



Studi Pengaruh Variabel Proses dan Kinetika Ekstraksi Nikel dari Bijih Nikel Laterit Menggunakan Larutan Asam Sulfat pada Tekanan Atmosferik

Wahab^{1*}, Erwin Anshari¹, Marwan Zam Mili¹, WD. Rizky Awaliah Nafiu¹, Muh. Nuzul Khaq¹, Deniyatno¹, Firdaus¹, Yayat Iman Supriyatna²

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

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

*Alamat korespondensi: wahab151289@gmail.com

(Submisi: 23 November 2020; Revisi: 15 April 2021; Penerimaan: 23 April 2021)

ABSTRACT

Leaching at atmospheric pressure is one of the leaching methods of concern because it has several advantages, namely that it can process low-level nickel ore, can operate at temperatures > 100 °C at atmospheric pressure, and can be used in saprolite and limonite ores. In this research, nickel extraction from nickel laterite ore was carried out using sulfuric acid solution (H₂SO₄) as a leaching agent. The variables that were varied in the leaching process were temperature (30, 60, and 90 °C), sulfuric acid concentration (0.2, 0.5, and 0.8 molar) and leaching time (30, 60, and 90 minutes). In this study, a 3-factor analysis of variance (ANOVA) was used to see the significance of the variable effects and the order of the most influential variables. In addition, leaching kinetics was studied by shrinking core models to determine rate determining step. The results showed that the increase in temperature, sulfuric acid and leaching time produced a higher percentage of extracted nickel. Based on the 3-factor ANOVA, the order of the most influential variables was obtained, namely temperature, acid concentration and leaching time. The kinetics analysis showed that rate determining step of leaching ore nickel laterite with H₂SO₄ solution on atmospheric pressure is controlled by diffusion through solid layer product.

Keywords: analysis of variance; leaching; limonit; saprolit

ABSTRAK

Leaching pada tekanan atmosfer adalah salah satu metode pelindian yang menjadi perhatian karena memiliki beberapa keuntungan yaitu dapat mengolah bijih nikel kadar rendah, dapat beroperasi pada temperatur > 100 °C pada tekanan atmosfer serta dapat digunakan pada bijih

saprolit dan limonit. Dalam penelitian ini, dilakukan ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) sebagai agen pelindi. Variabel yang divariasikan dalam proses pelindian yaitu temperatur (30, 60, dan 90 °C), konsentrasi asam sulfat (0,2; 0,5; dan 0,8 molar) dan waktu pelindian (30, 60, dan 90 menit). Dalam penelitian ini digunakan *analysis of variance* (ANOVA) 3 faktor untuk melihat signifikansi variabel dan urutan variabel yang paling berpengaruh. Selain itu, dilakukan studi kinetika pelindian menggunakan *shrinking core model* untuk mengetahui pengendali laju reaksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan variabel temperatur, konsentrasi asam sulfat dan waktu pelindian menyebabkan meningkatnya persen ekstraksi nikel. Berdasarkan hasil ANOVA 3 faktor diperoleh urutan variabel yang paling berpengaruh yaitu temperatur, konsentrasi asam dan waktu pelindian. Hasil analisis kinetika menunjukkan bahwa pengendali laju reaksi pelindian bijih nikel laterit menggunakan larutan H_2SO_4 pada tekanan atmosfer yaitu difusi melalui lapisan produk padat.

Kata kunci: *analysis of variance*; limonit; pelindian; saprolit

1. Pendahuluan

Nikel merupakan logam strategis karena memiliki sifat kuat, lunak, tahan benturan, *ductility* dan memiliki aplikasi yang cukup luas yaitu pada *stainless steel*, produksi logam *nonferrous*, *electroplating*, industri kimia, pesawat terbang, dan peralatan militer (Guo dkk., 2011; Thubakgale dkk., 2013; Whittington dan Muir, 2000; Xiao dkk., 2020). Sekitar tujuh puluh persen bijih pembawa nikel di dunia umumnya berada dalam bentuk oksida laterit (Chang dkk, 2010). Berdasarkan kandungan besi dan magnesiumnya, bijih nikel laterit diklasifikasikan menjadi dua, yaitu limonit dan saprolit (Thubakgale dkk., 2013). Bijih nikel saprolit kaya akan nikel, sedangkan bijih nikel limonit sedikit mengandung nikel dan banyak mengandung besi (Luo dkk., 2015).

Proses pengolahan bijih nikel laterit dapat dilakukan melalui jalur pirometalurgi atau hidrometalurgi dan juga kombinasi dari keduanya. Proses pirometalurgi mengolah bijih nikel laterit kadar tinggi untuk memproduksi feronikel dan nikel *matte*. Bijih nikel kadar rendah dapat diolah dengan proses hidrometalurgi (Mubarak dan

Lieberto, 2013). Bijih nikel saprolit pertama kali diolah secara komersil menggunakan pirometalurgi pada abad ke-19 sampai abad ke-20. Namun oleh karena semakin sulitnya ditemukan bijih nikel saprolit, maka industri pertambangan mulai mengembangkan teknologi untuk mengolah bijih nikel laterit kadar rendah menggunakan proses hidrometalurgi (Oxley dan Barcza, 2013). Penelitian tentang pengolahan bijih nikel laterit kadar rendah menggunakan proses hidrometalurgi terus mengalami perkembangan karena metode ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu biaya operasional murah dan ramah lingkungan (Astuti dkk., 2016).

Terdapat beberapa metode pengolahan bijih nikel laterit menggunakan proses hidrometalurgi, yaitu *High Pressure Acid Leaching* (HPAL) (Guo dkk., 2011; Önal dan Topkaya, 2014) dan *Atmospheric Leaching* (AL) (Büyükkinci dan Topkaya, 2009; Kursunoglu dan Kaya, 2016; Luo dkk., 2010; Luo dkk., 2015; Mohammadreza dkk., 2014; Thubakgale dkk., 2013; Xiao dkk., 2020). *Pressure/High Pressure Acid Leaching* (PAL/HPAL) memiliki keuntungan dalam

proses *leaching*, tetapi di sisi lain metode tersebut memiliki kekurangan seperti biaya investasi untuk peralatan yang digunakan, konsumsi asam sulfat yang tinggi, dan pemeliharaan peralatan saat operasi. *Atmospheric leaching* menjadi perhatian karena dapat beroperasi pada temperatur >100 °C pada tekanan atmosferik, dapat mengolah bijih nikel laterit kadar rendah (<1,5% berat), memiliki biaya operasi rendah, dan dapat diaplikasikan pada bijih nikel limonit dan saprolit (Kursunoglu dan Kaya, 2016). Konsentrasi nikel terlindi yang dihasilkan dari proses *leaching* pada tekanan atmosfer dipengaruhi oleh jenis asam yang digunakan sebagai reagen pelindi, konsentrasi asam, temperatur dan waktu pelindian (Mohammadreza dkk., 2014).

Salah satu studi yang penting dilakukan dalam proses pelindian bijih nikel laterit yaitu studi kinetika pelindian. Tujuan dari studi kinetika di antaranya yaitu menentukan tahap pengendali laju reaksi dan model kinetiknya. Tahap pengendali laju adalah tahap yang paling lambat dari keseluruhan tahapan. Tahap pengendali laju penting untuk diketahui karena dengan mengetahui pengendali laju, maka dapat ditentukan upaya untuk meningkatkan kecepatan laju pelindian. Selain itu, model kinetika dapat membantu memprediksi laju proses pelindian ketika dilakukan pelindian untuk bijih dan larutan yang sama (Mubarok dan Fathoni, 2016). Studi kinetika pelindian bijih nikel laterit sebelumnya telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, yaitu studi kinetika pelindian bijih nikel laterit menggunakan asam sitrat pada tekanan atmosfer (Astuti dkk., 2015), kinetika pelindian bijih nikel laterit menggunakan larutan $\text{NH}_4\text{Cl-HCl}$ (Li dkk., 2020), studi kinetika

pelindian bijih nikel limonit menggunakan larutan asam nitrat (Mubarok dan Fathoni, 2016), studi mekanisme, kinetika dan *reological atmospheric acid leaching* bijih nikel laterit kadar rendah (MacCarthy dkk., 2016), studi kinetika proses *atmospheric pressure acid leaching* bijih laterit limonit menggunakan larutan asam nitrat konsentrasi rendah (Wanta dkk., 2018), kinetika dan mekanisme pelindian nikel dari bijih limonit: pengaruh waktu dan temperatur (Eni Febrianaa dkk., 2018), pelindian nikel dari bijih limonit *low-grade* Pomalaa menggunakan pelarut asam asetat (Gustiana, 2018).

Dalam penelitian ini, pelindian bijih nikel laterit menggunakan larutan H_2SO_4 . Studi kinetika pelindian bijih nikel laterit menggunakan larutan H_2SO_4 sebelumnya telah diteliti oleh Luo dkk., (2010) yang melakukan pelindian bijih nikel laterit pada lapisan saprolit dengan variasi temperatur dan variasi waktu pelindian. Dalam penelitian ini, sampel bijih nikel yang digunakan yaitu bijih nikel laterit pada lapisan limonit dengan melakukan variasi temperatur pelindian, konsentrasi H_2SO_4 , dan waktu pelindian. Tujuan dari penelitian ini yaitu mempelajari pengaruh variabel proses (temperatur, konsentrasi asam sulfat, dan waktu pelindian) terhadap persen ekstraksi nikel menggunakan metode analisis ragam atau *analysis of variance* (ANOVA) 3 faktor serta mempelajari kinetika proses pelindian menggunakan *shrinking core model*.

2. Metodologi

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu larutan H_2SO_4 (98%, Merck) sebagai reagen pelindi dan sampel bijih nikel laterit yang berasal dari Desa Dunggua, Kabupaten

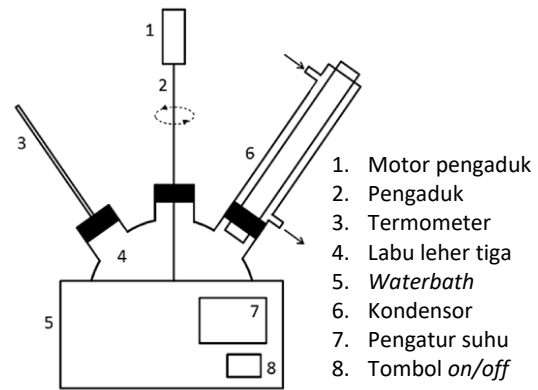
Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara. Sampel bijih nikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel bijih nikel laterit pada lapisan limonit. Kategori kadar nikel dari sampel yang digunakan yaitu bijih nikel kadar rendah dengan hasil analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi 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 | 0,009 |

2.2 Cara Penelitian

Sebelum dilakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan pengukuran komposisi sampel bijih nikel menggunakan XRF (PANalytical Epsilon3^{XLE}) dan kandungan mineral dalam sampel dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) (PANalytical X'Pert³Powder). Preparasi sampel dilakukan dengan cara mengecilkan ukuran sampai lolos ayakan 200 mesh. Proses pelindian dilakukan menggunakan reaktor leher tiga yang dilengkapi dengan kondensor dan pengaduk. Rangkaian reaktor disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian reaktor proses pelindian (Permana dkk., 2020)

Dalam penelitian ini dilakukan variasi temperatur (30, 60, dan 90 °C), konsentrasi H_2SO_4 (0,2; 0,5 dan 0,8 molar) dan variasi waktu pelindian (30, 60, dan 90 menit). Pelindian bijih nikel laterit menggunakan larutan asam sulfat dengan rasio padat:cair yaitu 1:5. Pengukuran nikel yang terlindi menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) (*PerkinElmer Analyst*). Persen ekstraksi nikel dihitung menggunakan Persamaan (1).

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

dengan C_p dan C_{po} masing-masing adalah kadar nikel dalam larutan hasil pelindian dan kadar nikel dalam sampel bijih nikel laterit. Analisis ANOVA tiga faktor digunakan untuk menentukan variabel yang paling berpengaruh terhadap persen ekstraksi nikel serta untuk menentukan kondisi optimum proses pelindian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Komposisi Bijih Nikel Laterit

Komposisi bijih nikel laterit yang digunakan dalam penentuan ini ditentukan menggunakan instrumen XRF. Hasil pengukuran komposisi bijih nikel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan sampel bijih nikel laterit didominasi oleh Fe dan Si dengan kadar 9,403% dan 8,077%. Kandungan unsur Ni dalam sampel ini sebesar 1,021%. Selain menggunakan XRF, sampel bijih nikel juga dianalisis menggunakan XRD untuk mengetahui kandungan mineral dalam sampel. Hasil analisis XRD disajikan pada Gambar 2. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa senyawa yang dominan pada sampel penelitian ini adalah *magnetite* (Fe_3O_4), *coesite* (SiO_2), *goethite* ($FeOOH$), dan *liebengergite* (Ni_2SiO_4).

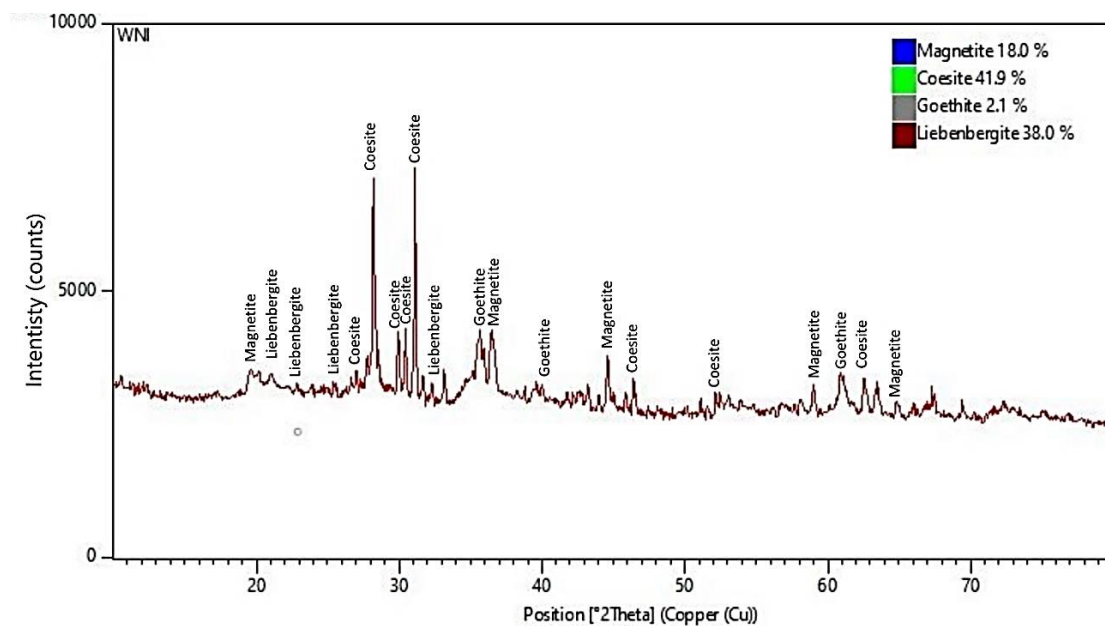
3.2 Analisis of Variance (ANOVA)

Hasil pelindian bijih nikel laterit pada variasi temperatur, konsentrasi asam dan waktu pelindian disajikan pada Tabel 2.

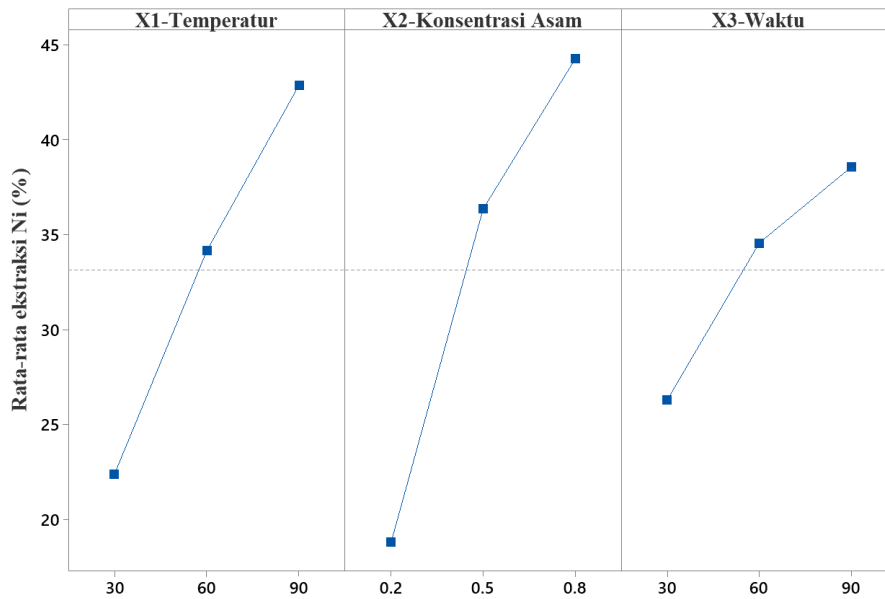
Data persen ekstraksi nikel (Tabel 2) kemudian dilakukan analisis ANOVA 3 faktor untuk menentukan *degree of freedom* (DF), *sum of square* (SS), *mean of square* (MS), *F-value* dan *P-value*. Hasil analisis ANOVA 3 faktor disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Persen ekstraksi nikel pada variasi temperatur (X_1), konsentrasi asam (X_2) dan waktu pelindian (X_3)

| X ₁ | X ₂ | Replika | X ₃ | | |
|----------------|----------------|---------|----------------|-------|-------|
| | | | 30 | 60 | 90 |
| 30 | 0,2 | 1 | 9,09 | 11,57 | 13,22 |
| | | 2 | 7,44 | 9,92 | 11,57 |
| | 0,5 | 1 | 19,83 | 26,45 | 29,75 |
| | | 2 | 18,18 | 24,79 | 28,93 |
| | 0,8 | 1 | 25,62 | 35,54 | 38,84 |
| | | 2 | 21,49 | 33,88 | 37,19 |
| 60 | 0,2 | 1 | 15,70 | 22,31 | 25,62 |
| | | 2 | 13,22 | 19,83 | 23,14 |
| | 0,5 | 1 | 28,93 | 42,15 | 44,63 |
| | | 2 | 26,45 | 40,50 | 42,15 |
| | 0,8 | 1 | 37,19 | 47,11 | 52,89 |
| | | 2 | 33,88 | 47,93 | 51,24 |
| 90 | 0,2 | 1 | 22,31 | 25,62 | 31,40 |
| | | 2 | 19,83 | 28,10 | 28,93 |
| | 0,5 | 1 | 38,02 | 47,11 | 54,55 |
| | | 2 | 40,50 | 47,93 | 53,72 |
| | 0,8 | 1 | 48,76 | 57,02 | 63,64 |
| | | 2 | 47,11 | 54,55 | 62,81 |



Gambar 2. Hasil analisis XRD bijih nikel laterit



Gambar 3. Pengaruh variabel pelindian terhadap persen ekstraksi Ni

Hasil analisis ANOVA 3 faktor terhadap persen ekstraksi nikel digunakan untuk menentukan signifikansi efek variabel terhadap persen ekstraksi nikel. Jika *P-value* variabel $<0,05$ maka variabel tersebut signifikan terhadap respon. Tabel 3 menunjukkan bahwa semua variabel signifikan terhadap persen ekstraksi nikel.

Tabel 3. *Analysis of variance* persen ekstraksi nikel

| Variabel | DF | DS | MS | F-value | P-value |
|----------------|----|---------|---------|---------|---------|
| X ₁ | 2 | 3801,5 | 1900,75 | 853,84 | 0,000 |
| X ₂ | 2 | 6101,9 | 3050,95 | 1370,52 | 0,000 |
| X ₃ | 2 | 1407,2 | 703,62 | 316,07 | 0,000 |
| Error | 47 | 346,6 | 7,37 | | |
| Total | 53 | 11657,2 | | | |

3.3 Penentuan Variabel yang Paling Berpengaruh

Pengaruh variabel proses pelindian juga dipelajari dalam penelitian ini. Penentuan variabel yang paling berpengaruh dapat dilihat dari grafik yang disajikan pada Gambar 3. Semakin curam garis yang terbentuk, efek dari variabel tersebut semakin besar. Sebaliknya, semakin landai garis yang terbentuk semakin kecil efek dari variabel

tersebut. Urutan variabel yang paling berpengaruh terhadap persen ekstraksi nikel yaitu konsentrasi asam, temperatur dan waktu pelindian. Ketiga variabel tersebut menunjukkan pengaruh yang positif terhadap persen ekstraksi nikel.

3.4 Penentuan Model Persamaan Regresi

Data persen ekstraksi nikel yang disajikan pada Tabel 2 kemudian ditentukan model persamaan regresi. Model persamaan regresi yang diperoleh, ditunjukkan dalam Persamaan (2), (3), (4).

$$y_1 (\text{konsentrasi asam } 0,2 \text{ molar}) = -13,91 + 0,3413X_1 + 0,2043X_2 \quad (2)$$

$$y_2 (\text{konsentrasi asam } 0,5 \text{ molar}) = 3,63 + 0,3413X_1 + 0,2043X_2 \quad (3)$$

$$y_3 (\text{konsentrasi asam } 0,8 \text{ molar}) = 11,52 + 0,3413X_1 + 0,2043X_2 \quad (4)$$

Prediksi persen ekstraksi nikel menggunakan persamaan regresi disajikan pada Tabel 4. Pengujian kelinearan persamaan regresi dilakukan dengan

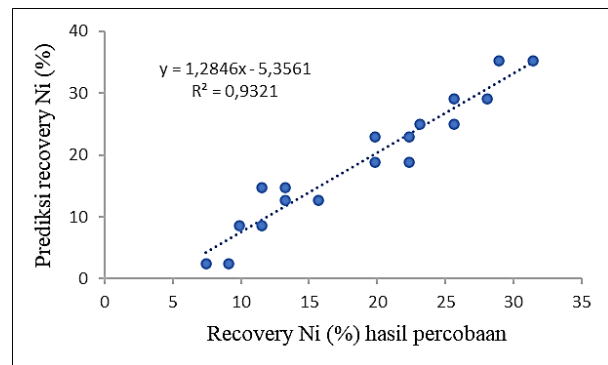
membuat grafik hubungan persen ekstraksi hasil percobaan dengan persen ekstraksi hasil prediksi untuk menentukan nilai koefisien korelasi (R^2). Grafik hubungan persen *recovery* hasil percobaan dengan persen ekstraksi hasil prediksi disajikan pada Gambar 4.

Tabel 4. Prediksi persen *recovery* nikel menggunakan model

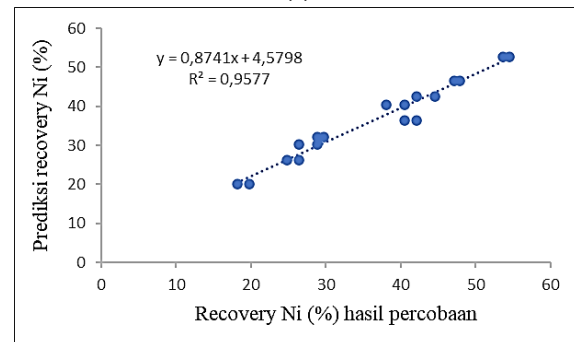
| Model | X_1 | Replika | X_3 | | |
|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | | | 30 | 60 | 90 |
| y_1 | 30 | 1 | 2,46 | 8,59 | 14,72 |
| | | 2 | 2,46 | 8,59 | 14,72 |
| | 60 | 1 | 12,70 | 18,83 | 24,96 |
| | | 2 | 12,70 | 18,83 | 24,96 |
| | 90 | 1 | 22,94 | 29,07 | 35,19 |
| | | 2 | 22,94 | 29,07 | 35,19 |
| y_2 | 30 | 1 | 20,00 | 26,13 | 32,26 |
| | | 2 | 20,00 | 26,13 | 32,26 |
| | 60 | 1 | 30,24 | 36,37 | 42,50 |
| | | 2 | 30,24 | 36,37 | 42,50 |
| | 90 | 1 | 40,48 | 46,61 | 52,73 |
| | | 2 | 40,48 | 46,61 | 52,73 |
| y_3 | 30 | 1 | 27,89 | 34,02 | 40,15 |
| | | 2 | 27,89 | 34,02 | 40,15 |
| | 60 | 1 | 38,13 | 44,26 | 50,39 |
| | | 2 | 38,13 | 44,26 | 50,39 |
| | 90 | 1 | 48,37 | 54,50 | 60,62 |
| | | 2 | 48,37 | 54,50 | 60,62 |

Berdasarkan grafik hubungan persen ekstraksi hasil percobaan dengan persen ekstraksi hasil prediksi (Gambar 4) menunjukkan bahwa model y_1 , y_2 dan y_3 memiliki nilai R^2 mendekati 1, sehingga ketiga model ini cocok digunakan untuk memprediksi persen ekstraksi nikel.

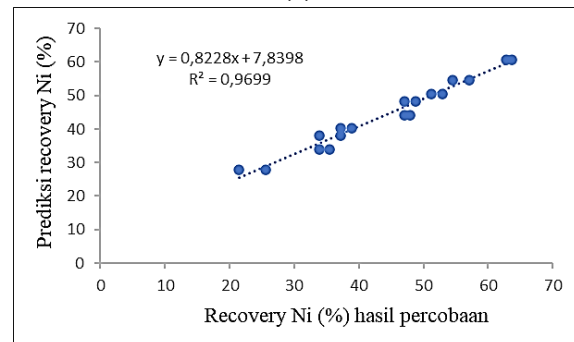
Selain pengaruh variabel terhadap persen ekstraksi nikel, dalam penelitian ini juga dipelajari interaksi variabel terhadap persen ekstraksi nikel yang disajikan pada Gambar 5.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Grafik hubungan persen ekstraksi hasil percobaan dengan persen ekstraksi hasil prediksi, menggunakan (a) model y_1 , (b) model y_2 , (c) model y_3

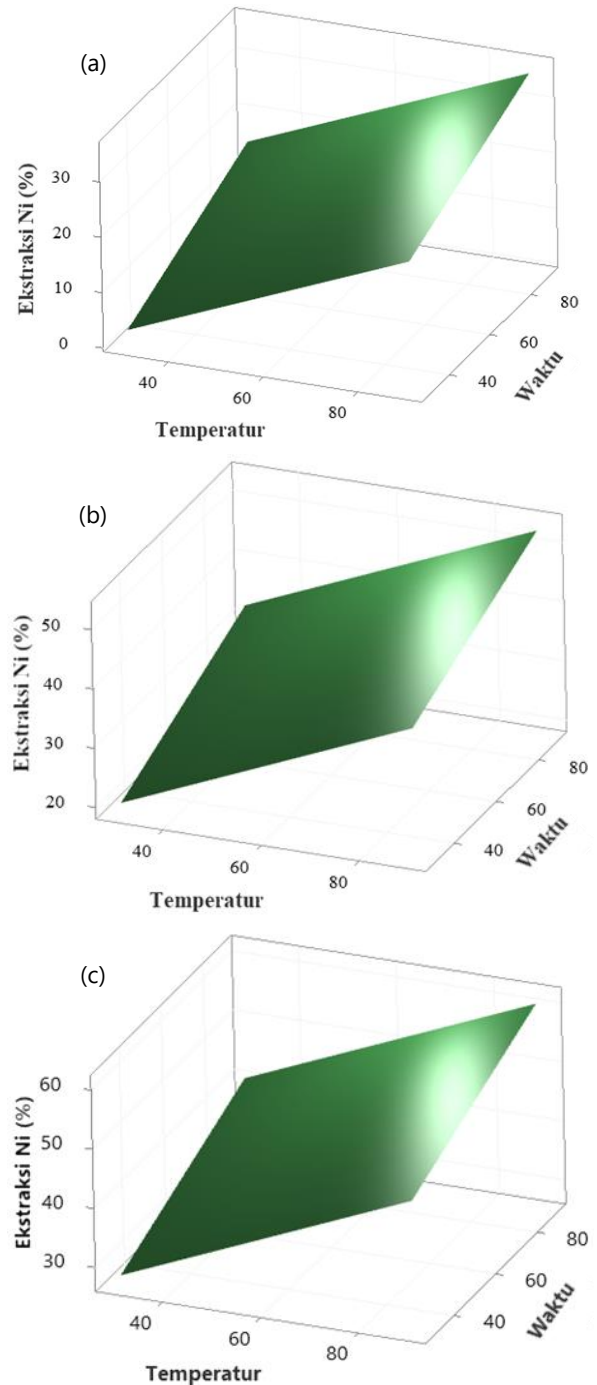
Gambar 5 menunjukkan interaksi konsentrasi asam dengan waktu pelindian. Semakin tinggi temperatur, konsentrasi asam dan waktu pelindian menyebabkan semakin tinggi persen ekstraksi nikel. Kecenderungan hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Kursunoglu dan Kaya (2016). Semakin tinggi temperatur maka semakin besar *recovery* nikel. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur maka akan meningkatkan gerakan spesi-spesi

yang bereaksi sehingga meningkatkan produk reaksi. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada peningkatan konsentrasi asam, yaitu peningkatan konsentrasi asam meningkatkan *recovery* nikel. Peningkatan konsentrasi asam menyebabkan peningkatan ion H^+ di dalam larutan yang akan bereaksi dengan bijih nikel dan melindi nikel yang terkandung di dalam bijih. Peningkatan waktu pelindian juga meningkatkan *recovery* nikel. Waktu pelindian berkaitan dengan waktu kontak antara agen pelindi dengan bijih nikel. Semakin lama waktu pelindian maka waktu kontak untuk bereaksi antara agen pelindi dengan bijih nikel juga semakin meningkat.

Dalam penelitian ini, *recovery* nikel tertinggi yaitu 63% pada kondisi pelindian konsentrasi H_2SO_4 0,8 molar, temperatur 80 °C, dan waktu pelindian 80 menit. Nilai *recovery* yang dihasilkan masih di bawah 100%. Hal ini disebabkan karena konsentrasi asam dan temperatur pelindian yang digunakan relatif rendah. Gambar 5 menunjukkan kecenderungan bahwa peningkatan konsentrasi asam, temperatur pelindian, dan waktu pelindian dapat meningkatkan persen *recovery* nikel. Berdasarkan kecenderungan tersebut maka peningkatan persen *recovery* nikel dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan konsentrasi asam, temperatur pelindian, dan waktu pelindian.

3.5 Studi Kinetika

Studi kinetika yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan model *shrinking core*. Persamaan matematis yang digunakan mengikuti persamaan berikut (Astuti dkk., 2015; Mubarak dan Fathoni, 2016; Wanta dkk., 2018; Xiao dkk., 2020).



Gambar 5. Interaksi variabel terhadap persen ekstraksi Ni pada konsentrasi (a) 0,2 molar (b) 0,5 molar, (c) 0,8 molar

1. Difusi melalui lapisan film fluida
2. Difusi melalui lapisan produk padat tidak bereaksi

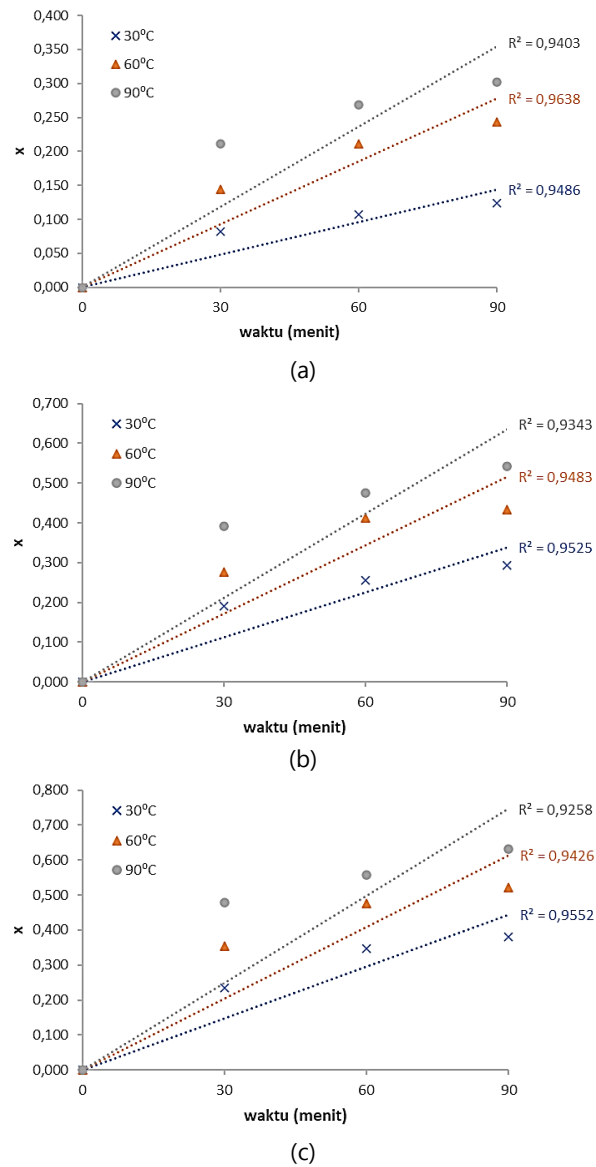
$$K_f.t = x \quad (5)$$

$$K_d.t = 1 - 3(1 - x)^{0,67} + 2(1 - x) \quad (6)$$

3. Reaksi Antarmuka

$$K_r.t = 1 - (1 - x)^{0,33} \tag{7}$$

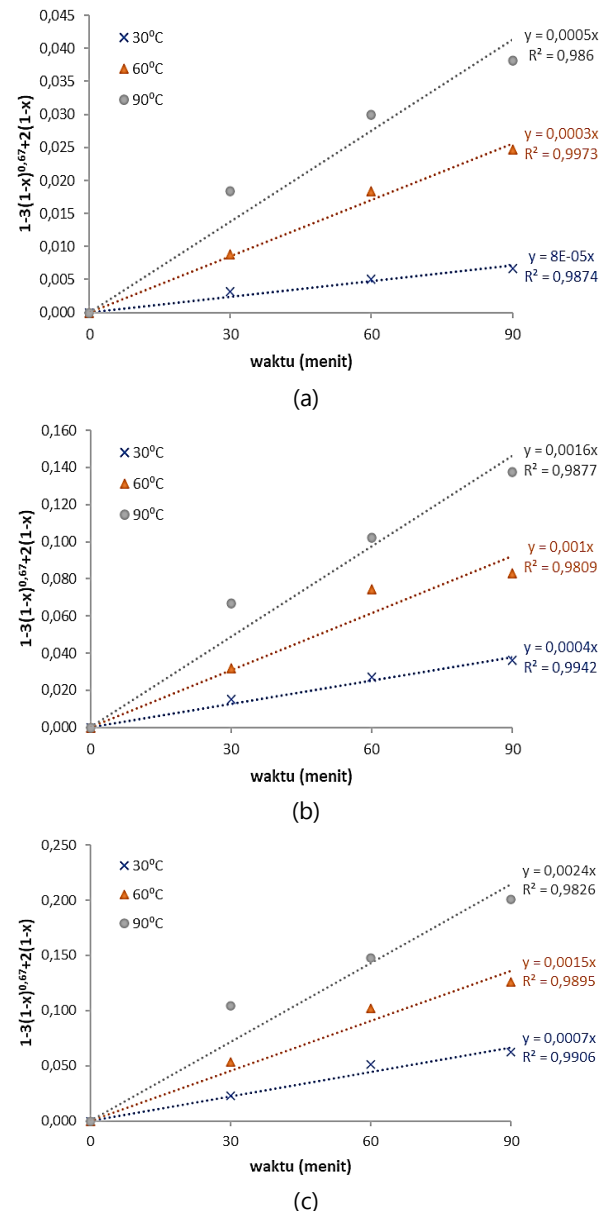
dengan x merupakan nilai *recovery* nikel, t merupakan lama waktu pelindian, K_i , K_d , K_r merupakan konstanta laju pelindian.



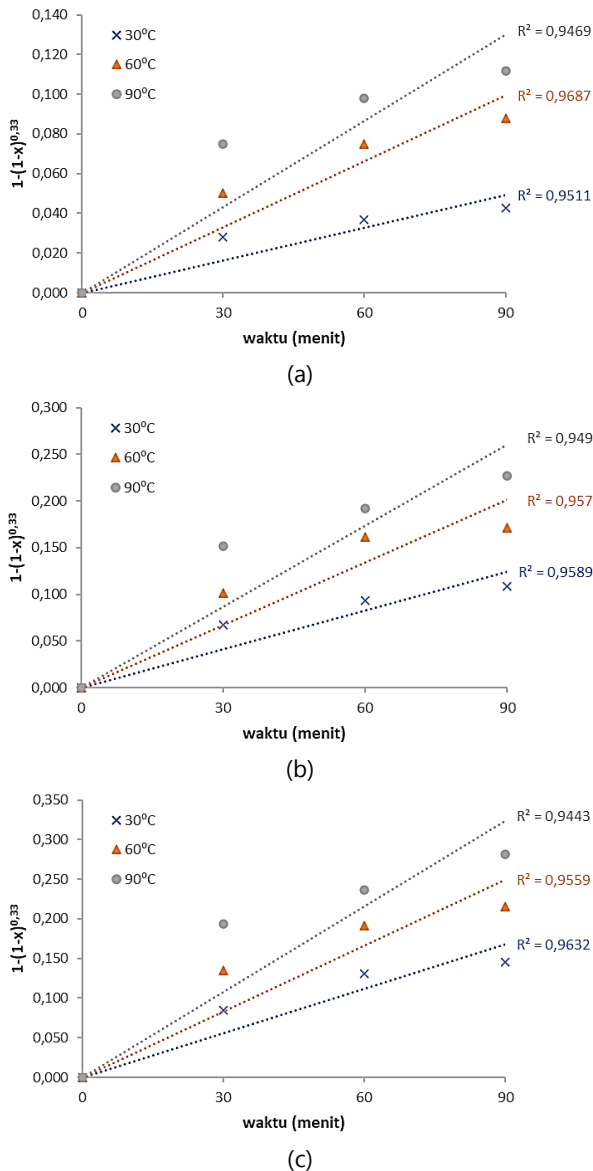
Gambar 6. Grafik hubungan waktu versus x untuk difusi melalui lapisan film fluida pada (a) konsentrasi H_2SO_4 0,2 molar, (b) konsentrasi H_2SO_4 0,5 molar, (c) konsentrasi H_2SO_4 0,8 molar

Pengendali laju proses pelindian ditentukan dari linearitas kurva regresi hasil

pelindian sesuai dengan Persamaan (5), (6) dan (7). Linearitas kurva regresi ditentukan dari nilai R^2 kurva regresi yang paling mendekati 1. Kurva regresi linear untuk difusi melalui lapisan film fluida, difusi melalui lapisan produk padat tidak bereaksi, dan reaksi antarmuka masing-masing disajikan pada Gambar 6, 7, dan 8.



Gambar 7. Grafik hubungan waktu versus $1-3(1 - x)^{0,67} + 2(1 - x)$ untuk difusi melalui lapisan film fluida pada (a) konsentrasi H_2SO_4 0,2 molar, (b) konsentrasi H_2SO_4 0,5 molar, (c) konsentrasi H_2SO_4 0,8 molar



Gambar 8. Grafik hubungan waktu versus $1-(1-x)^{0.33}$ untuk difusi melalui lapisan film fluida pada (a) konsentrasi H_2SO_4 0,2 molar, (b) konsentrasi H_2SO_4 0,5 molar, (c) konsentrasi H_2SO_4 0,8 molar

Nilai R^2 untuk masing-masing pengendali laju proses pelindian bijih nikel laterit menggunakan larutan H_2SO_4 pada variasi konsentrasi disajikan pada Tabel 5.

Nilai R^2 yang disajikan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pengendali proses pelindian bijih nikel laterit menggunakan H_2SO_4 adalah difusi melalui lapisan produk padat tidak bereaksi. Hasil penelitian ini bersesuaian dengan hasil penelitian yang

dilakukan oleh Kursunoglu dan Kaya (2016) yang melakukan studi kinetika pelindian bijih nikel menggunakan larutan asam sulfat. Peningkatan laju reaksi dapat dilakukan dengan meningkatkan intensitas pengadukan karena dapat menurunkan ketebalan produk padat yang tidak bereaksi. Selain itu, dapat juga dilakukan dengan cara peningkatan temperatur karena peningkatan temperatur akan meningkatkan kecepatan laju difusi spesi yang bereaksi (Mubarok dan Fathoni, 2016).

Tabel 5. Nilai R^2 untuk masing-masing pengendali laju pada variasi konsentrasi larutan H_2SO_4

| Konsentrasi H_2SO_4 (molar) | Temp (°C) | Nilai R^2 masing-masing model | | |
|-------------------------------|-----------|---------------------------------|--|------------------|
| | | Difusi Lapisan Film Fluida | Difusi Melalui Lapisan Produk Padat Tidak Bereaksi | Reaksi Antarmuka |
| 0,2 | 30 | 0,9486 | 0,9874 | 0,9511 |
| | 60 | 0,9638 | 0,9973 | 0,9687 |
| | 90 | 0,9403 | 0,9860 | 0,9469 |
| 0,5 | 30 | 0,9525 | 0,9942 | 0,9589 |
| | 60 | 0,9483 | 0,9809 | 0,9570 |
| | 90 | 0,9343 | 0,9877 | 0,9490 |
| 0,8 | 30 | 0,9552 | 0,9906 | 0,9632 |
| | 60 | 0,9426 | 0,9895 | 0,9559 |
| | 90 | 0,9258 | 0,9826 | 0,9443 |

4. Kesimpulan

Leaching nikel laterit pada tekanan atmosfer menggunakan asam sulfat dipengaruhi oleh variabel temperatur, konsentrasi asam, dan waktu pelindian. Peningkatan temperatur, konsentrasi asam, dan waktu pelindian menyebabkan peningkatan persentase ekstraksi nikel terlindi. Persen *recovery* tertinggi yaitu 62,81% pada temperatur 90 °C, konsentrasi H_2SO_4 0,8 molar, dan waktu pelindian 90 menit. Sedangkan persen *recovery* terendah

yaitu 9,09% pada temperatur 30 °C, konsentrasi H₂SO₄ 0,2 molar, dan waktu pelindian 30 menit. Dari analisis ANOVA 3 faktor diketahui bahwa semua variabel signifikan terhadap persen ekstraksi nikel dengan urutan variabel yang paling berpengaruh yaitu temperatur, konsentrasi asam dan waktu pelindian. Hasil analisis kinetika pelindian menunjukkan bahwa pengendali laju proses pelindian yaitu difusi melalui lapisan produk padat tidak bereaksi.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Universitas Halu Oleo yang telah memberikan dukungan biaya sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

Daftar Pustaka

- Astuti, W., Hirajima, T., Sasaki, K. and Okibe, N., 2015, Kinetics of nickel extraction from Indonesian saprolitic ore by citric acid leaching under atmospheric pressure, *Miner. Metall. Process.*, 32 (3), 176–185.
- Astuti, W., Hirajima, T., Sasaki, K. and Okibe, N., 2016, Comparison of effectiveness of citric acid and other acids in leaching of low-grade Indonesian saprolitic ores, *Miner. Eng.*, 85, 1–16.
- Büyükkinci, E. and Topkaya, Y.A., 2009, Extraction of nickel from lateritic ores at atmospheric pressure with agitation leaching, *Hydrometallurgy*, 97 (1–2), 33–38.
- Chang, Y., Zhai, X., Li, B. and Fu, Y., 2010, Removal of iron from acidic leach liquor of lateritic nickel ore by goethite precipitate, *Hydrometallurgy*, 101 (1–2), 84–87.
- Eni Febrianaa, A.T., Mayangsaria, W. and Prasetyoa, A.B.P., 2018, Kinetika dan mekanisme pelindian nikel dari bijih limonit: pengaruh waktu dan temperatur, *Metalurgi*, 2, 61–68.
- Guo, X.Y., Shi, W.T., Li, D. and Tian, Q.H., 2011, Leaching behavior of metals from limonitic laterite ore by high pressure acid leaching, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed., The Nonferrous Metals Society of China*, 21 (1), 191–195.
- Gustiana, H.S.E.A., 2018, Pelindian Nikel dari Nikel Laterit Pomalaa Menggunakan Asam Asetat, Master Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Kursunoglu, S. and Kaya, M., 2016, Atmospheric pressure acid leaching of Caldag lateritic nickel ore, *Int. J. Miner. Process.*, 150, 1–8.
- Li, J., Yang, Y., Wen, Y., Liu, W., Chu, Y., Wang, R. and Xu, Z., 2020, Leaching kinetics and mechanism of laterite with NH₄Cl-HCl solution, *Minerals*, 10 (9), 1–11.
- Luo, J., Li, G., Rao, M., Peng, Z., Zhang, Y. and Jiang, T., 2015, Atmospheric leaching characteristics of nickel and iron in limonitic laterite with sulfuric acid in the presence of sodium sulfite, *Miner. Eng.*, 78, available at:<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.03.030>.
- Luo, W., Feng, Q., Ou, L., Zhang, G. and Chen, Y., 2010, Kinetics of saprolitic laterite leaching by sulphuric acid at atmospheric pressure, *Miner. Eng.*, 23 (6), 458–462.
- MacCarthy, J., Nosrati, A., Skinner, W. and Addai-Mensah, J., 2016, Atmospheric acid leaching mechanisms and kinetics and rheological studies of a low grade saprolitic nickel laterite ore, *Hydrometallurgy*, 160, 26–37.
- Mohammadreza, F., Mohammad, N. and Ziaeddin, S.S., 2014, Nickel extraction from low grade laterite by agitation leaching at

- atmospheric pressure, *Int. J. Min. Sci. Technol.*, 24 (4), 543–548.
- Mubarok, M.Z. and Fathoni, M.W., 2016, Studi kinetika pelindian bijih nikel limonit dari pulau Halmahera dalam larutan asam nitrat, *Metalurgi*, 31 (1), 1–10.
- Mubarok, M.Z. and Lieberto, J., 2013, Precipitation of Nickel Hydroxide from Simulated and Atmospheric-leach Solution of Nickel Laterite Ore, *Procedia Earth Planet. Sci.*, 6, 457–464.
- Önal, M.A.R. and Topkaya, Y.A., 2014, Pressure acid leaching of Çaldağ lateritic nickel ore: An alternative to heap leaching, *Hydrometallurgy*, 142, 98–107.
- Oxley, A. and Barcza, N., 2013, Hydro-pyro integration in the processing of nickel laterites, *Miner. Eng.*, 54, 2–13.
- Permana, D., Kumalasari, R., Wahab and Musnagam., 2020, Pelindian bijih nikel laterit kadar rendah menggunakan metode atmospheric acid leaching dalam media asam klorida (HCl), *Ris. Geol. Dan Pertamb.*, 30 (2), 203–214.
- Thubakgale, C.K., Mbaya, R.K.K. and Kabongo, K., 2013, A study of atmospheric acid leaching of a south african nickel laterite, *Miner. Eng.*, 54, 79–81.
- Wanta, K.C., Tanujaya, F.H., Susanti, R.F., Petrus, H.T.B.M., Perdana, I. and Astuti, W., 2018, Studi kinetika proses atmospheric pressure acid leaching bijih laterit limonit menggunakan larutan asam nitrat konsentrasi rendah, *Jurnal Rekayasa Proses*, 12 (2), 77–84.
- Whittington, B.I. and Muir, D., 2000, Pressure acid leaching of nickel laterites: a review, *Miner. Process. Extr. Metall. Rev.*, 21 (6), 527–599.
- Xiao, W., Liu, X. and Zhao, Z., 2020, Kinetics of nickel leaching from low-nickel matte in sulfuric acid solution under atmospheric pressure, *Hydrometallurgy*, 194, 1–27.