

## STUDI PERILAKU PELINDIAN BIJIH BESI NIKEL LIMONIT DARI PULAU HALMAHERA DALAM LARUTAN ASAM NITRAT

Muhammad Wildanil Fathoni\* dan M. Zaki Mubarak

Program Studi Teknik Metalurgi, FTTM ITB

Jl Ganesha 10 Bandung 40312

E-Mail: \*wildan.alfathoni@gmail.com

Masuk Tanggal : 28-07-2015, revisi tanggal : 17-11-2015, diterima untuk diterbitkan tanggal 15-12-2015

### Intisari

Upaya-upaya untuk menurunkan kebutuhan reagen pelindi, baik dengan cara meningkatkan selektivitas pelindian bijih nikel laterit maupun meregenerasi reagen pelindi menjadi fokus perhatian peneliti dan dunia industri dalam beberapa tahun belakangan ini. Salah satu teknologi yang dikembangkan adalah pelindian bijih nikel laterit asam nitrat, dimana >95% asam nitrat yang digunakan dapat diregenerasi kembali. Pada tulisan ini didiskusikan perilaku pelindian bijih nikel laterit yang diperoleh dari Pulau Halmahera dalam larutan asam nitrat. Serangkaian percobaan pelindian dalam larutan asam nitrat telah dilakukan dengan variasi konsentrasi asam nitrat, persen padatan dan temperatur. Analisis eksperimental faktorial desain  $2^3$  digunakan untuk mempelajari pengaruh variabel temperatur, konsentrasi asam dan persen padatan serta interaksi antara variabel-variabel tersebut dalam proses pelindian. Hasil percobaan menunjukkan bahwa ekstraksi Ni tertinggi yaitu 94% diperoleh pada pelindian selama 8 jam dengan konsentrasi asam 6M, 10% padatan dan temperatur 95 °C. Variabel yang paling berpengaruh pada ekstraksi Ni adalah temperatur dengan persen kontribusi mencapai 78%. Selektivitas (S) pelindian Ni terhadap Fe dan Mg relatif rendah, dengan nilai rata-rata  $S_{Ni/Fe}$  dan  $S_{Ni/Mg}$  masing-masing 0,53 dan 0,50. Konsumsi asam cukup tinggi, dimana konsumsi tertinggi pada temperatur 95 °C, konsentrasi asam 4M dan 10% padatan yaitu 1010 kg/ton bijih.

**Kata Kunci:** Pelindian, Limonit, Nikel, Asam nitrat, Ekstraksi

### Abstract

Efforts to reduce the consumption of leaching agent either by increasing selectivity of nickel laterite ore leaching and regeneration of the leaching agent, are being the focus of researchers and industries in recent years. One of technologies that is developed is the leaching of laterite ore in nitric acid, through which more than 95% of nitric acid being used can be regenerated. In this paper, leaching behavior of nickel laterite ore from Halmahera Island is discussed. A series of leaching experiments in nitric acid solution has been carried out under variations of nitric acid concentration, solid percentage and temperature. Analysis using experimental factorial design of  $2^3$  was performed to determine the effects of temperature, acid concentration and solid percentage as well as the interaction between these variables toward nickel extraction during leaching. The experimental results show that the highest nickel extraction of 94%, was obtained from the leaching test for 8 hours using acid concentration of 6 M, 10% solid at temperature of 95 °C. The most influencing variable on nickel extraction is temperature with contribution of 78%. Selectivity of Ni leaching to Fe and Mg is relatively low, with average values of  $S_{Ni/Fe}$  and  $S_{Ni/Mg}$  of 0.53 and 0.50, respectively. Acid consumption in leaching process is relatively high, which the highest consumption was at leaching temperature of 95 °C, acid concentration 4 M and 10% solid, namely 1010 kg/ton ore.

**Keywords:** Leaching, Limonite, Nickel, Nitric acid, Extraction

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai cadangan nikel dalam bentuk bijih laterit terbesar di dunia<sup>[1]</sup>. Hingga saat ini proses pengolahan dan pemurnian bijih nikel laterit di Indonesia lebih banyak dilakukan untuk bijih

saprolit, yaitu untuk memproduksi ferronikel dan nikel matte, sementara bijih limonit yang berkadar nikel lebih rendah belum banyak dimanfaatkan. Pemanfaatan bijih limonit sangat mendesak untuk dilakukan karena ketersediaan bijih berkadar tinggi yang semakin berkurang,

sebagai upaya konservasi cadangan, peningkatan nilai tambah bijih berkadar rendah serta efektivitas penambangan karena keberadaan lapisan bijih limonit yang berada di atas lapisan bijih saprolit.

Proses yang banyak digunakan di industri untuk mengolah bijih limonit adalah proses-proses hidrometalurgi seperti proses caron, pelindian pada tekanan tinggi (HPAL), pelindian agitasi pada tekanan atmosfer (AL) dan pelindian tumpukan (HL). Dengan jalur pirometalurgi, bijih limonit juga diproses untuk menghasilkan produk dengan kadar nikel rendah, seperti NPI (*nickel pig iron*).

Pada proses pengolahan dengan jalur hidrometalurgi, konsumsi reagen pelindi merupakan salah satu komponen utama biaya operasi. Pada umumnya konsumsi reagen pelindi dinyatakan dalam kg/ton-bijih yang diolah, dimana konsumsi asam ini terutama bergantung pada selektivitas pelindian terhadap besi dan kandungan magnesia dalam bijih yang diolah. Proses HPAL umumnya mempunyai konsumsi asam yang signifikan lebih rendah (yaitu 300-600 kg asam/ton bijih) dibandingkan proses AL (yaitu 700-900 kg asam/ton bijih)<sup>[2]</sup> karena proses pelindiannya lebih selektif terhadap besi. Pada proses HPAL, besi yang terlarut terpresipitasi kembali sebagai hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dengan melepaskan asam, dimana presipitasi besi ini tidak terjadi pada proses AL dan HL oleh karena temperatur operasinya yang lebih rendah.

Upaya untuk menurunkan konsumsi reagen pelindi, baik dengan cara meningkatkan selektivitas pelindian bijih nikel laterit maupun meregenerasi reagen pelindi menjadi perhatian peneliti dan dunia industri dalam beberapa tahun belakangan ini. Telah dikembangkan proses-proses alternatif untuk tujuan tersebut seperti proses jaguar, proses INTEC, proses anglo research nickel (ArNi) dan proses *direct nickel* (DNi). Proses DNi telah melakukan percobaan-percobaan dalam skala pilot dan *demonstration plant* dan berencana untuk menerapkannya dalam skala industri. Proses DNi menggunakan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) sebagai reagen pelindi, dimana lebih dari 95% dari asam nitrat diharapkan dapat diregenerasi dengan teknologi regenerasi asam nitrat yang sudah mapan<sup>[3]</sup>. Regenerasi asam nitrat dilakukan dari proses pirohidrolisis untuk Fe (sebagai  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), serta pirohidrolisis *spent solution* untuk sekaligus *recovery* Mg terlarut sebagai  $\text{MgO}$ <sup>[3]</sup>. Meskipun proses pelindian dengan menggunakan asam nitrat ini telah dikembangkan oleh DNi, namun perusahaan ini belum mempublikasi hasil-hasil

penelitiannya dan juga belum ada yang mempublikasi hasil-hasil percobaan pelindian bijih nikel laterit dari Indonesia dalam larutan asam nitrat ini. Berdasarkan fakta-fakta tersebut, pada penelitian ini dipelajari perilaku pelindian bijih nikel laterit yang diperoleh dari Pulau Halmahera dalam larutan asam nitrat.

## 2. PROSEDUR PERCOBAAN

### A. Persiapan dan Karakterisasi Bijih

Sampel bijih nikel laterit yang digunakan adalah bijih tipe limonit yang berasal dari Pulau Halmahera. Sebelum digunakan dalam proses pelindian, sampel bijih dipreparasi terlebih dahulu. Preparasi sampel meliputi kegiatan kominusi, analisis ayak dan penyiapan sampel untuk pelindian. Sampel bijih digerus dengan menggunakan *ball mill* lalu dilakukan pengayakan untuk mendapatkan fraksi ukuran -65+100 mesh. Selanjutnya, bijih dengan fraksi ukuran -65+100 mesh dilakukan proses sampling untuk kemudian sampel yang diperoleh dilakukan analisis komposisi kimia dengan XRF (*x-ray fluorescence*) dan AAS (*atomic absorption spectrophotometer*) dan analisis mineral yang dominan dalam bijih dengan XRD (*x-ray diffraction*). Hasil XRF dan AAS disajikan masing-masing pada Tabel 1 dan Tabel 2. Hasil analisa menunjukkan bahwa kadar Ni, Fe dan Mg dalam sampel bijih yang dianalisa dengan XRF tidak jauh berbeda dengan analisis dengan AAS. Untuk penentuan persen ekstraksi Ni dan persentase Fe serta Mg terlarut, digunakan data persentase Ni, Fe, Mg awal hasil analisis dengan AAS untuk memberikan basis pengukuran yang sama.

Hasil analisis XRD terhadap sampel bijih disajikan pada Gambar 1. Hasil analisis XRD menunjukkan mineral paling dominan yang terdapat dalam sampel bijih adalah *quartz* ( $\text{SiO}_2$ ) dan *goethite* ( $\text{FeOOH}$ ) yang diikuti oleh *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), *antigorite* ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) dan *pyrochroite* ( $\text{Mn}(\text{OH})_2$ ).

### B. Percobaan Pelindian

Percobaan pelindian dilakukan dalam reaktor berleher lima dengan volume 1L yang dilengkapi dengan kondensor untuk mengembunkan kembali pelarut (air) yang menguap sehingga volume larutan dapat dijaga tetap. Volume asam nitrat yang digunakan adalah 500 ml. Pemanasan larutan dilakukan dengan menggunakan sebuah *hot plate* yang dapat diatur temperturnya. *Hot plate* ini terintegrasi dengan *magnetic stirrer*. Kecepatan pengadukan yang digunakan diatur tetap sebesar

400 rpm. Selama percobaan pelindian, dilakukan pengambilan sampel larutan setiap 5, 15, 30, 60, 120, 240 dan 480 menit untuk dilakukan pengukuran konsentrasi Ni, Fe dan Mg terlarut dengan AAS.

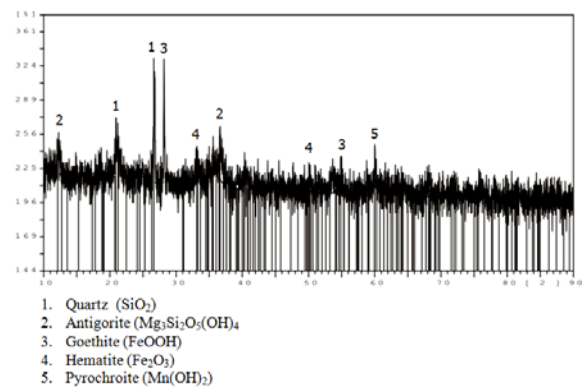
Tabel 1. Hasil analisa komposisi kimia bijih dengan XRF

Senyawa	%	Unsur	%
SiO <sub>2</sub>	39,31	Si	18,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,27	Al	2,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	37,01	Fe	25,91
MnO	0,54	Mn	0,42
MgO	7,68	Mg	4,63
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,6	Cr	1,09
NiO	1,37	Ni	1,08
CaO	0,27	Ca	0,19
K <sub>2</sub> O	0,011	K	0,009
TiO <sub>2</sub>	0,063	Ti	0,038
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,022	P	0,010
CuO	0,009	Cu	0,007
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,037	V	0,021
ZnO	0,023	Zn	0,018
LOI	6,78		

Tabel 2. Hasil pengukuran kadar Ni, Fe dan Mg dalam sampel bijih dengan AAS

Unsur	Kadar
Ni	1,01%
Fe	27,37%
Mg	4,81%

Percobaan tahap pertama adalah untuk menentukan kondisi terbaik yang menghasilkan persen ekstraksi nikel paling tinggi. Variabel percobaan yang divariasikan yaitu temperatur, konsentrasi asam nitrat dan persen padatan. Percobaan dilakukan selama 8 jam. Konsentrasi asam divariasikan pada 1M, 2M, 4M dan 6M dengan temperatur 95 °C dan persen padatan 10%. Variasi persen padatan yang dilakukan adalah 5%, 10% dan 15% pada temperatur dan perbandingan antara jumlah asam dan bijih yang tetap, yaitu 95 °C dan 3 kali stoikiometri. Pada percobaan dengan 5% padatan digunakan HNO<sub>3</sub> dengan konsentrasi 3M, sementara untuk 10% dan 15% padatan digunakan konsentrasi HNO<sub>3</sub> masing-masing 6M dan 9M. Variasi temperatur dilakukan pada 75 °C, 85 °C dan 95 °C. Parameter yang dibuat tetap pada percobaan dengan variasi temperatur adalah konsentrasi asam dan persen padatan yaitu masing-masing 6M dan 10%.



Gambar 1. Hasil analisis XRD sampel bijih limonit dari Pulau Halmahera

Percobaan berikutnya adalah untuk mengetahui variabel yang paling berpengaruh terhadap persen ekstraksi nikel. Untuk keperluan tersebut, dilakukan percobaan berdasarkan desain eksperimen faktorial 2<sup>3</sup>. Faktorial desain digunakan untuk mempelajari hubungan antar variabel dalam percobaan. Jika terdapat tiga variabel dengan masing-masing dua level variasi, maka untuk mempelajari hubungan antara ketiga variabel tersebut dalam menentukan data percobaan yang menjadi fokus studi (dalam hal ini persen ekstraksi nikel), digunakan faktorial desain 2<sup>3</sup>. Variasi percobaan desain eksperimen faktorial 2<sup>3</sup> dan penamaan label variasinya ditunjukkan secara berturut-turut pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Faktor level desain faktorial yang dilakukan terhadap percobaan pelindian

Variabel	Faktor Level	
	Rendah (-)	Tinggi (+)
A Temperatur	65 °C	95 °C
B Kons. Asam	2x stoikiometri	3x stoikiometri
C Persen Padatan	5%	10%

Tabel 4. Label variabel desain faktorial

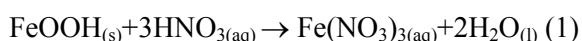
No	Variabel			Kondisi Percobaan	Label
	A	B	C		
1	-	-	-	65 °C, 2M, 5%	(1)
2	+	-	-	95 °C, 2M, 5%	a
3	-	+	-	65 °C, 3M, 5%	b
4	-	-	+	65 °C, 4M, 10%	c
5	+	+	-	95 °C, 3M, 5%	ab
6	-	+	+	65 °C, 6M, 10%	bc
7	+	-	+	95 °C, 4M, 10%	ac
8	+	+	+	95 °C, 6M, 10%	abc

dimana notasi (+) menunjukkan level tinggi, dan notasi (-) menunjukkan level rendah seperti yang tertera pada Tabel 3

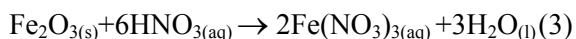
### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Pengaruh Variabel Pelindian terhadap Persen Ekstraksi Nikel

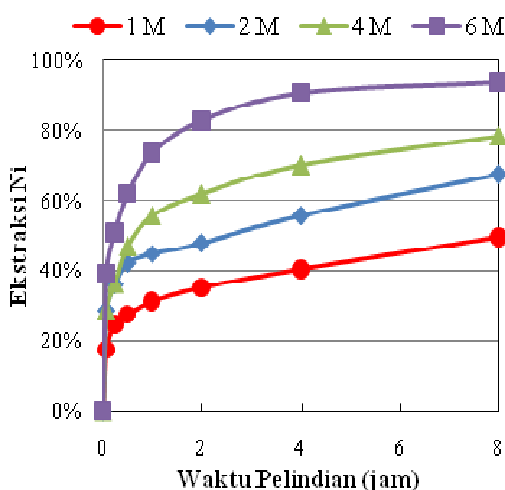
Sebagaimana ditunjukkan oleh hasil analisis XRD, mineral yang dominan terdapat pada sampel bijih limonit dari Pulau Halmahera yang digunakan adalah *goethite*, selain kuarsa. Berdasarkan studi-studi yang telah dilakukan sebelumnya, sebagian besar oksida nikel berada dalam kisi kristal *goethite* tersebut sehingga untuk melarutkan nikel, mineral *goethite* harus terlebih dahulu dilarutkan<sup>[4,5]</sup>. Pelarutan *goethite* dan nikel oksida dalam asam nitrat berlangsung melalui reaksi-reaksi kimia berikut<sup>[6]</sup>:



Selain *goethite* dan nikel oksida, senyawa lain yang kemungkinan larut adalah *hematite* dan magnesium oksida. Pelarutan keduanya dalam asam nitrat berlangsung melalui reaksi sebagai berikut:

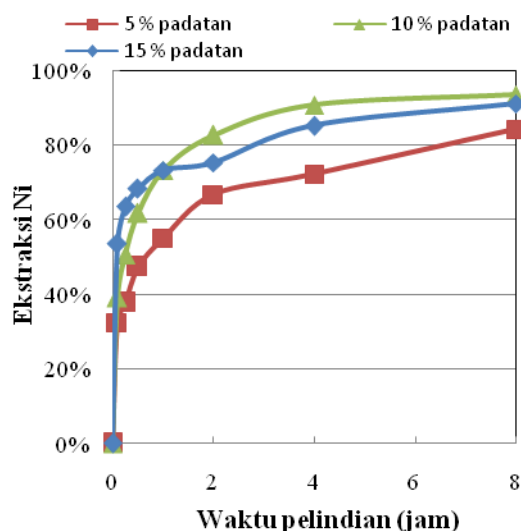


Hubungan antara persen ekstraksi nikel terhadap konsentrasi awal asam nitrat yang digunakan dalam pelindian ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil percobaan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam meningkatkan persen ekstraksi nikel. Pada konsentrasi asam 6M, persen ekstraksi nikel mencapai 94%.



Gambar 2. Persen ekstraksi nikel sebagai fungsi waktu pada berbagai konsentrasi asam nitrat, pada temperatur 95 °C dan persen padatan 10%

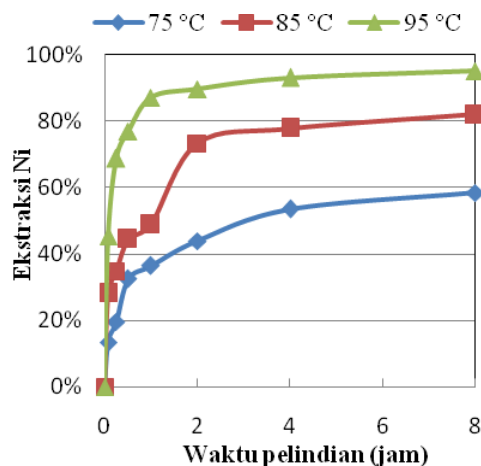
Hasil percobaan dengan variasi persen padatan ditunjukkan pada Gambar 3. Persen ekstraksi nikel tertinggi didapat pada persen padatan 10%, yaitu 94%. Hal ini menunjukkan bahwa pada 10% padatan, kontak antara asam nitrat dengan bijih berlangsung paling optimal dibandingkan persen padatan yang lebih rendah maupun lebih tinggi. Pada percobaan dengan variasi persen padatan ini, yang dibuat tetap adalah perbandingan stoikiometri antara mol asam nitrat dan mol oksida yang ada dalam bijih yaitu 3x stoikiometri. Oleh karenanya, pada persen solid yang lebih tinggi, konsentrasi asam nitrat yang digunakan juga lebih tinggi mengikuti jumlah oksida yang makin banyak pada persen solid yang lebih tinggi. Pada 5% padatan digunakan asam nitrat 3M, sementara pada 10% dan 15% padatan, digunakan asam nitrat dengan konsentrasi masing-masing 6M dan 9M. Mengacu pada Baozhong, M., et al., 2013<sup>[7]</sup>, salah satu faktor yang menyebabkan penurunan persen ekstraksi pada persen padatan yang tinggi adalah meningkatnya ketebalan lapisan difusi pada permukaan bijih. Hasil analisis kinetika yang dilakukan Zaki Mubarak dan Wildanil Fathoni (tidak dipresentasikan pada paper ini) menunjukkan bahwa kinetika pelindian bijih limonit dari Halmahera dalam larutan asam nitrat terkendali oleh difusi melalui lapisan padat yang tidak bereaksi.



Gambar 3. Persen ekstraksi nikel sebagai fungsi waktu pada berbagai persen padatan, pada temperatur 95 °C dan konsentrasi asam nitrat 3x stoikiometri

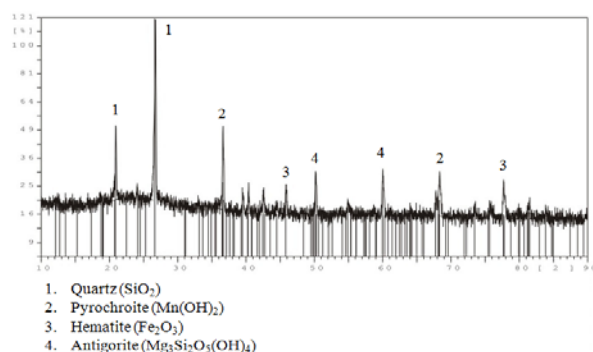
Hasil percobaan pelindian dengan variasi temperatur ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat bahwa peningkatan temperatur pelindian dari 75 °C ke 95 °C meningkatkan persen ekstraksi nikel secara signifikan dari 58% menjadi 95%. Temperatur berpengaruh terhadap kinetika reaksi pelindian. Berdasarkan persamaan

Arrhenius, semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula konstanta laju reaksinya atau semakin tinggi konstanta difusi spesi yang bereaksi bila laju proses terkendali oleh difusi. Kenaikan temperatur juga meningkatkan aktivitas dan mobilitas dari ion hidrogen untuk menumbuk struktur kisi kristal *goethite* dan mineral sehingga reaksi lebih mudah terjadi<sup>[8]</sup>.



Gambar 4. Persen ekstraksi nikel sebagai fungsi waktu pada berbagai temperatur, pada konsentrasi asam nitrat 6 M dan persen padatan 10%

Hasil analisis XRD residu pelindian pada suhu 95 °C disajikan pada Gambar 5. Hasil analisis XRD menunjukkan mineral yang paling dominan pada residu pelindian adalah silika diikuti oleh *hematite*, *antigorite*, dan *pyrochroite*. *Goethite* yang dominan pada bijih tidak lagi terlihat pada spektra residu pelindian yang mengindikasikan pelarutan mineral ini selama pelindian dalam HNO<sub>3</sub>.



Gambar 5. Hasil analisis XRD residu pelindian pada temperatur 95 °C, persen padatan 10% dan konsentrasi asam nitrat 6 M

## B. Analisis Variabel yang Paling Berpengaruh dengan Metode Eksperimental Faktorial Desain 2<sup>3</sup>

Untuk menganalisis pengaruh dari masing-masing variabel dan interaksi antar variabel terhadap persen ekstraksi nikel, dihitung nilai dari kontras tiap label. Faktorial desain 2<sup>3</sup> memiliki nilai kontras yang dapat ditentukan dari persamaan berikut<sup>[9]</sup>:

$$\text{Kontras} = (a \pm 1)(b \pm 1)(c \pm 1) \quad (5)$$

dimana a adalah variabel temperatur, b adalah variabel konsentrasi asam dan c adalah variabel persen padatan. Variabel pada label yang sedang dihitung diberi tanda negatif, sementara variabel yang tidak dihitung diberi tanda positif. Sebagai contoh untuk label A, maka yang dihitung adalah variabel a, karena pada label tersebut yang memiliki level tinggi adalah variabel a, sehingga kontrasnya menjadi:

$$\begin{aligned} A &= (a - 1)(b + 1)(c + 1) \\ &= a - 1 + ab - b + ac - c + abc - bc \end{aligned}$$

Sebagai contoh, bila diperoleh ekstraksi Ni pada masing-masing label percobaan seperti ditunjukkan pada Tabel 5, maka nilai kontras A dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A &= a - 1 + ab - b + ac - c + abc - bc \\ &= 1,75 - 1,09 + 1,62 - 1,45 + 1,70 - 1,30 + 1,89 - 1,04 \\ &= 2,08 \end{aligned}$$

Delapan kombinasi perlakuan diperlihatkan secara geometri pada Gambar 6 sebagai kubus. Tanda "+" dan "-" digunakan untuk merepresentasikan tinggi dan rendahnya level dari variabel. Estimasi efek setiap label dihitung dengan persamaan berikut:

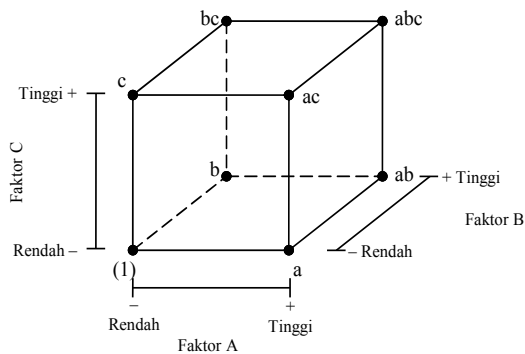
$$\text{Estimasi efek} = \frac{\text{Kontras}}{4n} \quad (6)$$

Jumlah kuadrat (SS) untuk masing-masing label dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$SS = \frac{(\text{Kontras})^2}{8n} \quad (7)$$

dimana n adalah jumlah replikasi percobaan. Pada penelitian ini harga n (jumlah replikasi percobaan yang dilakukan) untuk analisis ANNOVA adalah 2 (duplo). Hasil perhitungan estimasi efek variabel A (temperatur), B (konsentrasi asam) dan C (persen padatan)

terhadap persen ekstraksi Ni, jumlah kuadrat, persen kontribusi dan peringkat kontribusi setiap variabel ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 6. Kubus geometrik faktorial desain  $2^3$

Tabel 5. Estimasi efek variabel temperatur (A), konsentrasi asam (B) dan persen padatan (C) terhadap persen ekstraksi nikel, jumlah kuadrat, persen kontribusi dan peringkat masing-masing variabel

Label	Estimasi Efek	Jumlah Kuadrat	Persen Kontribusi	Peringkat
A	0,2595	0,2695	78,44%	1
B	0,0202	0,0016	0,48%	5
C	0,0041	0,000694	0,02%	6
AB	-0,0037	0,000573	0,02%	7
BC	-0,0371	0,0055	1,61%	4
AC	0,0528	0,0111	3,25%	3
ABC	0,1179	0,0556	16,19%	2
Total	0,4138	0,3436	100%	

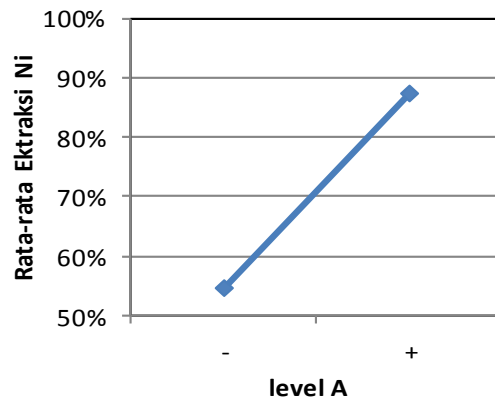
Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 5, diperoleh variabel yang paling berpengaruh terhadap persen ekstraksi nikel yaitu variabel A (temperatur) dengan kontribusi mencapai 78,44%.

Persen kontribusi dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

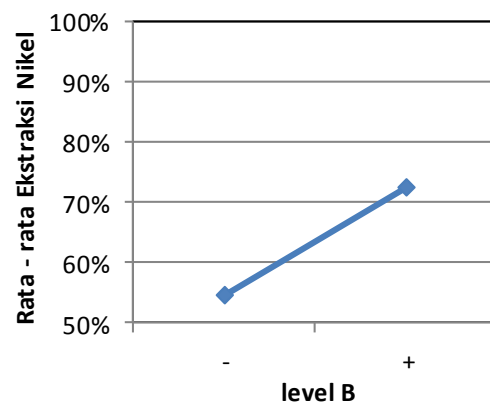
$$\% \text{ Kontribusi} = \frac{SS}{\sum SS}$$

Gambar 7 menunjukkan efek dari variabel utama tanpa adanya interaksi antar variabel. Semakin curam garis yang terbentuk, efek dari variabel tersebut semakin besar. Sebaliknya, semakin landai garis yang terbentuk semakin kecil efek dari variabel tersebut. Ketiga variabel yang dikaji menunjukkan efek yang positif terhadap persen ekstraksi nikel. Temperatur

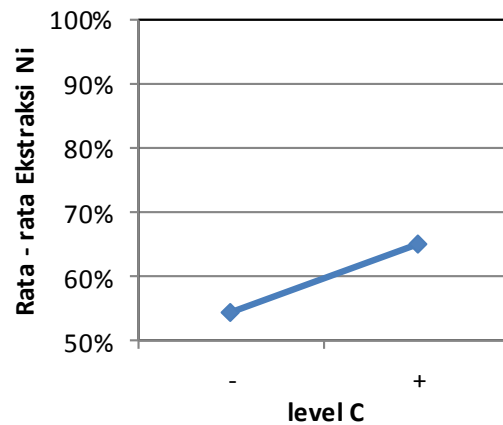
memberikan efek paling tinggi diikuti konsentrasi asam dan persen padatan.



(a)

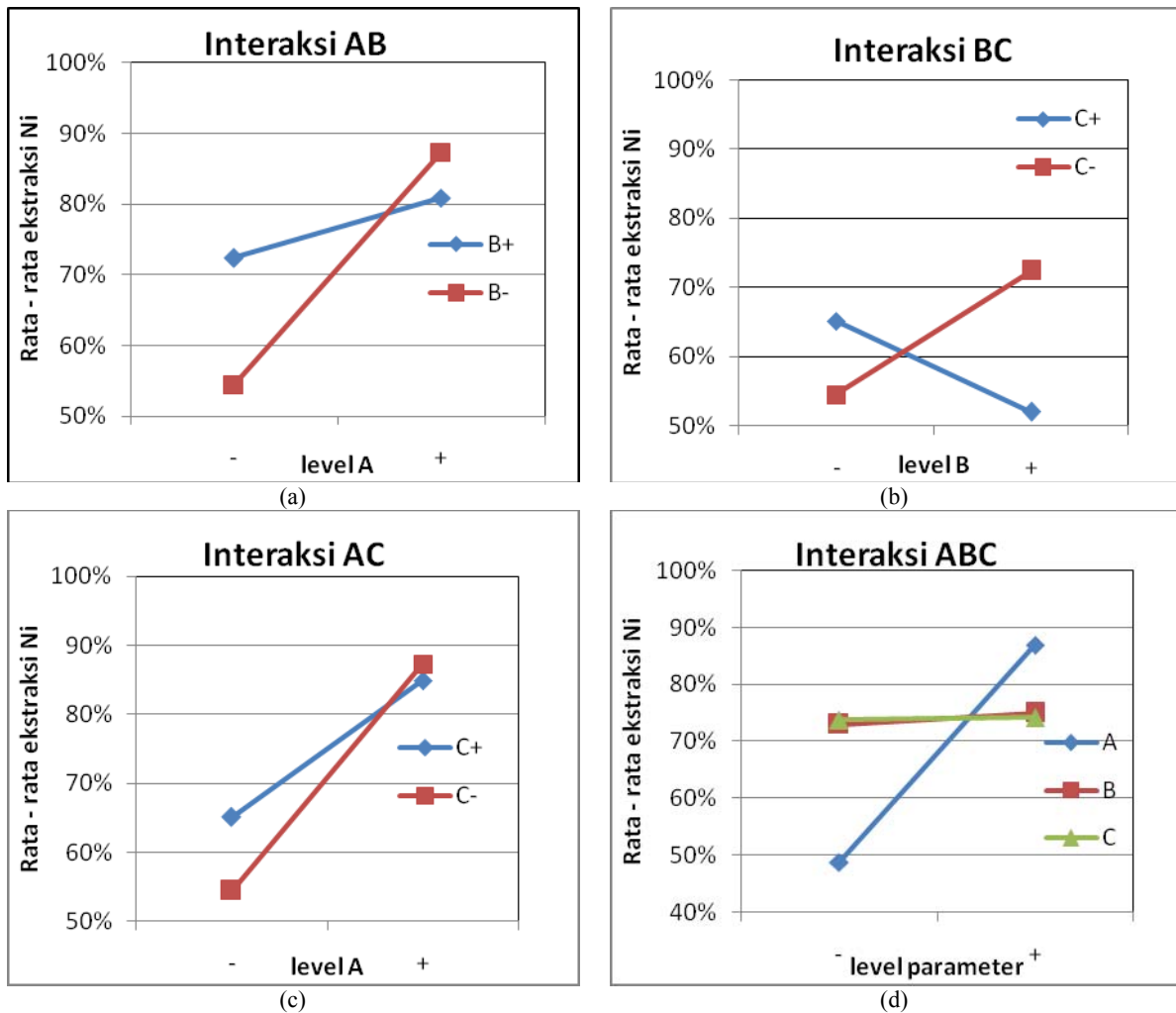


(b)



(c)

Gambar 7. Efek (a) temperatur, (b) konsentrasi asam, dan (c) persen padatan terhadap rata-rata persen ekstraksi Ni



Gambar 8. Kurva interaksi antar variabel (a) interaksi A-B (b) interaksi B-C (c) interaksi A-C (d) interaksi A-B-C dalam menentukan persen ekstraksi nikel

Gambar 8 menunjukkan efek dari interaksi antar variabel terhadap persen ekstraksi nikel. Garis yang sejajar menunjukkan tidak adanya efek dari interaksi antar variabel terhadap persen ekstraksi nikel. Sementara, garis yang bersilangan menunjukkan adanya efek interaksi antar dua atau tiga variabel. Semakin tegak lurus satu sama lain, maka semakin besar interaksi antar variabel dalam menentukan persen ekstraksi nikel. Ketiga variabel menunjukkan adanya interaksi satu sama lain baik antara A-B (temperatur dan konsentrasi asam), B-C (konsentrasi asam dan persen padatan), A-C (temperatur dan persen padatan), maupun A-B-C (temperatur, konsentrasi asam dan persen padatan) dalam menentukan persen ekstraksi nikel. Interaksi tertinggi ditunjukkan oleh BC (konsentrasi asam dan persen padatan), sementara interaksi terendah ditunjukkan oleh AC (temperatur dan persen padatan). Ketiga variabel ABC menunjukkan interaksi yang cukup tinggi satu dengan lainnya.

**C. Selektivitas Pelindian dan Konsumsi Asam**

Selektivitas pelindiang dapat dikuantifikasi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S_{Ni/Fe} = \frac{\% \text{ Ekstraksi Ni}}{\% \text{ Ekstraksi Ni} + \% \text{ Ekstraksi Fe}} \quad (8)$$

$$S_{Ni/Mg} = \frac{\% \text{ Ekstraksi Ni}}{\% \text{ Ekstraksi Ni} + \% \text{ Ekstraksi Mg}} \quad (9)$$

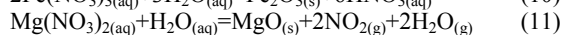
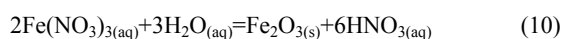
Nilai dari selektivitas berada dalam rentang  $0 \leq S \leq 1$ . Bila nilai S semakin mendekati 1, berarti selektivitasnya semakin semakin baik, dan begitu pula sebaliknya. Hasil perhitungan selektivitas ditunjukkan pada Tabel 7. Dari hasil perhitungan selektivitas tersebut, dapat disimpulkan bahwa variabel percobaan (temperatur, konsentrasi asam dan persen padatan) tidak berpengaruh signifikan terhadap selektivitas pelindian karena variansi data yang  $< 1\%$ . Selektivitas pelindian Ni dalam larutan asam nitrat terhadap Fe dan Mg kurang begitu baik yaitu hanya memiliki nilai rata-rata 0,53 untuk  $S_{Ni/Fe}$  dan 0,5 untuk  $S_{Ni/Mg}$ .

Tabel 7. Hasil perhitungan selektivitas pelindian Ni dalam larutan asam nitrat terhadap Fe dan Mg pada berbagai kondisi

Kondisi	S <sub>Ni/Fe</sub>	S <sub>Ni/Mg</sub>
65 °C, 2M, 5% padatan	0,65	0,50
95 °C, 2M, 5% padatan	0,51	0,49
65 °C, 3M, 5% padatan	0,47	0,46
65 °C, 4M, 10% padatan	0,59	0,50
95 °C, 3M, 5% padatan	0,48	0,50
65 °C, 6M, 10% padatan	0,53	0,49
95 °C, 4M, 10% padatan	0,49	0,50
95 °C, 6 M, 10% padatan	0,53	0,59
Rata-Rata	0,53	0,50
Variansi	0,004	0,001

Konsumsi asam pada proses pelindian berbanding lurus dengan jumlah oksida yang larut selama proses pelindian. Hasil perhitungan konsumsi asam pada kondisi terbaik (pada persen ekstraksi nikel tertinggi) adalah 970 kg/ton bijih, yaitu pada temperatur 95 °C, konsentrasi asam 6M, dan 10% padatan. Konsumsi asam tertinggi didapatkan pada temperatur 95 °C, konsentrasi asam 4M dan 10% padatan yaitu 1010 kg/ton bijih. Nilai konsumsi asam ini relatif tinggi, jika dibandingkan dengan tipikal konsumsi asam untuk reagen pelindi lain yaitu asam sulfat dan asam klorida. Menurut Weddeburn<sup>[3]</sup>, Proses HPAL dengan asam sulfat, mempunyai konsumsi asam dalam rentang 300-600 kg-asam/ton-bijih, sementara proses AL mempunyai konsumsi asam sulfat dalam rentang 600-900 kg-asam/ton-bijih, bergantung pada komposisi bijih yang diolah.

Konsumsi asam nitrat yang tinggi untuk pelindian bukan berarti asam nitrat tidak cocok digunakan sebagai reagen pelindi. Meskipun konsumsinya tinggi, asam nitrat dapat diregenerasi dengan teknologi yang sudah teruji seperti yang dikembangkan pada proses DNi. Pada proses DNi, tingkat regenerasi asam dilaporkan dapat mencapai 95% sehingga secara keseluruhan konsumsi asam nitrat sangat rendah, dapat mencapai sekitar 50 kg/ton bijih<sup>[3]</sup>. Regenerasi asam nitrat berlangsung secara simultan dengan proses hidrolisis besi dan dekomposisi *spent solution* kaya Mg terlarut yang berlangsung melalui reaksi-reaksi berikut:



Reaksi-reaksi di atas berlangsung pada temperatur yang bervariasi. Hidrolisis besi (reaksi pertama) dapat dilakukan pada

temperatur sekitar 160 °C, sementara hidrolisis magnesium sebagai MgO dari *spent (barren) solution* (reaksi kedua) berlangsung pada temperatur yang lebih tinggi, yaitu sekitar 450 °C. Gas NO<sub>2</sub> dari reaksi kedua akan ditangkap oleh *scrubber* untuk direaksikan dengan air membentuk HNO<sub>3</sub> yang dapat digunakan kembali untuk pelindian.

#### 4. KESIMPULAN

Ekstraksi nikel tertinggi pada pelindian bijih limonit dari Pulau Halmahera dengan menggunakan asam nitrat selama 8 jam dicapai pada konsentrasi asam 6 molar (3x stoikiometri), 10% padatan dan temperatur 95 °C yaitu 94%. Variabel yang paling berpengaruh dalam proses pelindian adalah temperatur dengan persen kontribusi mencapai 78%. Pelindian Ni dari bijih limonit Halmahera dalam asam nitrat mempunyai selektivitas yang kurang baik terhadap Fe dan Mg, dengan nilai rata-rata S<sub>Ni/Fe</sub> 0,53 dan S<sub>Ni/Mg</sub> 0,50. Konsumsi asam pada proses pelindian asam nitrat cukup tinggi, dimana pada kondisi terbaik (persen ekstraksi nikel tertinggi) yaitu pada temperatur 95 °C, konsentrasi asam 6M dan 10% padatan, konsumsi asam mencapai 970 kg/ton bijih.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Antam, Tbk. yang telah memberikan sampel bijih nikel laterit yang digunakan pada penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://www.hpli.org/tambang.php> diakses 15 Agustus 2014.
- [2] Wedderburn, B, "Recent Trends in Nickel Laterite Technology," *Malachite Consulting*, 2005.
- [3] DNi Test Plant, "Nickel Production Demonstration Program," *Summary Report for Direct Nickel Shareholders*, 2014.
- [4] Dalvi AD, Bacon W, Osborne RC, "The past and the future of nickel laterites," *PDAC 2004 International Convention*, Toronto; 2004.
- [5] Fatahi M., Noaparast, M. and Ziaeddin S.S, "Nickel extraction from low grade laterite by agitation leaching at atmospheric pressure," *Elsevier International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 24, pp. 543-548, 2014.
- [6] Sheik, A.R., et.al, "Dissolution Kinetics of Nickel from Spent Catalyst in Nitric Acid Medium," *Journal of the Taiwan Institute*



- of Chemical Engineers.*, Vol. 44, pp. 34-39, 2013.
- [7] Baozhong, M., et.al, "Selective Pressure Leaching of Fe (II)-Rich Limonitic Laterite Ores using Nitric Acid," *Minerals Engineering.*, Vol. 45, pp. 151-158, 2013.
- [8] Firdiyanto, F, "Penelitian Ekstraksi Nikel, Besi, dan Magnesium dari Laterit dengan Larutan Asam pada Tekanan Atmosfer," *Metalurgi.*, Volume 21 No 1, 2006.
- [9] Montgomery, Douglas C, "Design and Analysis of Experiments, 5<sup>th</sup> Edition," *John Wiley & Sons.*, 2009.

