

PENGARUH KARAKTERISTIK MINERALOGI TERHADAP KAPASITAS TUKAR KATION ZEOLIT ALAM PACITAN, JAWA TIMUR

THE INFLUENCE OF MINERALOGICAL CHARACTERISTIC TO CATION EXCHANGE CAPACITY OF PACITAN NATURAL ZEOLITE, EAST JAVA

Wawan Budianta^{1*}, I Wayan Warmada¹, Makruf Nurudin²

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika 2 Kampus UGM Yogyakarta 55281

*Email corresponding: wbudianta@ugm.ac.id

²Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Cara sitasi: W. Budianta, I. W. Warmada, and M. Nurudin, "Pengaruh karakteristik mineralogi terhadap kapasitas tukar kation zeolit alam Pacitan, Jawa Timur," *Kurvatek*, vol. 8, no. 1, pp. 93 – 98, 2023. doi: 10.33579/krvtk.v8i1.4004 [Online].

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh komposisi mineralogi dan kimia terhadap kapasitas tukar kation (KTK) sampel zeolit alam yang diperoleh dari Pacitan, Jawa Timur. Sepuluh sampel tuf zeolitik dilakukan dianalisis komposisi mineralogi dan kimia, kapasitas tukar kation (KTK). Hasil komposisi mineralogi menunjukkan bahwa zeolit alam mempunyai jenis mordenit dominan dijumpai dalam jumlah yang signifikan, dengan persentase bervariasi dari 32% hingga 38%. Berdasarkan analisis kimia, kandungan kimia sampel tersusun oleh SiO₂ yang berkisar antara 61% hingga 66% dan Al₂O₃ dari 9% hingga 11% yang kemudian diperoleh rasio antara Si/Al. Nilai kapasitas tukar kation (KTK) bervariasi dari 70 meq/100 g hingga 91 meq/100 g dengan nilai rata-rata 82 meq/100 g. Variasi nilai tersebut kemungkinan besar dipengaruhi oleh perbedaan persentase mineral zeolit dan mineral pengotor lainnya. Zeolit jenis mordenit juga diduga paling berpengaruh terhadap kapasitas tukar kation (KTK), sedangkan mineral lempung memberikan pengaruh yang relatif kecil. Kapasitas tukar kation (KTK) kesepuluh zeolit alam yang diteliti menunjukkan korelasi positif dengan kandungan zeolit tipe mordenit serta dengan kandungan total mineral berpori dan rasio Si/Al. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi untuk berbagai tujuan terutama di bidang pertanian dan lingkungan.

Kata kunci: Zeolit alam, Mineralogi, Kapasitas tukar kation, Mordenit

Abstract – The study aimed to investigate the influence of mineralogical and chemical composition on the cation exchange capacity of natural zeolite obtained from Pacitan, East Java. Ten natural zeolite samples were analyzed for mineralogical and chemical composition and cation exchange capacity. The result of the study showed that the natural zeolite samples have a mordenite-type mineral in dominant, with the percentage in vary between 32% to 38%. Based on chemical analysis, the natural zeolite samples consist of SiO₂ ranging from 61% to 66% and Al₂O₃ ranging from 9% to 11%, which are then calculated to obtain for Si/Al ratio. The value of cation exchange capacity obtained ranges from 70 meq/100 g to 91 meq/100 g, with 82 meq/100 g on average. This variation was most probably influenced by the difference in zeolite mineral type presence and other minerals. Moedenite mineral type was suspected as the most dominant, which influenced the cation exchange capacity value obtained in this study. The cation exchange capacity of the samples gives a positive correlation to the content of the mordenite mineral, total microporous mineral, and Si/Al ratio. The result of the study is expected to contribute to the information on the natural zeolite in the area for agricultural and environmental fields.

Keywords: Natural zeolite, Mineralogy, Cation exchange capacity, Mordenite

I. PENDAHULUAN

Zeolit alam sering digunakan untuk banyak kegunaan, antara lain di bidang pertanian dan lingkungan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa zeolit alam sangat baik untuk bahan campuran pupuk, dan di

bidang industri sebagai adsorben, baik kontaminan organik maupun anorganik [1,2,3]. Zeolit alam banyak dijumpai di Indonesia, salah satunya di Pacitan Jawa Timur [4]

Zeolit alam tersusun oleh mineral mikroporus kristal aluminosilikat terhidrasi. Struktur kristal zeolit alam tergantung pada tiga dimensi asosiasi (Si Al)O tetrahedral dan kation alkali kerangka ekstra dan alkali tanah, yang mudah terikat pada muatan anionik dalam struktur dan dapat diubah dengan kation lainnya [5]. Salah satu isu yang paling penting penggunaan zeolit alam adalah nilai kapasitas tukar kation (KTK) yang dimilikinya. Nilai KTK yang dimiliki zeolit alam akan mencerminkan seberapa jauh daya tukar kation atau *ion exchange* yang nantinya akan menjadikan zeolit mempunyai potensi untuk digunakan dalam keperluan di bidang pertanian maupun remediasi. Namun demikian, masih belum banyak penelitian yang menginvestigasi faktor apa yang mempengaruhi nilai KTK karena secara teori nilai KTK zeolit akan tergantung pada mineralogi dan kimia zeolit [6]

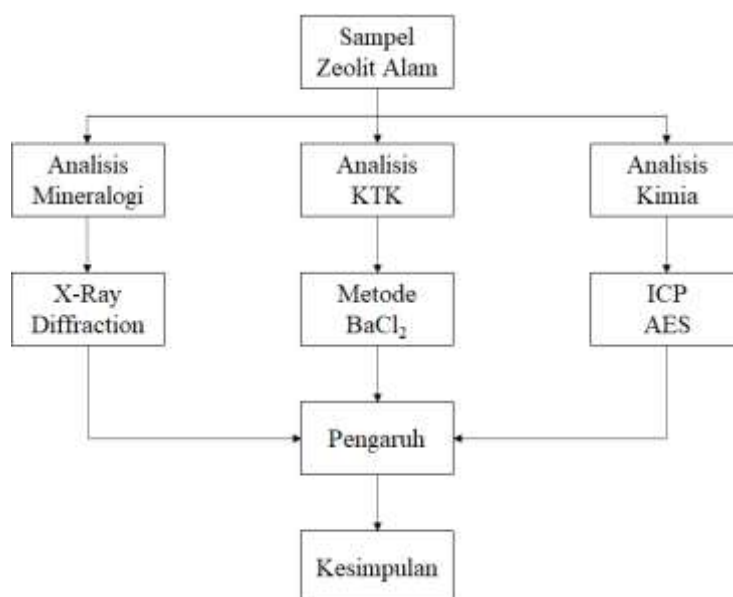
Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan komposisi mineralogi, kimia terhadap kapasitas tukar kation (KTK) zeolit alam yang didapatkan dari Pacitan, Jawa Timur. Secara geologi, deposit zeolit alam di Pacitan, Jawa Timur, merupakan hasil alterasi pada batuan vulkanis yang merupakan bagian dari Formasi Punung yang berumur miosen awal [7].

II. METODE PENELITIAN

Sepuluh sampel zeolit alam diambil dari Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. Sampel yang diperoleh masing-masing sebanyak 0.25 kg dihaluskan dengan mortar dan kemudian diayak dengan ukuran 106–53 μm . Sampel selanjutnya dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 105°C sebelum digunakan untuk percobaan. Analisis *X-ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui komposisi mineralogi sampel zeolit alam. Nilai estimasi kuantitatif mineral diperoleh data XRD dihitung menurut referensi sebelumnya [9].

Analisis kimia sampel zeolit alam dilakukan dengan melarutkan sampel dengan aqua regia, yang diikuti dengan pengukuran dengan menggunakan *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES). Kapasitas tukar kation (KTK) sampel zeolit alam diukur dengan metode barium klorida (BaCl_2) [8]. Zeolit alam sebanyak 2,5 gram dikocok dengan 30 mL larutan BaCl_2 0,1 mol/L selama 1 jam. Fasa padat dan cair kemudian dipisahkan dengan metode sentrifugal. Prosedur ini diulang dua kali, dan substansi hasil sentrifugasi atau supernatan dikumpulkan untuk kemudian dilakukan pengukuran KTK. Setelah diseimbangkan dengan 30 mL larutan 0,002 mol/L BaCl_2 , sampel sekali lagi dikocok dengan 30 mL dari larutan 0,02 mol/L magnesium sulfat (MgSO_4) (pada versi pertama waktu pengocokan adalah dua jam; pada versi kedua adalah semalam). Barium yang teradsorpsi bertukar dengan magnesium dan mengendap dalam bentuk BaSO_4 . Isi residu yang terakhir ini diukur dengan ICP-AES dan dikurangi dari kadar aslinya. Perbedaan nilai ini yang kemudian dihitung dan menghasilkan nilai KTK.

Adapun metode penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

III. Hasil dan Diskusi

Tabel 1 menunjukkan hasil analisis XRD sampel yang menunjukkan adanya mineral mordenit dan klinoptilolit, disamping itu juga dijumpai beberapa mineral lain seperti feldspar, kuarsa, dan mineral lempung berjenis smektit. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian lain yang menunjukkan bahwa zeolit alam yang terbentuk secara alamiah akan tersusun oleh mineral yang heterogen dan mempunyai keragaman mineralogi [9,10].

Komposisi mineralogi semi-kuantitatif ditunjukkan pada Tabel 1, dimana dapat diidentifikasi beberapa mineral sebagai mineral berpori (mineral zeolit dan mineral lempung). Mineral primer yang diperoleh pada sampel zeolit alam dominan pada zeolit tipe mordenit, dengan variasi persentase berkisar antara 32% hingga 37%, dengan nilai rata-rata 34%. Secara umum, mineral lempung plagioklas, kuarsa, dan smektit juga ditemukan dalam jumlah sedikit. Kandungan mineral berpori (mineral zeolit dan mineral lempung) bervariasi antara 48% sampai 65%, sedangkan mineral kuarsa dan feldspar sebagai kandungan non-mikroporus dalam sampel berkisar antara 6% hingga 8%.

Tabel 1. Komposisi mineralogi sampel zeolit alam (%)

Variasi mineral	Sampel C-1	Sampel C-2	Sampel C-3	Sampel C-4	Sampel C-5
Mordenit	36	34	33	38	35
Klinoptilolit	9	6	16	17	16
Smektit	4	15	6	11	8
Kuarsa	5	3	4	2	3
Plagioklas	1	4	3	6	2
Mineral berpori	49	55	55	66	59
Variasi mineral	Sampel C-6	Sampel C-7	Sampel C-8	Sampel C-9	Sampel C-10
Mordenit	32	34	37	32	37
Klinoptilolit	17	6	18	16	16
Smektit	9	8	9	8	12
Kuarsa	5	3	4	2	3
Plagioklas	3	2	2	4	1
Mineral berpori	58	48	64	56	65

Komposisi kimia sampel zeolit alam ditunjukkan pada Tabel 2. Semua sampel zeolit alam mengandung SiO₂ dalam jumlah besar dengan variasi dari 62,2% hingga 67,1%. Kadar Al₂O₃ diukur dari 9,6% hingga 10,2%. Persentase kation Mg, Ca, Na, dan K variasi dari 6% hingga 9%. Kation ini berkembang terutama dari struktur zeolit, dengan feldspar dan lempung dalam jumlah besar yang akan berpengaruh pada kandungan kationnya. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sampel S-4 dan S-6 memiliki nilai rasio Si/Al paling tinggi dibandingkan sampel lainnya. Besaran rasio Si/Al yang diukur mungkin dipengaruhi oleh kandungan mordenit, sebagaimana dikemukakan oleh peneliti lain [11,12].

Tabel 2. Komposisi kimia sampel zeolit alam (%)

Komponen	Sample S-1	Sampel S-2	Sampel S-3	Sampel S-4	Sampel S-5
SiO ₂	63.2	67.1	65.2	61.1	66.1
Al ₂ O ₃	10.3	11.6	9.6	9.0	10.2
Fe ₂ O ₃	0.8	1.2	1.1	1.1	1.1
K ₂ O	4.0	4.3	4.3	4.3	4.3
Na ₂ O	2.8	4.2	4.2	4.2	4.2
CaO	3.9	7.7	7.7	7.7	7.7
MgO	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
TiO ₂	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
MnO	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
H ₂ O	12.2	3.4	4.4	6.4	3.4
Jumlah	97.6	98.9	96.7	95.0	98.2
Si/Al	6.2	5.8	6.8	6.8	6.5

Komponen	Sample S-6	Sampel S-7	Sampel S-8	Sampel S-9	Sampel S-10
SiO ₂	62.2	67.1	64.4	61.1	66.1
Al ₂ O ₃	9.1	10.0	9.9	9.2	10.2
Fe ₂ O ₃	0.8	1.2	1.1	1.1	1.1
K ₂ O	4.0	4.3	4.3	4.3	4.3
Na ₂ O	2.8	4.2	4.2	4.2	4.2
CaO	3.9	7.7	7.7	7.7	7.7
MgO	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
TiO ₂	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
MnO	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
H ₂ O	11.2	3.1	4.1	6.3	3.9
Jumlah	97.6	98.9	96.7	95.0	98.2
Si/Al	6.8	6.7	6.5	6.6	6.5

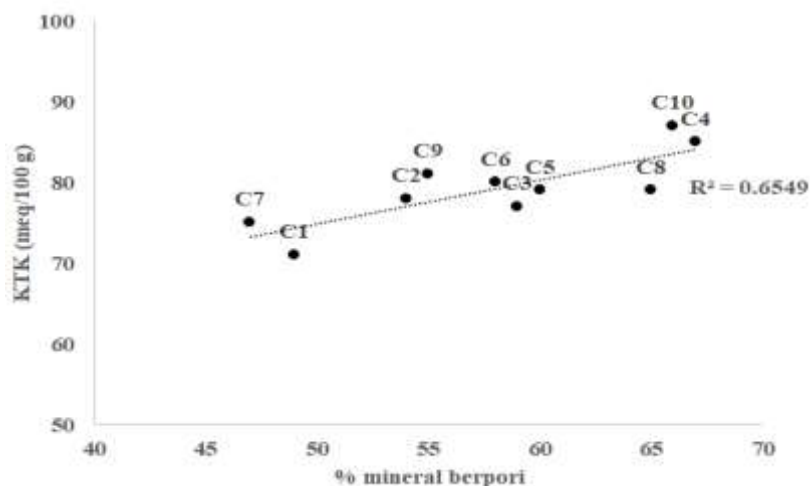
Kapasitas tukar kation (KTK) dapat dilihat pada Tabel 3, yang bervariasi antara 70 hingga 97 meq/100g dengan jumlah rata-rata 82 meq/100g. Secara umum, nilai-nilai tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan temuan peneliti lain [13]. Hal terkait dengan perbedaan kandungan mordenit dan klinoptilolit, yang menurunkan nilai KTK, sebagaimana disebutkan dalam penelitian lain [14,15].

Secara umum, nilai KTK mordenit relatif lebih rendah dibandingkan dengan zeolit alam lainnya karena rasio Si/Al yang tinggi. Nilai ini termasuk kategori menengah dibandingkan dengan KTK mineral mordenit lainnya [16].

Tabel 3. Nilai kapasitas tukar kation (KTK) (meq/100g)

Nilai	Sample S-1	Sampel S-2	Sampel S-3	Sampel S-4	Sampel S-5
KTK	70	66	88	97	90
Nilai	Sample S-1	Sampel S-2	Sampel S-3	Sampel S-4	Sampel S-5
KTK	90	91	80	85	78

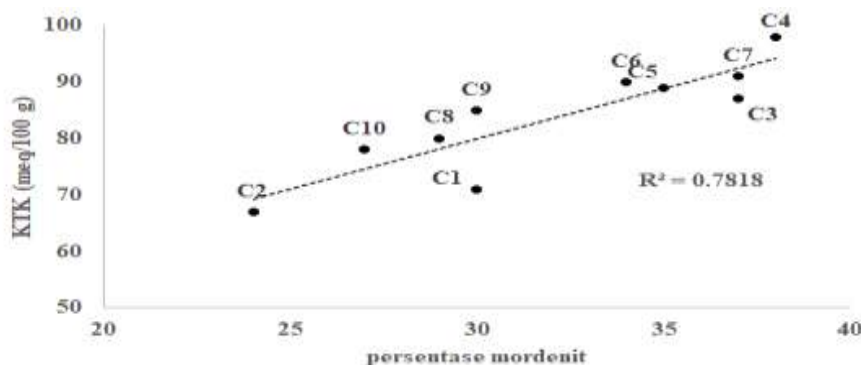
Hubungan antara komposisi mineralogi dengan daya serap atau nilai KTK ditunjukkan pada Gambar 2 hingga Gambar 4. Semua hubungan memiliki koefisien korelasi >0,6.



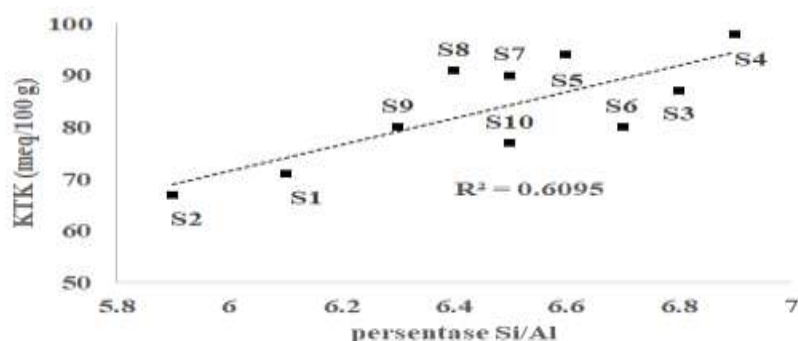
Gambar 2. Hubungan nilai kapasitas tukar kation (KTK) dengan prosentase mineral mikroporus

Gambar 2 menunjukkan korelasi kapasitas tukar kation (KTK) dengan kandungan mineral mikroporus pada sampel tufa zeolit. Terdapat korelasi yang cukup kuat dengan koefisien korelasi 0,6549. Hasil ini menunjukkan bahwa keberadaan mineral berpori seperti zeolit dan mineral lempung sangat memengaruhi daya serap. Fenomena ini disebabkan mineral zeolit memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, dan mineral lempung memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi.

Gambar 3 menunjukkan hubungan nilai kapasitas tukar kation (KTK) dengan kandungan mineral mordenit pada sampel zeolit alam.



Gambar 3. Hubungan nilai kapasitas tukar kation (KTK) dengan prosentase mordenit



Gambar 4. Hubungan nilai kapasitas tukar kation (KTK) dengan prosentase Si/Al

Gambar 4 menunjukkan korelasi nilai kapasitas tukar kation (KTK) dengan rasio Si/Al pada sampel zeolit alam. Terdapat korelasi yang kuat dengan koefisien korelasi 0,6095. Nilai rasio Si/Al yang diperoleh mungkin disebabkan oleh kandungan mordenit [18].

Karena rasio Si/Al yang tinggi, maka mordenit diketahui sangat tahan terhadap proses pelarutan dan pelapukan, dan diklasifikasikan sebagai salah satu fasa paling stabil [19].

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mengkaji pengaruh antara mineralogi dan komposisi kimia zeolit alam dari Pacitan, Indonesia, yang dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya. Diperlukan lebih banyak sampel zeolit alam di daerah penelitian untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif dan lebih baik tentang perilaku kapasitas tukar kation (KTK).

IV. KESIMPULAN

Sampel zeolit alam di daerah penelitian diteliti untuk diketahui komposisi mineralogi dan kimia, serta pengaruhnya dengan kapasitas tukar kation (KTK). Mineral utama yang ditemukan pada sampel zeolit alam adalah zeolit tipe mordenit, dengan jumlah rata-rata 37% dan sedikit kandungan mineral plagioklas, feldspar, kuarsa, mika, dan lempung. Berdasarkan analisis kimia, jumlah SiO_2 bervariasi antara 62% hingga 67%, dan Al_2O_3 dari 12% hingga 13%. Kapasitas tukar kation (KTK) yang diperoleh bervariasi antara 70 meq/100g hingga 91 meq/100g dan nilai rata-rata 82 meq/100g. Kapasitas tukar kation kesepuluh zeolit alam yang diteliti menunjukkan hubungan yang baik dengan kandungan mordenit, kandungan total mineral mikroporus serta rasio Si/Al. Studi pendahuluan ini menunjukkan bahwa zeolit alam di Pacitan dengan kandungan zeolit tipe mordenit yang cukup tinggi merupakan bahan yang menjanjikan untuk berbagai kegunaan di berbagai bidang. Bahan ini dapat dimanfaatkan di bidang lingkungan dan di bidang pertanian baik sebagai pupuk maupun campuran pupuk organik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Gadjah Mada atas pendanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Cataldo, L. Salvi, F. Paoli, M. Fucile, G. Masciandaro, and D. Manzi, "Application of zeolites in agriculture and other potential uses: a review," *Agronomy*, vol. 11, no. 8, pp. 1547, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081547>.
- [2] Y. Lv, B. Ma, Y. Liu, C. Wang, and Y. Chen, "Adsorption behavior and mechanism of mixed heavy metal ions by zeolite adsorbent prepared from lithium leach residue," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 329, pp. 111553, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2021.111553>.
- [3] E. Pérez-Botella, S. Valencia, and F. Rey, "Zeolites in adsorption processes: state of the art and future prospects," *Chem. Rev.*, vol. 122, no. 24, pp. 17647–17695, 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00140>.
- [4] K. Kusdarto, "Potensi zeolit di Indonesia," *Jurnal Zeolit Indonesia*, vol. 7, no. 2, 78-87, 2008.
- [5] K. M. Manjaiah, R. Mukhopadhyay, R. Paul, S. C. Datta, P. Kumararaja, and B. Sarkar, *Clay minerals and zeolites for environmentally sustainable agriculture*, in *Modified Clay and Zeolite Nanocomposite Materials*, M. Mercurio, B. Sarkar, and A. Langella, Ed. Elsevier, pp. 309–329, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814617-0.00008-6>.
- [6] L. Kruszewski, V. Palchik, Y. Vapnik, K. Nowak, K. Banasik, I. Galuska, I. "Mineralogical, geochemical, and rock mechanic characteristics of zeolite-bearing rocks of the hatrurim basin, Israel," *Minerals*, vol. 11, no. 10, 1062, 2021. <https://doi.org/10.3390/min11101062>.
- [7] Asrafil, A. Idrus, and D. Wintolo, "Eksplorasi endapan hidrotermal di Daerah Kasihan, Pacitan, Jawa Timur," *J. Geol. dan Sumberd. Miner.*, vol. 18, no. 4, pp. 191–200, 2017.
- [8] G. P. Gillman and E. A. Sumpter, "Modification to the Compulsive Exchange Method for Measuring Exchange Characteristics of Soils," *Soil Res.*, vol. 24, no. 1, pp. 61–66, 1986.
- [9] A. Alshameri, W. Xinghu, A. S. Dawood, C. Xin, C. Yan, and A. M. Assabri, "Characterization of Yemeni Natural Zeolite (Al-Ahyuq Area) and its environment applications: a review," *J. Ecol. Eng.*, vol. 20, no. 4, pp. 157–166, 2019. <https://doi.org/10.12911/22998993/102842>.
- [10] P. C. Piilonen, G. Poirier, W. Lechner, R. Rowe, and R. P. Richards, "Zeolite minerals from Wat Ocheng, Ta Ang, Ratanakiri Province, Cambodia - occurrence, composition, and paragenesis," *Can. Mineral.*, vol. 60, no. 1, pp. 133–153, 2022. <https://doi.org/10.3749/canmin.2000113>.
- [11] J. L. Costafreda and D. A. Martín, "New deposit of Mordenite–Clinoptilolite in the Eastern Region of Cuba: uses as pozzolans," *Molecules*, vol. 26, no. 15, pp. 4676, 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules26154676>.
- [12] A. Vural and M. Albayrak, "Evaluation of gördes zeolites in terms of mineralogical, geochemical and environmental effects," *J. Eng. Res. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 1503–1520, 2020. <http://journaleras.com/index.php/jeras/article/view/216>.
- [13] C. Covarrubias, R. García, R. Arriagada, J. Yáñez, and M. T. Garland, "Cr(III) Exchange on zeolites obtained from kaolin and natural mordenite," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 88, no. 1–3, pp. 220–231, 2006.
- [14] A. F. Gualtieri, E. Marchi, and E. Passaglia, "Zeolite content and cation exchange capacity of zeolite-rich rocks," in *Studies in Surface Science and Catalysis*, vol. 125, Elsevier Science B.V., pp. 707–713, 1999.
- [15] F. Morante-Carballo, N. Montalván-Burbano, P. Carrión-Mero, and N. Espinoza-Santos, "Cation exchange of natural zeolites: worldwide research," *Sustainability*, vol. 13, no. 14, pp. 7751, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13147751>.
- [16] A. Filippidis, N. Kantiranis, M. Stamatakis, A. Drakoulis, and E. Tzamos, "The cation exchange capacity of the greek zeolitic rocks," *Bull. Geol. Soc. Greece*, vol. 40, no. 2, pp. 723–735, 2007.
- [17] D. A. Holmes, "Zeolites," in *Industrial Minerals and Rocks*, 6th Editio., D. D. Carr, Ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, pp. 1129–1158, 1994.
- [18] I. Friberg, N. Sadokhina, and L. Olsson, "The effect of Si/Al ratio of zeolite supported pd for complete CH₄ oxidation in the presence of water vapor and SO₂," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 250, pp. 117–131, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.03.005>.
- [19] Ç. Ceylan, "Geological, mineralogical, geochemical properties, and characterization of marine zeolite," *J. Ongoing Chem. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 10–14, 2021.



©2023. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).