

KINETIKA REAKSI PELARUTAN NIKEL DARI KALSIN NIKEL LATERIT

Rudi Subagja* dan F. Firdiyono

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan
E-mail : *Rudibagja@yahoo.com

Masuk Tanggal : 09-06-2015, revisi tanggal : 31-07-2015, diterima untuk diterbitkan tanggal 18-08-2015

Intisari

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan untuk mempelajari kinetika reaksi pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit ke dalam larutan asam sulfat. Kalsin yang digunakan, dipersiapkan melalui cara pemanggangan reduksi bijih nikel laterit pada temperatur 800 °C dengan reduktor 10% batubara. Percobaan pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit dilakukan dalam reaktor gelas kapasitas 1 liter, dengan kondisi percobaan : a) konsentrasi asam sulfat yang digunakan sebagai pelarut adalah 0,1 mol/liter, b) laju aerasi udara divariasikan dari 0 liter/menit sampai 1 liter/menit, c) temperatur pelarutan divariasikan dari 40 °C sampai dengan 70 °C, dan waktu pelarutan divariasikan dari 15 menit sampai dengan 240 menit. Dari hasil percobaan diketahui bahwa proses pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit ke dalam larutan asam sulfat makin meningkat jika laju aerasi dinaikkan dari 0 liter/menit menjadi 1 liter/menit, temperatur pelarutan dinaikkan dari 40 °C menjadi 70 °C dan waktu reaksi diperpanjang dari 15 menit sampai 180 menit. Dari hasil studi kinetika diketahui bahwa proses pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit ke dalam larutan asam sulfat dikendalikan oleh proses difusi dengan nilai energi aktivasi 26,73 KJ/mol.

Kata kunci: Nikel laterit, Pelarutan, Asam sulfat, Kinetika reaksi

Abstract

At present work, an experiment to investigate a kinetics of nickel dissolution from nickel laterite calcine into the aqueous sulphuric acid solutions were carried out by using the nickel laterites calcine which was prepared by reduction roasting of nickel laterites ores by using 10% coal as reducing agents at temperature 800 °C. The dissolution test were carried out by using 1 litre capacities of glass reactor, with the experimental conditions: a) a sulphuric acid concentration 0,1 mole/litre, b) aeration rate were varied from 0 litre/minute up to 1 litre/minute, c) dissolution temperatures were varied from 40 °C up to 70 °C and reaction time were from 15 minutes up to 240 minutes. From the result of experiment, it is found that the dissolution of nickel from nickel laterite calcine into the aqueous sulphuric acid solutions increased when the aeration rate were increased from 0 litre/minute to 1 litre/minute, the dissolution temperatures were increased from 40 °C to 70 °C. From the kinetics study, it is found that the dissolution of nickel from nickel laterites calcines in to the aqueous sulphuric acid solutions follows the diffusion process controlled with activated energy 26.73 KJ/mole.

Keywords: Nickel laterites, Dissolution, Sulphuric acid, Kinetical reaction

1. PENDAHULUAN

Nikel merupakan logam yang mempunyai warna perak, banyak digunakan di industri sebagai salah satu bahan baku untuk membuat baja tahan karat, baja tahan temperatur tinggi, bahan magnet, proses pelapisan logam, paduan logam bukan besi (*non ferrous*), katalis, sel bahan bakar (*fuel cell*) dan bahan kimia. Karena kegunaannya sangat luas maka pola produksi nikel di dunia cenderung makin meningkat seiring dengan berkembangnya waktu, dimana

produksi nikel di dunia pada saat ini telah meningkat sebanyak 10 kali lipat bila dibandingkan dengan produksi nikel pada tahun 1950^[1]. Peningkatan konsumsi nikel di dunia tidak terlepas dari peran para peneliti terdahulu yang telah menemukan berbagai jenis paduan nikel untuk kepentingan industri^[2,3] dan juga pengembangan material baru.

Di Indonesia, kebutuhan logam nikel juga makin meningkat seiring dengan perkembangan industrinya, dimana sebagian besar dari logam nikel digunakan untuk memenuhi keperluan

industri elektroplating, dan dengan makin berkembangnya industri di Indonesia terutama industri yang terkait dengan pembuatan material baru untuk mendukung pengembangan industri elektronika, seperti pembuatan bahan magnet permanen jenis Aluminium-Nikel-Cobalt (ALNICO), bahan untuk membuat sel bahan bakar (*fuell cell*), bahan untuk pemesinan, konstruksi, dan sebagai bahan kimia, maka di masa yang akan datang kebutuhan nikel diperkirakan akan makin meningkat.

Untuk memenuhi kebutuhan akan logam nikel, Indonesia masih harus mengimpor dari negara lain karena di Indonesia belum ada industri yang dapat membuat logam nikel dari bahan baku bijih yang tersedia di Indonesia. Menurut data dari Kementerian Perindustrian Indonesia, nilai impor produk-produk nikel cenderung meningkat dari 25648556 ribu US\$ pada tahun 2007 menjadi 45163779 ribu US\$ pada tahun 2011 dengan pertumbuhan sebesar 11,91 % per tahun^[4]. Tingginya impor produk-produk nikel tentunya menjadi masalah bagi perekonomian nasional. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk dapat mengurangi ketergantungan akan impor nikel dengan memanfaatkan sumber bahan baku lokal untuk dijadikan logam nikel.

Sebagai sumber bahan baku utama nikel, di dunia pada saat ini dikenal 2 jenis sumber yaitu dari bijih sulfida dan bijih nikel laterit yang kemudian digolongkan menjadi 2 jenis yaitu laterit jenis saprolit yang merupakan senyawa silikat/hidrosilikat dan laterit jenis limonit yang merupakan senyawa oksida/hidroksida^[5]. Nikel laterit jenis limonit dicirikan dengan kadar Fe yang tinggi dan nikel laterit jenis saprolit dicirikan dengan kadar MgO yang tinggi dimana kadar nikel dalam limonit berkisar antara 0,8% sampai dengan 1,5% dan kadar nikel dalam saprolite berkisar 1,8 sampai dengan 3%^[6]. Pada saat ini, $\frac{3}{4}$ dari cadangan nikel dunia sebagai laterit, dan produksi nikel dari laterit dunia sekitar 42%^[7].

Di Indonesia bijih nikel laterit tersebar dalam jumlah yang cukup besar di beberapa daerah seperti Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku, dan Papua^[8,9]. Dimana pada saat ini, sebagian dari bijih nikel tersebut dimanfaatkan oleh P.T. Aneka Tambang untuk membuat ferro nikel (komposisi 25% nikel dan 7 % besi) dan oleh P.T. Vale untuk membuat nikel *matte* (komposisi nikel sekitar 73% dan belerang sekitar 20%), sementara industri yang dapat membuat logam nikel yang mempunyai kemurnian lebih dari 99% belum ada di Indonesia. Oleh karena itu untuk mendapatkan

logam nikel dari bijih nikel laterit yang tersedia di Indonesia perlu dilakukan kegiatan penelitian guna mendapatkan teknologi pembuatan logam nikel dari bijih nikel laterit yang sesuai dengan karakteristik nikel laterit Indonesia, dan permasalahan penelitian yang perlu dicarikan solusinya adalah bagaimana mendapatkan teknologi untuk mendapatkan logam nikel yang cocok dengan karakteristik laterit Indonesia.

Di beberapa negara, pada saat ini telah dilaksanakan beberapa kegiatan penelitian dan pengembangan untuk mendapatkan proses pengolahan nikel laterit, diantaranya adalah kegiatan penelitian dan pengembangan untuk mendapatkan nikel dari nikel laterit melalui jalur proses metalurgi hidro^[7,10,11,12], kegiatan penelitian dan pengembangan untuk mendapatkan logam nikel dengan cara metalurgi piro^[7,13,14,15] atau gabungan proses metalurgi hidro dan metalurgi piro. Pemilihan dari proses tersebut sangat bergantung pada karakteristik bijih nikel laterit yang akan diolah. Pemilihan proses metalurgi hidro umumnya diarahkan untuk mengolah bijih nikel laterit kadar rendah di bawah 1,5% sedangkan pemilihan proses metalurgi piro umumnya diarahkan untuk bijih nikel laterit kadar di atas 1,5%.

Untuk proses pengolahan laterit dengan cara metalurgi hidro telah dicoba beberapa jenis pelarut seperti asam sulfat, asam khlorida dan asam organik. Dari beberapa hasil kegiatan penelitian yang telah dilakukan nampaknya proses pelarutan nikel menggunakan asam sulfat pada tekanan atmosfer terlihat lebih unggul bila dibandingkan dengan proses pelarutan nikel dalam asam sulfat yang menggunakan tekanan tinggi (HPAL). Keunggulan proses pelarutan pada tekanan atmosfer dibanding dengan proses pelarutan asam yang menggunakan tekanan (HPAL) adalah: investasi proses pelarutan pada tekanan atmosfer dan biaya operasinya lebih rendah serta perawatannya mudah bila dibandingkan dengan HPAL^[11]. Kemudian bila dibandingkan dengan proses hidro yang menggunakan pelarut asam khlorida nampaknya proses metalurgi hidro yang menggunakan pelarut HCl lebih efektif bila dibandingkan dengan asam sulfat walaupun masih perlu dibuktikan lebih lanjut dalam skala yang lebih besar^[12]. Walaupun proses pelarutan dengan asam telah dikembangkan namun proses ini masih menghadapi kendala terutama dengan adanya unsur pengotor dalam bijih seperti magnesium yang akan mengkonsumsi asam sehingga menurunkan efisiensi pemakaian asam.

Demikian juga dalam proses pengolahan nikel laterit melalui jalur metalurgi piro, bahwa

karakteristik bijih akan mempengaruhi proses, untuk bijih yang mempunyai perbandingan $\text{SiO}_2/\text{MgO} < 2$ atau $> 2,5$ akan lebih cocok untuk digunakan dalam pembuatan ferronikel, sedangkan bijih yang mempunyai perbandingan SiO_2/MgO antara 2,3-2,5 mempunyai sifat yang sangat korosif terhadap lapisan bata api dan untuk bijih mempunyai perbandingan SiO_2/MgO antara 1,8-2,2 lebih cocok untuk membuat nikel *matte*^[7].

Dari hasil penelitian para peneliti terdahulu nampak bahwa pemilihan jalur proses untuk mendapatkan nikel dari bijih nikel laterit akan bergantung pada karakteristik bijih nikel yang akan diolah. Oleh karena itu untuk menjajaki kemungkinan pemanfaatan nikel laterit Indonesia sebagai bahan baku logam nikel maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik bijih nikel laterit Indonesia, dan pada penelitian ini jalur proses yang dipelajari adalah melalui jalur proses pemanggangan reduksi yang dilanjutkan dengan proses pelarutan nikel dari kalsin hasil pemanggangan ke dalam larutan asam sulfat, dengan titik berat pada aspek kinetika reaksi proses pelarutan nikel dari kalsin hasil tahap reduksi.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

A. Bahan Baku Percobaan

Bahan baku yang digunakan dalam percobaan ini adalah kalsin yang diperoleh dari hasil pemanggangan reduksi bijih nikel laterit dalam tungku pada temperatur 800 °C, menggunakan 10% batubara sebagai reduktor. Komposisi kimia kalsin hasil reduksi diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia kalsin nikel laterit

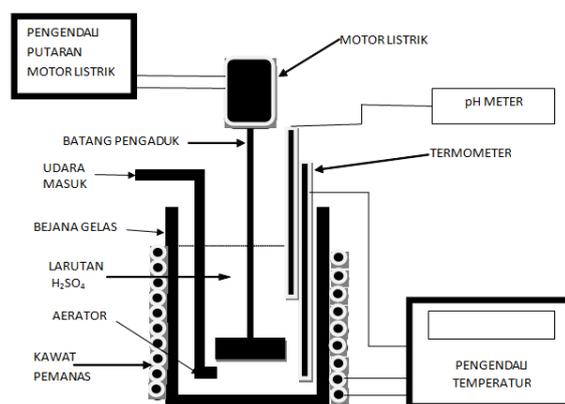
No	Unsur penyusun kalsin nikel laterit	Jumlah (%)
1	Ni total	2,03
2	Co Total	0,084
3	Fe Total	23,44
4	Mg	6,62
5	Ni sebagai logam	1,81
6	Co sebagai logam	0,050
7	Fe sebagai logam	1,87

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kalsin mengandung nikel total sebesar 2,03% yang merupakan campuran antara nikel oksida dan nikel metal, sementara kandungan nikel dalam bentuk metalnya adalah 1,81%. Untuk kobal, kandungan kobal total dalam kalsin adalah 0,08% sementara kandungan kobal sebagai metalnya adalah 0,050%, dan untuk besi kandungan totalnya adalah 23,44% dan kandungan metalnya 1,87%. Di samping unsur-

unsur tersebut, unsur lainnya yang terdapat dalam kalsin adalah oksigen yang berada dalam bentuk senyawa dengan sebagian nikel, kobal, besi dan magnesium. Selain kalsin, bahan baku lainnya yang digunakan dalam percobaan ini adalah asam sulfat p.a dan air aqua demineral.

B. Proses Percobaan

Sebelum dilakukan proses pelarutan, kalsin dipersiapkan dengan cara digiling dalam *ball mill* menggunakan bola bola alumina, sampai diperoleh ukuran kalsin lolos 100 *mesh*, sedangkan untuk proses pelarutan digunakan peralatan sebagaimana diperlihatkan oleh Gambar 1. Peralatan ini terdiri dari bejana gelas kapasitas 1 liter yang berfungsi sebagai reaktor, dan dilengkapi dengan pemanas listrik, pengendali temperatur, pengaduk yang digerakan oleh motor listrik, aerator untuk mendistribusikan udara ke dalam larutan dan pH meter. Pengendali temperatur digunakan untuk menjaga temperatur reaksi agar tetap konstan.



Gambar 1. Skema peralatan yang digunakan dalam percobaan pelarutan nikel

Pada setiap percobaan, 700 ml larutan asam sulfat dengan konsentrasi 0,1 mol/liter dimasukkan ke dalam reaktor gelas kemudian dipanaskan dengan menggunakan pemanas listrik sampai temperatur tertentu. Setelah temperatur yang diinginkan tercapai ke dalam larutan asam sulfat dimasukkan sejumlah tertentu kalsin nikel laterit yang telah mengalami penggilingan dalam *ball mill*.

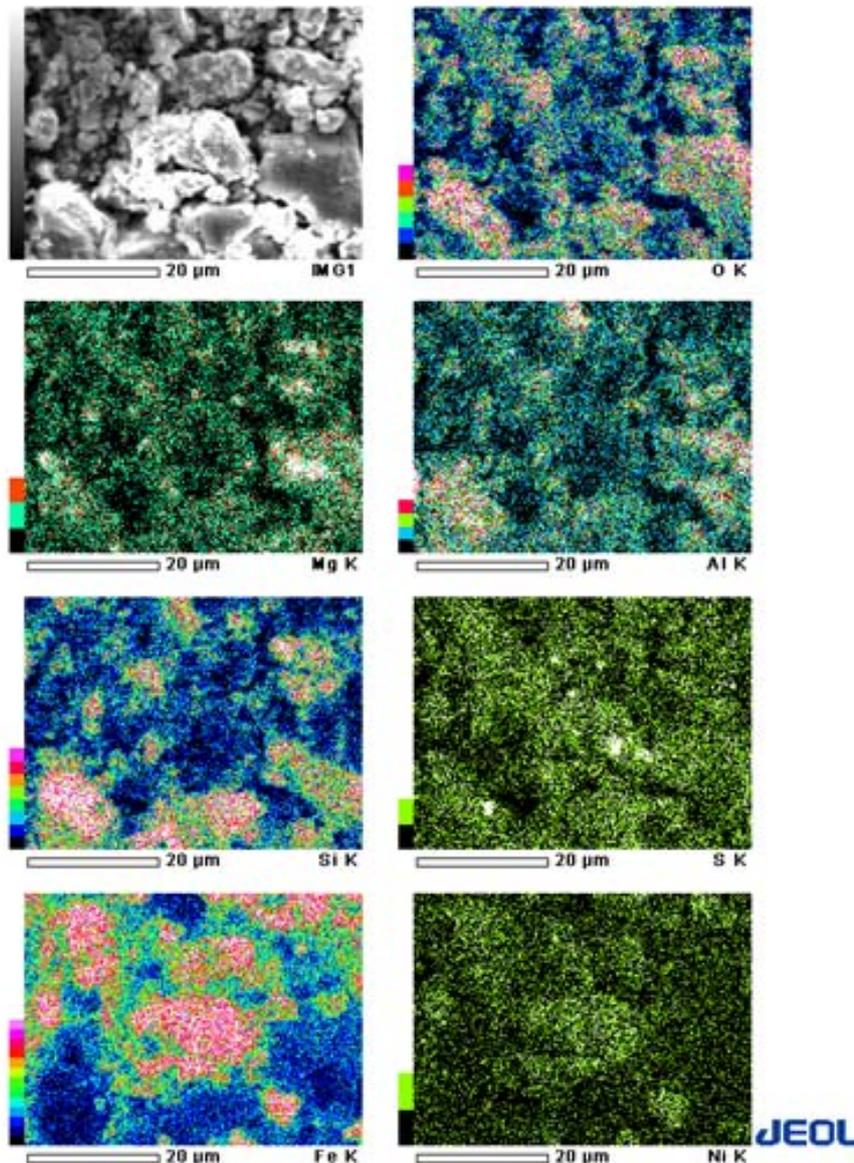
Campuran kalsin dan asam sulfat yang terdapat dalam reaktor gelas kemudian diaduk pada kecepatan tertentu. Setelah percobaan selesai, larutan hasil proses pelarutan dipisah dari residu padat dengan cara penyaringan. Larutan yang dihasilkan kemudian dianalisis kandungan nikelnya dengan menggunakan alat spektrofotometri serapan atom (*atomic absorption spectrophotometry - AAS*).

3. HASIL DAN DISKUSI

A. Struktur mikro kalsin

Untuk mengetahui struktur mikro dari kalsin hasil proses reduksi bijih nikel laterit oleh bahan reduktor batubara, pada percobaan ini kalsin dianalisis struktur mikronya dengan menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*) dan hasilnya diperlihatkan pada Gambar 2, dimana dari gambar tersebut dapat

dilihat bahwa nikel membentuk ikatan yang kompleks dengan besi serta dikelilingi oleh senyawa-senyawa silikon, magnesium dan aluminium oksida. Keberadaan unsur-unsur non nikel disekitar nikel tentunya akan berpengaruh terhadap kinetika reaksi pelarutan nikel dari kalsin hasil reduksi bijih nikel laterit.



Gambar 2. Hasil analisis kalsin dengan SEM

Tabel 2. Karakteristik kalsin selama penggerusan dengan *ball mill* dalam atmosfer udara

Waktu Penggerusan (menit)	Ni (%)	Fe (%)	Co (%)
0	1,4067	1,8125	0,0489
30	1,3692	1,5746	0,0456
60	1,5335	3,3960	0,0523
120	1,036	2,2186	0,0495
180	1,4147	2,629	0,073
240	1,3957	1,919	0,067
300	1,301	3,1159	0,096
1440	1,2691	2,1353	0,079

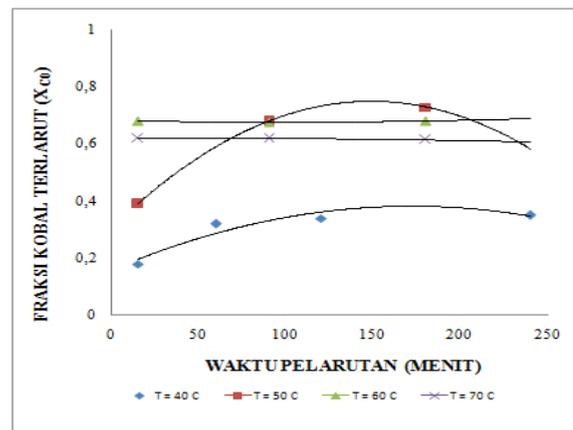
B. Karakteristik Kalsin selama Penggerusan

Untuk mengamati kemungkinan terjadinya oksidasi terhadap logam nikel, besi dan kobal yang terdapat dalam kalsin selama penggerusan dengan *ball mill* dalam atmosfer udara, terhadap kalsin sebelum dan setelah penggerusan dilakukan analisis kandungan logam nikel, besi dan kobal. Hasilnya diperlihatkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa logam nikel, besi dan kobal yang ada dalam kalsin cenderung tidak teroksidasi pada saat kalsin digerus dalam *ball mill* pada kondisi atmosfer udara. Dengan demikian pada percobaan pelarutan, penyiapan kalsin halus dengan cara penggerusan dalam atmosfer udara tidak banyak berpengaruh terhadap karakteristik logam nikel, besi dan kobal yang ada dalam kalsin yang akan digunakan sebagai bahan baku untuk percobaan pelarutan.

C. Pengaruh Temperatur dan Waktu terhadap Pelarutan Kobal

Tabel 1 memperlihatkan kobal sebagai salah satu unsur penyusun kalsin. Untuk mengetahui sampai seberapa jauh unsur kobal ikut terlarutkan ke dalam larutan asam sulfat pada saat proses pelarutan nikel dari kalsin, maka pada penelitian ini dipelajari pengaruh temperatur dan waktu terhadap pelarutan kobal dari kalsin. Pada percobaan ini, kondisi proses pelarutan yang digunakan adalah: larutan asam sulfat 0,1 mol/liter, temperatur 40 °C sampai dengan 70 °C, kecepatan pengadukan 700 putaran/menit dengan laju aerasi 1 liter/menit. Pemilihan variabel temperatur dibatasi pada daerah temperatur 40 °C sampai dengan 70 °C karena untuk mencegah terjadinya penguapan larutan secara berlebihan apabila percobaan dilakukan pada temperatur di atas 70 °C. Hasil percobaan pengaruh temperatur terhadap kelarutan kobal diperlihatkan pada Gambar 3, dimana jumlah kobal terlarut ke dalam larutan asam sulfat dinyatakan sebagai fraksi kobal terlarut (X_{Co}).

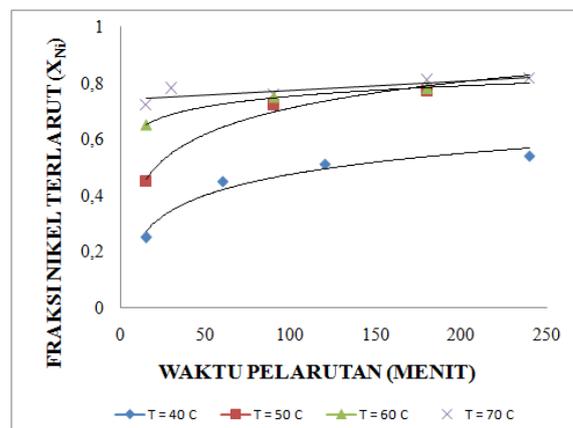
Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa kelarutan kobal dari kalsin ke dalam larutan asam sulfat cenderung meningkat apabila temperatur reaksi ditingkatkan dari 40 °C menjadi 50 °C, akan tetapi untuk selang waktu reaksi 90 menit sampai dengan 180 menit, kenaikan temperatur lebih lanjut dari 50 °C menjadi 70 °C, menyebabkan jumlah kobal yang dapat dilarutkan dari kalsin ke dalam larutan asam sulfat cenderung turun.



Gambar 3. Pengaruh waktu dan temperatur pelarutan terhadap kelarutan kobal

D. Pengaruh Temperatur dan Waktu terhadap Pelarutan Nikel

Pengaruh temperatur dan waktu terhadap pelarutan nikel dari kalsin, dipelajari pada temperatur 40 °C sampai dengan 70 °C, hasilnya diperlihatkan pada Gambar 4, yang memperlihatkan fraksi nikel terlarutkan dari kalsin ke dalam larutan asam sulfat cenderung makin meningkat dengan kenaikan temperatur reaksi dari 40 °C menjadi 70 °C.



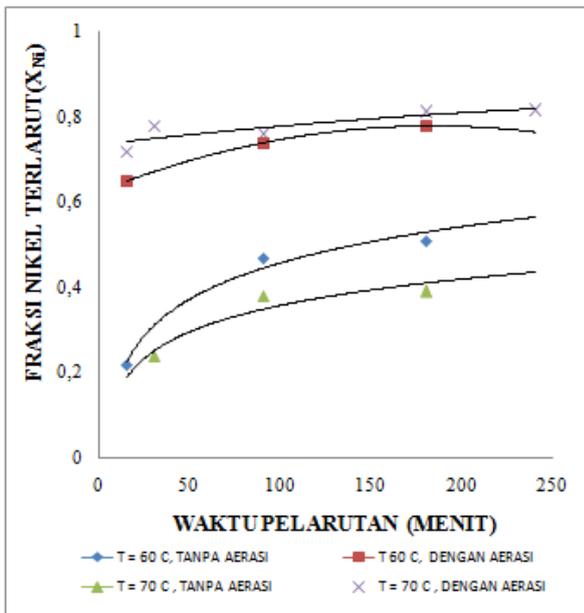
Gambar 4. Pengaruh temperatur dan waktu pelarutan terhadap kelarutan nikel

Untuk selang waktu reaksi di atas 90 menit, kenaikan temperatur reaksi lebih lanjut dari 60 °C menjadi 70 °C memberikan pengaruh yang kecil terhadap peningkatan kelarutan nikel dari kalsin. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh karena pada temperatur yang lebih tinggi, unsur besi yang ada dalam kalsin akan cenderung lebih stabil dalam bentuk oksidanya, sebagaimana diperlihatkan dari hasil perhitungan potensial – pH diagram sistem Cu-Fe-H₂O^[16], akibatnya proses difusi nikel dari kalsin ke dalam fasa larutan akan terhambat oleh lapisan besi oksida. Dari hasil penelitian ini kondisi temperatur optimal untuk proses pelarutan nikel dari kalsin adalah pada temperatur 70 °C dan selang waktu

180 menit, dimana pada kondisi ini 81% nikel dapat dilarutkan dari kalsin.

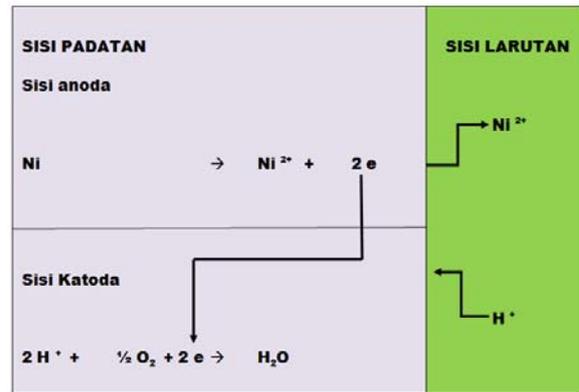
E. Pengaruh Aerasi terhadap Kelarutan Nikel

Pengaruh aerasi terhadap jumlah nikel terlarut dari kalsin dipelajari pada temperatur 60 °C dan 70 °C. Pada proses aerasi digunakan udara, sedangkan larutan asam sulfat yang digunakan mempunyai konsentrasi 0,1 mol/liter. Selama proses aerasi, kecepatan pengadukan ditetapkan 700 rpm dan laju aerasi divariasikan dari 0 liter/menit dan 1 liter/menit hasilnya diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh aerasi terhadap pelarutan nikel

Dari hasil percobaan pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa baik pada temperatur 60 °C maupun 70 °C, kenaikan laju aerasi dari 0 liter/menit menjadi 1 liter/menit cenderung meningkatkan jumlah nikel yang dapat dilarutkan dari kalsin ke dalam larutan asam sulfat 0,1 mol/l. Meningkatnya jumlah nikel yang dapat dilarutkan dari kalsin ke dalam larutan asam sulfat, mempunyai kaitan yang sangat erat dengan laju aerasi sebagaimana diperlihatkan oleh persamaan reaksi 1 dan 2, dimana persamaan reaksi 1 memperlihatkan bahwa kenaikan kandungan oksigen dalam larutan yang setara dengan kenaikan laju aerasi akan menggeser persamaan reaksi 1 ke arah kanan dan pada saat yang sama konsumsi elektron yang diperlukan oleh persamaan reaksi 1 akan meningkat.

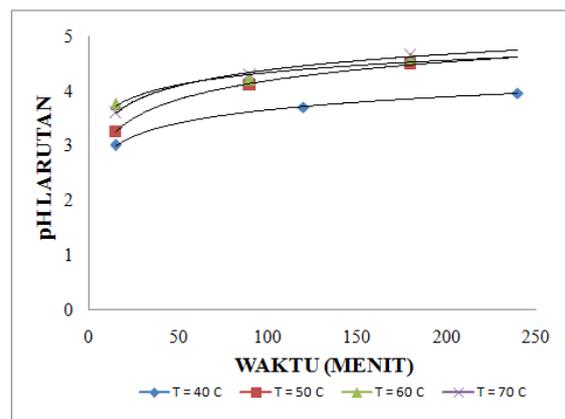


Gambar 6. Mekanisme reaksi pelarutan nikel dalam media asam sulfat

Elektron yang dibutuhkan oleh reaksi 1 akan diberikan oleh reaksi 2, sebagaimana diperlihatkan oleh mekanisme reaksi pada Gambar 6, dimana proses pelarutan nikel dari bijih nikel laterit terjadi melalui reaksi anodik dan katodik pada permukaan logam nikel. Akibat dari peristiwa pertukaran elektron ini adalah kenaikan laju aerasi akan memicu meningkatnya jumlah logam nikel yang larut ke dalam larutan asam sulfat.

F. Perubahan pH Larutan selama Proses Pelarutan

Perubahan pH selama proses pelarutan diamati dengan menggunakan pH meter, dimana elektroda pH meter tersebut dicelupkan ke dalam larutan dari mulai awal percobaan. Hasil pengukuran pH larutan selama percobaan diperlihatkan pada Gambar 7.



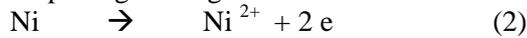
Gambar 7. Perubahan pH larutan selama proses pelarutan

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa pH larutan cenderung makin meningkat apabila temperatur proses pelarutan ditingkatkan dari 40 °C menjadi 70 °C. Demikian juga bila waktu reaksi pelarutan diperpanjang dari 15 menit menjadi 240 menit maka pH larutan akan cenderung makin meningkat. Peningkatan pH larutan diduga terjadi sebagai akibat dari adanya

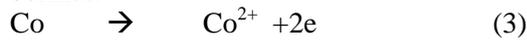
reaksi antara ion hidrogen yang terdapat dalam larutan dengan oksigen yang diinjeksikan ke dalam larutan sesuai persamaan reaksi berikut:

$$2\text{H}^+ + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2\text{O} \quad (1)$$

Dimana reaksi ini secara elektrokimia akan berpasangan dengan reaksi 2 berikut:



Dan atau dengan reaksi pelarutan kobal sebagai berikut:



Sebagai akibat dari terjadinya pasangan reaksi 1 dan reaksi 2, dan atau reaksi 1 dan reaksi 3 maka terjadinya proses pelarutan nikel dan kobal sebagaimana diperlihatkan oleh persamaan reaksi (2) dan (3) akan berakibat pada peningkatan pH larutan karena pada saat yang sama ion hidrogen yang terdapat dalam larutan akan bereaksi dengan oksigen. Sebagai akibat dari terjadinya pasangan reaksi 1 dan reaksi 2, dan atau reaksi 1 dan reaksi 3 maka terjadinya proses pelarutan nikel dan kobal sebagaimana diperlihatkan oleh persamaan reaksi (2) dan (3) akan berakibat pada peningkatan pH larutan karena pada saat yang sama ion hidrogen yang terdapat dalam larutan akan bereaksi dengan oksigen.

G. Kinetika Reaksi Pelarutan Nikel

Dengan anggapan bahwa kalsin nikel laterit mempunyai struktur berbentuk bola dan

homogen, maka pada penelitian ini digunakan *shrinking core model* yang dikembangkan oleh Levenspiel^[17], dan untuk studi kinetika ini, ada 2 model kinetika yang dipilih untuk menjelaskan kinetika pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit, yaitu model yang dikendalikan oleh reaksi kimia (*chemical reaction control model*) dan model yang dikendalikan oleh proses difusi (*diffusion control model*). Persamaan kinetika reaksi yang dikendalikan oleh proses kimia, dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut:

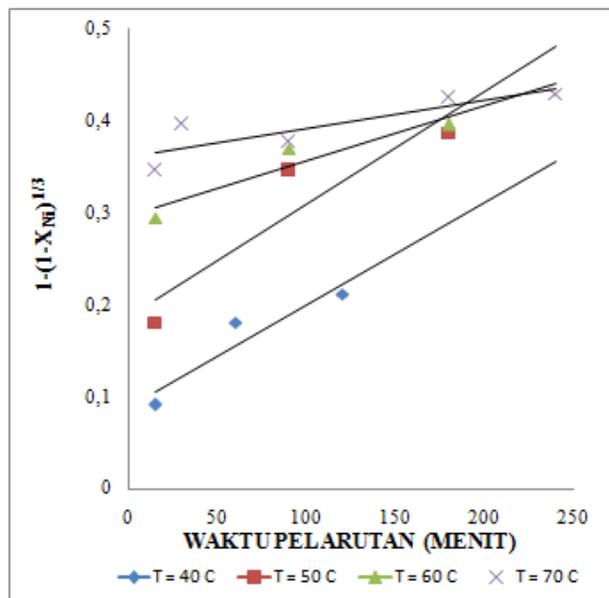
$$1 - (1 - X_{\text{Ni}})^{1/3} = kt \quad (4)$$

Dan persamaan kinetika reaksi yang dikendalikan oleh proses difusi dinyatakan oleh persamaan 5 berikut:

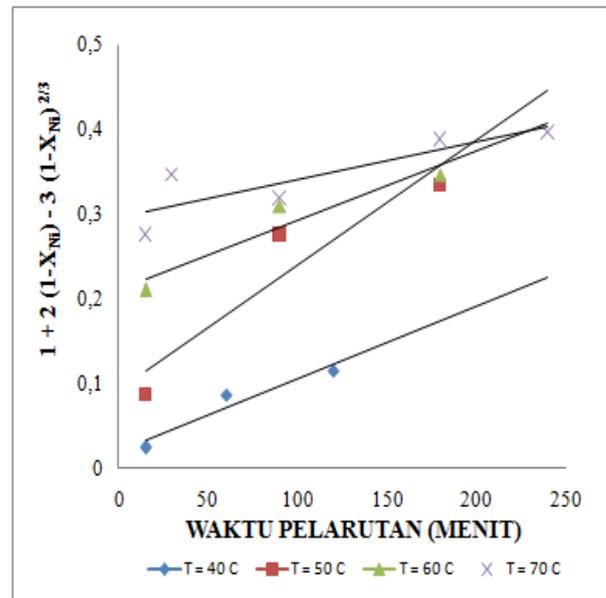
$$1 + 2(1 - X_{\text{Ni}}) - 3(1 - X_{\text{Ni}})^{2/3} = kt \quad (5)$$

Dimana X_{Ni} adalah fraksi nikel yang dilarutkan dari kalsin nikel laterit ke dalam larutan asam sulfat, k adalah konstanta laju reaksi dan t adalah waktu pelarutan.

Pada penelitian ini, untuk memilih model yang tepat untuk proses pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit, fraksi nikel yang dapat dilarutkan ke dalam larutan asam sulfat disubstitusikan ke dalam persamaan 4 dan 5 dan hasilnya diperlihatkan oleh Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Penggambaran $1 - (1 - X_{\text{Ni}})^{1/3}$ terhadap temperatur



Gambar 9. Penggambaran $1 + 2(1 - X_{\text{Ni}}) - 3(1 - X_{\text{Ni}})^{2/3}$ terhadap temperatur

Tabel 2. Analisa regresi linier untuk persamaan 4 dan 5 pada berbagai temperatur pelarutan

Temperatur °C	Linearitas persamaan 4 untuk chemical reaction control model	Linearitas persamaan 5 untuk diffusion control model
40	0,879	0,9189
50	0,859	0,8817
60	0,8994	0,9074
70	0,7323	0,7384

Kemudian analisa linier regresi digunakan pada persamaan 4 dan 5 dan hasilnya diperlihatkan oleh Tabel 2 yang memperlihatkan perbandingan linearitas persamaan 4 dan persamaan 5. Dari hasil analisa regresi linier terhadap persamaan 4 dan persamaan 5 pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa penggambaran persamaan 5 yang menggambarkan $(1 + 2(1-X) - 3(1-X)^{2/3})$ terhadap waktu reaksi memperlihatkan hasil yang lebih linier bila dibandingkan dengan penggambaran persamaan 4 yang menggambarkan $(1 - (1-X)^{1/3})$ terhadap waktu pelarutan. Hasil analisis ini membawa pada kesimpulan bahwa proses pelarutan yang dikendalikan oleh proses difusi (persamaan 5) lebih cocok dari pada proses pelarutan yang dikendalikan oleh reaksi kimia (persamaan 4). Hasil analisis struktur mikro pada Gambar 2 memperkuat kesimpulan proses pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit dikendalikan oleh proses difusi, dimana hasil pengamatan mikrostruktur kalsin dengan SEM pada Gambar 2 memperlihatkan unsur nikel dan unsur besi membentuk senyawa kompleks dan dikelilingi oleh senyawa-senyawa oksida dari silikon, magnesium dan aluminium. Keberadaan/posisi nikel seperti ini menyebabkan ion H^+ harus berdifusi dari fasa larutan melewati senyawa-senyawa lain sebelum bereaksi dengan logam nikel pada fasa padatan, demikian juga produk reaksi pelarutan Ni^{2+} harus berdifusi dari fasa padatan melewati senyawa-senyawa lain sebelum larut ke dalam fasa larutan.

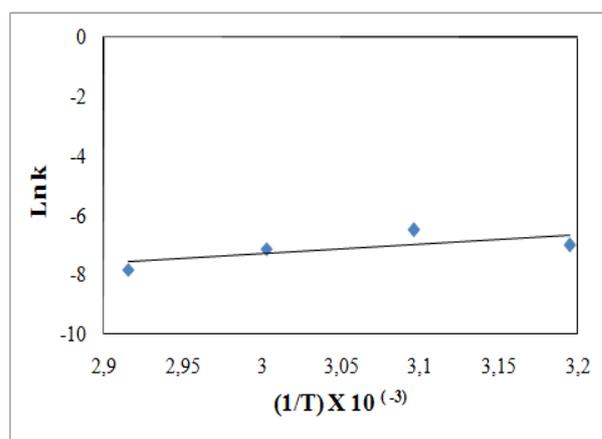
H. Energi Aktivasi Proses Pelarutan Nikel

Pada penelitian ini, energi aktivasi proses pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit, diturunkan dari persamaan Arrhenius, yang menggambarkan hubungan antara konstanta laju reaksi pada persamaan 4 dengan temperatur reaksi, sebagaimana dinyatakan oleh persamaan 6 berikut:

$$k = A \exp(-E_A/RT) \quad (6)$$

dimana k adalah konstanta laju reaksi, A tetapan Arrhenius ($menit^{-1}$) dan R adalah konstanta gas ideal 8,314 Joule/Kelvin-mole, T temperatur dalam kelvin dan E_A adalah energi aktivasi (joule/mole). Kemudian dengan

menggambarkan $(1/T)$ terhadap logaritmik dari konstanta laju reaksi ($\ln k$), sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 10, maka diperoleh energi aktivasi sebesar 26,73 KJ/mol. Hasil perhitungan energi aktivasi ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Wyadysyawa Mulak dan kawan-kawan^[18] yang telah mempelajari kinetika pelarutan nikel dari katalis bekas (*spent catalyst* yang mempunyai matrik alumina), ke dalam larutan asam sulfat, dimana dari hasil penelitiannya disimpulkan bahwa proses pelarutan nikel dari katalis bekas bermatrik alumina dikendalikan oleh proses difusi dengan energi aktivasi 16,6 KJ/mol.



Gambar 10. Penggambaran $\ln k$ terhadap $(1/T)$

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan untuk mempelajari kinetika reaksi pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit, ke dalam larutan asam sulfat 0,1 mol/liter. Dari hasil percobaan diperoleh kesimpulan bahwa proses pelarutan nikel berlangsung secara elektrokimia, melalui reaksi anodik dan katodik pada permukaan logam nikel, dimana logam nikel larut ke dalam larutan asam sulfat untuk membentuk ion nikel sambil melepaskan elektron, dan elektron yang terbentuk pada saat proses pelarutan nikel bereaksi dengan ion hidrogen sehingga pH larutan meningkat. Hasil percobaan juga memperlihatkan bahwa proses pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit kedalam larutan asam sulfat makin meningkat jika laju aerasi dinaikkan dari 0 liter/menit menjadi 1 liter/menit, temperatur pelarutan dinaikkan dari

40 °C menjadi 70 °C dan waktu reaksi diperpanjang dari 15 menit sampai 180 menit, dimana kondisi optimal untuk proses pelarutan nikel dari kalsin yaitu pada temperatur 70 °C untuk selang waktu reaksi 180 menit. Sedangkan dari hasil analisis kinetika reaksi, diketahui bahwa proses pelarutan nikel dari kalsin nikel laterit ke dalam larutan asam sulfat dikendalikan oleh proses difusi dengan nilai energi aktivasi 26,73 KJ/mol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI yang telah memfasilitasi pelaksanaan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Oxley Anne & Barcza Nic, "Hydro-pyro integration in the processing of nickel laterite," *International Journal of Minerals Engineering.*, 54, hal. 2-13, 2013.
- [2] Shailesh, "a century of discoveries, inventors, and new Nickel alloys," *Journal of Metal.*, September, hal. 18-20, 2006.
- [3] Lewis E Shoemaker and Gaylord D. Smith, "a century of Monel Metal: 1906-2006," *Journal of Metal.*, September, hal. 22-26, 2006.
- [4] www.kemenperin.go.id, diunduh 15 juni 2015.
- [5] Rhamdhani, M.A., Hayes, P.C., Jak, E, "Nickel laterite Part 1 – microstructure and phase characterizations during reduction roasting and leaching," *Miner. Process. Extr. Metall. Rev.* 3., Vol. (118), hal. 129–145, 2009.
- [6] Anne & Barcza Nic, "Hydro-pyro integration in the processing of nickel laterite," *International Journal of Minerals Engineering.*, 54, hal. 2-13, 2013.
- [7] Dalvi, A.D., Bacon, W.G., Osborne, R.C, "The past and future of nickel laterites," *In: PDAC 2004 International Convention.*, March 7–10, hal. 1–27, 2004.
- [8] Departemen Pertambangan dan Energi, "Potensi dan Prospek Investasi di Sektor Pertambangan dan Energi 1998-1999," 1998.
- [9] Peta Ekonomi Mineral Dit. Sumber daya Mineral Republik Indonesia, 1997.
- [10] G. Senanayake, J. Childs, B.D. Akerstrom, D. Pugaev, "Reductive acid leaching of laterite and metal oxides — A review with new data for Fe(Ni,Co)OOH and a limonitic ore," *Hydrometallurgy.*, Vol. 110, hal. 13–32, 2011.
- [11] R.G. McDonald , B.I. Whittington, "Atmospheric acid leaching of nickel laterites review, Part I. Sulphuric acid technologies," *Hydrometallurgy.*, Vol. 91, hal. 35–55, 2008.
- [12] R.G. McDonald , B.I. Whittington, "Atmospheric acid leaching of nickel laterites review. Part II. Chloride and biotechnologies," *Hydrometallurgy.*, Vol. 91, hal. 56–69, 2008.
- [13] R.A. Bergman, "Nickel production from low iron laterite ores: Process description," *CIM. Bulletin.*, Vol. 96. no. 1072, hal. 127-138, 2003.
- [14] C.S Simons, "The production of nickel: Extractive Metallurgy – Past, present and future, Extractive Metallurgy of nickel and cobalt," *Prosiding of a symposium, The Metallurgical society, CP Tyrorer and C.A landolt ed, TMS Annual meeting.*, Phoenic Arizona, hal. 91-134, 1988.
- [15] C.M Diaz, C.A Landolt, A Vahed, A.E.M Warner and J.C Taylor, " Extractive metallurgy of Nickel and Cobalt," *Proceeding of symposium, C.P. Tyroler and C.A Landolt Ed, The Metallurgical society.*, May, hal. 211- 239, 1988.
- [16] Rudi Subagja, "Potensial – pH diagram sistem Cu-Fe-H₂O berbasis komputer," *Prosiding Seminar Material Metalurgi, Pusat Penelitian Metalurgi LIPI.*, Desember, hal. 311- 319, 2013.
- [17] Octave Levenspiel , "Chemical reaction engineering," *2nd ed, Wiley International ed,* New York, 1972.
- [18] Wyadisyawa Mulak, Beata Miazga, Anna Szymczycha, "Kinetics of nickel leaching from spent catalyst in sulphuric acid solution," *Int. J. Miner. Process.*, Vol 77, Hal. 231– 235, 2005.

