	2,730	0.000	reject	7
ABC	8	43,22	5,40	382,81	2,310	0.000	reject	6
Error	27	0,38	0,01					
Total	53	9.850,55						

Analisis *Countour* dan *Surface Plot*

Analisis *countour* dan *surface plot* bertujuan untuk melihat pengaruh dua variabel (konsentrasi H_2SO_4 dan waktu pelindian) pada temperatur tetap terhadap respon (ekstraksi nikel). *Countour* dan *surface plot* masing-masing disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

PEMBAHASAN

Pengaruh Temperatur Terhadap Persentase Ekstraksi Nikel

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan bahwa peningkatan temperatur meningkatkan persen ekstraksi nikel. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada pelindian konsentrasi 1,1 molar dan 1,4 molar. Pada konsentrasi H_2SO_4 0,8 molar persentase ekstraksi nikel tertinggi yaitu 71,792% pada temperatur 100°C dan waktu pelindian 180 menit. Pada konsentrasi H_2SO_4 1,1 molar persentase ekstraksi nikel tertinggi yaitu 82,605% pada temperatur 100°C dan waktu pelindian 180 menit. Sedangkan pada konsentrasi H_2SO_4 1,4 molar persentase ekstraksi nikel tertinggi yaitu 91,430% pada temperatur 100°C dan waktu pelindian 180 menit.

Peningkatan temperatur menyebabkan peningkatan persentase ekstraksi nikel disebabkan karena semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pergerakan spesi yang bereaksi di dalam larutan. Tingginya pergerakan spesi yang bereaksi

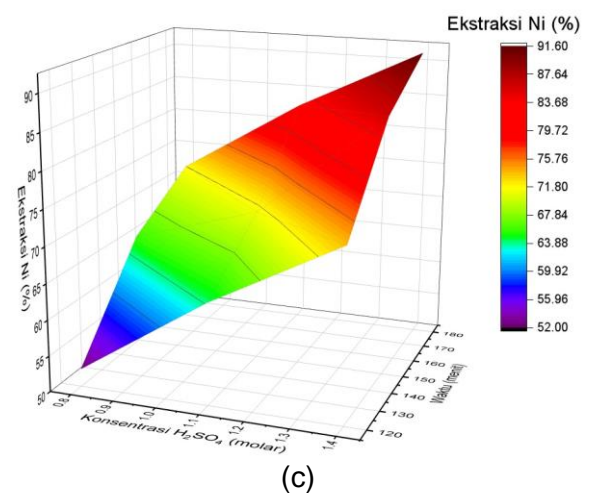
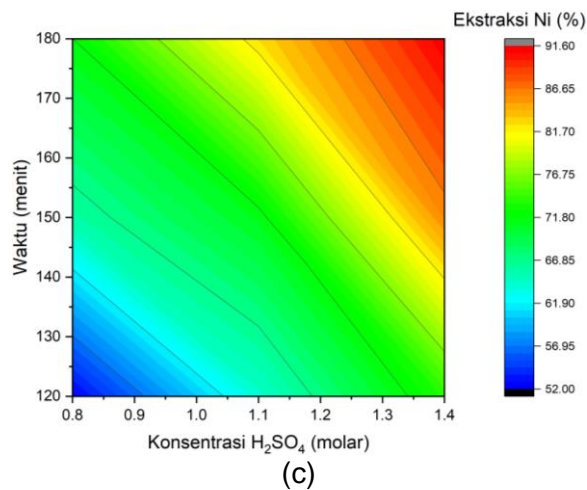
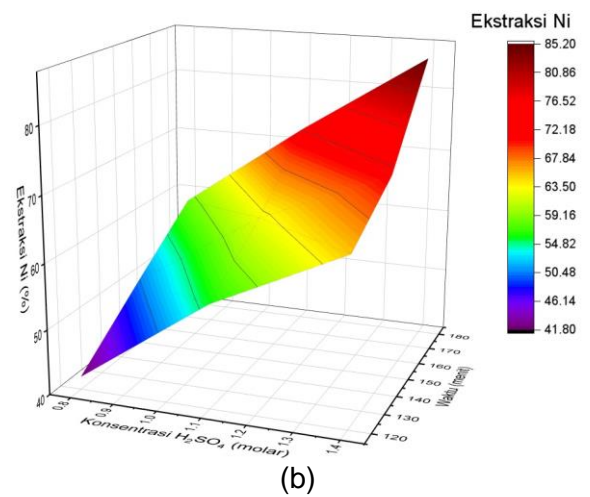
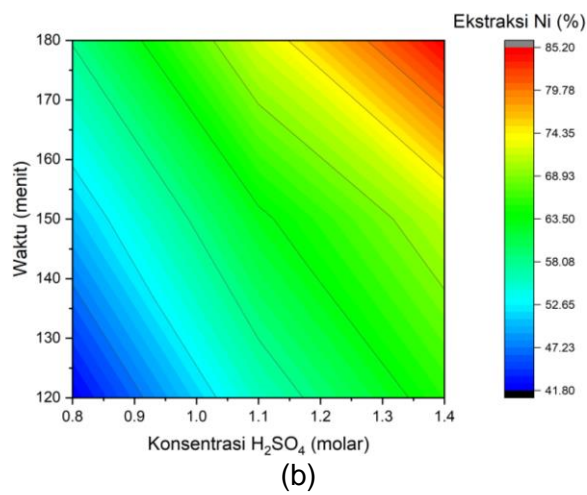
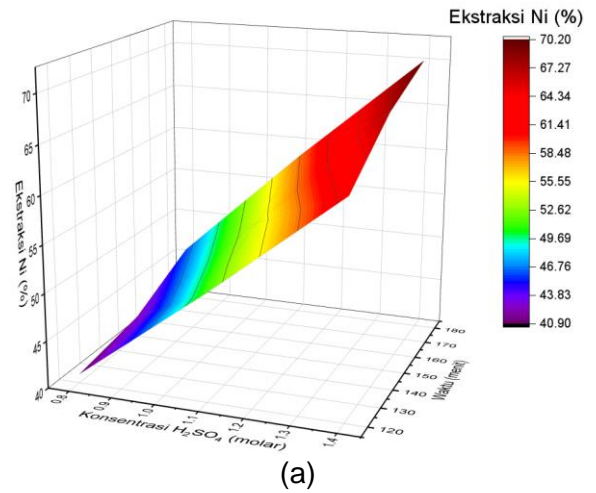
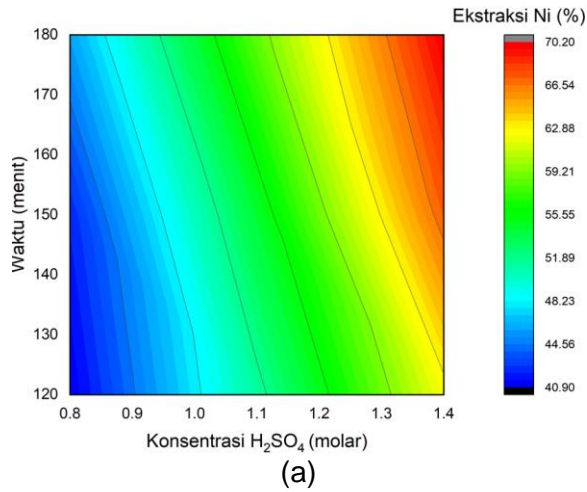
menyebabkan frekuensi tumbukan antara spesies yang bereaksi akan semakin tinggi yang menyebabkan tingginya produk reaksi yang terbentuk.

Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 Terhadap Persentase Ekstraksi Nikel

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa persentase ekstraksi nikel meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam sulfat. Kecenderungan ini terjadi pada kondisi pelindian temperatur 80°C, 90°C, dan 100°C. Pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap persentase ekstraksi nikel berkaitan dengan banyaknya ion H^+ di dalam larutan yang bereaksi dengan bijih nikel. Reaksi pelindian bijih nikel laterit menggunakan larutan asam sulfat mengikuti reaksi berikut (Stopic & Friedrich, 2016).



Berdasarkan reaksi yang disajikan pada persamaan 1 menunjukkan bahwa pembentukan produk nikel sulfat sangat bergantung pada konsentrasi asam sulfat sebagai reaktan. Peningkatan konsentrasi asam sulfat maka akan meningkatkan produk rekasi.



Gambar 4. *Countour plot* hubungan konsentrasi asam sulfat dan waktu pelindian terhadap persen

Gambar 5. *Surface plot* hubungan konsentrasi asam sulfat dan waktu pelindian terhadap persen ekstraksi nikel pada (a) 80°C, (b) 90°C, dan (c) 100°C

Pengaruh Waktu Terhadap Persentase Ekstraksi Nikel

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa peningkatan waktu meningkatkan persen ekstraksi nikel. Parameter waktu berkaitan dengan lama waktu kontak antar spesi yang bereaksi. Semakin lama waktu kontak maka memungkinkan semakin banyak pula produk reaksi yang terbentuk. Persen ekstraksi nikel tertinggi pada temperatur pelindian 80°C, 90°C, dan 100°C masing-masing yaitu 70,157%, 85,113%, dan 91,430% pada konsentrasi H₂SO₄ 1,4 molar dan waktu pelindian 180 menit.

Analisis Variabel yang Paling Berpengaruh

Berdasarkan 0 terlihat bahwa semua variabel dan interaksi antar variabel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap persen ekstraksi nikel. Hal ini diindikasikan oleh nilai P-value < 0,05. Sedangkan penentuan urutan variabel yang paling berpengaruh berdasarkan pada besarnya selisih nilai F-value terhadap F_{0,05,v1,v2}. Nilai F-value diperoleh dari perhitungan, sedangkan nilai F_{0,05,v1,v2} diperoleh dari table distribusi F pada mana v1 merupakan *degree of freedom* suatu faktor dan v2 merupakan *degree of freedom* dari error. Hasil perhitungan ANOVA 3 faktor yang disajikan pada 0 menunjukkan urutan variabel yang paling berpengaruh terhadap persen ekstraksi nikel yaitu konsentrasi asam sulfat (B), temperatur (A), waktu pelindian (C), interaksi temperatur - waktu pelindian (AC), interaksi temperatur-konsentrasi asam sulfat (AB), interaksi temperatur-konsentrasi asam sulfat-waktu pelindian (ABC), dan interaksi temperatur-waktu pelindian (BC).

Analisis Countour dan Surface Plot

Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi H₂SO₄ dan waktu meningkatkan persen ekstraksi nikel. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada peningkatan temperatur. Ekstraksi nikel terendah diindikasikan pada area yang berwarna biru sedangkan ekstraksi nikel tertinggi diindikasikan pada area yang berwarna merah.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur, konsentrasi asam sulfat, dan peningkatan waktu meningkatkan persen ekstraksi nikel. Persentase ekstraksi nikel terendah yaitu 40,901% pada temperatur 80°C, konsentrasi asam sulfat 0,8 molar, dan waktu pelindian 120 menit. Sedangkan persentase ekstraksi nikel tertinggi yaitu 91,430% pada temperatur 100°C, konsentrasi asam sulfat 1,4 molar, dan waktu pelindian 180 menit.

Hasil perhitungan ANOVA menunjukkan urutan variabel yang paling berpengaruh terhadap persen ekstraksi nikel yaitu konsentrasi asam sulfat (B), temperatur (A), waktu pelindian (C), interaksi temperatur -waktu pelindian (AC), interaksi temperatur-konsentrasi asam sulfat (AB), interaksi temperatur-konsentrasi asam sulfat-waktu pelindian (ABC), dan interaksi temperatur-waktu pelindian (BC).

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, W., Hirajima, T., Sasaki, K., & Okibe, N. (2015). Kinetics of nickel extraction from Indonesian saprolitic ore by citric acid leaching under atmospheric pressure. *Minerals and Metallurgical Processing*, 32(3), 176–185. <https://doi.org/10.1007/bf03402286>
- Kursunoglu, S., Ichlas, Z. T., & Kaya, M. (2018). Dissolution of lateritic nickel ore using ascorbic acid as synergistic reagent in sulphuric acid solution. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 28(8), 1652–1659. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64808-3](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64808-3)
- Kursunoglu, S., & Kaya, M. (2016). Atmospheric pressure acid leaching of Caldag lateritic nickel ore. *International Journal of Mineral Processing*, 150, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.03.001>
- Kyle, J. H. (2010). Nickel laterite processing technologies – where to next ? to next ? In : ALTA 2010 Nickel / Cobalt / Copper Conference , 24 - 27 May , Perth ,

- Western Australia . Copyright © ALTA Metallurgical Services It is posted here for your personal use . No further. *ALTA 2010 Nickel/Cobalt/Copper Conference, May 2010*, 1–36.
- Li, J., Yang, Y., Wen, Y., Liu, W., Chu, Y., Wang, R., & Xu, Z. (2020). Leaching kinetics and mechanism of laterite with NH₄ Cl-HCl solution. *Minerals*, 10(9), 1–11.
<https://doi.org/10.3390/min10090754>
- Miettinen, V., Mäkinen, J., Kolehmainen, E., Kravtsov, T., & Rintala, L. (2019). Iron control in atmospheric acid laterite leaching. *Minerals*, 9(7), 1–13.
<https://doi.org/10.3390/min9070404>
- Mohammadreza, F., Mohammad, N., & Ziaeddin, S. S. (2014). Nickel extraction from low grade laterite by agitation leaching at atmospheric pressure. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(4), 543–548.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.05.019>
- Mubarok, M. Z., & Lieberto, J. (2013). Precipitation of Nickel Hydroxide from Simulated and Atmospheric-leach Solution of Nickel Laterite Ore. *Procedia Earth and Planetary Science*, 6, 457–464.
<https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.01.060>
- Mystrioti, C., Papassiopi, N., Xenidis, A., & Komnitsas, K. (2018). Counter-current leaching of low-grade laterites with hydrochloric acid and proposed purification options of pregnant solution. *Minerals*, 8(12), 1–21.
<https://doi.org/10.3390/min8120599>
- Önal, M. A. R., & Topkaya, Y. A. (2014). Pressure acid leaching of Çaldağ lateritic nickel ore: An alternative to heap leaching. *Hydrometallurgy*, 142, 98–107.
<https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2013.11.011>
- Rice, N. M. (2016). A hydrochloric acid process for nickeliferous laterites. *Minerals Engineering*, 88, 28–52.
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.09.017>
- Safitri, N., Mubarok, M. Z., Winarko, R., & Tanlega, Z. (2018). Recovery of nickel and cobalt as MHP from limonitic ore leaching solution: Kinetics analysis and precipitate characterization. *AIP Conference Proceedings*.
<https://doi.org/10.1063/1.5038312>
- Stopic, S., & Friedrich, B. (2016). Hydrometallurgical processing of nickel lateritic ores. *Vojnotehnicki Glasnik*, 64(4), 1033–1047.
<https://doi.org/10.5937/vojtehg64-10592>
- Sudibyo, S., Junaedi, A., Amin, M., Sumardi, S., Nurjaman, F., Aji, B. B., Supriyatna, Y. I., & Hermida, L. (2018). Solvent Extraction Process for the Recovery Cobalt and Nickel From Low-Grade Laterite Using Batch Recycle System. *Widyariset*, 4(2), 189–196.
<https://doi.org/10.14203/widyariset.4.2.2018.189-196>
- Thubakgale, C. K., Mbaya, R. K. K., & Kabongo, K. (2013). A study of atmospheric acid leaching of a south african nickel laterite. *Minerals Engineering*, 54, 79–81.
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.04.006>
- Wang, B., Guo, Q., Wei, G., Zhang, P., Qu, J., & Qi, T. (2012). Characterization and atmospheric hydrochloric acid leaching of a limonitic laterite from Indonesia. *Hydrometallurgy*, 129–130, 7–13.
<https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2012.06.017>