

# PRESIPITASI BESI DARI LARUTAN HASIL PELINDIAN BIJIH NIKEL LATERIT

## *Precipitation of Iron from Leaching Solution of Nickel Laterite Ore*

WAHAB<sup>1\*</sup>, DANDY ASHARI<sup>1\*\*</sup>, DENIYATNO<sup>1\*\*</sup>, FIRDAUS<sup>1\*\*</sup>, ERWIN ANSHARI<sup>1\*\*</sup>,  
MARWAN Z. MILI<sup>1\*\*</sup>, RIZKY A. NAFIU<sup>1\*\*</sup> dan ALRUM ARMID<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Universitas Halu Oleo  
Kampus Hijau Bumi Tridharma, Anduonohu, Kec. Kambu, Kota Kendari, Sulawesi Tenggara 93232  
e-mail : [wahab151289@gmail.com](mailto:wahab151289@gmail.com)

<sup>2</sup> Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Halu Oleo

\* Kontributor Utama, \*\* Kontributor Anggota

---

### ABSTRAK

Presipitasi besi dari larutan hasil pelindian bijih nikel laterit merupakan tahapan yang harus dilakukan sebelum larutan diolah lebih lanjut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variabel proses terhadap presipitasi besi serta mempelajari kinetika proses presipitasi. Dalam penelitian ini, presipitasi besi dilakukan menggunakan senyawa natrium hidroksida (NaOH). Variabel yang diamati yaitu temperatur (25, 40, 55, 70, dan 85°C) konsentrasi NaOH (10, 20, 30, dan 40% w/v), dan waktu (15, 30, 45, 60, dan 75 menit). Studi kinetika mengacu pada persamaan reaksi *homogenous irreversible* orde I, orde II dan orde III. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur, konsentrasi NaOH, dan waktu meningkatkan persentase presipitasi besi. Persentase presipitasi besi tertinggi sebesar 84,868% dicapai pada temperatur 85°C, konsentrasi NaOH 40% w/v, dan waktu 75 menit. Studi kinetika menunjukkan bahwa reaksi presipitasi besi dari larutan hasil pelindian mengikuti reaksi *irreversible* orde III.

Kata kunci: pelindian, presipitasi, studi kinetika, besi, bijih nikel laterit.

### ABSTRACT

*Iron precipitation from the leaching solution of nickel laterite ore is a step that must be done before the solution is further processed. The purpose of this research is to study the effect of process variables on iron precipitation and to study the kinetics of the precipitation process. In this study, iron precipitation was carried out using sodium hydroxide (NaOH) compounds. The variables studied were temperature (25, 40, 55, 70, and 85°C), NaOH concentration (10, 20, 30, and 40%), and time (15, 30, 45, 60, and 75 minutes). The study of kinetics referred to the homogeneous reversible reaction equation of order I, order II and order III. The results showed that the increase in temperature, NaOH concentration, and time increased the percentage of iron precipitation. The highest percentage of iron precipitation (84.868%) occurred at a temperature of 85°C, 40% w/v NaOH, and time of 75 minutes. The kinetics studies show that the iron precipitation reaction from the leaching solution followed an irreversible reaction of order III.*

Keywords: leaching, precipitation, kinetics study, iron, nickel laterite ore.

---

### PENDAHULUAN

Nikel merupakan salah satu logam yang penting karena memiliki sifat fisik dan kimia yang unik

(Ma dkk., 2017) sehingga logam tersebut memiliki aplikasi yang cukup luas di antaranya baja tahan karat, *electroplating*, baterai, dan industri kimia (Wang dkk., 2017; Li dkk., 2018;

Mystrioti dkk., 2018; Miettinen dkk., 2019; Li dkk., 2020). Umumnya mineral pembawa nikel adalah *petlandite* dan *garnierite* yang masing-masing merupakan bijih nikel sulfida dan bijih nikel laterit. Bijih nikel laterit diklasifikasikan menjadi dua yaitu limonit dan saprolit bergantung pada kandungan besi dan magnesium (Thubakgale, Mbaya dan Kabongo, 2013). Indonesia merupakan negara yang memiliki cadangan bijih nikel laterit cukup besar (Permana dkk., 2020). Umumnya bijih nikel yang berada di Indonesia adalah bijih laterit kadar rendah. Bijih nikel laterit kadar rendah sangat sulit diolah menggunakan proses pirometalurgi (Astuti dkk., 2015, 2016). Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu menggunakan metode hidrometalurgi (Liu dan Lee, 2015; Mubarak dan Hanif, 2016; Sudibyo dkk., 2018) melalui proses *high pressure acid leaching* (HPAL) (Whittington dan Muir, 2000) dan *atmospheric acid leaching* (AL) (Whittington dan Muir, 2000; McDonald dan Whittington, 2008).

Nikel dalam bijih nikel laterit berasosiasi atau berada dalam bentuk larutan padat dengan oksida besi (Chang dkk., 2010). Nikel yang ada di dalam matriks atau larutan padat tersebut hanya dapat dilepaskan melalui reaksi dengan larutan asam. Oleh karena itu, ekstraksi nikel sangat berhubungan dengan dekomposisi matriks besi yang menyebabkan tingginya konsumsi asam. Selain itu, asosiasi struktur nikel dan besi dalam mineral seperti goetit dan limonit menyebabkan tingginya kandungan besi di dalam larutan hasil pelindian (Basturkcü dan Acarkan, 2017). Karena itu, salah satu tahapan yang harus dilakukan adalah penghilangan besi dari larutan hasil pelindian sebelum larutan tersebut diolah lebih lanjut (Safitri dkk., 2018).

Penelitian tentang presipitasi besi dari larutan hasil pelindian telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya di antaranya Chang dkk. (2010) menggunakan udara sebagai agen pengoksidasi dan ion tembaga yang mengkatalisis oksidasi besi; Basturkcü dan Acarkan (2017) menggunakan kalsium hidroksida; Wang dkk. (2018) dan Safitri dkk. (2018) menggunakan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), serta de Fátima da Silva dkk. (2022) menggunakan ammonium hidroksida.

Dalam penelitian ini penghilangan besi dari larutan hasil pelindian menggunakan natrium

hidroksida (NaOH) dengan variabel temperatur, konsentrasi NaOH dan waktu. Tujuan penelitian ini untuk melihat pengaruh variabel proses terhadap persen presipitasi besi serta mempelajari kinetika proses presipitasi.

## METODE

### Preparasi Sampel Bijih Nikel

Sampel bijih nikel yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Kabupaten Konawe Provinsi Sulawesi Tenggara. Sampel bijih nikel dikecilkan ukurannya hingga mencapai ukuran 200 mesh. Sampel bijih nikel yang telah dihaluskan kemudian ditentukan komposisi unsur yang terkandung di dalamnya menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Hasil analisis 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	0,0094

Sumber: (Wahab dkk., 2022)

### Pelindian Bijih Nikel

Proses pelindian bijih nikel dilakukan pada tekanan atmosfer menggunakan reaktor leher tiga yang dilengkapi dengan kondensor untuk menghindari penguapan larutan dan juga dilengkapi termometer untuk mengontrol temperatur pelindian. Pelindian bijih nikel dilakukan menggunakan larutan asam klorida (HCl) konsentrasi 4 molar, temperatur 75°C, waktu pelindian 90 menit, dan persen padatan 20%. Setelah proses pelindian, *slurry* dipisahkan dari filtrat dengan cara disaring dan diukur kadar besinya menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) dan filtrat yang

dihasilkan dilanjutkan dengan proses presipitasi besi. Persen ekstraksi Ni pada kondisi pelindian tersebut (konsentrasi 4 molar, temperatur 75°C, waktu pelindian 90 menit) 75,76%. Sedangkan logam lainnya seperti Co, Al, dan Cr tidak dilakukan pengukuran ekstraksinya.

### Presipitasi Besi

Presipitasi besi dilakukan menggunakan senyawa natrium hidroksida (NaOH). Dalam penelitian ini dilakukan variasi temperatur (25, 40, 55, 70, dan 85°C), variasi konsentrasi NaOH (10, 20, 30, dan 40% w/v), serta variasi waktu (15, 30, 45, 60, 75, 90 menit). Setelah proses presipitasi, larutan disaring menggunakan *vacuum filter* hingga diperoleh filtrat. Filtrat yang diperoleh diukur kadar besinya menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Temperatur Terhadap Presipitasi Besi

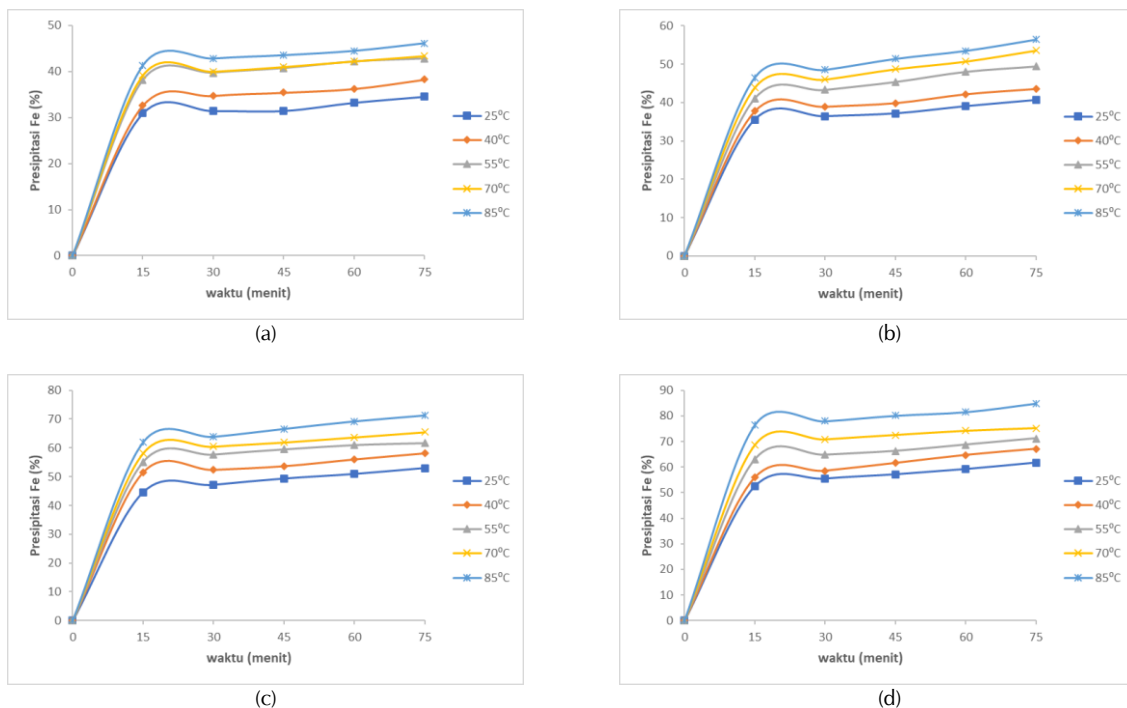
Dalam studi ini dilakukan variasi temperatur yaitu 25, 40, 55, 70 dan 85°C untuk melihat pengaruh temperatur terhadap presipitasi besi.

Pengaruh temperatur terhadap presipitasi besi disajikan pada Gambar 1.

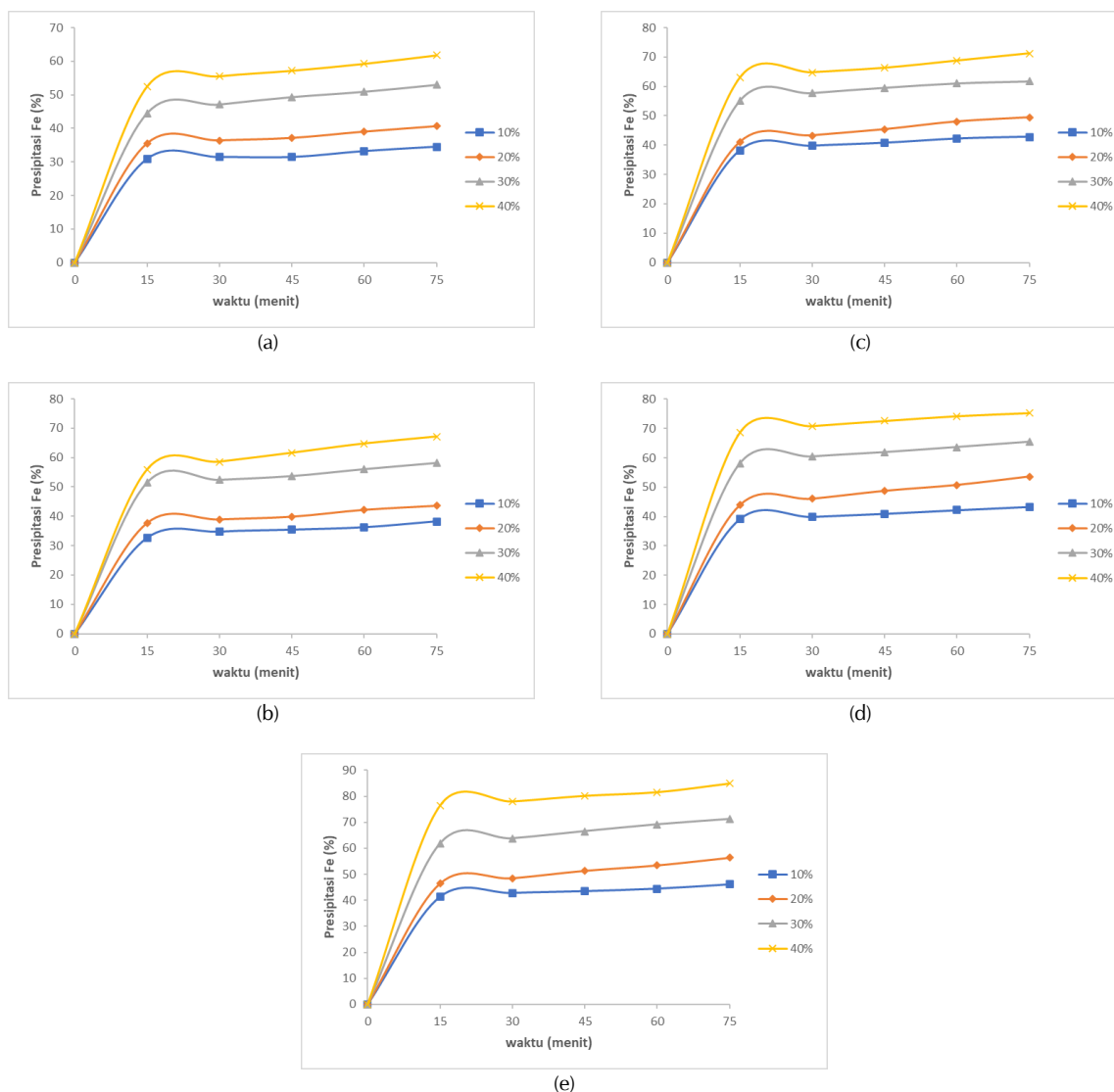
Gambar 1 menunjukkan kecenderungan yang sama pada konsentrasi NaOH 10, 20, 30 dan 40% yaitu peningkatan temperatur menyebabkan peningkatan presipitasi besi. Pada konsentrasi NaOH 10% presipitasi besi tertinggi 46,112% pada temperatur 85°C dengan waktu 75 menit. Pada konsentrasi NaOH 20% presipitasi besi tertinggi 56,385% pada temperatur 85°C dengan waktu 75 menit. Pada konsentrasi NaOH 30% presipitasi besi tertinggi 71,228% pada temperatur 85°C dengan waktu 75 menit, sedangkan pada konsentrasi NaOH 40% presipitasi besi tertinggi 84,868% pada temperatur 85°C dengan waktu 75 menit.

### Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Terhadap Presipitasi Besi

Dalam penelitian ini juga dipelajari pengaruh konsentrasi NaOH terhadap persipitasi besi. Untuk melihat pengaruh NaOH terhadap presipitasi besi, dilakukan variasi konsentrasi NaOH yaitu 10, 20, 30 dan 40% (w/v). Grafik pengaruh konsentrasi NaOH terhadap presipitasi besi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Pengaruh temperatur terhadap presipitasi besi pada (a) NaOH 10%, (b) NaOH 20%, (c) NaOH 30%, dan (d) NaOH 40%.



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap presipitasi besi pada (a) 25°C, (b) 40°C, (c) 55°C, (d) 70°C, dan (e) 80°C.

Gambar 2 menunjukkan bahwa presipitasi besi tertinggi pada temperatur 25, 40, 55, 70 dan 85°C masing-masing sebesar 61,754, 67,096, 71,206, 75,237 dan 84,868% dengan konsentrasi NaOH 40 % dan waktu 75 menit.

Semakin tinggi konsentrasi NaOH semakin tinggi pula presipitasi besi. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi NaOH maka semakin tinggi pula besi yang terpresipitasi dalam bentuk senyawa  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  mengikuti reaksi berikut.



Selain temperatur dan konsentrasi NaOH, dalam penelitian ini juga diamati pengaruh waktu terhadap presipitasi besi. Berdasarkan Gambar 1 dan 2 menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka semakin besar persentase presipitasi besi. Selain itu, grafik-grafik tersebut juga menunjukkan bahwa waktu 75 menit belum mencapai kondisi maksimum karena kecenderungan grafik yang masih meningkat namun peningkatannya tidak signifikan. Peningkatan waktu menyebabkan semakin lama pula waktu kontak antara senyawa NaOH dan ion besi untuk bereaksi membentuk presipitat  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . Presipitasi besi tertinggi terjadi pada waktu 75 menit yaitu 84,868% dengan konsentrasi NaOH 40% dan

temperatur 85°C. Konsentrasi besi dalam larutan hasil pelindian (larutan awal) adalah 15,4041%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wang dkk. (2018) yang melakukan presipitasi menggunakan larutan sintetik dengan kadar besi awal 30%, larutan pelindian dengan kadar 15,4041% dapat dilanjutkan ke proses lebih lanjut. Kadar besi dalam larutan setelah dilakukan proses presipitasi sebesar 2,331%.

### Kinetika Presipitasi Besi

Studi kinetika presipitasi besi bertujuan untuk menentukan mekanisme reaksi presipitasi, konstanta laju reaksi, energi aktivasi dan orde reaksi. Persamaan kinetika yang digunakan dalam studi ini mengacu pada persamaan reaksi *homogenous irreversible* orde I, orde II dan orde III berdasarkan persamaan berikut (Levenspiel, 1998; Safitri dkk., 2018).

Persamaan orde I:

$$-\ln \frac{C_{Fe}}{C_{Fe,0}} = kt \dots \dots \dots (2)$$

Persamaan orde II:

$$\frac{1}{C_{Fe}} - \frac{1}{C_{Fe,0}} = kt \dots \dots \dots (3)$$

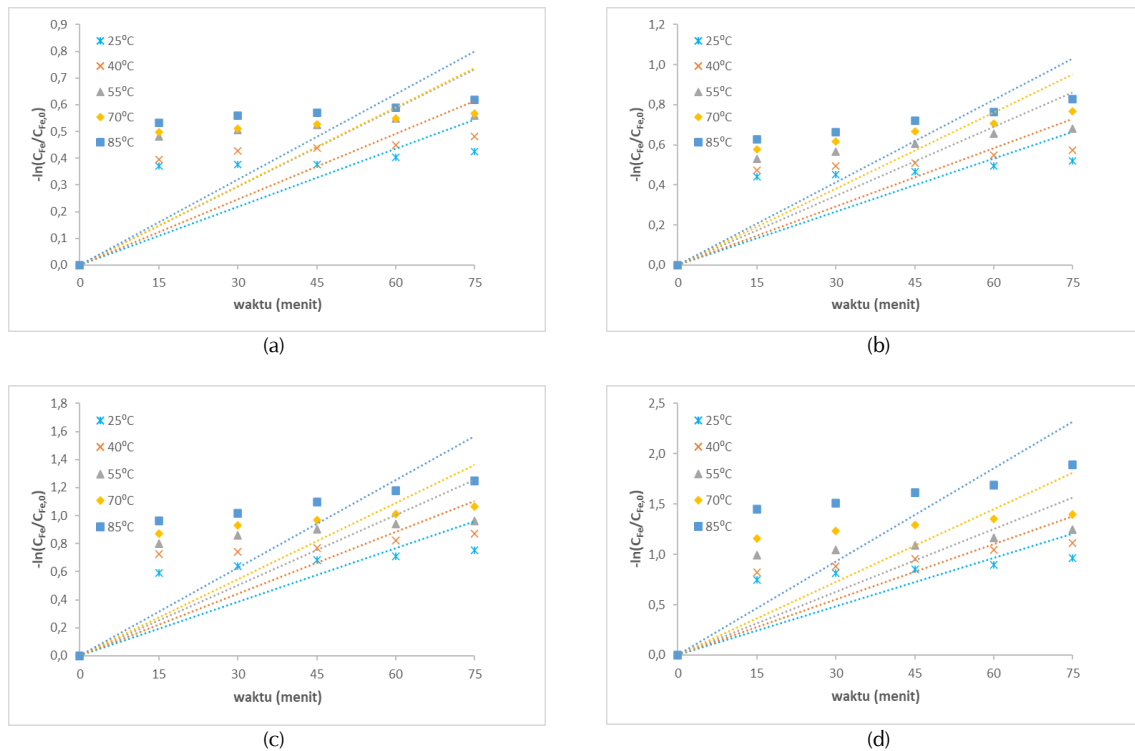
Persamaan orde III:

$$\frac{C_{Fe}}{2C_{Fe}^2} - \frac{C_{Ni}}{2C_{Fe,0}^2} = kt \dots \dots \dots (4)$$

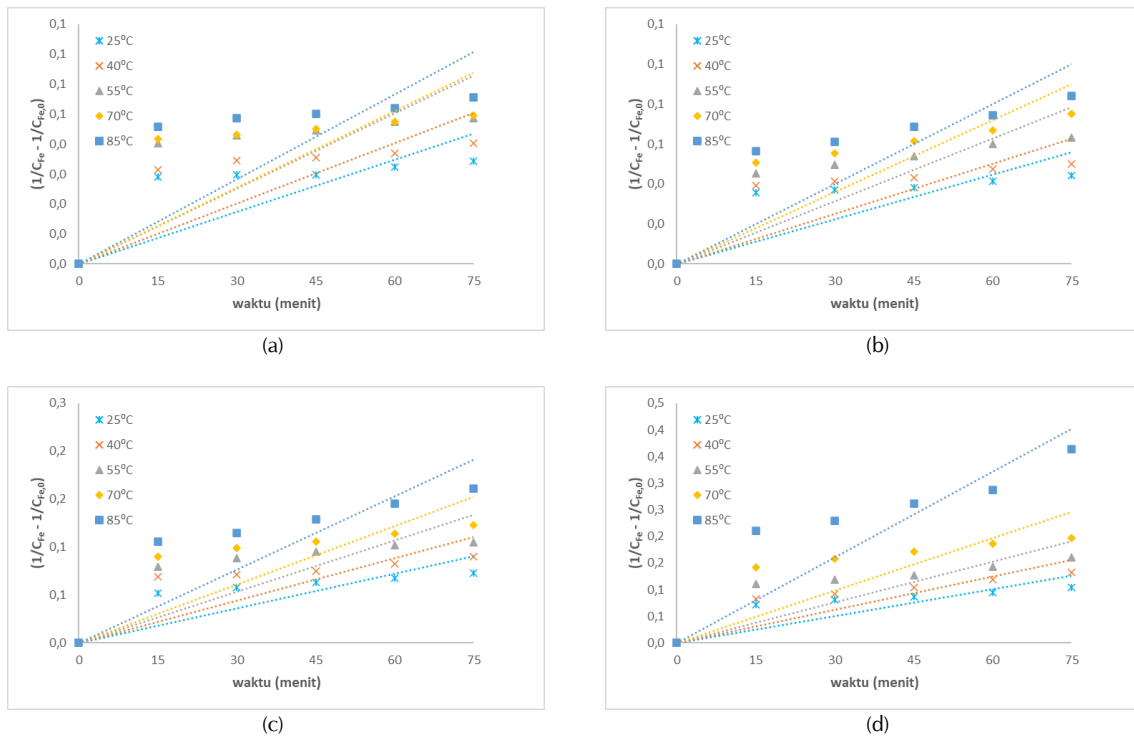
Keterangan:

- $C_{Fe,0}$  = konsentrasi nikel awal (mol/L)
- $C_{Fe}$  = konsentrasi nikel pada waktu t (mol/L)
- t = waktu (menit)
- k = konstanta laju reaksi

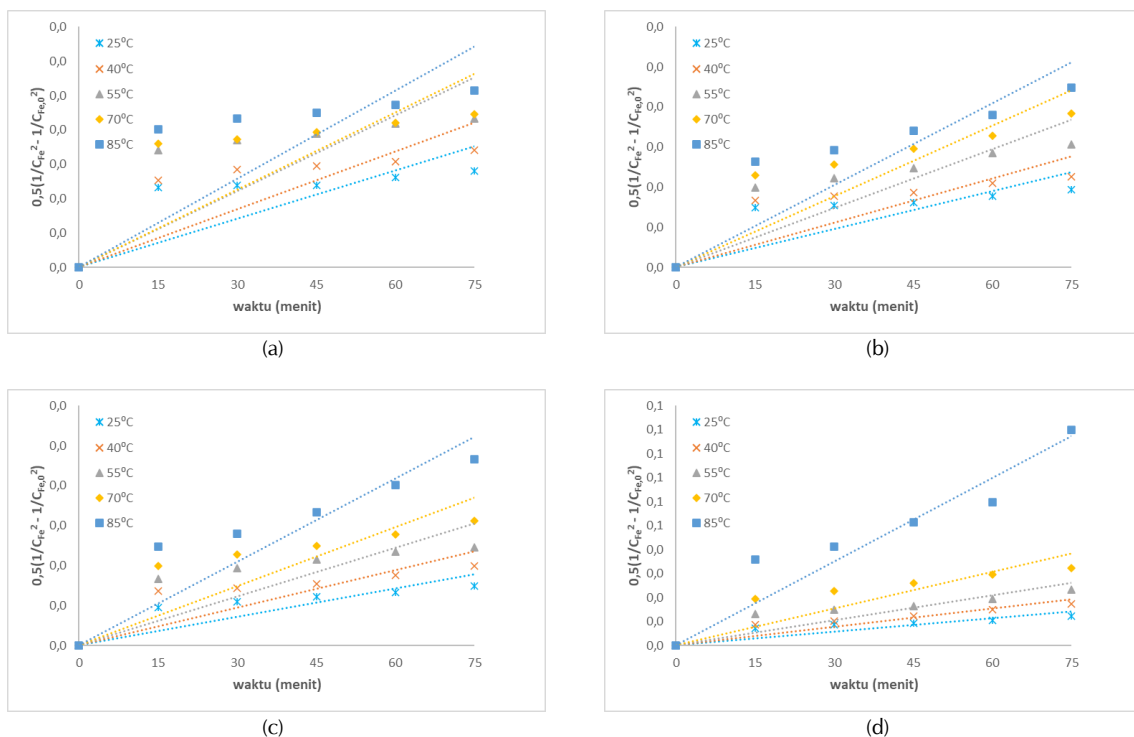
Dalam studi ini dilakukan plot data eksperimen terhadap waktu berdasarkan persamaan (2), (3) dan (4) sebagaimana disajikan masing-masing pada Gambar 3, 4 dan 5.



Gambar 3. Grafik hubungan waktu terhadap  $-\ln(C_{Fe}/C_{Fe,0})$  pada (a) NaOH 10%, (b) NaOH 20%, (c) NaOH 30%, dan (d) NaOH 40%.



Gambar 4. Grafik hubungan waktu terhadap  $(1/C_{Fe} - 1/C_{Fe,0})$  pada (a) NaOH 10%, (b) NaOH 20%, (c) NaOH 30%, dan (d) NaOH 40%.



Gambar 5. Grafik hubungan waktu terhadap  $0.5(1/C_{Fe}^2 - 1/C_{Fe,0}^2)$  pada (a) NaOH 10%, (b) NaOH 20%, (c) NaOH 30%, dan (d) NaOH 40%.

Orde reaksi dapat ditentukan dari linearitas kurva yang diindikasikan oleh nilai  $R^2$ . Semakin mendekati nilai 1 maka semakin linear kurva tersebut. Tabel 2 menunjukkan nilai konstanta laju reaksi ( $k$ ) dan nilai  $R^2$  masing-masing orde reaksi.

Berdasarkan Tabel 2 tampak bahwa nilai  $R^2$  yang paling mendekati nilai 1 adalah pada reaksi orde III yang mengindikasikan bahwa reaksi presipitasi besi mengikuti reaksi *irreversible* orde III. Selain itu, berdasarkan Tabel 2 juga menunjukkan bahwa nilai konstanta laju reaksi ( $k$ ) terus meningkat dengan meningkatnya temperatur yang mengindikasikan bahwa pembentukan presipitat lebih cepat berlangsung pada temperatur yang lebih tinggi.

Selain penentuan orde reaksi, dalam studi kinetika ini juga ditentukan energi aktivasi proses presipitasi besi. Energi aktivasi ditentukan menggunakan persamaan Arrhenius mengikuti persamaan berikut.

$$k = Ae^{-E_a/RT} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

$K$  = konstanta laju reaksi

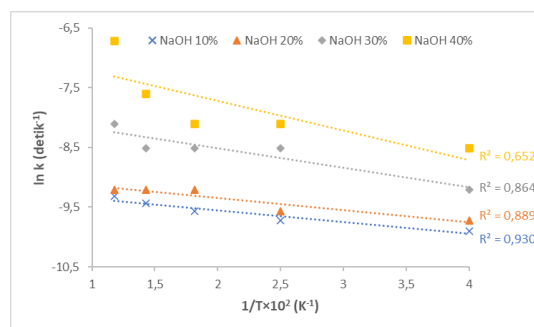
$A$  = faktor pre-eksponensial

$E_a$  = energi aktivasi (joule)

$R$  = tetapan gas ( $J.mol^{-1}.K^{-1}$ )

$T$  = temperatur (K)

Energi aktivasi ditentukan dengan mengalirkan grafik hubungan  $1/T$  terhadap  $\ln k$ , sebagaimana disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan  $1/T$  terhadap  $\ln k$

Berdasarkan grafik hubungan  $1/T$  terhadap  $\ln k$  (Gambar 6) diperoleh nilai energi aktivasi untuk NaOH 10%, 20%, 30%, dan 40% (w/v) masing-masing sebesar 164,7 J, 168,9 J, 270,9 J, dan 409,4 J.

Tabel 2. Nilai konstanta laju reaksi ( $k$ ) dan nilai  $R^2$  masing-masing orde reaksi

NaOH (%)	Temp. (°C)	Reaksi Orde I		Reaksi Orde II		Reaksi Orde III	
		$k$	$R^2$	$k$	$R^2$	$k$	$R^2$
10	25	0,0073	0,8535	0,0006	0,8606	0,0001	0,8683
	40	0,0082	0,8643	0,0007	0,8742	0,0001	0,8849
	55	0,8569	0,8569	0,0008	0,8670	0,0001	0,8783
	70	0,0099	0,8536	0,0008	0,8633	0,0001	0,8741
	85	0,0107	0,8543	0,0009	0,8649	0,0001	0,8769
20	25	0,0089	0,8629	0,0007	0,8735	0,0001	0,8852
	40	0,0097	0,8677	0,0008	0,8805	0,0001	0,8945
	55	0,0115	0,8826	0,0010	0,9010	0,0001	0,9206
	70	0,0127	0,8881	0,0012	0,9099	0,0001	0,9326
	85	0,0137	0,8881	0,0013	0,9118	0,0001	0,9363
30	25	0,0128	0,8785	0,0012	0,8979	0,0001	0,9188
	40	0,0147	0,8669	0,0015	0,8866	0,0002	0,9084
	55	0,0167	0,8638	0,0018	0,8842	0,0002	0,9069
	70	0,0182	0,8680	0,0020	0,8926	0,0002	0,9198
	85	0,0209	0,8838	0,0026	0,9188	0,0003	0,9535
40	25	0,0161	0,8795	0,0017	0,9049	0,0002	0,9318
	40	0,0184	0,8942	0,0021	0,9277	0,0003	0,9597
	55	0,0209	0,8749	0,0026	0,9069	0,0003	0,9402
	70	0,0241	0,8657	0,0033	0,8976	0,0005	0,9321
	85	0,0309	0,8829	0,0054	0,9347	0,0012	0,9715
	25	0,0073	0,8535	0,0006	0,8606	0,0001	0,8683

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam studi ini diamati pengaruh temperatur, konsentrasi NaOH dan waktu terhadap presipitasi besi. Peningkatan temperatur, konsentrasi NaOH dan waktu, meningkatkan presipitasi besi. Persentase presipitasi tertinggi 84,868% diperoleh pada temperatur 85°C, konsentrasi NaOH 40% dan waktu 75 menit. Selain itu, dalam penelitian ini juga dipelajari kinetika proses presipitasi. Hasil analisis kinetika menggunakan persamaan reaksi *homogenous irreversible* orde I, orde II dan orde III diperoleh bahwa proses presipitasi besi dari larutan hasil pelindian bijih nikel laterit mengikuti reaksi *irreversible* orde III. Sedangkan energi aktivasi ditentukan menggunakan persamaan Arrhenius dan diperoleh energi aktivasi untuk NaOH 10%, 20%, 30%, dan 40% (w/v) masing-masing sebesar 164,7 J, 168,9 J, 270,9 J, dan 409,4 J.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini khususnya Laboratorium Kimia Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Halu Oleo serta Laboratorium Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Halu Oleo.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, W., Hirajima, T., Sasaki, K. dan Okibe, N. (2015) "Kinetics of nickel extraction from Indonesian saprolitic ore by citric acid leaching under atmospheric pressure," *Mining, Metallurgy & Exploration*, 32(3), hal. 176–185. doi: 10.1007/BF03402286.
- Astuti, W., Hirajima, T., Sasaki, K. dan Okibe, N. (2016) "Comparison of effectiveness of citric acid and other acids in leaching of low-grade Indonesian saprolitic ores," *Minerals Engineering*, 85, hal. 1–16. doi: 10.1016/j.mineng.2015.10.001.
- Basturkcü, H. dan Acarkan, N. (2017) "Selective nickel-iron separation from atmospheric leach liquor of a lateritic nickel ore using the para-goethite method," *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 53(1), hal. 212–226. doi: 10.5277/ppmp170118.
- Chang, Y., Zhai, X., Li, B. dan Fu, Y. (2010) "Removal of iron from acidic leach liquor of lateritic nickel ore by goethite precipitate," *Hydrometallurgy*, 101(1–2), hal. 84–87. doi: 10.1016/j.hydromet.2009.11.014.
- de Fátima da Silva, M., de Sousa Oliveira, M. R., dos Santos, I. D., Radino-Rouse, P. dan Mansur, M. B. (2022) "Iron precipitation strategies from nickel laterite ore sulfuric acid leach liquor," *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 43(1), hal. 28–39. doi: 10.1080/08827508.2020.1809392.
- Levenspiel, O. (1998) *Chemical reaction engineering*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Li, G., Zhou, Q., Zhu, Z., Luo, J., Rao, M., Peng, Z. dan Jiang, T. (2018) "Selective leaching of nickel and cobalt from limonitic laterite using phosphoric acid: An alternative for value-added processing of laterite," *Journal of Cleaner Production*, 189, hal. 620–626. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.083.
- Li, J., Yang, Y., Wen, Y., Liu, W., Chu, Y., Wang, R. dan Xu, Z. (2020) "Leaching kinetics and mechanism of laterite with NH<sub>4</sub>Cl-HCl solution," *Minerals*, 10(9), hal. 754. doi: 10.3390/min10090754.
- Liu, Y. dan Lee, M. (2015) "Separation of Co and Ni from a chloride leach solutions of laterite ore by solvent extraction with extractant mixtures," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 28, hal. 322–327. doi: 10.1016/j.jiec.2015.03.010.
- Ma, B., Yang, W., Xing, P., Wang, C., Chen, Y. dan Lv, D. (2017) "Pilot-scale plant study on solid-state metalized reduction–magnetic separation for magnesium-rich nickel oxide ores," *International Journal of Mineral Processing*, 169, hal. 99–105. doi: 10.1016/j.minpro.2017.11.002.
- McDonald, R. G. dan Whittington, B. I. (2008) "Atmospheric acid leaching of nickel laterites review," *Hydrometallurgy*, 91(1–4), hal. 35–55. doi: 10.1016/j.hydromet.2007.11.009.
- Miettinen, V., Mäkinen, J., Kolehmainen, E., Kravtsov, T. dan Rintala, L. (2019) "Iron control in atmospheric acid laterite leaching," *Minerals*, 9(7), hal. 404. doi: 10.3390/min9070404.
- Mubarak, M. Z. dan Hanif, L. I. (2016) "Cobalt and nickel separation in nitric acid solution by solvent extraction using Cyanex 272 and Versatic 10," *Procedia Chemistry*, 19, hal. 743–750. doi: 10.1016/j.proche.2016.03.079.



- Mystrioti, C., Papassiopi, N., Xenidis, A. dan Komnitsas, K. (2018) "Counter-current leaching of low-grade laterites with hydrochloric acid and proposed purification options of pregnant solution," *Minerals*, 8(12), hal. 599. doi: 10.3390/min8120599.
- Permana, D., Kumalasari, R., Wahab, W. dan Musnajam, M. (2020) "Pelindian bijih nikel laterit kadar rendah menggunakan metode atmospheric acid leaching dalam media asam klorida (HCl)," *Riset Geologi dan Pertambangan*, 30(2), hal. 203–214. doi: 10.14203/risetgeotam2020.v30.1097.
- Safitri, N., Mubarak, M. Z., Winarko, R. dan Tanlega, Z. (2018) "Recovery of nickel and cobalt as MHP from limonitic ore leaching solution: Kinetics analysis and precipitate characterization," in *AIP Conference Proceedings* 1964. AIP Conference Proceedings, hal. 020030. doi: 10.1063/1.5038312.
- Sudibyo, S., Junaedi, A., Amin, M., Sumardi, S., Nurjaman, F., Aji, B. B., Supriyatna, Y. I. dan Hermida, L. (2018) "Solvent extraction process for the recovery cobalt and nickel from low-grade laterite using batch recycle system," *Widyaset*, 4(2), hal. 189–196. doi: 10.14203/widyaset.4.2.2018.189-196.
- Thubakgale, C. K., Mbaya, R. K. K. dan Kabongo, K. (2013) "A study of atmospheric acid leaching of a South African nickel laterite," *Minerals Engineering*, 54, hal. 79–81. doi: 10.1016/j.mineng.2013.04.006.
- Wahab, Deniyatno, Saranga, M. dan Supriyatna, Y. I. (2022) "Kinetics study of leaching ore nickel laterite using hydrochloric acid in atmosphere pressure," *Riset Geologi dan Pertambangan*, 32(1), hal. 14–26. doi: 10.14203/risetgeotam2022.v32.1163.
- Wang, K., Li, J., McDonald, R. G. dan Browner, R. E. (2018) "Iron, aluminium and chromium co-removal from atmospheric nickel laterite leach solutions," *Minerals Engineering*, 116, hal. 35–45. doi: 10.1016/j.mineng.2017.10.019.
- Wang, X., Sun, T., Chen, C. dan Hu, T. (2017) "Current studies of treating processes for nickel laterite ores," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Mechatronics Engineering and Information Technology (ICMEIT 2017)*. Paris, France: Atlantis Press, hal. 139–152. doi: 10.2991/icmeit-17.2017.27.
- Whittington, B. I. dan Muir, D. (2000) "Pressure acid leaching of nickel laterites: A review," *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 21(6), hal. 527–599. doi: 10.1080/08827500008914177.

