

# KELARUTAN NIKEL PADA PROSES PELINDIAN *NICKEL MATTE* ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ) DALAM MEDIA AMONIA – AMONIUM NITRAT

## SURATMAN

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211  
Telp. 022-6030483, Fax. 022-6003373  
e-mail: suratman@tekmira.esdm.go.id

## SARI

Nikel memiliki peran yang penting dalam berbagai industri. Salah satu bentuk nikel yang digunakan adalah garam nikel. Garam nikel dapat dihasilkan dari *nickel matte* ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ) melalui proses pelindian pada kondisi suhu kamar dengan media campuran larutan senyawa amonia dan senyawa nitrat. Pada penelitian ini, digunakan campuran amonia dan amonium nitrat. Nitrat berfungsi untuk mengoksidasi sulfur menjadi sulfat dan melepaskan nikel sebagai ion nikel. Sedangkan amonia berfungsi untuk mengikat ion nikel membentuk senyawa amina kompleks. Percobaan dilakukan pada suhu kamar dan tekanan atmosfer. Percobaan menggunakan variabel konsentrasi amonium nitrat 1,5 – 4,0 M, waktu pelarutan 2-10 jam dan parameter tetap persen padatan 25 % dan pH 9,3. Selama percobaan, gas oksigen dialirkan ke dalam reaktor dengan debit 4 liter/menit. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kelarutan nikel terbesar adalah 80,7 g/l yang dicapai pada konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  2,5 M dengan waktu pelindian 8 jam. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kelarutan nikel dipengaruhi oleh konsentrasi nitrat, pH larutan dan kandungan oksigen terlarut.

Kata kunci: nikel, pelindian, *nickel matte*, garam nikel, amonia-amonium nitrat

## ABSTRACT

*Nickel plays an important role in many industries. Many kinds of nickel are used, one of them is nickel salt. Nickel salt can be produced from nickel matte ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ) by chemical leaching process at room temperature using a mixture of ammonia-nitrate solution. In this research, ammonia – ammonium nitrate solution was used as a leaching agent. Nitrate can oxidize sulfur to be sulfate and releasing ion nickel, whereas ammonia can bind nickel ion to form complex amine nickel compound. The leaching of nickel matte was studied under various experimental conditions at room temperature and atmospheric pressure. Experimental used nitrate concentration was between 1,5 to 4,0 M, solid percentage of 25 %, pH 9,3 and leaching times between 2-10 hours, with oxygen flow rate of 4 liter/minute. The highest nickel dissolution was 80.7 g/l, and it was reached at  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  2,5 M for 8 hours of leaching. The results showed that the nickel dissolution was influenced by ammonium nitrate concentration, pH, and oxygen solubility.*

Keywords: *nickel, leaching, nickel matte, nickel salt, ammonia-ammonium nitrate*

## PENDAHULUAN

Nikel memiliki peran yang penting dalam berbagai industri antara lain untuk industri mobil, *electroplating*, baterai. Berbagai jenis garam nikel digunakan pada industri *electroplating* untuk

memperbaiki sifat kimia dan fisika permukaan dan dekoratif dari logam dasar (besi, baja, aluminium). Di Indonesia, kebutuhan garam nikel setiap tahun meningkat, namun sebagian besar penyediaan garam nikel tersebut masih diimpor. Salah satu garam nikel yang digunakan di industri *electroplating* adalah

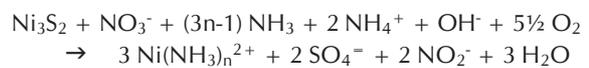
garam nikel sulfamat dengan harga paling mahal di antara jenis garam nikel. Garam nikel sulfamat dapat diproduksi dari larutan hasil pelindian nikel sulfida dalam media campuran larutan amonia. Salah satu sumber nikel sulfida yang dapat digunakan adalah *nickel matte*.

*Nickel matte* ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ , *haezlewoodite*) merupakan senyawa nikel sulfida yang diperoleh dari proses pirometalurgi (*matte smelting*) dari mineral laterit. Pada umumnya mineral laterit mengandung Fe, Cu, Ni, Co, S, Mn, Zn, Cr, Al dan beberapa unsur lain dalam jumlah yang relatif kecil. Di Indonesia proses produksi *nickel matte* dihasilkan oleh PT. International Nickel Indonesia (INCO), Soroako, Propinsi Sulawesi Selatan. *Nickel matte* mempunyai komposisi kimia 78-80% Ni, 0,5-1,2% Co, dan 18-20% S. Analisis yang dilakukan oleh Suratman dan Pramusanto (1997), menunjukkan *nickel matte* yang diproduksi oleh PT. INCO mengandung 78-80% Ni, 0,8 – 1,2% Co, dan 0,7% Fe, dan 18 – 20% S. Semua produk *nickel matte* yang dihasilkan oleh PT. INCO diekspor ke Jepang untuk diproses lebih lanjut.

Proses pengolahan nikel sulfida dapat dilakukan dengan menggunakan jalur hidrometalurgi. Salah satu jalur hidrometalurgi untuk ekstraksi nikel adalah proses pelarutan selektif atau yang biasa dikenal dengan proses pelindian. Menurut Habashi, 1993, pelindian nikel sulfida dapat dilakukan pada tekanan dan temperatur tinggi maupun pada tekanan atmosfer. Proses pelindian nikel sulfida pada tekanan dan temperatur tinggi telah dilakukan secara komersial. Proses pelindian ini dikenal dengan nama Proses *Sherritt-Gordon*. Pelindian dilakukan di dalam autoklaf dengan tekanan 700 kPa dan temperatur proses antara 70 – 80 °C pada pH 11, proses berlangsung antara 20 – 24 jam. Larutan amonia digunakan dalam proses pelindian ini; nikel, kobalt, dan tembaga dilarutkan menjadi senyawa amina kompleks yang disertai dengan pembentukan ion sulfat. Ion sulfat diambil dalam bentuk amonium sulfat yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai pupuk (Habashi, 1993)

Proses ekstraksi nikel sulfida pada tekanan atmosfer dapat dilakukan dengan media campuran amonia – amonium nitrat. Menurut Habashi (1993), larutan amonia merupakan pelarut yang dapat melarutkan nikel secara efektif dengan membentuk senyawa nikel amina kompleks, sedangkan nitrat merupakan media yang sangat efektif untuk melarutkan senyawa sulfida, nitrat akan mengoksidasi sulfida menjadi

sulfat. Penelitian mengenai pelindian dengan menggunakan media campuran senyawa amonia dan senyawa nitrat ini telah dilakukan oleh Suratman dan Pramusanto (1996, 1997), yaitu dengan senyawa amonia, amonium sulfat,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  dan senyawa nitrat, amonium nitrat,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Variabel percobaan yang digunakan, konsentrasi amonium nitrat antara 1,0 – 2,5 M pada tekanan atmosfer, pH 9,3 dan konsentrasi amonium sulfat yang tetap sebesar 1,0 M. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengaruh besaran konsentrasi amonium nitrat dan ukuran butiran *nickel matte* terhadap mekanisme reaksi pelarutan *nickel matte* tidak membentuk senyawa hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dan nitrogen oksida (NO). Persamaan reaksi pelarutan *nickel matte* dalam media nitrat pada pH 9.3 berlangsung dengan mengikuti persamaan reaksi sebagai berikut:



Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang akan mengkaji proses pelindian nikel dari *nickel matte* dengan menggunakan larutan amonia – amonium nitrat pada temperatur kamar dan tekanan atmosfer. Tujuan penelitian adalah untuk mempelajari pengaruh konsentrasi amonium nitrat terhadap perolehan nikel terlarut, mempelajari pengaruh perubahan pH terhadap jalannya reaksi pelindian dan memperkirakan waktu terbaik untuk proses pelindian.

## METODOLOGI

### Analisis Bahan Baku

Analisis bahan baku dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan yang akan diteliti yang meliputi kandungan nikel, sulfur serta unsur – unsur lainnya. Pada percobaan ini digunakan bahan baku nikel sulfida yang berupa *nickel matte* ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ) komersial produksi PT. INCO. Bahan *nickel matte* diayak terlebih dahulu untuk mendapatkan fraksi ukuran butiran tertentu, kemudian masing–masing fraksi ukuran yang diperoleh dianalisis kimia menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS).

### Percobaan

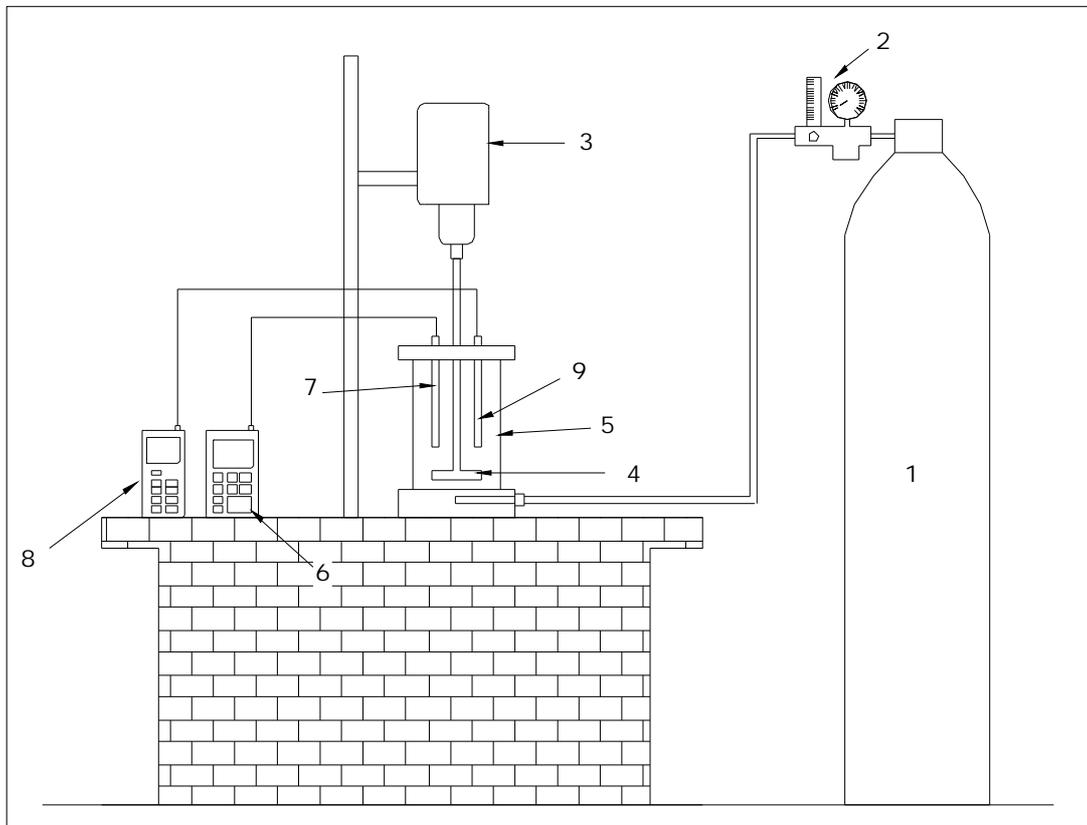
Percobaan pelindian ini dilakukan menggunakan rangkaian alat seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Reaktor yang digunakan dilengkapi dengan alat

pengukur pH, alat pengukur kelarutan oksigen terlarut, saluran gas oksigen masuk, dan alat pengaduk mekanik. Bahan kimia yang digunakan adalah amonium nitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) sebagai media pelarut, larutan amonia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) untuk mengatur dan menjaga pH larutan, dan oksigen murni.

Rangkaian percobaan disajikan pada diagram alir Gambar 2. Tahap awal, ke dalam larutan dialirkan oksigen 4 liter/menit, sampai diperoleh kelarutan oksigen maksimum. Kandungan oksigen terlarut diukur dengan menggunakan oksigen meter WTW

model OXI 320. Setiap selang waktu 0,5 jam, pH larutan hasil pelindian diukur dengan menggunakan pH meter Yokogawa model PH8221-E.

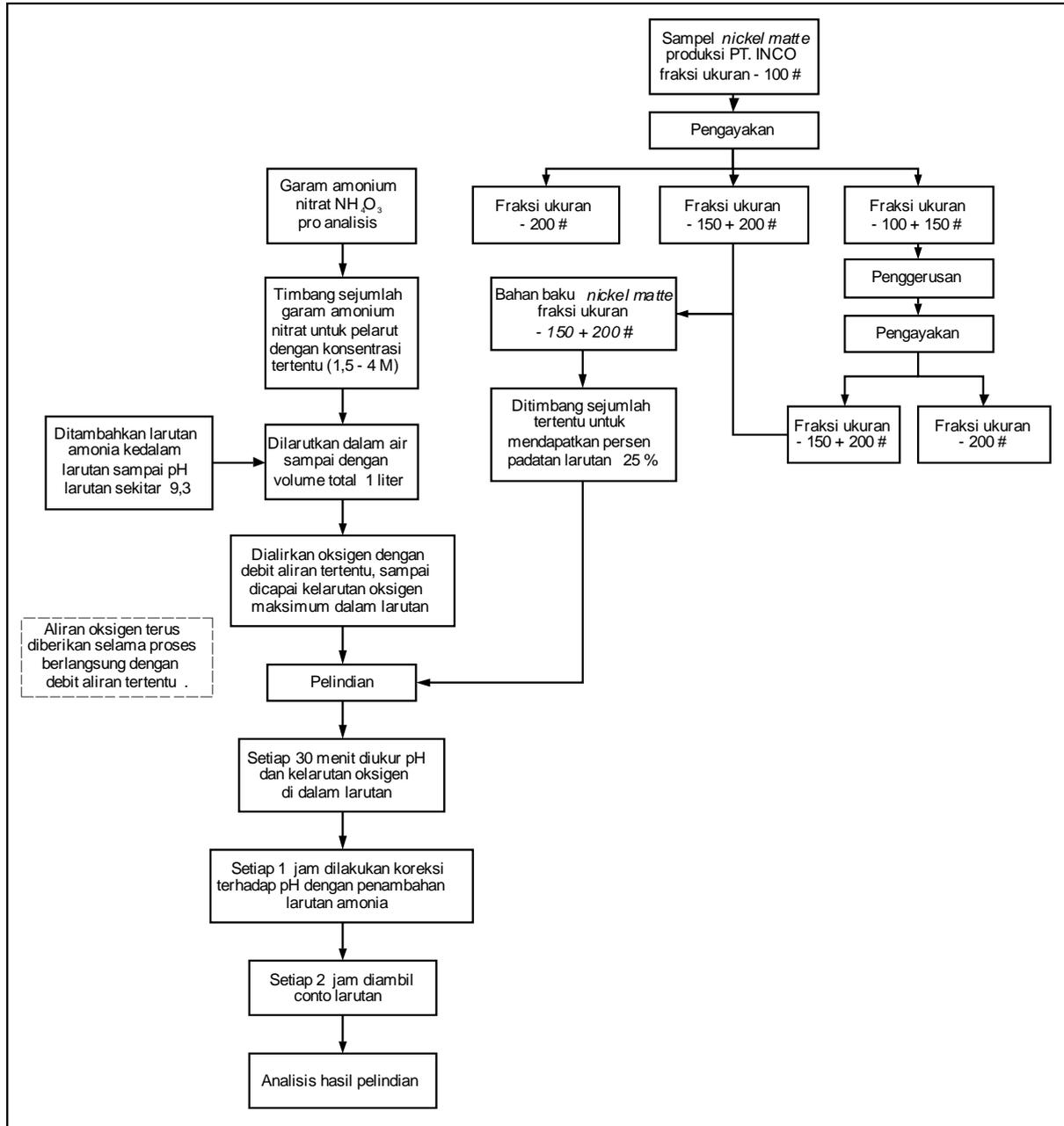
Setiap selang waktu 2 jam contoh larutan diambil untuk dianalisis kandungan nikel terlarutnya, kandungan sulfat yang terbentuk, dan konsentrasi nitrat yang tersisa dalam larutan. Analisis terhadap nikel terlarut dilakukan dengan menggunakan spektrophotometer serapan atom (AAS), sulfat yang terbentuk dan konsentrasi nitrat yang tersisa dalam larutan dianalisis dengan metode gravimetri.



Keterangan gambar :

- |   |   |
|---|---|
| 1. Tabung oksigen,                      | 6. Oksigen meter (Oxymeter WTW tipe OXI 320), |
| 2. Regulator oksigen,                   | 7. Elektroda oksigen meter,                   |
| 3. Motor pemutar (Heidolph tipe RZR 1), | 8. pH meter (Yokogawa tipe PH8221-E),         |
| 4. Pengaduk kaca,                       | 9. Elektroda pH meter.                        |
| 5. Tabung reaktor,                      |   |

Gambar 1. Skema rangkaian peralatan percobaan pelindian *nickel matte* dengan menggunakan campuran larutan amonia – amonium nitrat



Gambar 2. Diagram alir percobaan pelindian *nickel matte* dalam larutan amonia – amonium nitrat

**Penentuan Variabel Percobaan**

Penentuan variabel percobaan ditentukan dengan pertimbangan percobaan terdahulu yang diharapkan dapat memperbaiki hasil pelarutan nikel.

**Hasil Percobaan dan Pembahasan**

Perubahan variabel konsentrasi amonium nitrat selama proses pelindian dan pengaruhnya terhadap hasil pelarutan nikel disajikan Gambar 3, 4, dan 5.

Tabel 1. Penentuan batas variabel percobaan

Variabel Percobaan	Suratman dan Pramusanto (1997)	Widyono (2001)	Percobaan yang dilakukan pada penelitian ini
Konsentrasi $\text{NH}_4\text{NO}_3$	1,0 – 2,5 M	1,0 – 3,0 M	1,5 – 4,0 M
Persen padatan	15 %	15 – 25 %	25 %
Kecepatan putaran	400 rpm	300 rpm	200 rpm
Ukuran butiran	divariasikan dari – 250 $\mu\text{m}$ sampai + 150 $\mu\text{m}$	divariasikan dari – 150 $\mu\text{m}$ sampai + 44 $\mu\text{m}$	– 105 $\mu\text{m}$ sampai + 74 $\mu\text{m}$
Temperatur	25 °C	25 – 55 °C	25 °C
pH	9,3	9,3	9,3
Debit oksigen	tidak diukur	tidak diukur	4 liter/menit

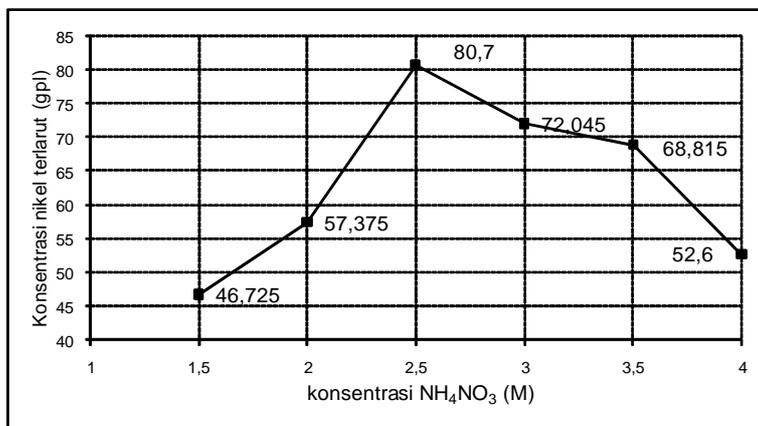
**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Analisis Bahan Baku**

Tabel 2. Hasil analisis komposisi *nickel matte* untuk beberapa fraksi ukuran dengan menggunakan AAS

Fraksi ukuran ( $\mu\text{m}$ )	Komposisi kimia <i>nickel matte</i> (% berat)					
	Ni	Co	Fe	Cu	Zn	S
- 150 + 105	78,63	0,87	0,86	0,13	0,28	19,41
- 105 + 74	78,66	0,84	0,57	0,13	0,26	19,54

Pada Gambar 3 terlihat hubungan antara konsentrasi nikel terlarut terhadap konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dengan selang konsentrasi 1,5 sampai dengan 4,0 M setelah waktu pelindian selama 10 jam. Konsentrasi nikel dalam larutan setelah pelindian selama 10 jam menunjukkan adanya peningkatan kelarutan nikel dari konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  1,5 M sampai dengan 2,5 M. Untuk konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  antara 3,0 sampai dengan 4,0 M, konsentrasi nikel terlarut mengalami penurunan dibandingkan perolehan pada konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  2,5 M.

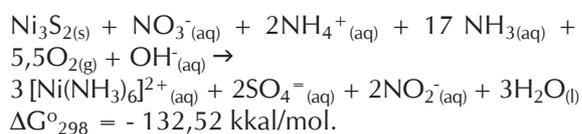


Gambar 3. Pengaruh konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  terhadap konsentrasi nikel terlarut (g/l) untuk waktu pelindian 10 jam

Pada konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  1,5 M diperoleh konsentrasi nikel terlarut sebesar 46,725 g/l. Pada saat konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dinaikkan menjadi 2,0 M, konsentrasi nikel terlarut meningkat sebesar 10,65 g/l (22,79 %) menjadi 57,375 g/l. Pada saat konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  2,5 M, konsentrasi nikel terlarut mencapai 80,7 g/l. Apabila dibandingkan dengan konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  1,5 M penambahan konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  sebesar 1,0 M menjadi 2,5 M, meningkatkan kelarutan nikel sebesar 72,7 %. Sedangkan penambahan konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  lebih dari 2,5 M tidak meningkatkan perolehan nikel terlarut.

Karakteristik kelarutan nikel yang sama ditunjukkan oleh penelitian Suratman dan Pramusanto (1997), yaitu terjadi penurunan perolehan nikel terlarut saat konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  di atas 2,0 M. Demikian juga percobaan yang dilakukan oleh Widyono (2001), bahwa terjadi penurunan konsentrasi nikel terlarut pada selang konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  2,0 hingga 3,0 M.

Untuk mengetahui terjadinya penurunan kelarutan nikel pada selang konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dari 3,0 M hingga 4,0 M, perlu ditinjau kembali persamaan reaksi yang berlangsung. Persamaan reaksi yang berlangsung pada pelindian *nickel matte* dalam media amonia – amonium nitrat dapat dituliskan sebagai berikut :



Reaksi pelarutan *nickel matte* dipengaruhi oleh konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , kandungan oksigen terlarut, dan pH larutan. Secara stoikiometri semakin besar konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  yang digunakan,  $\text{NH}_3$  dan  $\text{OH}^-$  yang diperlukan semakin tinggi. Hasil pengukuran pH selama proses berlangsung menunjukkan bahwa terjadi penurunan pH yang cukup besar pada saat konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  di atas 2,5 M. Penurunan pH ini diartikan sebagai penurunan konsentrasi  $\text{OH}^-$ , yang menyebabkan reaksi tidak berlangsung dengan sempurna.

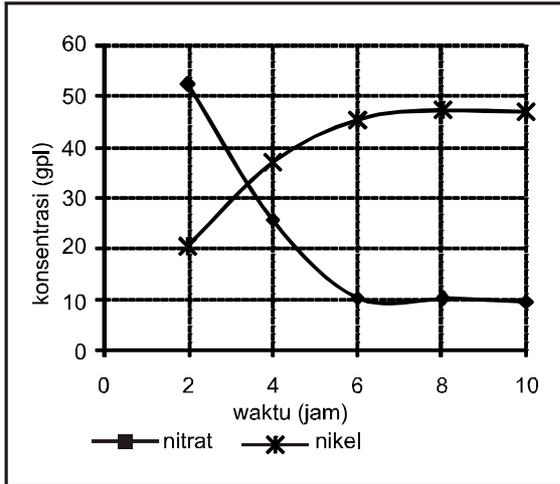
Kestabilan senyawa nikel amina kompleks,  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ , sangat dipengaruhi oleh pH larutan. Hal ini dapat dilihat dari hubungan antara pH dan kestabilan bentuk senyawa nikel amina kompleks pada diagram Eh – potensial sisten Ni- $\text{NH}_3$ - $\text{H}_2\text{O}$  (Gambar 6).

Pada tahun 1998, Osseo Asare melakukan penelitian mengenai reaksi pembentukan senyawa nikel amina kompleks pada proses pelindian logam nikel dalam larutan amonia. Penelitian tersebut memberikan hasil konsentrasi senyawa nikel amina kompleks akan semakin besar dengan meningkatnya bilangan koordinasi. Hal ini dikarenakan nilai tetapan kesetimbangan pembentukan senyawa nikel amina kompleks semakin besar dengan meningkatnya bilangan koordinasi.

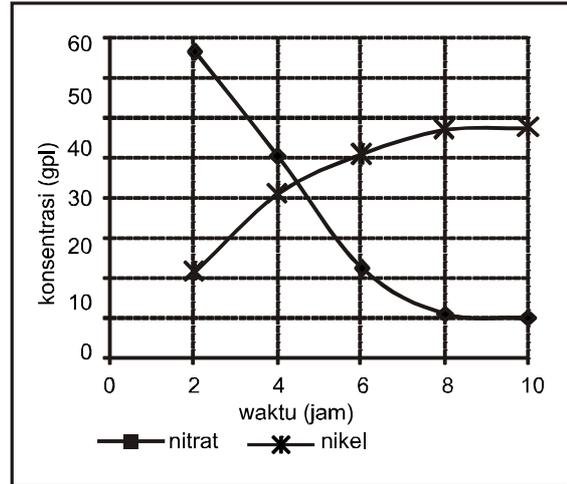
Perhitungan keaktifan ion dalam larutan dan diagram potensial pH dapat digunakan untuk memprediksikan senyawa yang terbentuk. Hasil perhitungan terhadap aktifitas ion nikel dalam larutan memberikan hasil keaktifan berkisar 0,1 – 0,2. Untuk aktifitas ion yang lebih besar dari  $10^{-2}$  digunakan diagram potensial – pH dengan aktifitas ion sama dengan satu. Apabila diperhatikan diagram potensial pH sistem Ni –  $\text{NH}_3$  –  $\text{H}_2\text{O}$  untuk aktifitas ion sama dengan satu, pada saat pH kurang dari 9 bentuk senyawa yang stabil adalah NiO. NiO merupakan senyawa oksida pasif yang tidak dapat bereaksi. Ini yang menyebabkan reaksi terganggu sehingga kelarutan nikel menurun.

Pada konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  1,5 hingga 2,5 M penurunan pH terjadi namun masih di sekitar pH 9, yang berarti masih di dalam daerah kesetimbangan senyawa  $\text{Ni}(\text{NH}_3)_5^{2+}$ . Sedangkan pada konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  3,0 hingga 4,0 M, terjadi penurunan pH larutan sampai dengan 8,56 (pada  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  3,5 M) yang berarti telah terjadi pergeseran kesetimbangan dari bentuk  $\text{Ni}(\text{NH}_3)_5^{2+}$  ke NiO. Faktor inilah yang kemungkinan menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi nikel terlarut pada selang konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  3,0 hingga 4,0 M.

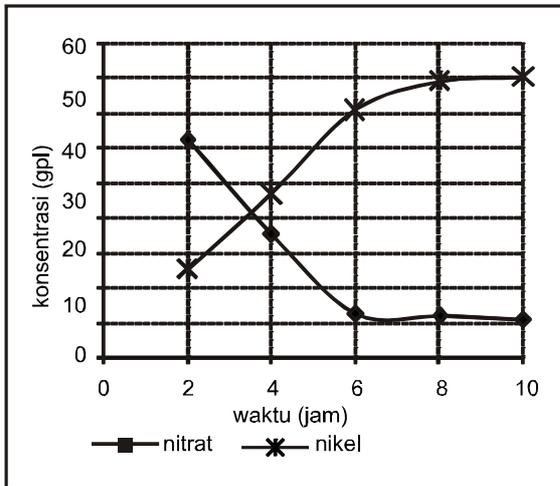
Selama proses pelindian berlangsung,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  berperan untuk mengoksidasi *nickel matte* menjadi ion nikel dan sulfat. Ion nikel akan mengikat molekul  $\text{NH}_3$  membentuk senyawa nikel amina kompleks. Gambar 4 menunjukkan konsentrasi nitrat yang tersisa dalam larutan hasil pelindian. Konsentrasi nitrat yang tersisa ini dapat digunakan untuk mengetahui jumlah nitrat yang dikonsumsi selama pelindian berlangsung. Peningkatan konsentrasi nitrat tersisa terlihat dengan naiknya konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  yang digunakan. Konsentrasi nitrat tersisa yang cukup tinggi tampak pada konsentrasi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  4,0 M. Ini mengindikasikan reaksi tidak berjalan dengan sempurna sehingga terjadi penurunan pada perolehan konsentrasi nikel terlarut.



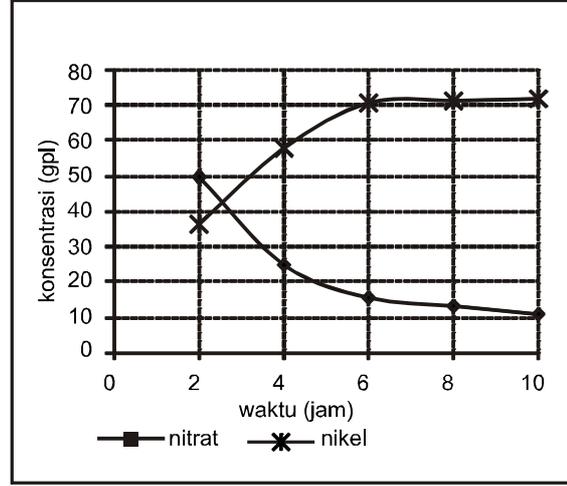
(a)



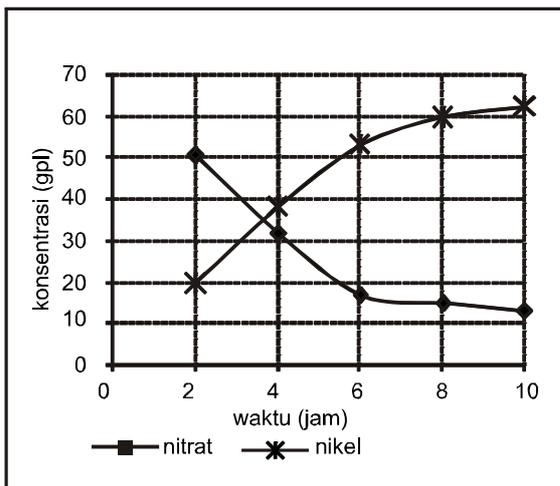
(b)



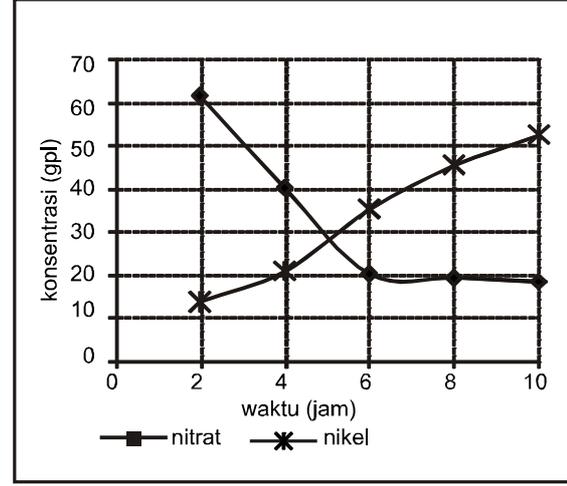
(c)



(d)

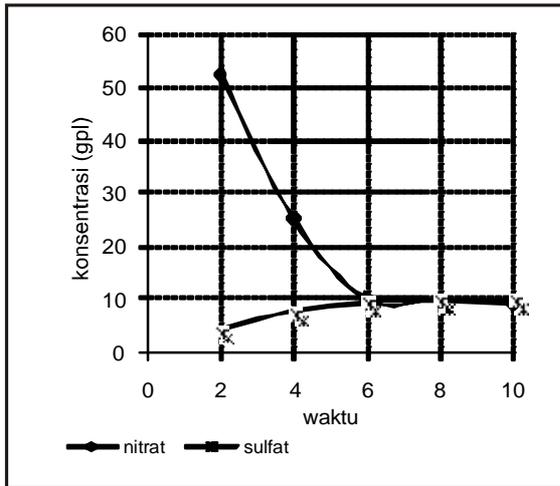


(e)

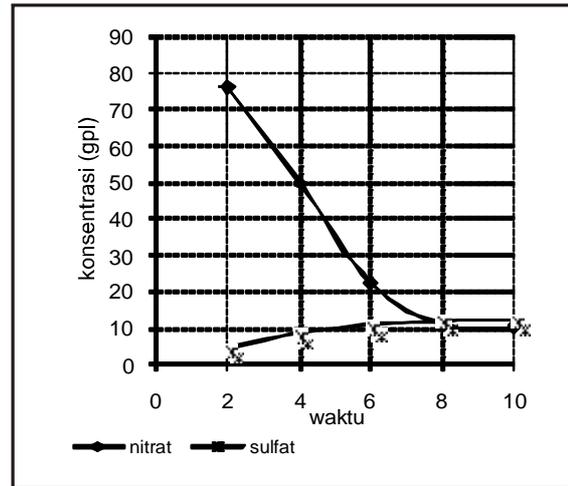


(f)

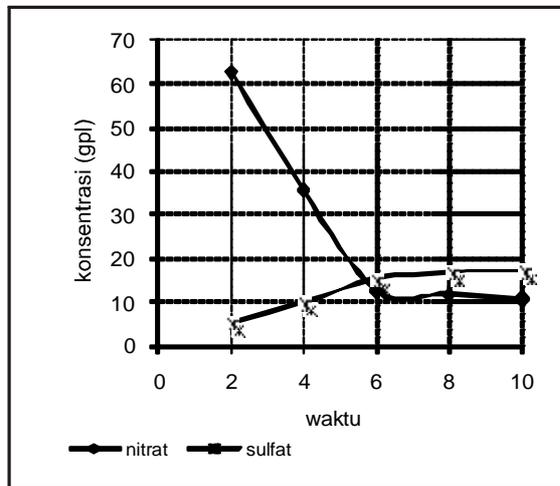
Gambar 4. Perubahan konsentrasi nikel terlarut dan nitrat tersisa selama pelindian berlangsung. (a)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  1,5 M, (b)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  2,0 M, (c)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  2,5 M, (d)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  3,0 M, (e)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  3,5 M, (f)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  4,0 M



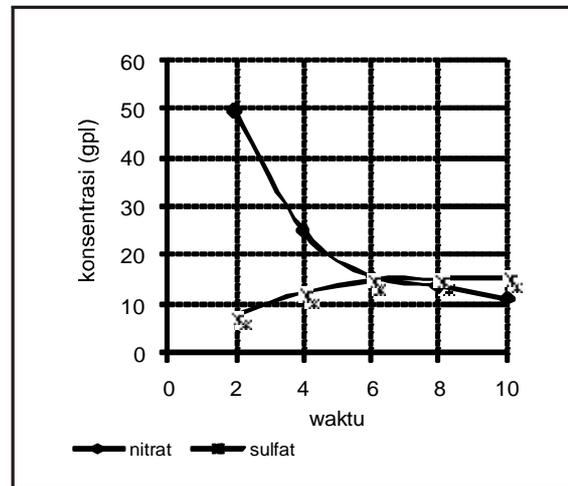
(a)



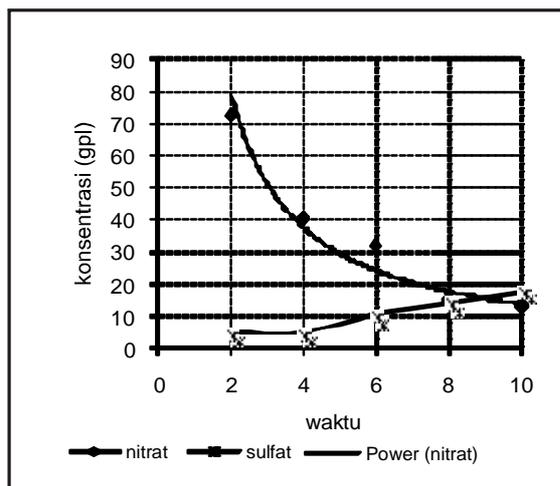
(b)



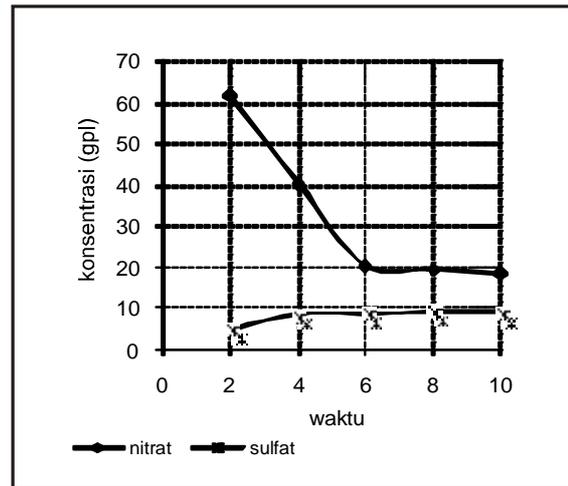
(c)



(d)

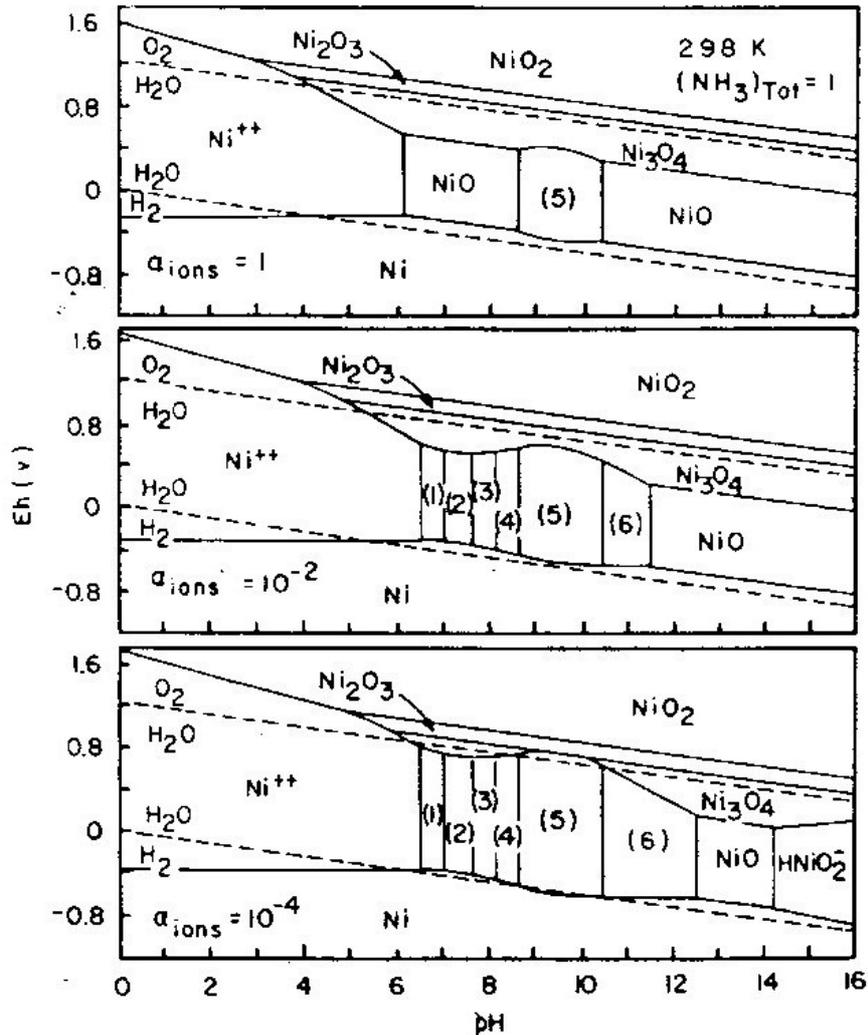


(e)



(f)

Gambar 5. Perubahan konsentrasi sulfat yang terbentuk dan nitrat tersisa selama pelindian berlangsung. (a)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  1,5 M, (b)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  2,0 M, (c)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  2,5 M, (d)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  3,0 M, (e)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  3,5 M, (f)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  4,0 M



Gambar 6. Diagram pH – potensial sistem Ni-NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O pada 25°C tekanan 1 atm, 1. Ni(NH<sub>3</sub>)<sup>2+</sup>; 2. Ni(NH<sub>3</sub>)<sup>2+2</sup>; 3. Ni(NH<sub>3</sub>)<sup>2+3</sup>; 4. Ni(NH<sub>3</sub>)<sup>2+4</sup>; 5. Ni(NH<sub>3</sub>)<sup>2+5</sup>; 6. Ni(NH<sub>3</sub>)<sup>2+6</sup>. ( Bhuntumkomol, 1980)

Berdasarkan jumlah ion sulfat yang terbentuk dalam larutan hasil pelindian (Gambar 5) ditunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> dari 1,5 sampai dengan 2,5 M akan meningkatkan jumlah sulfat yang terbentuk. Penurunan jumlah ion sulfat yang terbentuk terjadi pada saat konsentrasi NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 3,0 dan 4,0 M. Pada pelindian *nickel matte* ini, unsur sulfur di dalam *nickel matte* akan dioksidasi menjadi ion sulfat. Ion sulfat dijadikan sebagai indikator bahwa reaksi pelindian berlangsung.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa kelaurutan nikel

dipengaruhi oleh konsentrasi nitrat, pH larutan, dan kandungan oksigen terlarut. Peningkatan konsentrasi nikel terlarut terjadi pada selang konsentrasi amonium nitrat 1,5 – 2,5 M, peningkatan konsentrasi amonium nitrat akan meningkatkan kelaurutan nikel dari 46,725 g/l menjadi 80,7 g/l. Sedangkan untuk konsentrasi amonium nitrat di atas 2,5 M, peningkatan konsentrasi tidak lagi meningkatkan jumlah nikel terlarut. Penurunan kelaurutan nikel diprediksikan karena turunnya pH larutan dan kandungan oksigen terlarut. Dari hasil percobaan didapat bahwa kelaurutan tertinggi dicapai pada selang 6 – 8 jam. Setelah 8 jam tidak terjadi peningkatan nikel terlarut. Kelaurutan nikel tertinggi dicapai pada konsentrasi NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 2,5 M, pH larutan 9,3 dan waktu pelindian selama 8 jam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bhantumkomol, K., Han, K.N. dan Lawson, F., 1980. The leaching behaviour of metallic nickel in ammonia solutions, *Trans. Instn. Min. Metall.*, hlm C7-C13.
- Habashi, F., 1993. *A Principles of Extractive Metallurgy, vol. 1*, Gordon and Breach, Science Pub. Inc, New York, hlm 77 – 300.
- Osseo – Asare, K. dan Asihene, S.W., 1998. Heterogeneous Equilibria in Amonia/Laterite Leaching Systems, *International Laterite Symposium*.
- Suratman dan Pramusanto, 1997. The ammonia-ammonium nitrate leaching of nickel matte, *Proceeding of the Nickel-Cobalt 97 International Symposium: Hydrometallurgy and refining of nickel and cobalt, Vol. I*, CIM, Sudbury, Ontario, Canada, hlm 181-191.
- Suratman dan Pramusanto, 1996. Pelindian Nikel Sulfida ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ) dengan Larutan Amoniak – Amonium Nitrat Sulfat, *Proseding Seminar Nasional Geoteknologi III*.
- Widyono, 2001. Pelindian Nikel Matte dalam Larutan Amoniak – Amonium Nitrat, *Tugas Akhir, ITB*.