

Studi Kinetika Reaksi Ekstraksi Dolomit dengan Asam Fosfat

Ahmad Fahturrozak⁽¹⁾, Mayla Fayzza Adzani⁽²⁾, Ketut Sumada⁽³⁾

UPN “Veteran” Jawa Timur,
Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, Indonesia

Email: ¹ 21031010026@student.upnjatim.ac.id, ²21031010048@student.upnjatim.ac.id,
³sumadaketut@gmail.com

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima 31 Januari 2025
Direvisi 11 Februari 2025
Disetujui 05 Februari 2026
Dipublikasikan 22 Februari 2026

Keywords:

Dolomite; Kinetic Reaction;
Phosphoric Acid

Abstract: Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) is generally white but can also appear gray or bluish, with magnesium (Mg) and calcium (Ca) as its main composition.. This study analyzes the kinetics and conversion of dolomite extraction using phosphoric acid through a solid-liquid extraction method. Initially, dolomite was calcined at 850°C for 240 minutes and then sieved. A total of 40 grams of the sieved sample was extracted with 250 mL of 2M phosphoric acid at varying temperatures (30, 45, 60, 75, and 90°C) and extraction times (60, 90, 120, 150, and 180 minutes). The extracted solution was filtered and analyzed using AAS to determine the extracted calcium and magnesium content. The highest conversion was achieved at 90°C for 180 minutes, with calcium extraction at 65.67% and magnesium at 65.98%, with the ash layer as the controlling step. The activation energy, based on the Arrhenius equation, was 27,745.49 J/mol·K for calcium and 19,120.5 J/mol·K for magnesium, with reaction rate constants of $K=9.8149 e^{(3336.6/T)}$ for calcium and $K=1.8063 e^{(2299.8/T)}$ for magnesium. This study demonstrates that temperature and reaction time significantly influence dolomite extraction, which follows the Arrhenius model, providing valuable insights into the kinetics and efficiency of dolomite extraction using phosphoric acid.

Kata Kunci:

Asam Fosfat; Dolomit; Kinetika Reaksi

Corresponding Author:

Name:
Ahmad Fahturrozak
Email:
21031010026@student.upnjatim.ac.id

Abstrak: Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) umumnya berwarna putih, tetapi dapat berwarna abu-abu atau kebiru-biruan, dengan kandungan unsur hara utama berupa magnesium (Mg) dan kalsium (Ca). Penelitian ini menganalisis kinetika dan konversi reaksi ekstraksi dolomit menggunakan asam fosfat melalui metode ekstraksi padat-cair. Proses awal, dolomit dikalsinasi pada suhu 850°C selama 240 menit dan selanjutnya diayak. Hasil pengayakan tersebut ditimbang sebanyak 40 gram yang dimana akan dilanjutkan dengan proses ekstraksi asam fosfat 2M 250 mL dengan variasi suhu 30,45,60,75, dan 90°C serta waktu ekstraksi sebesar 60,90,120,150, dan 180 menit. Cairan hasil proses ekstraksi difiltrasi dan kemudian dilakukan analisa AAS untuk

mengetahui kandungan Kalsium dan Magnesium yang terekstrak. Konversi tertinggi diperoleh pada 90°C selama 180 menit, dengan konversi kalsium 65,67% dan magnesium 65,98%, dengan lapisan abu sebagai langkah pengendali. Energi aktivasi berdasarkan persamaan Arrhenius adalah 27.745,49 J/mol·K untuk kalsium dan 19.120,5 J/mol·K untuk magnesium. Konstanta laju reaksi untuk ekstraksi kalsium di dolomit dengan asam fosfat sebesar $K = 9,8149 e^{\frac{3336,6}{T}}$ dan ekstraksi magnesium sebesar $K = 1,8063 e^{\frac{2299,8}{T}}$. Penelitian ini menunjukkan bahwa suhu dan waktu reaksi mempengaruhi ekstraksi dolomit, yang mengikuti model Arrhenius, sehingga memberikan wawasan mengenai kinetika dan efisiensi ekstraksi dolomit dengan asam fosfat.

PENDAHULUAN

Termodinamika dan kinetika adalah dasar ilmu dalam sains dan teknik, yang berperan penting pada bidang teknik kimia, metalurgi, bioteknologi, pengolahan makanan, dan teknik perminyakan. Termodinamika digunakan untuk memprediksi arah reaksi dan kondisi kesetimbangan, sedangkan kinetika diperlukan untuk mengevaluasi proses, termasuk estimasi kebutuhan dan volume bahan, perancangan reaktor, serta pengendalian dan optimasi proses (Faraji et al., 2022; Santacesaria et al., 2023). Dalam industri, pemahaman kinetika dan mekanisme reaksi sangat penting, terutama dalam proses ekstraksi kalsium dan magnesium dari dolomit menggunakan larutan asam (Are et al., 2021). Proses ekstraksi atau pelindian dapat dilakukan melalui metode agitasi atau pengadukan, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti luas permukaan bahan, pembentukan lapisan produk, konsentrasi reaktan, ukuran partikel, pengadukan, dan suhu reaksi. Informasi kinetika hanya dapat diperoleh melalui data eksperimen. Model persamaan yang dapat menggambarkan kinetika reaksi kimia secara heterogen pada proses ekstraksi adalah *Shrinking Core Model* (SCM) (Ismael et al., 2022).

Dolomit memiliki rumus senyawa kimia $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ atau $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ dan merupakan salah satu mineral karbonat yang ada di Indonesia. Penyusun utama pada dolomit adalah kalsium, namun pada daerah tertentu juga memiliki kandungan magnesium (Adiman et al., 2020; Sulistiyono, Eko., Suharyanto, 2024). Umumnya dolomit memiliki kandungan CaCO_3 51,2% dan MgO 36,2% serta beberapa senyawa penyusun lainnya (Sholicha et al., 2019). Secara fisik, dolomit memiliki warna putih ke abu – abuan atau biru – biruan dengan sifat yang keras, serta memiliki ukuran yang bervariasi, dari butiran halus hingga kasar dan memiliki kemampuan menyerap air dengan mudah (Bani, 2023). Material penyusun dolomit yaitu CaCO_3 dan MgO merupakan satu kesatuan dan tidak terpisah. Pemisahan MgO pada dolomit dapat dilakukan dengan metode leaching atau ekstraksi dan lebih efektif (Saputri et al., 2021). Dolomit seringkali dapat digunakan oleh petani sebagai pupuk yang dapat meningkatkan kandungan unsur hara dan menetralkan keasaman dalam tanah (Basuki et al., 2020).

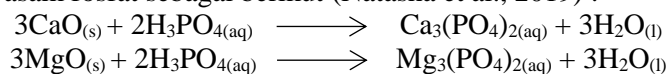
Penggunaan larutan asam sering dilakukan pada proses ekstraksi dolomit. Pelarut asam yang sering digunakan adalah asam klorida, asam sulfat, asam nitrat, dan asam fosfat (Are et al., 2021). Proses ekstraksi magnesium dan kalsium dari dolomit dengan menggunakan pelarut Asam Klorida memperoleh kalsium yang terkestrak sebesar 60,31% dan magnesium sebesar 25,79% (Royani, 2016). Penelitian yang dilakukan (Altiner et al., 2016) menggunakan dolomit dan larutan Asam Klorida 0,1 M, diperoleh nilai energi aktivasi untuk proses tersebut sebesar 16,69 kJ/mol. Penggunaan larutan Asam Sulfat pada proses ekstraksi dolomit dengan konsentrasi 2M, suhu proses 78°C dan kecepatan pengadukan 900 rpm, diperoleh nilai energi aktivasi sebesar 27,5 kJ/mol.K (JOSEPH et al., 2022).

Meskipun penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk ekstraksi kalsium dan magnesium dari dolomit dengan jenis pelarut asam, penelitian mengenai kinetika reaksi ekstraksi dolomit dengan asam fosfat masih terbatas. Beberapa penelitian lain lebih berfokus pada penggunaan asam klorida dan asam sulfat, sementara studi mengenai parameter proses dan model kinetika untuk ekstraksi dolomit dengan asam fosfat masih minim. Sehingga penelitian lebih lanjut mengenai kinetika reaksi ekstraksi dolomit dengan Asam Fosfat perlu dilakukan untuk mengetahui data kinetika reaksi pada proses ekstraksi dolomit, agar dapat diaplikasikan pada dunia industri untuk merancang reaktor.

METODE

Bahan baku yang digunakan pada studi ini adalah dolomit yang terkalsinasi. Kalsinasi dolomit dilakukan pada suhu 850 °C selama 240 menit (Royani et al., 2016). Bahan tersebut diayak menggunakan ukuran 100 mesh untuk memperoleh ukuran partikel di bawah 0,15 mm dan selanjutnya dilakukan analisa XRF untuk mengetahui kandungan awal pada dolomit yang terkalsinasi. Pelarut yang digunakan pada proses ekstraksi ini adalah Asam Fosfat 85% yang dibeli dari Toko Nirwana.

Proses reaksi pada ekstraksi dolomit dengan asam fosfat dilakukan dengan menggunakan beaker glass 400mL. Massa dolomit yang digunakan sebanyak 40 gram dan digunakan pelarut asam fosfat 2M sebanyak 250mL. Pengaruh suhu digunakan pada proses ekstraksi, yaitu pada suhu 30, 45, 60, 75 °C (Saputra et al., 2016) dan waktu ekstraksi 60,90,120,150, dan 180 menit (Royani et al., 2018). Pengadukan dilakukan selama proses ekstraksi dengan kecepatan pengadukan 300 rpm (Saputra et al., 2016). Reaksi yang terjadi pada proses ekstraksi dolomit terkalsinasi dengan asam fosfat sebagai berikut (Natasha et al., 2019) :



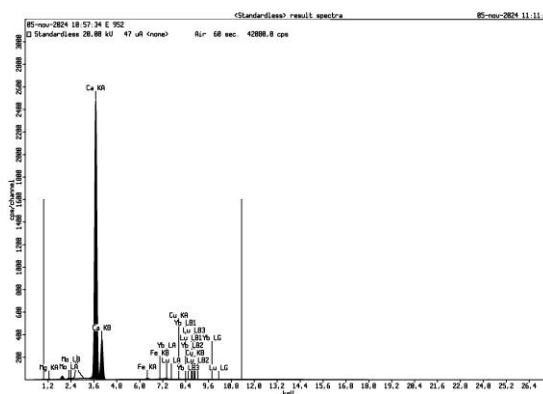
Setelah proses ekstraksi, dilakukan proses penyaringan dengan menggunakan kertas saring Whatman untuk memperoleh filtrat. Filtrat yang diperoleh akan dilakukan proses analisa *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk mengetahui konsentrasi kalsium dan magnesium yang terkestrak. Perhitungan fraksi yang terkestrak dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Widyastuti et al., 2018):

$$X_B = \frac{\text{Mol komponen yang terkestrak}}{\text{Mol komponen mula-mula}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi dari Dolomit

Kandungan dari bahan baku dolomit terkalsinasi dapat diketahui melalui analisa *X-ray Fluorescence* (XRF) yang ditunjukkan pada gambar 1. Tabel 1 menunjukkan kandungan dan komposisi dalam bentuk presentase dari bahan baku dolomit. Analisa *X-ray Fluorescence* (XRF) menunjukkan bahwa dolomit yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan utama Ca 90,54% dan Mg 8,1%. Pada umumnya dolomit di beberapa daerah di Indonesia memiliki kandungan CaCO_3 lebih dari 50% (Adiman et al., 2020). Pada proses kalsinasi di suhu 900 °C selama 4 jam diperoleh kandungan CaO 58,4% dan MgO 28,97% (Royani et al., 2016) Lokasi geologis pengambilan, suhu dan waktu kalsinasi akan mempengaruhi kandungan dolomit, sehingga perlu dilakukana analisa awal sebelum ekstraksi untuk mengetahui kandungan awal dolomit secara pasti.



Gambar 1. Hasil Analisa XRF Dolomit Terkalsinasi

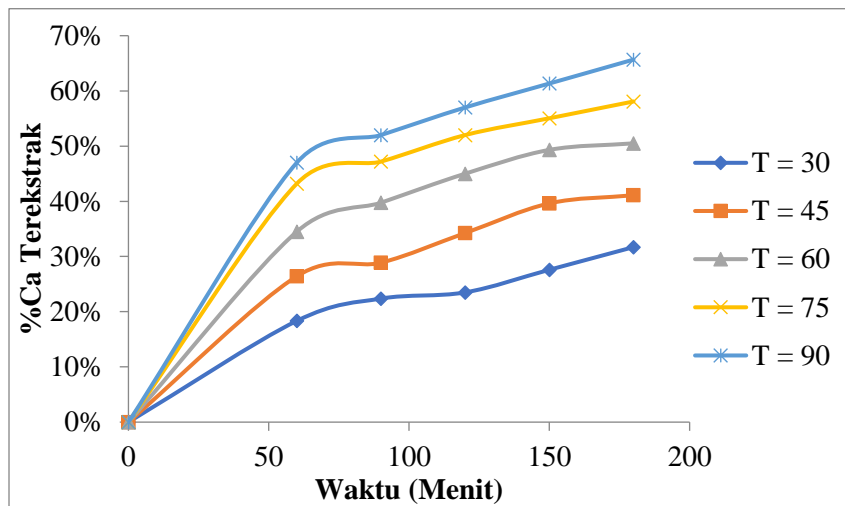
Tabel 1. Kandungan Unsur Dolomit Terkalsinasi

Kandungan	Mg	Ca	Fe	Cu	Mo	Yb	Lu
Komposisi (%)	8,1	90,54	0,29	0,046	0,37	0,53	0,1

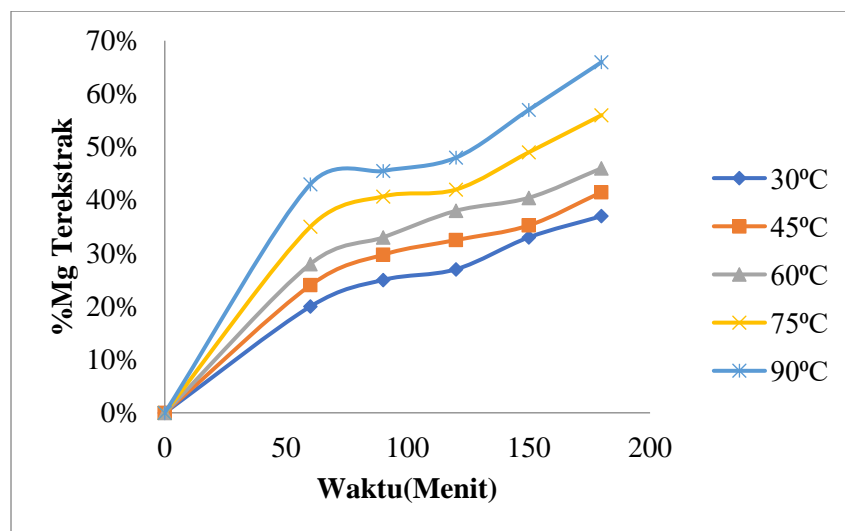
Pengaruh Suhu terhadap Kandungan Kalsium dan Magnesium yang Terekstrak

Gambar 2 menunjukkan fraksi kalsium dan gambar 3 menunjukkan fraksi magnesium yang terekstrak pada dolomit pada variasi suhu. Perolehan kalsium terekstrak terbesar pada suhu 90 °C dengan waktu ekstraksi 180 menit yaitu 65,67% dan pada magnesium diperoleh pada suhu

90 °C dengan waktu ekstraksi 180 menit yaitu 65,98%. Berdasarkan penelitian ekstraksi kalsium dari dolomit menggunakan asam sulfat (H₂SO₄) mencapai efisiensi 99,2% pada konsentrasi 2 M, suhu 78°C, dan waktu reaksi 10 menit, dengan kecepatan pengadukan 900 rpm (JOSEPH et al., 2022) Penggunaan larutan asam fosfat memberikan pengaruh konversi magnesium lebih tinggi pada proses ekstraksi dsbanding dengan penggunaan larutan asam klorida. Penggunaan larutan asam klorida sebagai pelarut telah dilakukan untuk proses ekstraksi magnesium, diperoleh konversi sebesar 21,77% dengan penggunaan larutan HCl 1M dan waktu ekstraksi 180 menit (Royani et al., 2018). Kenaikan suhu akan mempengaruhi kandungan kalsium dan magnesium yang terkestrak. Pada suhu yang tinggi akan mempercepat reaksi dan pembentukan produk. Hal tersebut berhubungan dengan gerakan molekul, dimana semakin meningkatnya suhu, maka energi kinetik molekul akan meningkat, yang menyebabkan tumbukan antar molekul akan semakin besar, sehingga konversi reaksi yang diperoleh juga akan semakin besar (Muchendu, 2024).



Gambar 2. Kalsium yang terekstrak (%)



Gambar 3. Magnesium yang terekstrak (%)

Analisa Kinetika

Proses yang terjadi pada ekstraksi kandungan kalsium dan magnesium di dolomit dengan asam fosfat merupakan kinetika reaksi heterogen. Pendekatan mekanisme reaksi heterogen dapat menggunakan *Shrinking Core Model* (SCM). Pada model ini memiliki tiga pendekatan mekanisme, yaitu difusi film, difusi lapisan abu, dan reaksi kimia (Bahri et al., 2024). Penentuan

mekanisme yang sesuai dapat ditinjau berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang mendekati 1 (Supriadi et al., 2023).

Untuk menentukan mekanisme reaksi melalui pendekatan Shrinking Core Model dapat menggunakan persamaan berikut dengan asumsi bahwa partikel dolomit berbentuk *spherical*:

Mekanisme reaksi langkah pengendali lapisan film:

$$X_B = kt$$

Mekanisme reaksi langkah pengendali lapisan abu:

$$1 - 3(1 - X_B)^{\frac{2}{3}} + 2(1 - X_B) = kt$$

Mekanisme reaksi langkah pengendali reaksi kimia:

$$1 - (1 - X_B)^{\frac{1}{3}} = kt$$

Dimana X_B adalah fraksi kalsium atau magnesium yang terekstrak pada larutan asam fosfat, t adalah waktu ekstraksi (menit), dan k adalah konstanta laju reaksi (Ebrahimi et al., 2023).

Penentuan Mekanisme Langkah Pengendali Ekstraksi Kalsium dan Magnesium

Tabel 2. Langkah Pengendali Ekstraksi Kalsium

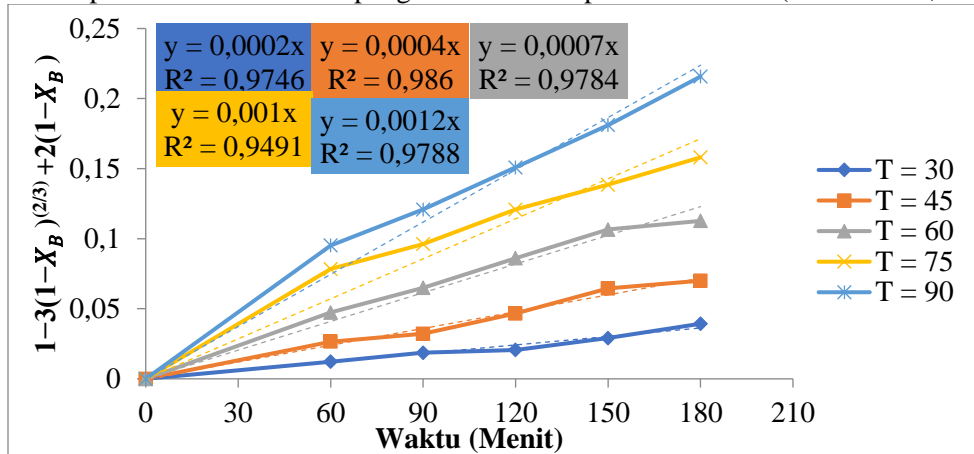
Suhu (°C)	Kinetika Reaksi Ekstraksi Kalsium (Ca)					
	$X_B = kt$		$1 - (1 - X_B)^{1/3} = kt$		$1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + 2(1 - X_B) = kt$	
	Kontrol Difusi Film		Kontrol Reaksi Kimia		Kontrol Lapisan Abu	
	Konstanta Laju Reaksi (K)	R^2	Konstanta Laju Reaksi (K)	R^2	Konstanta Laju Reaksi (K)	R^2
30	0,0019	0,8668	0,0007	0,8958	0,0002	0,9746
45	0,0027	0,8365	0,0001	0,8805	0,0004	0,986
60	0,0034	0,7654	0,0014	0,8283	0,0007	0,9784
75	0,0039	0,688	0,0017	0,7671	0,001	0,9491
90	0,0044	0,7231	0,0019	0,8214	0,0012	0,9788

Tabel 3. Langkah Pengendali Ekstraksi Magnesium

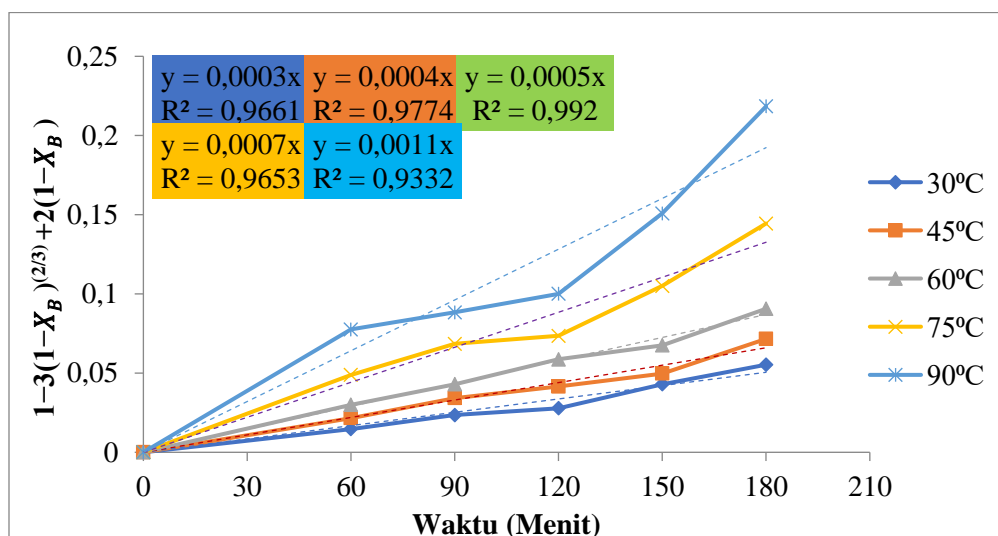
Suhu (°C)	Kinetika Reaksi Ekstraksi Magnesium (Mg)					
	$X_B = kt$		$1 - (1 - X_B)^{1/3} = kt$		$1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + 2(1 - X_B) = kt$	
	Kontrol Difusi Film		Kontrol Reaksi Kimia		Kontrol Lapisan Abu	
	Konstanta Laju Reaksi (K)	R^2	Konstanta Laju Reaksi (K)	R^2	Konstanta Laju Reaksi (K)	R^2
30	0,0023	0,9089	0,0009	0,9386	0,0003	0,9661
45	0,0026	0,8541	0,001	0,8953	0,0004	0,9774
60	0,0029	0,837	0,0011	0,8874	0,0005	0,992
75	0,0035	0,8215	0,0014	0,8869	0,0007	0,9653
90	0,0041	0,8103	0,0017	0,8906	0,0011	0,9332

Tabel 3 menunjukkan nilai konstanta laju reaksi dan nilai determinasi (R^2) pada ekstraksi kalsium dan tabel 3 pada ekstraksi magnesium. Nilai determinasi pada ekstraksi kalsium dan magnesium menunjukkan bahwa proses reaksi untuk memperoleh kandungan kalsium dan magnesium dikendalikan oleh lapisan abu. Lapisan abu dapat menghalangi reaktan sehingga akan

mempengaruhi laju reaksi dan menyebabkan konversi yang lebih rendah (Zangooui et al., 2021). Pada proses ekstraksi, pergerakan molekul produk di dalam lapisan abu merupakan hal yang penting, karena besarnya molekul produk yang terbentuk dan terdifusi ke lapisan abu, maka akan menghambat proses difusi dan mempengaruhi efisiensi proses ekstraksi (Wanta et al., 2016).



Gambar 4. Langkah pengendali lapisan abu pada ekstraksi kalsium



Gambar 5. Langkah pengendali lapisan abu pada ekstraksi magnesium

Frekuensi Tumbukan dan Energi Aktivasi

Persamaan Arrhenius digunakan untuk nilai frekuensi tumbukan dan energi aktivasi proses reaksi, dimana persamaan tersebut menunjukkan hubungan antara suhu, energi aktivasi (A) dan konstanta laju reaksi (k).

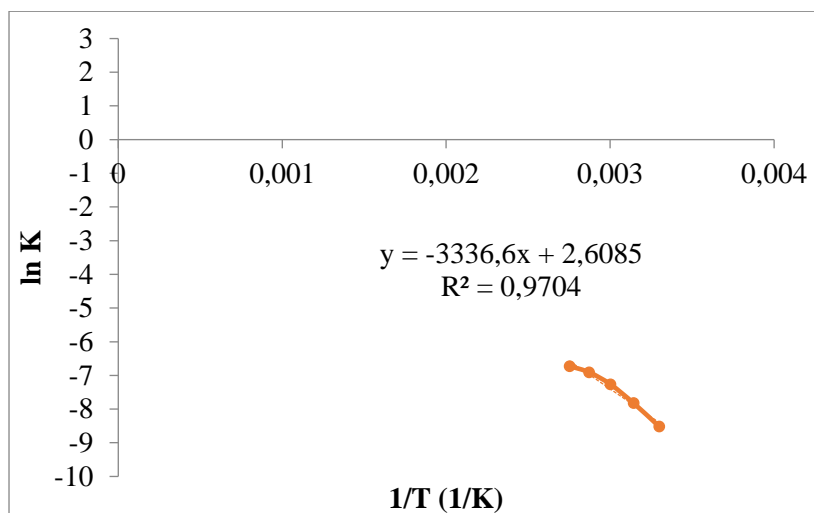
$$k = Ae^{-\frac{E}{RT}}$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} \right)$$

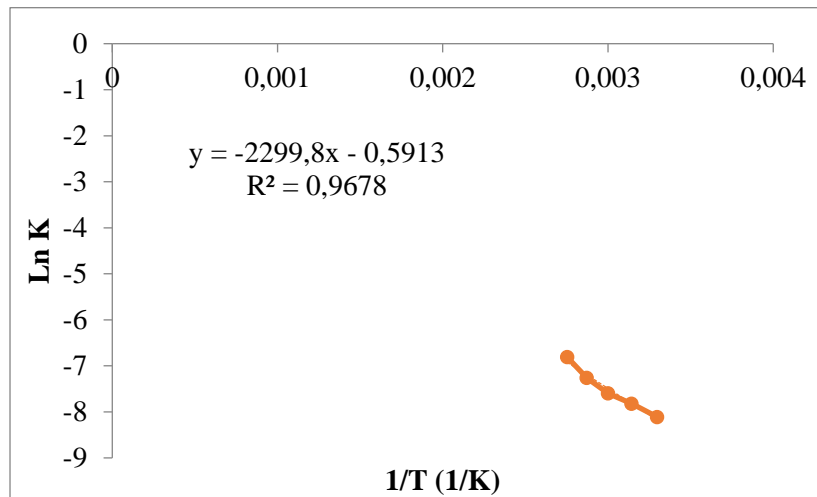
Dimana A adalah frekuensi tumbukan, k adalah konstanta laju reaksi, E adalah energi aktivasi, R adalah konstanta gas ideal (8,314 J/mol.K) dan T adalah suhu dengan satuan kelvin. Nilai energi aktivasi diperoleh dari nilai slope dan frekuensi tumbukan diperoleh dari nilai intercept (Azof et al., 2020).

Nilai energi aktivasi untuk ekstraksi kalsium pada dolomit dengan Asam Fosfat sebesar 27.740,49 J/mol.K dan nilai frekuensi tumbukan dapat diperoleh dari nilai intersep, yang dimana intercept = ln A. Nilai frekuensi tumbukan (A) yang diperoleh sebesar 9,8149. Pada ekstraksi magnesium pada dolomit dengan Asam Fosfat diperoleh nilai energi aktivasi sebesar 19.120,5

J/mol.K dan nilai frekuensi tumbukan dapat diperoleh dari nilai intersep, yang dimana intercept = $\ln A$. Nilai frekuensi tumbukan (A) sebesar 1,80634. Energi aktivasi yang lebih rendah menunjukkan peningkatan dalam sistem reaksi karena berhubungan langsung dengan laju reaksi. Semakin kecil energi aktivasi, semakin cepat laju reaksi kimia, yang menyebabkan lebih banyak fraksi dolomit bereaksi. Hal ini terjadi karena molekul hanya dapat bereaksi setelah melewati penghalang energi aktivasi. Jika penghalang tersebut lebih rendah, maka lebih banyak molekul yang memiliki energi yang cukup untuk bereaksi dalam suatu waktu (Are et al., 2021). Nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari grafik $\ln k$ vs. $1/T$ menunjukkan kecocokan model Arrhenius terhadap data eksperimen. Semakin mendekati 1, semakin baik hubungan linear antara $\ln k$ dan $1/T$, yang menunjukkan bahwa mekanisme reaksi mengikuti model Arrhenius.



Gambar 6. Plot Arrhenius pada ekstraksi kalsium



Gambar 7. Plot Arrhenius pada ekstraksi magnesium

Persamaan Konstanta Laju Reaksi

Berdasarkan persamaan Arrhenius, maka diperoleh persamaan konstanta laju reaksi untuk variasi suhu. Persamaan yang diperoleh pada ekstraksi kalsium di dolomit dengan asam fosfat yaitu $K = 9,8149 e^{\frac{3336,6}{T}}$ dan pada ekstraksi magnesium yaitu $K = 1,80634 e^{\frac{-299,82}{T}}$.

SIMPULAN

Konversi reaksi ekstraksi atau perolehan kalsium dan magnesium pada dolomit dengan asam fosfat tertinggi diperoleh pada suhu 90°C dengan waktu 180 Menit yaitu sebesar 65,67% dan ekstraksi magnesium tertinggi diperoleh pada suhu 90°C dengan waktu 180 Menit yaitu sebesar 65,98%. Langkah pengendali yang mengendalikan mekanisme reaksi pada proses ekstraksi kalsium dan Magnesium pada dolomit dengan asam fosfat adalah difusi lapisan abu. Energi aktivasi yang diperoleh melalui persamaan Arrhenius pada ekstraksi kalsium di dolomit dengan asam fosfat sebesar 27740,49 J/mol.K dan pada ekstraksi magnesium di dolomit dengan asam fosfat sebesar 19120,5 J/mol.K. Konstanta laju reaksi untuk ekstraksi kalsium di dolomit dengan asam fosfat sebesar $K = 9,8149 e^{\frac{3336,6}{T}}$ dan ekstraksi magnesium di dolomit dengan asam fosfat sebesar $K = 1,8063 e^{\frac{2299,8}{T}}$.

Penelitian ini menunjukkan bahwa ekstraksi dolomit dengan asam fosfat dipengaruhi oleh suhu dan waktu reaksi, dengan mekanisme yang dikendalikan oleh difusi lapisan abu, serta mengikuti Arrhenius, sehingga memberikan wawasan mengenai kinetika dan efisiensi proses ekstraksi dolomit dengan asam fosfat.

DAFTAR RUJUKAN

- Adiman, T. M. F., Feriyanto, A., . S., & Edahwati, L. (2020). Mineral Struvite Dari Batuan Dolomit Dengan Reaktor Kolom Sekat. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(2), 85–91. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v14i2.2034
- Altiner, M., Yildirim, M., & Yilmaz, T. (2016). Leaching of mersin/aydincik dolomite ore in hydrochloric acid. dissolution rates. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 52(2), 536–550. <https://doi.org/10.5277/ppmp160202>
- Are, C. T., Suleiman, M. A. T., Yisa, J., Auta, M., & Joseph, I. A. (2021). Kinetic Study of Reaction between Dolomite Ore and Trioxonitrate (V) Acid (HNO₃). *GeoScience Engineering*, 67(1), 21–29. <https://doi.org/10.35180/gse-2021-0048>
- Azof, F. I., & Safarian, J. (2020). Leaching kinetics and mechanism of slag produced from smelting-reduction of bauxite for alumina recovery. *Hydrometallurgy*, 195(May), 105388. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105388>
- Bahri, E. P., Simanungkalit, I. C. N., Susanti, R. F., Gemilar, G. P., Astuti, W., Petrus, H. T. B. M., & Wanta, K. C. (2024). Kinetika Proses Ekstraksi Katalis Bekas Ni/γ-Al₂O₃ dengan Pelarut Asam Sulfat: Model Shrinking Core dan Model Lump. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 12(3), 739–747. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i3.46264>
- Bani, G. A. (2023). Analisis Kimia Batu Kapur Kabupaten Kupang Sebagai Bahan Baku Pembuatan Pupuk Dolomit. *Jurnal Agroteknologi Pertanian & Publikasi Riset Ilmiah*, 5(1), 23–28. <https://doi.org/10.55542/jappri.v5i1.616>
- Basuki, B., & Sari, V. K. (2020). Efektifitas Dolomit Dalam Mempertahankan pH Tanah Inceptisol Perkebunan Tebu Blimbing Djatiroto. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 11(2), 58. <https://doi.org/10.21082/btsm.v11n2.2019.58-64>
- Ebrahimi, E., Safari, H., Rezaee, M., Rezaei, A., & Abdollahi, H. (2023). An environmentally friendly method for extraction of cobalt and molybdenum from spent catalysts using deep eutectic solvents (DESs). *Environmental Science and Pollution Research*, 30(39), 90243–90255. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26806-8>
- Faraji, F., Alizadeh, A., Rashchi, F., & Mostoufi, N. (2022). Kinetics of leaching: A review. *Reviews in Chemical Engineering*, 38(2), 113–148. <https://doi.org/10.1515/revce-2019-0073>
- Ismael, M. H., Mohammed, H. S., Hussaini, O. M. E., & El-Shahat, M. F. (2022). Kinetics study and reaction mechanism for titanium dissolution from rutile ores and concentrates using sulfuric acid solutions. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 58(1), 138–148. <https://doi.org/10.37190/PPMP/145166>
- JOSEPH, I. A., AJALA, E. O., AHMED, E. A., & AJALA, M. A. (2022). Optimization and

- Kinetics Studies of the Dissolution of Dolomite in Sulphuric Acid (H₂SO₄) Via Box-Behnken Experimental Design. *Southern Journal of Sciences*, 30(33), 69–81. https://doi.org/10.48141/sjs.v30.n33.2022.09_joseph_pgs_69_81.pdf
- Muchendu, E. (2024). Impact of Temperature on Reaction Rate in Catalytic Reactions Impact of Temperature on Reaction Rate in Catalytic Reactions. *Journal of Chemistry*, 3(3), 38–48.
- Natasha, N. C., Irawan, J., Sulistiyono, E., Fariza, E. Y., & Rhamdani, A. R. (2019). Uji Karakteristik Magnesium Karbonat Sintetis Dari Mineral Dolomit. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 16, 1–5.
- Royani, A. (2016). Proses Pelarutan Bijih Dolomit dalam Larutan Asam Klorida. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi, November*, 1–5.
- Royani, A., Sulistiyono, E., Prasetyo, A. B., & Subagja, R. (2018). Extraction of magnesium from calcined dolomite ore using hydrochloric acid leaching. *AIP Conference Proceedings*, 1964(May). <https://doi.org/10.1063/1.5038299>
- Royani, A., Sulistiyono, E., & Sufiandi, D. (2016). Pengaruh Suhu Kalsinasi Pada Proses Dekomposisi Dolomit. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 18(1), 41. <https://doi.org/10.17146/jsmi.2016.18.1.4186>
- Santacesaria, E., Tesser, R., & Russo, V. (2023). Industrial Chemistry Reactions: Kinetics, Mass Transfer and Industrial Reactor Design (II). *Processes*, 11(7), 2–7. <https://doi.org/10.3390/pr11071880>
- Saputra, F., Fadli, A., & Amri, A. (2016). Kinetika Reaksi pada Sintesis Hidroksiapatit dengan Metode Presipitasi. *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1–6.
- Saputri, D., & Rohmawati, L. (2021). Sintesis Magnesium Oksida (MgO) dari Dolomit Bangkalan dengan Metode Leaching. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 9(2), 203. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v9i2.2808>
- Sholicha, S. P., Setyarsih, W., Sabrina, G. J., & Rohmawati, L. (2019). Preparation of CaCO₃/MgO from Bangkalan's dolomite for raw biomaterial. *Journal of Physics: Conference Series*, 1171(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1171/1/012034>
- Sulistiyono, Eko., Suharyanto, A. (2024). Kajian Teknologi Pengolahan Mineral Dolomit Indonesia Dan Aplikasi Pemanfaatannya. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2024, April*, 1–10.
- Supriadi, H., Trisnawati, I., Handini, T., Susilowati, S. R., Sujoto, V. S. H., Mulyono, P., & Petrus, H. T. B. M. (2023). Kinetics Study of Yttrium Leaching from Zircon Tailings Using Sulfuric Acid. *Indonesian Journal of Chemistry*, 23(2), 489–498. <https://doi.org/10.22146/ijc.79966>
- Wanta, K. C., Perdana, I., & Petrus, H. T. B. M. (2016). Evaluation of shrinking core model in leaching process of Pomalaa nickel laterite using citric acid as leachant at atmospheric conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 162(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/162/1/012018>
- Widyastuti, Annisa., Sukamana, Made., Setyadi, M. (2018). *Natrium Silikat Menggunakan Air Berdasarkan Shrinking Core Model Kinetic Study on Leaching Mixed of Sodium Zirconate, Sodium Silicate*. 205–213.
- Zangooei, E., & Talaghat, M. R. (2021). Conversion of Gas-Solid Reactions of the Flat Plate Particles with Unchanged Size Using the Shrinking Core Model. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 55(1), 33–51. <https://doi.org/10.22059/jchpe.2020.239139.1206>