

STUDI KINETIKA PELINDIAN BIJIH MANGAN KADAR RENDAH DAERAH WAY KANAN LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN MOLASES DALAM SUASANA ASAM

Slamet Sumardi^{1,*}, Fika Rofiek Mufakhir¹, Agus Budi Prasetyo²

¹UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung LIPI,
Jl. Ir. Sutami KM. 15 Tanjung Bintang Lampung Selatan

²Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan
E-mail : *slam009@lipi.go.id

Masuk tanggal : 18-03-2014, revisi tanggal : 04-07-2014, diterima untuk diterbitkan tanggal : 18-07-2014

Intisari

STUDI KINETIKA PELINDIAN BIJIH MANGAN KADAR RENDAH DAERAH WAY KANAN LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN MOLASES DALAM SUASANA ASAM. Telah dilakukan percobaan pelindian bijih mangan kadar rendah daerah Way Kanan Lampung dengan menggunakan molases hasil limbah pabrik tebu dalam suasana asam sulfat. Percobaan ini dilakukan untuk mempelajari pengendali laju proses dalam pelindian bijih mangan, nilai-nilai konstanta laju reaksi dan/atau konstanta difusi serta energi aktivasinya. Pelindian dilakukan dengan kondisi percobaan yang tetap untuk persen solid padatan 10%, kecepatan pengadukan 300 rpm, dosis pemberian molases sebanyak 80 g/L sedangkan suhu dan konsentrasi yang divariasikan. Studi kinetika diasumsikan dengan pendekatan *Shrinking Core Model* (SCM). Pelindian bijih mangan kadar rendah daerah Way Kanan Lampung dapat dilakukan dengan menggunakan molases sebagai pereduksi dan dalam medium asam sulfat. Hasil penelitian terhadap kinetika pelindian mangan dengan menggunakan molases sebagai agen pereduksi menunjukkan bahwa tahap pengendali laju pelindian adalah difusi produk reaksi melalui inti yang tidak bereaksi dengan energi aktivasi sebesar 3,73 kkal/mol.

Kata kunci : Bijih mangan, Pelindian, Molases, SCM, Kinetika, Energi aktivasi

Abstract

KINETICS STUDY OF MANGANESE LEACHING OF LOW GRADE MANGANESE ORE FROM WAY KANAN REGENCY LAMPUNG PROVINCE USING MOLASSES IN SULFURIC ACID. The experiments of manganese leaching of low grade manganese ore from Way Kanan regency Lampung province using sugarcane molasses as reductant agent in sulfuric acid were investigated. This experiment was conducted to study the processes controlling the leaching rate of manganese ore and the values of the reaction rate constants and / or the diffusion constant and activation energy. Leaching is done with the experimental conditions remain Percent solids 10 %, stirring speed 300 rpm, temperature and concentration are varied, molasses doses as much as 80 g / L. Kinetics behaviour of mangan leaching was predicted by using Shrinking Core model (SCM). The results of leaching of low grade manganese ore from Way Kanan regency Lampung province can be done by using molasses as a reducing agent in sulfuric acid medium. Kinetics study of manganese leaching using molasses as a reducing agent shows that the rate of manganese leaching is controlled by the diffusion of reaction product through unreacted core with activation energy of 3.73 kcal/mole.

Keywords : Manganese ores, Leaching, Molasses, SCM, Kinetics, Activation energy

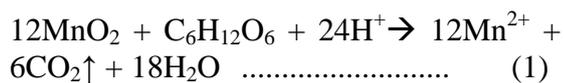
PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir penyelamatan lingkungan menjadi isu yang cukup penting dari setiap proses industri. Proses pengolahan bijih mangan

secara hidrometalurgi yaitu dengan metode pelindian menggunakan agen pereduksi kimia umumnya menimbulkan limbah seperti SO₂, H₂O₂, FeSO₄^[1-3]. Seiring berjalannya waktu ditemukan agen pereduksi untuk mengolah bijih mangan

kadar rendah dengan menggunakan asam-asam organik yang sifatnya ramah lingkungan, seperti asam oksalat^[4]. Namun kelemahan dari asam yang bersifat organik ini adalah biayanya mahal sehingga tidak ekonomis.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menemukan dan mengembangkan proses hidrometalurgi dalam mengekstrak mangan dari batuan mangan berkadar rendah dengan melibatkan agen pereduksi dari bahan limbah. Pereduksi yang telah dikembangkan adalah glukosa dan sukrosa^[5-6], tongkol jagung^[7], jerami^[8], dan molases^[9-10]. Molases merupakan limbah pengolahan tanaman tebu menjadi gula. Keberadaan molases ini di propinsi Lampung cukup melimpah karena di propinsi ini terdapat dua perusahaan skala nasional yang bergerak dibidang pengolahan tebu menjadi gula. Reaksi yang terjadi pada pelindian bijih mangan kadar rendah dengan menggunakan molases sebagai agen pereduksi dalam suasana asam adalah sebagai berikut^[9]:



Pada makalah ini akan dibahas studi kinetika pelindian bijih mangan kadar rendah tambang Way Kanan Lampung dengan menggunakan molases sebagai agen pereduksi dalam suasana asam sulfat. Tujuan studi kinetika ini adalah untuk mengetahui pengendali laju proses dalam pelindian bijih mangan, nilai-nilai konstanta laju reaksi dan/atau konstanta difusi serta energi aktivasinya. Pengendali laju suatu proses sangat penting untuk mengetahui langkah-langkah apa saja yang dapat diperbaiki (seperti peningkatan kecepatan pengadukan, peningkatan suhu, peningkatan konsentrasi reagen pelindi dan penurunan ukuran bijih) dalam proses pelindian sehingga diperoleh laju proses yang lebih cepat dan menghasilkan persen ekstraksi logam yang tinggi. Kinetika pelindian mangan dengan menggunakan molases sebagai reduktor dalam larutan

asam sulfat dalam penelitian ini ditentukan melalui pendekatan model *shrinking core model* (SCM)^[10]. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam studi kinetika ini adalah sebagai berikut^[11]:

- Partikel bijih yang digunakan diasumsikan berbentuk bola.
- Selama proses pelindian berlangsung, partikel bijih menyusut secara seragam dan tetap berbentuk bulat.
- Ketebalan lapisan silika yang mengelilingi inti yang belum bereaksi diasumsikan konstan selama proses pelindian berlangsung.
- Suhu selama proses pelindian berlangsung diasumsikan tetap.
- Konsentrasi asam sulfat yang ada di dalam ruah larutan dianggap tidak berubah.

PROSEDUR PERCOBAAN

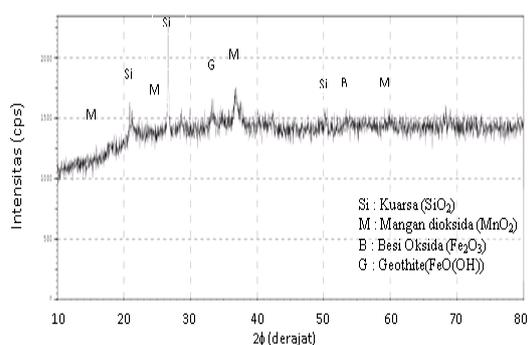
Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bijih mangan kadar rendah yang berasal dari tambang Way Kanan Lampung. Bijih mangan yang diperoleh dari tambang kemudian dilakukan pengurangan ukuran partikel dengan *jaw chruser* dan *hammer mill* hingga diperoleh ukuran lolos mesh 100. Sampel yang telah halus dilakukan karakterisasi dengan XRF untuk mengetahui kandungan unsur dalam bijih mangan, dan XRD untuk mengetahui jenis mineral yang terkandung di dalam bijih. Hasil analisa XRF bijih mangan tambang Way Kanan propinsi Lampung ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisa XRF bijih mangan Way Kanan, Lampung

Senyawa	Kadar (%)
MnO ₂	23,28
SiO ₂	63,28
Al ₂ O ₃	4,78
Fe ₂ O ₃	2,03
TiO ₂	0,335
K ₂ O	0,169

Untuk mengetahui kandungan mineral yang ada di dalam bijih mangan dilakukan analisa XRD. Hasil analisa XRD disajikan pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1, mineral yang terdapat pada bijih menunjukkan adanya keberagaman mineral. Mineral yang dominan adalah kuarsa (SiO₂- JCPDS no 1045) diikuti dengan mineral mangan dioksida (MnO₂-JCPDS no 44-0141) dan mineral besi seperti besi oksida (Fe₂O₃- JCPDS no 33-0664) dan *geothite* (FeO(OH)- JCPDS no 81-0462).



Gambar 1. Hasil analisa XRD bijih mangan Way Kanan, Lampung

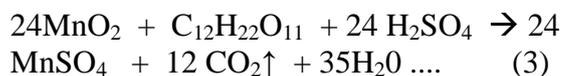
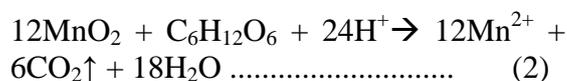
PROSEDUR PERCOBAAN

Sampel bijih mangan yang telah ditimbang berat awalnya dilindi dengan menggunakan larutan asam sulfat yang konsentrasi dan suhunya divariasikan. Agen pereduksi berupa molases kemudian ditambahkan ke dalam larutan pelindi. Setelah suhu sesuai dengan variabel maka dalam selang waktu 5, 10, 15, 30, 60, 120, 240 dan 360 menit sejumlah larutan diambil dengan menggunakan pipet volum 5 ml yang telah diberi kertas saring pada ujungnya. Larutan yang telah diambil kemudian diencerkan dan dilakukan analisa dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi mangan dan besi yang ikut terlarut. Pelindian ini dihentikan setelah 6 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi Kimia Pelindian Bijih Mangan

Mekanisme reaksi reduksi dan pelarutan bijih mangan di dalam medium asam sulfat dengan molases sebagai agen pereduksi dituliskan sebagai berikut^[6].

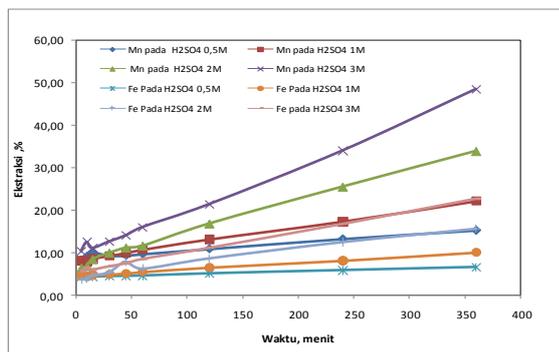


Reaksi tersebut diasumsikan kandungan yang ada di dalam molases adalah glukosa dan sukrosa. Sehingga yang berperan mereduksi Mn IV menjadi Mn II adalah glukosa dan fruktosa yang kemudian berdifusi membentuk garam mangan sulfat. Reaksi ini ditandai dengan keluarnya gas CO₂ sehingga untuk penerapan dalam industri perlu dilengkapi dengan penangkap gas sehingga tidak membahayakan lingkungan.

Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Terhadap Persen Ekstraksi Mangan Dan Besi

Variasi konsentrasi asam sulfat yang digunakan pada percobaan pelindian reduktif bijih mangan adalah: 0,5, 1, 2 dan 3 M. Kondisi tetap percobaan diatur sebagai berikut: suhu pelindian 30°C, persen padatan 10% dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Gambar 2 menyajikan grafik persen ekstraksi mangan dengan variabel konsentrasi asam sulfat sebagai fungsi waktu. Seperti terlihat pada Gambar 2, konsentrasi asam sulfat berpengaruh terhadap persen ekstraksi bijih mangan. Pada konsentrasi asam sulfat 0,5 M mangan yang dapat larut dalam larutan pelindi hanya sebesar 15,21%. Peningkatan konsentrasi asam sulfat dari 0,5 M hingga 3M akan meningkatkan ekstraksi mangan yang cukup signifikan, yaitu menjadi 48,51%. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi asam sulfat yang lebih tinggi akan

meningkatkan difusi antara ion sulfat dengan permukaan bijih mangan sehingga kemungkinan mangan yang terlarut semakin tinggi.



Gambar 2. Persen ekstraksi mangan dan besi pada berbagai konsentrasi H₂SO₄ sebagai fungsi waktu.

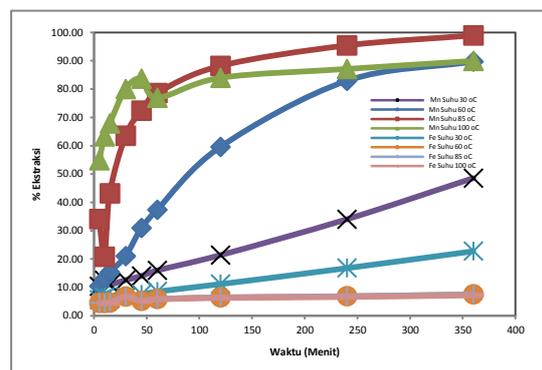
Dalam pelindian ini selain mangan ada logam lain yaitu besi yang ikut terlarut meskipun sebenarnya tidak diinginkan. Banyaknya unsur besi yang terlarut pada berbagai konsentrasi asam sulfat sebagai fungsi waktu disajikan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 besi yang ikut terlarut akan semakin tinggi dengan kenaikan konsentrasi asam sulfat. Pada konsentrasi asam sulfat tertinggi, besi yang ikut terlarut sebesar 22,79%. Besi yang terlarut ini merupakan unsur pengotor yang harus dipisahkan dari larutan pelindian sehingga perlu dilakukan proses purifikasi larutan hasil pelindian dengan cara mengendapkan unsur besi tersebut menjadi hidroksidanya.

Pengaruh Suhu Pelindian Terhadap Persen Ekstraksi Mangan Dan Besi

Percobaan pengaruh suhu pelindian terhadap persen ekstraksi Mn dan Fe pada penelitian ini disajikan pada Gambar 4. Kondisi percobaan yang tetap adalah: konsentrasi H₂SO₄ yang digunakan 3M, persen solid 10%, molases sebanyak 80 gram/L dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Secara umum suhu sangat berpengaruh terhadap laju reaksi. Menurut *Arrhenius* peningkatan suhu akan meningkatkan laju reaksi pelindian

sehingga dalam waktu pelindian yang sama dengan suhu yang lebih tinggi persen ekstraksi logam akan semakin tinggi.



Gambar 3. Persen ekstraksi mangan dan besi pada berbagai temperatur proses sebagai fungsi waktu.

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa pada peningkatan suhu dari 30°C hingga 85°C terdapat peningkatan ekstraksi mangan yang signifikan dari 48,51% menjadi 98,92%. Namun pada saat suhu dinaikkan menjadi 100°C persen ekstraksi mangan sedikit mengalami penurunan menjadi 89,92%. Kondisi ini mungkin disebabkan pada suhu tersebut molases yang digunakan sebagai agen pereduksi mulai terdekomposisi sehingga mengurangi kemampuan mereduksi Mn (IV) menjadi Mn (II).

Studi Kinetika Pelindian Bijih Mangan

Tujuan studi kinetika ini adalah untuk mengetahui pengendali laju proses dalam pelindian bijih mangan, nilai-nilai konstanta laju reaksi dan/atau konstanta difusi serta energi aktivasi.

Studi kinetika yang digunakan menggunakan model SCM. Pengendali laju proses pelindiannya dapat dibedakan menjadi tiga tahap yaitu difusi reaktan melalui film fluida yang terbentuk pada permukaan bijih mangan, reaksi kimia pada antarmuka bijih-larutan dan difusi melalui inti yang tidak bereaksi. Pengendali laju reaksi ditentukan dengan cara memplotkan harga-harga X_B , $(1-3(1-X_B)^{2/3}+2(1-X_B))$ dan $(1-(1-X_B)^{1/3})$ yang

dihitung dari hasil-hasil percobaan terhadap waktu pelindian.

Tahap pengendali laju reaksi pelindian Mn ditentukan dengan cara sebagai berikut^[11]:

- Laju reaksi akan terkendali oleh difusi reaktan melalui film fluida yang terbentuk pada permukaan bijih mangan apabila kurva hasil pengaluran X_B terhadap t linier (diindikasikan oleh nilai kuadrat koefisien korelasi (R^2) yang mendekati 1)

- Reaksi akan terkendali oleh difusi produk reaksi melalui fluida yang berada pada inti yang tidak bereaksi apabila pengaluran $(1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + 2(1 - X_B))$ terhadap t linier

- Reaksi akan terkendali oleh reaksi kimia antar permukaan apabila kurva hasil pengaluran $(1 - (1 - X_B)^{1/3})$ terhadap t linier.

X_B adalah fraksi logam mangan terlarut, sedangkan t adalah waktu pelindian dan R^2 merupakan kuadrat koefisien korelasi. X_B dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

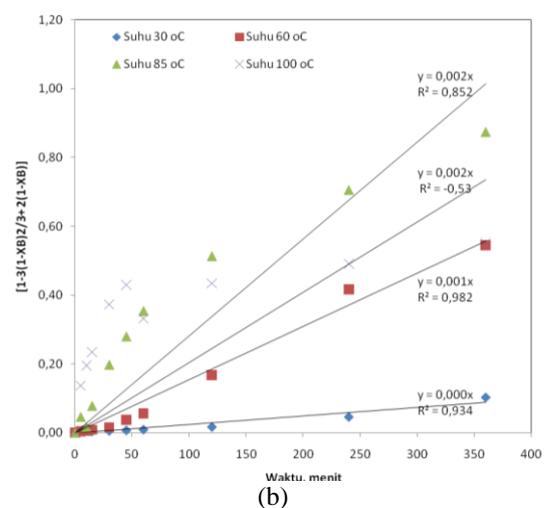
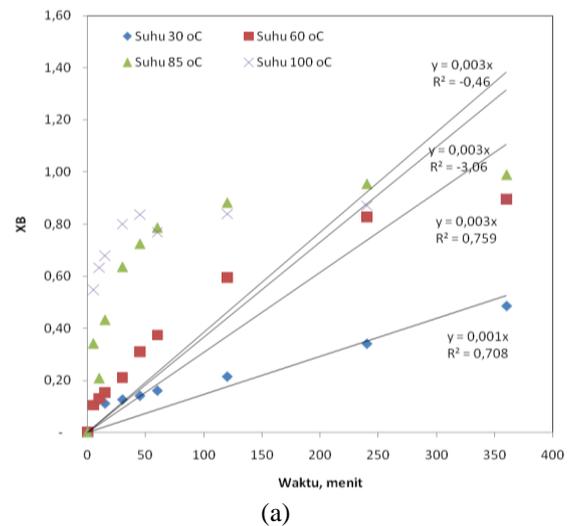
$$X_B = \frac{\text{Jumlah mol Mn terlarut}}{\text{Jumlah mol Mn awal dalam bijih}}$$

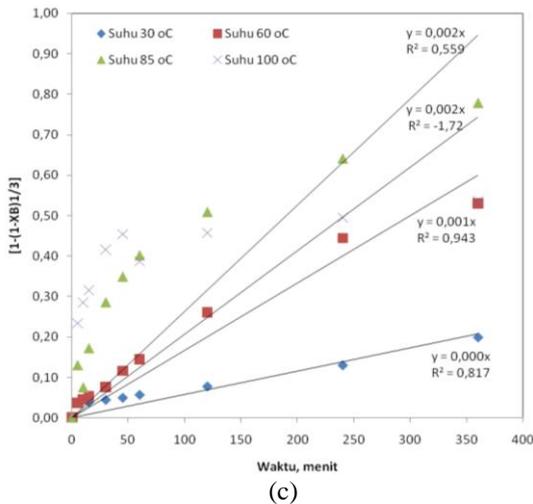
Plotting X_B , $(1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + 2(1 - X_B))$ dan $(1 - (1 - X_B)^{1/3})$ terhadap waktu pelindian disajikan pada Gambar 5. Kemudian dibuat regresi linier hubungan antara X_B , $(1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + 2(1 - X_B))$ dan $(1 - (1 - X_B)^{1/3})$ terhadap t yang kelinearannya dievaluasi dari harga kuadrat koefisien korelasi (R^2) dari setiap garis regresi yang diperoleh.

Pengendali laju pelindian akan memiliki nilai kuadrat koefisien korelasi yang paling mendekati 1. Dari plotting hasil-hasil percobaan terhadap persamaan-persamaan kinetika yang ditinjau sebagaimana telah ditunjukkan pada Gambar 4 terdapat perbedaan nilai kuadrat koefisien korelasi untuk tiap-tiap jenis pengendali reaksi. Hasil-hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa persamaan kinetika yang terkendali oleh difusi produk reaksi melalui fluida yang berada

pada inti yang tidak bereaksi memiliki kecocokan dengan kecenderungan hasil-hasil percobaan dan nilai kuadrat koefisien korelasi yang paling mendekati 1.

Berdasarkan studi kinetika yang telah dipelajari, maka dapat disimpulkan bahwa proses pelindian bijih mangan dengan menggunakan molases sebagai agen pereduksi dalam larutan asam sulfat dikendalikan oleh difusi produk reaksi melalui fluida yang berada pada inti yang tidak bereaksi. Hal ini menunjukkan tahap yang paling lambat adalah difusi produk reaksi melalui fluida yang berada pada inti yang tidak bereaksi.





Gambar 4. (a) Grafik X_B terhadap waktu; (b) Grafik $(1-3(1-X_B)^{2/3} + 2(1-X_B))$ terhadap waktu, dan (c) Grafik $(1-(1-X_B)^{1/3})$ terhadap waktu pada berbagai suhu pada pelindian bijih mangan.

Penentuan Energi Aktivasi Pelindian Bijih Mangan

Penentuan energi aktivasi untuk proses yang terkendali oleh difusi produk reaksi melalui fluida yang berada pada inti yang tidak bereaksi mengikuti persamaan berikut^[10]:

$$\ln D_e = \frac{-Ea}{RT} + \ln D_{0,eff}$$

dimana D_e adalah koefisien difusi efektif (m^2/s) melalui produk yang tidak bereaksi yang dapat ditentukan melalui persamaan berikut^[10]:

$$\tau = \frac{\rho_B R^2}{6bD_e C_{H_2SO_4(ruahlarutan)}}$$

dimana ρ_B adalah densitas molar Mn dalam bijih mangan. Jika $1/\tau$ adalah slope dari kurva $[1-3(1-X_B)^{2/3} + 2(1-X_B)]$ terhadap waktu (t) dan koefisien b adalah 2, maka persamaan tersebut dapat diubah menjadi:

$$D_e = \frac{slope \times \rho_B \times R^2}{12 \times C_{H_2SO_4(ruahlarutan)}}$$

Pada percobaan studi kinetika pelindian mangan menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi 3 M, maka $C_{H_2SO_4(ruahlarutan)} = 3 \text{ mol/liter} = 3.000 \text{ kmol/m}^3$. Untuk menentukan nilai D_e terlebih dahulu dihitung nilai dari ρ_B dengan menggunakan persamaan:

$$\rho_B = \frac{mol \text{ total}}{Volume \text{ total}}$$

Tabel 2. Perhitungan densitas molar dan volume total MnO_2

Komponen	MnO_2
% berat	23,28
Massa MnO_2 (gram)	20,69
Mol MnO_2	0,238
$\rho_{OvM_2} \mu\chi/\mu\alpha\rho\gamma(^{\circ})$	5,24
Volume MnO_2 (cm^3)	3,94

Hasil perhitungan mol total MnO_2 dan volume total MnO_2 yang terkandung dalam 88,89 gram sampel bijih mangan disajikan pada Tabel 2.

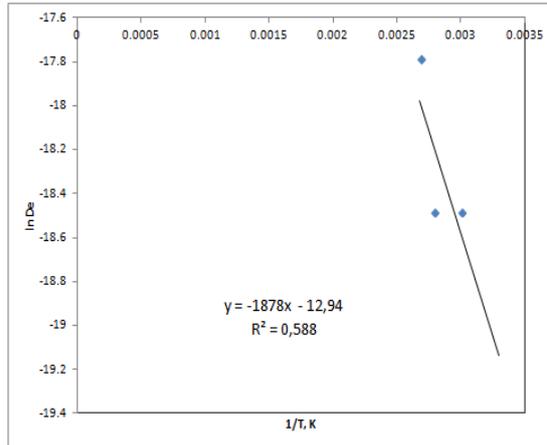
Sehingga,

$$\begin{aligned} \rho_B &= \frac{0,238}{3,94} \text{ mol} / \text{cm}^3 = 0,0604 \text{ mol} / \text{cm}^3 \\ &= 60,400 \text{ mol} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

Distribusi ukuran yang digunakan dalam percobaan adalah -100 mesh, sehingga jari-jari partikel partikel ditentukan sebagai berikut:

$$R = \frac{(150)}{2} \mu\text{m} = 75 \mu\text{m} = 75 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Kemudian dibuat grafik hubungan antara $\ln D_e$ dan $1/T$. Grafik Hubungan $\ln D_e$ terhadap $1/T$ disajikan pada Gambar 5.



Gambar 6. Grafik Ln De terhadap 1/T pada berbagai suhu pelindian

Dari grafik 1/T terhadap ln De akan diperoleh gradien garis lurus (m). Sehingga energi aktivasi dirumuskan sebagai berikut:

$$m = \frac{-Ea}{R}$$

sehingga, $Ea = -m \times R$ kal/mol

dimana R adalah konstanta gas ideal = 1,987 kal/mol.

Dengan demikian energi aktivasi pelindian bijih mangan adalah :

$$Ea = -(-1878 \times 1,987) = 3730 \text{ kal / mol} \\ = 3,73 \text{ kkal / mol}$$

Berdasarkan perhitungan energi aktivasi ditarik kesimpulan bahwa laju proses pada pelindian bijih mangan dengan molases sebagai reduktor dalam suasana asam sulfat dikendalikan oleh difusi produk reaksi melalui fluida yang berada pada inti yang tidak bereaksi dengan energi aktivasi sebesar 3,73 kkal/mol.

KESIMPULAN

Pelindian bijih mangan kadar rendah daerah tambang Way Kanan Lampung dapat dilakukan dengan menggunakan

molases sebagai pereduksi dalam asam sulfat. Ekstraksi mangan tertinggi yaitu 98,92% diperoleh pada kondisi suhu 85°C, konsentrasi asam sulfat 3M, persen solid 10%, dosis molases 80gram/liter dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Studi kinetika dengan model SCM menunjukkan bahwa kinetika pelindian dikendalikan oleh difusi produk reaksi melalui fluida yang berada pada inti yang tidak bereaksi dengan energi aktivasi sebesar 3,73 kkal/mol

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterimakasih kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia atas dukungan biaya penelitian pengolahan bijih mangan kadar rendah melalui program Kompetitif LIPI sub bidang material maju dan nano teknologi, serta Ibu Nurbaiti dan Isti Nurjanah atas bantuannya selama di laboratorium UPT. BPML LIPI.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Petric, L.M. 1995.,Molecular Interpretation for SO₂ Dissolution Kinetics of Pyrolusite, Manganite and Hematite". *Applied Geochemistry* 10(3), pp. 253-267.
- [2] Nayl A. A., Ismail I. M., Aly H. F. 2011.,Recovery of Pure MnSO₄.H₂O by Reductive Leaching of Manganese from Pyrolusite Ore by Sulfuric Acid and Hydrogen Peroxide". *International Journal of Mineral Processing*, vol. 100, pp. 116-123.
- [3] Das S.C., Sahoo P.K., Rao P.K. 1982 .,Extraction Of Manganese from Low Grade Manganese Ores by Ferrous Sulfate Leaching". *Hydrometallurgy* 8 (I), pp. 35-47.
- [4] Sahoo R,N., Das S.C. 2000. .,Leaching of Manganese from Low Grade Manganese Ore Using Oxalic Acid as Reductant in Sulfuric Acid Solution".

- Hydrometallurgy* 62(3), pp 157-163.
- [5] Pagnanelli F., Furlani G., Valentini P., Vegliò F., Toro L. 2004. „Leaching of Low-Grade Manganese Ores by Using Nitric Acid and Glucose: Optimization of The Operating Conditions”. *Hydrometallurgy*, vol. 75., pp. 157-167.
- [6] Trifoni M., Toro L., Veglio F. 2000. „Reductive Leaching of Manganiferous Ores by Glucose and H₂SO₄: Effect of Alcohols”. *Hydrometallurgy* 59, pp. 1-14.
- [7] Tian X, Wen X, Yang C, Liang Y, Pi Z, Wang, Y. 2010. „Reductive Leaching of Manganese from Low-Grade Manganese Dioxide Ores Using Corncob as Reductant in Sulfuric Acid Solution”. *Hydrometallurgy*, vol. 100, pp. 157-160.
- [8] Zhao Y, Zhu G, Cheng Z. 2010. „Thermal Analysis and Kinetic Modeling of Manganese Oxide Ore Reduction Using Biomass Straw as Reductant”. *Hydrometallurgy*, vol. 105, pp. 96-102.
- [9] Su H, Wen Y, Wang F, Sun Y, Tong Z. 2008. „Reductive Leaching of Manganese from Low-Grade Manganese Ore in H₂SO₄ Using Cane Molasses as Reductant”. *Hydrometallurgy*, vol. 93, pp. 136–139.
- [10] Levenspiel, O. 1999. „Chemical Reaction Engineering.” *3th edition*, John Willey and Sons, NewYork.
- [11] Safari V., Arzpeyma G., Rashchi F., Moustoufi. 2009. „A Shrinking Particle-Shrinking Core Model For Leaching of a Zinc Ore Containing Silica”. *International Journal of Mineral Processing*, pp 1-17.