

EKSTRAKSI KALSIMUM DARI BIJIH DOLOMIT TERKALSINASI MENGGUNAKAN PELARUTAN ASAM KLORIDA

Extraction of Calcium from Calcined Dolomite Ore Using Hydrochloric Acid Leaching

AHMAD ROYANI dan RUDI SUBAGJA

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI
Gedung 470 Kawasan Puspiptek - Tangerang Selatan 15314, Indonesia
e-mail : ahmad.royani@lipi.go.id

ABSTRAK

Penggunaan kalsium sangat luas dalam berbagai aplikasi sektor industri. Dolomit merupakan salah satu sumber penghasil kalsium selain batu kapur dan air laut. Ekstraksi kalsium dari mineral dolomit dapat dilakukan melalui proses pelarutan. Pada penelitian ini, dilakukan proses pelarutan dolomit menggunakan larutan asam klorida untuk mengekstrak kalsium. Pelarutan dilakukan dengan memvariasikan kecepatan pengadukan, konsentrasi asam, suhu proses dan rasio padatan terhadap larutan untuk setiap waktu proses 0,5; 1; 2; 3; 4 dan 5 jam. Setelah proses pelarutan pada waktu tertentu sejumlah larutan diambil dengan menggunakan pipet sebanyak 5 mL kemudian disaring dan dianalisis menggunakan ICP-OES. Hasil percobaan menunjukkan bahwa efisiensi kalsium (CaCl_2) terekstrak meningkat dengan penambahan konsentrasi asam, rasio cairan/padatan dan peningkatan suhu. Hasil optimum dicapai pada suhu 75 °C, konsentrasi larutan 2 M HCl dan kecepatan pengadukan 400 rpm dengan efisiensi kalsium terekstrak sebesar 97,57 %.

Kata kunci: ekstraksi, asam klorida, dolomit, pelarutan.

ABSTRACT

Calcium is widely used in a variety of industrial sector applications. Dolomite is one source of calcium besides limestone and seawater. The extraction of calcium from dolomite minerals can be done by the leaching process. In this work, the leaching of dolomite to extract calcium by hydrochloric acid was investigated. The effects of the stirring speed, acid concentration, reaction temperature and liquid-solid ratio for each reaction time of 0.5; 1; 2; 3; 4 and 5 hours on the leaching have been evaluated. From the leaching solution, amount of the sample (5 mL) was taken out of the reactor and then filtered and analyzed by ICP OES. The experimental results show that the efficiency of calcium (CaCl_2) extracted increases with the addition of acid concentration, fluid/solid ratio, and increasing temperature. The optimum results were achieved at 75 °C, the acid concentration of 2 M HCl and stirring speed of 400 rpm with the efficiency of calcium extracted of 97.57 %.

Keywords: extraction, hydrochloric acid, dolomite, leaching.

PENDAHULUAN

Kalsium banyak digunakan dalam berbagai keperluan industri. Kalsium digunakan

sebagai reduktan, deoksidisasi, desulfurisasi pada industri manufaktur. Kalsium juga digunakan dalam pembuatan semen dan mortar yang digunakan dalam konstruksi.

Kalsium tidak pernah ditemukan di alam tanpa terkombinasi dengan unsur lainnya. Kalsium banyak terdapat sebagai batu kapur, gipsum, fluorit dan dolomit.

Mineral dolomit merupakan salah satu sumber penghasil logam kalsium selain batu kapur (CaCO_3) dan air laut. Dolomit mempunyai rumus kimia $\text{Ca.Mg}(\text{CO}_3)_2$, pada umumnya menunjukkan kenampakan warna putih namun demikian ada juga yang berwarna keabu-abuan, kebiruan dan warna kuning muda. Memiliki berat jenis antara 2,8 - 2,9 g/ mL dan bersifat lunak (derajat kekerasan hanya 3,5 – 4 skala mohr) dan mudah menyerap air (Mustafa, Al-Dahan dan Khachik, 2014; Xie *dkk.*, 2016). Potensi dolomit di Indonesia cukup besar mulai dari propinsi Aceh hingga Papua dengan spesifikasi yang berbeda-beda. Penyebaran dolomit yang cukup besar terdapat di Propinsi Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur Madura dan Papua (Erskini, 1996). Pemanfaatan mineral dolomit yang terdapat di Indonesia hanya sebatas untuk keperluan pembuatan pupuk dolomit dan bata dolomit untuk keperluan bahan bangunan.

Banyak penelitian mengenai pengolahan jenis mineral dolomit dengan berbagai metode yang telah dilakukan. Proses pengolahan dolomit dalam industri pada umumnya melalui jalur proses dekomposisi termal yang menghasilkan kalsin (CaO). Sedangkan proses pengolahan dolomit melalui pelarutan masih jarang dilakukan (Bayrak, Laçin dan Saraç, 2010; Raza, Zafar dan Najam-ul-Haq, 2013, 2014; Raza *dkk.*, 2015; Royani, 2016). Raza *dkk.* (2015) telah melakukan studi tentang pelarutan bijih magnesit alam menggunakan asam suksinat sebagai agen pelarut. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa ekstraksi magnesium bergantung pada konsentrasi asam, temperatur reaksi, ukuran partikel bijih, kecepatan pengadukan dan rasio padatan. Pendekatan grafis dan statistik dalam analisis data kinetika menyatakan bahwa laju ekstraksi magnesium-kalsium dari magnesit alami dikendalikan oleh tahapan reaksi kimia. Energi aktivasi yang didapat dalam percobaan pelarutan magnesit ini sebesar $45,197 \text{ kJ mol}^{-1}$ pada rentang suhu reaksi $40 \text{ }^\circ\text{C}$ sampai $70 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pelarutan bijih dolomit Nigeria telah berhasil dilakukan dengan menggunakan pelarutan asam klorida pada suhu $27 \text{ }^\circ\text{C}$ hingga $80 \text{ }^\circ\text{C}$ (Baba *dkk.*, 2014). Kondisi optimum dicapai pada suhu $80 \text{ }^\circ\text{C}$, konsentrasi asam 2 mol/L selama 120 menit pada ukuran partikel $0,01 \text{ mm}$ dengan nilai efisiensi pelarutan sebesar $99,3 \%$. Penentuan kinetika pelarutan dolomit didasarkan pada pendekatan Model *Shrinking Core Model* dan *Simple Linear Regression Model* menyatakan bahwa laju pelarutan dikendalikan oleh proses difusi.

Larutan asam juga telah digunakan dalam penelitian pemurnian bijih talk. Penelitiannya difokuskan untuk mengetahui pengaruh dari konsentrasi asam, suhu reaksi dan ukuran partikel. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa kinetika kelarutan bijih talk dalam asam klorida (HCl) meningkat dengan meningkatnya konsentrasi asam, suhu dan penurunan diameter partikel bijih. Dalam eksperimennya pada $75 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan konsentrasi 2 mol/L HCl selama 120 menit, keterlarutan bijih mencapai $62,1\%$. Energi aktivasi yang didapatkan pada percobaan ini sebesar $31,2 \text{ kJ mol}^{-1}$ dan reaksi dikendalikan oleh laju difusi (Orosco *dkk.*, 2011).

Pelarutan asam klorida juga telah digunakan untuk memisahkan kalsium dan magnesium dalam pembuatan nanopartikel MgO dari mineral dolomit melalui tahapan kalsinasi, pelarutan dan presipitasi (Mantilaka *dkk.*, 2014). Asam klorida juga digunakan dalam penelitian pelarutan bijih dolomit-talk untuk mendapatkan larutan $\text{MgCl}_2\text{-CaCl}_2$ dalam proses pemurnian serbuk talk. Hasil percobaan menunjukkan bahwa proses pelarutan dengan asam klorida merupakan salah satu teknik pendekatan yang layak untuk memanfaatkan secara efisien sumber bijih karbonat kadar rendah. Dalam kesimpulannya menyatakan bahwa proses pelarutannya dapat mengurangi proses kalsinasi dolomit sehingga dapat menghemat banyak energi. Keunggulan proses pelarutan lainnya berupa proses produksi yang bersih berupa jalur proses yang ramah lingkungan untuk pemisahan MgO dan CaCO_3 dari bijih dolomit-talk (Li, Li dan Ma, 2013).

Di Indonesia, proses pelarutan dolomit telah dilakukan dengan menggunakan asam klorida (Royani, 2016). Hasil penelitiannya

menunjukkan bahwa konsentrasi larutan asam klorida dan temperatur sangat berpengaruh terhadap magnesium dan kalsium yang terekstrak. Efisiensi proses pelarutan dolomit masih sangat rendah yakni 60,31 % pada temperatur 30 °C dengan konsentrasi 4 N HCl sehingga masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan parameter optimum.

Dari serangkaian beberapa penelitian dan potensi dolomit di Indonesia, sangat dimungkinkan untuk memproses bijih dolomit lokal melalui jalur pelarutan. Proses pelarutan memegang peranan penting dalam pengolahan dolomit supaya dapat digunakan dalam berbagai macam aplikasi. Banyak faktor yang mempengaruhi proses pelarutan di antaranya konsentrasi, suhu, ukuran partikel dan rasio cairan terhadap padatan. Pada penelitian ini, dilakukan proses pengolahan dolomit menggunakan larutan asam klorida yang terlebih dahulu dikalsinasi untuk mengekstrak logam kalsium. Tujuan penelitian untuk mendapatkan kondisi

optimum pada proses pelarutan dolomit dalam mengekstrak kalsium. Parameter yang diamati meliputi pengaruh kecepatan pengadukan, konsentrasi asam, suhu proses dan persen padatan terhadap kalsium yang terekstrak. Dengan mengetahui pengaruh dari parameter-parameter tersebut diharapkan dapat memberi gambaran dalam upaya pemanfaatan sumber daya mineral lokal khususnya mineral dolomit supaya dapat dimanfaatkan dalam berbagai macam industri.

METODE

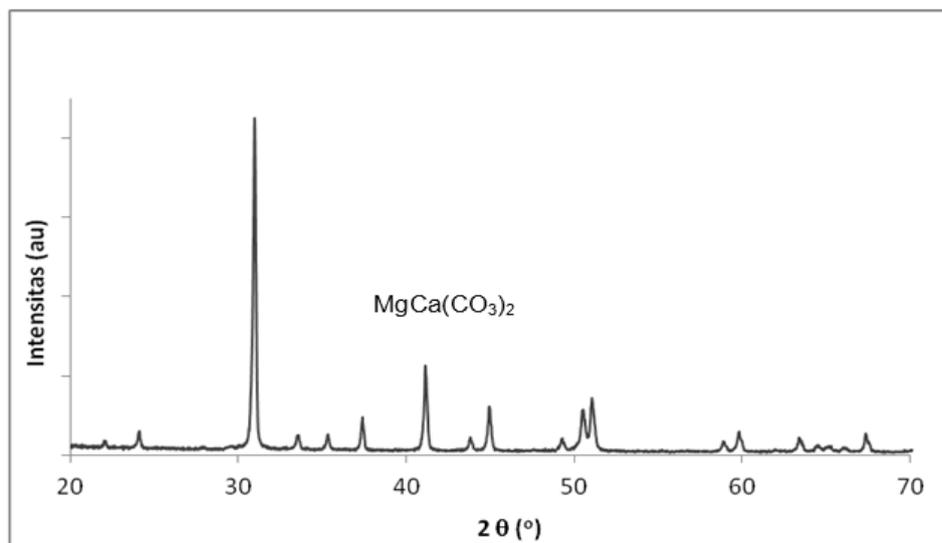
Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam percobaan proses pelarutan ini berupa serbuk bijih dolomit dari daerah Jawa Timur dan HCl p.a sebagai reagen pelarutan. Komposisi kimia serbuk dolomit ditunjukkan pada Tabel 1 dengan pola difraksi sinar-X seperti pada Gambar 1.

Tabel 1. Analisis komposisi kimia dolomit dengan XRF

Senyawa	CaO	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃
% Berat	61,38	25,73	7,93	1,19	0,84	0,54	0,41	0,40	0,37

Sumber: Royani, Sulistiyono dan Sufiandi (2016).



Sumber: Royani, Sulistiyono dan Sufiandi (2016)

Gambar 1. Pola difraksi sinar-X dolomit.

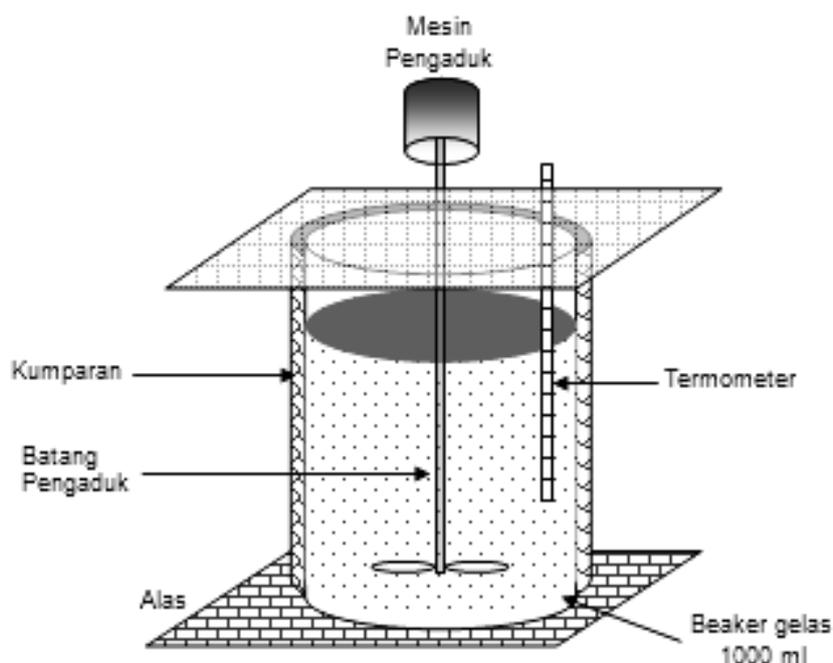
Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini meliputi *disc mill* untuk menghaluskan bijih dolomit, tungku *muffle furnace* (Carbolite-CWF 1300, England) digunakan untuk memanggang bijih dolomit, *beaker* gelas berkapasitas 1000 mL yang dimodifikasi sebagai reaktor proses pelarutan (gambar skematik pada Gambar 2). Eksperimen proses pelarutan dolomit dilakukan di laboratorium hidrometalurgi, Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI.

Karakterisasi percontoh dolomit menggunakan difraksi sinar – X (Shimadzu XRD 7000) untuk analisis fasa dan menggunakan XRF untuk komposisi kimia. Sedangkan analisis percontoh dolomit terkalsinasi dan hasil pelarutan menggunakan ICP-OES (series 700). *Scanning Electron Microscope* (SEM) JEOL JSM-6390A digunakan untuk analisis struktur mikro dan morfologi butiran.

Prosedur Percobaan

Sebelum proses pelarutan, bijih dolomit dikeringkan, kemudian dihaluskan dengan *disc mill* sehingga diperoleh ukuran yang

homogen di bawah 200 *mesh* (74 μm). Kemudian dilakukan pemanggangan di dalam tungku pembakaran pada suhu 900 °C selama 5 jam. Proses pemanggangan dilakukan untuk mengubah fasa dolomit menjadi MgO dan CaO sehingga mudah dipisahkan (Royani, Sulistiyono dan Sufiandi, 2016). Selanjutnya dilakukan proses pelarutan dengan asam klorida menggunakan reaktor *beaker* gelas. Percobaan pelarutan dilakukan dengan memvariasikan parameter kecepatan pengadukan, konsentrasi asam, suhu proses dan rasio padatan terhadap larutan untuk setiap waktu proses 0,5; 1; 2; 3; 4 dan 5 jam. Sebanyak 500 mL larutan HCl dimasukkan ke dalam reaktor *beaker* gelas dan suhu proses disetting kemudian tekan tombol ON pada panel kontrol. Setelah suhu proses dicapai, percontoh dolomit dimasukkan dan batang pengaduk dijalankan selama waktu proses pelarutan. Setelah proses pelarutan pada waktu tertentu sejumlah larutan diambil dengan menggunakan pipet sebanyak 5 mL kemudian disaring. Larutan yang telah diambil kemudian diencerkan dan dianalisis menggunakan ICP-OES untuk mengetahui konsentrasi kalsium yang terekstrak.



Sumber: Royani, Subagja and Manaf (2017)

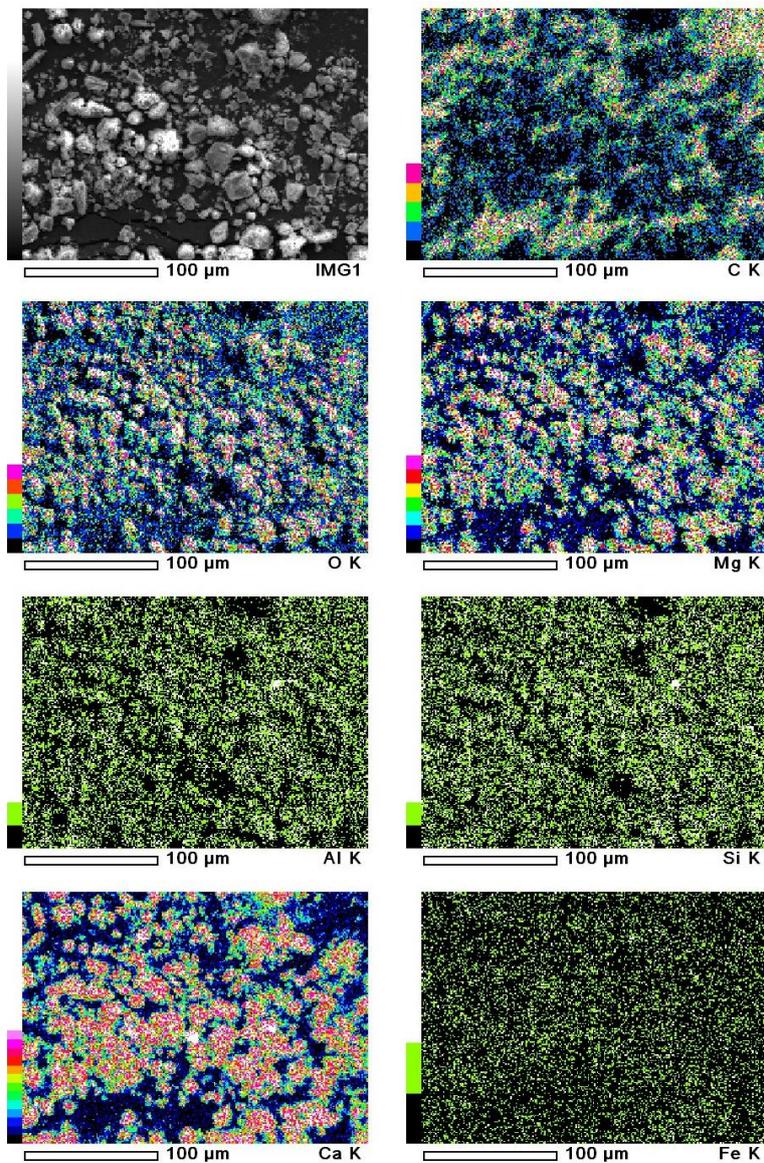
Gambar 2. Skematik alat pelarutan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Dolomit

Dolomit yang digunakan dari daerah Jawa Timur mempunyai komponen utama CaO dan MgO masing-masing sebesar 61,38 % dan 25,73 % serta unsur pengotor lainnya seperti tersaji dalam Tabel 1. Adapun hasil analisis komposisi kimia dolomit setelah proses pemanggangan dengan ICP-OES mengandung 32,62 % Ca dan 16,76 % Mg atau dalam bentuk oksidanya sebesar 45,67 % CaO dan 27,79 % MgO. Terjadi perubahan komposisi

setelah pemanggangan dikarenakan sifatnya yang hidrokopis sehingga mudah bereaksi dengan lingkungan. Pada analisis dolomit awal dengan menggunakan difraksi sinar-X (Gambar 1), terlihat sangat jelas bahwa puncak-puncak menunjukkan mineral dolomit dan tidak ditemukan puncak/peak unsur-unsur pengotor dikarenakan kandungannya yang kecil. Hasil SEM-Mapping dolomit ditunjukkan pada Gambar 3, dapat dilihat bahwa sebaran unsur Ca, Mg, O serta C hampir merata dan berada pada seluruh permukaan yang menyatakan mineral dolomit.



Sumber: Royani, Sulistiyono dan Sufiandi (2016)

Gambar 3. Hasil SEM-Mapping dolomit.

Proses Pelarutan

Proses pelarutan dolomit terkalsinasi dengan larutan asam klorida mengikuti persamaan reaksi:



Faktor utama yang mempengaruhi proses pelarutan adalah kecepatan pengadukan, suhu reaksi, waktu reaksi dan rasio cair/padat.

Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Pengaruh kecepatan pengadukan dilakukan untuk mengetahui kestabilan kalsium yang terekstrak. Percobaan dilakukan pada kecepatan pengadukan 200, 300, 400 dan 500 rpm (rotasi per menit) dengan 1 M HCl, suhu 30 °C dan rasio cairan/padatan sebesar 10:1 mL/g. Hasil percobaan pengaruh kecepatan pengadukan terhadap kalsium yang terekstrak ditunjukkan pada Gambar 4.

Terlihat bahwa terjadi peningkatan efisiensi pelarutan jika kecepatan putaran dinaikkan dari 200 hingga 500 rpm pada waktu 0,5 jam. Namun demikian, pada proses yang lebih lama kalsium yang terekstrak relatif stabil. Hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan tidak berpengaruh signifikan terhadap logam kalsium yang terekstrak. Hal ini terjadi karena proses pelarutan dolomit dikendalikan oleh reaksi kimia, sehingga proses pengadukan tidak berpengaruh secara signifikan (Bayrak, Laçin dan Saraç, 2010; Raza *dkk.*, 2015). Hasil dari kecepatan pengadukan 400 rpm dan 500 rpm relatif sama, baik pada waktu proses 0,5 jam maupun pada waktu proses 1 hingga 5 jam. Hasil tertinggi hanya sebesar 43,65 % didapat pada 500 rpm selama 5 jam. Berdasarkan hasil percobaan ini, maka percobaan selanjutnya kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 400 rpm.

Pengaruh Konsentrasi

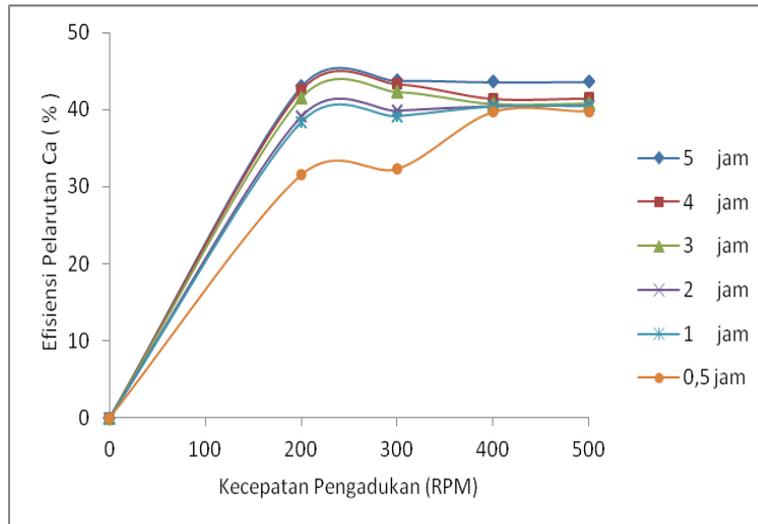
Pelarutan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi asam dilakukan dengan konsentrasi 0,5; 1; 1,5 dan 2 M HCl pada suhu 30 °C, 400 rpm dan rasio cairan/padatan sebesar 10:1 mL/g. Hasil pengaruh

konsentrasi terhadap kalsium yang terekstrak disajikan dalam Gambar 5.

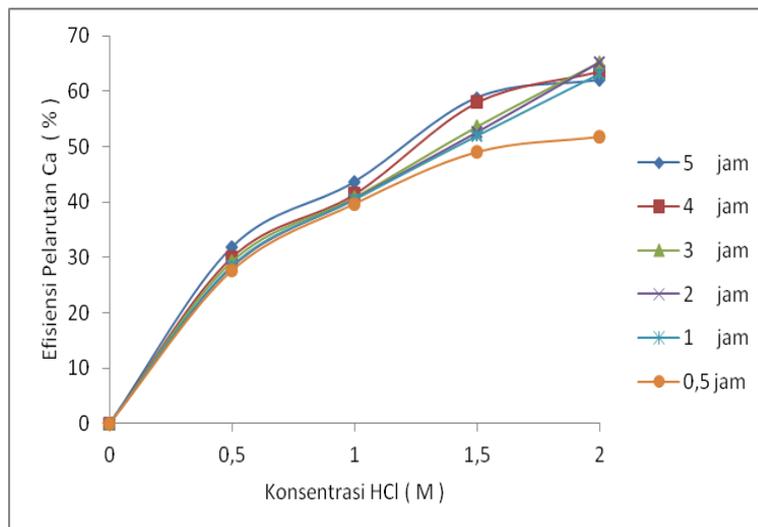
Dari Gambar 5 tersebut, dapat dilihat bahwa peningkatan konsentrasi dari 0,5 M HCl ke 2 M HCl mampu meningkatkan efisiensi kalsium yang terekstrak dari 27,62 % menjadi 51,78 % selama waktu proses 0,5 jam dan dari 29,25 % menjadi 65,21 % selama 3 jam. Peningkatan efisiensi kalsium yang terekstrak disebabkan karena semakin banyaknya ion-ion H⁺ yang bereaksi pada konsentrasi yang lebih besar. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian pelarutan dolomit sebelumnya (Royani, 2016). Hasil yang sama juga didapat pada pelarutan dolomit dari Nigeria (Baba *dkk.*, 2014). Hasil pelarutan dolomit Nigeria yang dilakukan dengan variasi konsentrasi HCl sebesar 0,1 mol/L sampai 4 mol/L menyatakan bahwa laju reaksi pelarutan dolomit meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi HCl. Di samping itu, dalam penelitiannya juga mencatat bahwa laju pelarutan dolomit menurun pada konsentrasi HCl sebesar 4 mol/L (Baba *dkk.*, 2014). Laju reaksi pelarutan magnesit meningkat dengan peningkatan konsentrasi asam sampai 1,25 M dan menurun jika konsentrasi melebihi 1,25 M (Bayrak, Laçin dan Saraç, 2010). Pada waktu proses selama 5 jam efisiensi kalsium terekstrak dicapai sebesar 31,82 dan 61,96 % untuk masing-masing 0,5 M HCl dan 2 M HCl. Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan efisiensi kalsium terekstrak pada konsentrasi 2 M HCl jika waktu proses semakin lama. Penurunan efisiensi kalsium terekstrak pada konsentrasi yang tinggi seiring dengan lamanya waktu proses disebabkan karena terbentuknya lapisan pada permukaan partikel yang mengakibatkan penurunan laju reaksi pelarutan dolomit (Raza *dkk.*, 2015).

Pengaruh Suhu

Setelah mengamati pengaruh kecepatan pengadukan dan konsentrasi asam, selanjutnya dilakukan percobaan pengaruh suhu. Untuk mempelajari pengaruh suhu tersebut, proses pelarutan dilakukan pada berbagai suhu (30, 45, 60 dan 75 °C) dengan menggunakan konsentrasi asam 2 M HCl, kecepatan pengadukan 400 rpm dan rasio cairan/padatan sebesar 10:1 mL/g.



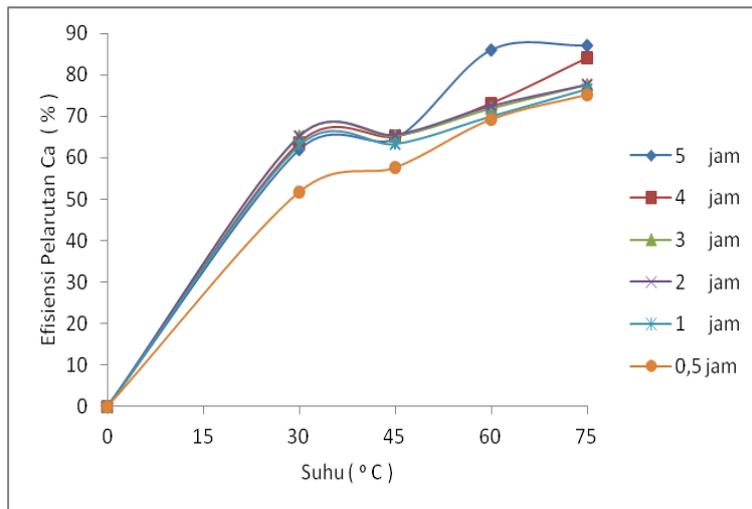
Gambar 4. Grafik pengaruh kecepatan pengadukan terhadap pelarutan Ca.



Gambar 5. Grafik pengaruh konsentrasi larutan HCl terhadap pelarutan Ca.

Hasil percobaan pengaruh suhu terhadap kalsium yang terekstrak ditunjukkan pada Gambar 6. Secara umum, dapat dilihat bahwa persen efisiensi kalsium yang terekstrak meningkat dengan naiknya suhu proses. Terlihat bahwa kenaikan suhu dari 30 °C ke 75 °C mampu meningkatkan efisiensi kalsium terekstrak dari 51,78 % menjadi 75,21 % pada waktu proses selama 0,5 jam. Hal ini karena reaksi proses pelarutan berjalan semakin cepat jika suhu dinaikkan sehingga kalsium yang terlarut semakin banyak. Efisiensi kalsium terekstrak meningkat dari 61,96 % menjadi 87,12 % dalam waktu

proses selama 5 jam. Peningkatan signifikan kalsium terekstrak dikarenakan meningkatnya laju reaksi pelarutan dolomit dengan asam klorida pada suhu yang lebih tinggi. Peningkatan nilai efisiensi kalsium yang terekstrak juga bertambah sejalan dengan lamanya waktu proses pelarutan. Hasil ini sesuai dengan proses pelarutan dolomit yang berasal dari Nigeria dengan menggunakan larutan asam klorida (Baba dkk., 2014). Hasilnya menyatakan bahwa kelarutan dolomit meningkat jika suhu proses dinaikkan karena laju reaksi dikendalikan oleh proses reaksi kimia.

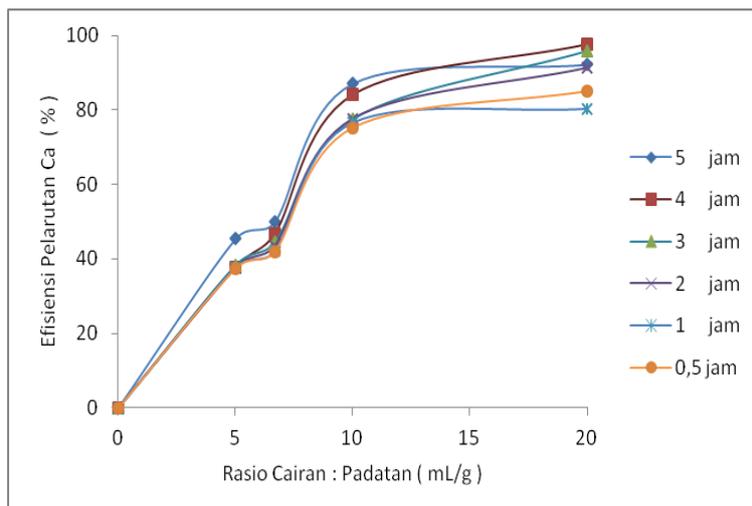


Gambar 6. Grafik pengaruh suhu proses terhadap pelarutan Ca.

Pengaruh Rasio Cairan/Padatan

Dalam mengamati pengaruh rasio cairan terhadap padatan, rasio yang digunakan sebesar 5; 7; 10 dan 20 mL/g yakni sebanyak 120; 86; 60 dan 30 gram dolomit dalam 600 mL larutan asam klorida. Percobaan dilakukan pada suhu 75 °C dengan larutan 2 M HCl dan kecepatan pengadukan sebesar 400 rpm. Hasil pengaruh rasio cairan/padatan terhadap efisiensi pelarutan kalsium yang terekstrak ditunjukkan dalam Gambar 7.

Dari Gambar 7 terlihat efisiensi kalsium terekstrak meningkat secara signifikan jika rasio cairan/padatan dinaikkan dari 5 mL/g menjadi 20 mL/g. Pada rasio cairan/padatan sebesar 5 mL/g, efisiensi kalsium terekstrak diperoleh 37,39; 37,63 dan 37,70 % untuk waktu proses masing-masing selama 0,5; 2; dan 4 jam. Sedangkan pada rasio cairan/padatan sebesar 20 mL/g, efisiensi kalsium terekstrak diperoleh sebesar 85,02; 91,20 dan 97,57 % untuk waktu proses masing-masing selama 0,5; 2; dan 4 jam.



Gambar 7. Grafik pengaruh rasio cairan/padatan terhadap pelarutan Ca.

Semakin banyak padatan yang digunakan maka efisiensi kalsium yang terekstrak semakin menurun. Penyebabnya karena pada padatan yang rendah, jumlah ion H^+ yang bereaksi lebih banyak dibandingkan pada padatan yang lebih tinggi dalam kondisi konsentrasi dan volume larutan yang sama. Selain itu, jika padatan yang digunakan lebih banyak, maka jumlah pengotor yang ikut bereaksi lebih banyak juga sehingga menyebabkan peningkatan kebutuhan asam. Hasil yang sama juga terjadi pada pelarutan bijih dolomit yang berasal dari Turki dengan menggunakan asam klorida (Abali, Bayca dan Vaizogullar, 2011). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa terjadi penurunan laju pelarutan bijih dolomit jika rasio perbandingan larutan/padatan menurun.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan dolomit dapat dilakukan melalui proses pelarutan dengan asam klorida menghasilkan larutan kalsium klorida. Efisiensi kalsium terekstrak meningkat dengan penambahan konsentrasi asam, rasio cairan/padatan dan peningkatan suhu. Hasil optimum proses pelarutan dicapai pada suhu $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, konsentrasi larutan 2 M HCl dan kecepatan pengadukan 400 rpm dengan efisiensi kalsium terekstrak sebesar $97,57\%$. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai proses pengendapan sehingga didapat padatan kalsium yang dapat diaplikasikan pada industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui kegiatan Kompetensi Inti.

DAFTAR PUSTAKA

Abali, Y., Bayca, S. U. and Vaizogullar, A. (2011) 'Optimization of dolomite ore leaching in hydrochloric acid solutions', *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 46(1), pp. 253–262. Available at:

<http://www.journalssystem.com/ppmp/Optimization-of-dolomite-ore-leaching-in-hydrochloric-acid-solutions,79072,0,2.html>.

Baba, A. A., Omipidan, A. O., Adekola, F. A., Job, O., Alabi, A. G. F., Baral, A. and Samal, R. (2014) 'Optimization study of a nigerian dolomite ore dissolution by hydrochloric acid', *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 49(3), pp. 280–287. Available at: <http://dl.uctm.edu/journal/node/j2014-3/10-Baba-280-287.pdf>.

Bayrak, B., Laçin, O. and Saraç, H. (2010) 'Kinetic study on the leaching of calcined magnesite in gluconic acid solutions', *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16(3), pp. 479–484. doi: 10.1016/j.jiec.2010.01.055.

Erskini (1996) 'Dolomit dan kegunaannya', in *Prosiding Konferensi Energi Sumberdaya Alam dan Lingkungan BPPT*. Jakarta: BPPT, pp. 34–44.

Li, G., Li, Z. and Ma, H. (2013) 'Comprehensive use of dolomite-talc ore to prepare talc, nano-MgO and lightweight CaCO_3 using an acid leaching method', *Applied Clay Science*, 86, pp. 145–152. doi: 10.1016/j.clay.2013.09.015.

Mantilaka, M. M. M. G. P. G., Pitawala, H. M. T. G. A., Karunaratne, D. G. G. P. and Rajapakse, R. M. G. (2014) 'Nanocrystalline magnesium oxide from dolomite via poly(acrylate) stabilized magnesium hydroxide colloids', *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 443, pp. 201–208. doi: 10.1016/j.colsurfa.2013.11.020.

Mustafa, A. M. K., Al-Dahan, D. K. and Khachik, T. V. (2014) 'Laboratory study of MgO preparation from Iraqi dolomite by leach-precipitation – Pyrohydrolysis process', *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 10(3), pp. 83–107. Available at: https://ibgm.iraqjournals.com/article_96062.html.

Orosco, R. P., Ruiz, M. del C., Barbosa, L. I. and González, J. A. (2011) 'Purification of talcs by chlorination and leaching', *International Journal of Mineral Processing*, 101(1–4), pp. 116–120. doi: 10.1016/j.minpro.2011.09.006.

Raza, N., Zafar, Z. I. and Najam-ul-Haq (2013) 'An analytical model approach for the dissolution kinetics of magnesite ore using ascorbic acid as leaching agent', *International Journal of Metals*, 2013, pp. 1–6. doi: 10.1155/2013/352496.

- Raza, N., Zafar, Z. I., Najam-ul-Haq and Kumar, R. V. (2015) 'Leaching of natural magnesite ore in succinic acid solutions', *International Journal of Mineral Processing*, 139, pp. 25–30. doi: 10.1016/j.minpro.2015.04.008.
- Raza, N., Zafar, Z. I. and Najam-ul-Haq, M. (2014) 'Utilization of formic acid solutions in leaching reaction kinetics of natural magnesite ores', *Hydrometallurgy*, 149, pp. 183–188. doi: 10.1016/j.hydromet.2014.08.008.
- Royani, A. (2016) 'Proses pelarutan bijih dolomit dalam larutan asam klorida', in *Prosiding SEMNASTEK*. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta, pp. TK006-1-TK006-5. Available at: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/711>.
- Royani, A., Subagja, R. and Manaf, A. (2017) 'Studi pelindian mangan secara reduksi dengan menggunakan larutan asam sulfat', *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 11(1), pp. 1–9. doi: 10.26578/jrti.v11i1.1724.
- Royani, A., Sulistiyono, E. and Sufiandi, D. (2016) 'Pengaruh suhu kalsinasi pada proses dekomposisi dolomit', *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 18(1), pp. 41–46. doi: 10.17146/jsmi.2016.18.1.4186.
- Xie, J., Chen, T., Xing, B., Liu, H., Xie, Q., Li, H. and Wu, Y. (2016) 'The thermochemical activity of dolomite occurred in dolomite–palygorskite', *Applied Clay Science*, 119, pp. 42–48. doi: 10.1016/j.clay.2015.07.014.