

Research Article

Modifikasi Zeolit Alam Teraktivasi Asam dengan Perak Nitrat

The Modification of Natural Zeolit Activated Acid with Silver Nitrate

Catur Septommy^{1*)}, Lailatul Badriyah²⁾

¹⁾Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata Kediri, Biomaterial Fakultas Kedokteran Gigi, Indonesia

²⁾Akademi Farmasi Kusuma Husada Purwokerto, Indonesia

*correspondence email: catur.septommy@iik.ac.id

Received: 09 August 2021;
Revised: 08 February 2022;
Accepted: 12 February 2022;

doi: [10.25273/cheesa.v5i1.10104.13-19](https://doi.org/10.25273/cheesa.v5i1.10104.13-19)

Abstrak

Zeolit merupakan material aluminosilikat yang memiliki rongga dengan struktur kerangka yang teratur. Aktivasi secara kimia atau fisika dapat meningkatkan kemampuan dalam penukaran ion pada saluran-saluran material zeolit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui morfologi dan kandungan unsur dari zeolit yang telah dimodifikasi dengan perak nitrat. Aktivasi zeolit alam dilakukan secara kimia menggunakan larutan HCl dan NaCl, sedangkan untuk modifikasinya menggunakan metode sistem *batch* dengan larutan perak nitrat. Morfologi dan kandungan unsur zeolit yang telah teraktivasi dan termodifikasi diuji dengan SEM-EDS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi mineral pada zeolit setelah aktivasi terjadi kenaikan yang signifikan pada Na dan Si. Hal ini juga diikuti dengan pengotor pada area permukaan zeolit menjadi berkurang. Jumlah persentase unsur perak yang terendah ditemukan pada kelompok zeolit dengan modifikasi AgNO_3 0,025 M dan jumlah persentase unsur perak yang tertinggi ditemukan pada kelompok zeolit dengan modifikasi AgNO_3 0,1 M. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa aktivasi zeolit alam dapat menghilangkan material-material pengotor yang terdapat pada zeolit sehingga akan memudahkan modifikasi zeolit dengan ion perak. Jumlah unsur ion perak akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan perak nitrat yang digunakan.

Kata kunci: aktivasi; modifikasi; perak nitrat; zeolit alam

Abstract

Zeolite is an aluminosilicate material that has cavity and framework. Activation process chemically or physically can improve the ability of ion exchange in the channels of the zeolite material. This study aims to determine the morphology and elemental content of zeolite that has been modified with silver nitrate. The methods that used to modifying was carried out through the activation of natural zeolite used HCl and NaCl solution, for the modification using the batch system method with silver nitrate solution. The morphology and elemental content of the active and modified zeolite were analyzed by SEM-EDS. The results showed that the mineral composition of the zeolite activated showed significantly increased in Na dan Si content. It was the impurities on the surface area reduced. The lowest percentage of silver was found in the zeolite group with AgNO_3 0.025 M modification and the highest percentage of silver was found in the zeolite group with 0.1 M AgNO_3 modification. Based on the results, it can be concluded that the activation process of natural zeolite can remove impurity materials contained in zeolite so that it will facilitate the modification of zeolite with silver ions. The higher the concentration of AgNO_3 used, the number of silver in zeolite activated will be increased.

Keywords: activation; modification; natural zeolite; silver nitrate

1. Pendahuluan

Zeolit merupakan material aluminosilikat yang memiliki rongga dengan struktur kerangka yang teratur dengan diameter beragam biasanya kurang dari 20 Å [1,2]. Penyusun utama zeolit adalah SiO₄ dan AlO₄ yang memiliki struktur berbentuk tetrahedral dengan bagian polarnya yang tersusun dari molekul H₂O. Menurut Pabalan & Bertetti [3], keberadaan Al³⁺ dan Si⁴⁺ dalam struktur zeolit menjadikan kerangka utamanya bermuatan negatif, sehingga diseimbangkan dengan logam bermuatan positif seperti Na⁺, K⁺, dan Ca²⁺. Zeolit dapat dihasilkan secara alami atau buatan. Pegunungan vulkanik yang terdapat di Indonesia merupakan sumber zeolit alam seperti di daerah Malang, Wonosari, Bogor, dan Lampung. Zeolit *Modernit*, *Clinoptilolit*, dan *Smectit* merupakan jenis zeolit alam yang tersebar dan ditemukan di Indonesia [2]. Dalam bidang kesehatan, beberapa jenis material baik zeolit alam maupun zeolit sintetik yang banyak digunakan adalah Klinoptilolit, Beta, Faujasit, ZSM-5 dan Modernit [4].

Aktivasi perlu dilakukan karena ukuran rongga pada zeolit mempengaruhi pertukaran ion. Aktivasi bertujuan untuk meningkatkan kemampuan permukaan material zeolit menjadi lebih efektif sebagai penukar ion. Aktivasi dapat dilakukan secara kimia atau fisika. Aktivasi secara kimia menggunakan larutan kimia yang bersifat asam dan basa, sedangkan secara fisika menggunakan pemanasan suhu tinggi. Aktivasi zeolit secara kimia dapat menghilangkan senyawa pengotor pada permukaan pori zeolit sehingga letak atom yang akan ditukarkan dapat teratur [5]. Aktivasi juga menjadikan gugus aktif pada zeolit dapat

dimanfaatkan sebagai penukar ion, katalis [6], dan salinasi [7].

Ion perak (Ag⁺) merupakan salah satu material anorganik yang berupa partikel logam atau oksida logam dan berukuran nanometer yang biasa digunakan untuk aplikasi teknologi berukuran nano. Produk material antimikroba berbahan nanopartikel perak untuk keperluan tindakan medis memerlukan material pembawa ion logam. Salah satu material pembawa ion logam adalah silika. Silika merupakan salah satu mineral yang terdapat pada zeolit [8,9]. Berdasarkan hasil penelitian Kenjiro *dkk* [10], penambahan zeolit aktif yang telah dimodifikasi perak (*Zeomic*) pada bahan gigi tiruan resin akrilik mampu menurunkan jumlah koloni bakteri *Streptococcus mutans* yang menjadi salah satu penyebab karies gigi.

Kalsium hidroksida merupakan bahan kedokteran gigi yang dapat melindungi pulpa gigi dari iritasi suhu pada gigi berlubang. Pada penelitian Ghatole *dkk* [11] menunjukkan bahwa kalsium hidroksida yang dicampur dengan produk Ag-Zeolit aktif dari *Sigma-Aldrich* dapat menghasilkan aktivitas antibakteri yang tinggi. Kalsium hidroksida yang dicampur dengan zeolit perak mampu menunjukkan aktivitas antibakteri yang maksimum terhadap *Enterococcus faecalis* pada hari ke-1, ke-3 dan ke-7. Pada penelitian di atas telah membuktikan bahwa zeolit aktif yang telah dimodifikasi perak nitrat mampu menambah daya antibakteri pada bahan restorasi kedokteran gigi. Pada penelitian ini akan mensintesis zeolit aktif dari zeolit alam yang berasal dari Indonesia untuk dimodifikasi dengan perak nitrat sehingga bisa dikembangkan sebagai material pembawa agen antimikroba pada bahan pencegahan

Modifikasi Zeolit Alam Teraktivasi Asam dengan Perak Nitrat

kedokteran gigi sebagai bahan campuran pasta gigi atau pembersih gigi tiruan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengaktivasi zeolit yang berasal dari alam Indonesia dengan asam dan dilanjutkan modifikasi zeolit aktif tersebut dengan larutan perak nitrat (AgNO_3) pada berbagai konsentrasi. Uji SEM-EDS yang dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui morfologi dan kandungan unsur dari zeolit yang telah dimodifikasi dengan perak.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Zeolit alam yang digunakan berasal dari PT. Asia Zeolite Prima, AgNO_3 (Merck 99,8%), HCl (Sigma-Aldrich), NaCl (PT. Smart Lab-Indonesia). Instrumen yang digunakan untuk analisis menggunakan SEM-EDS HITACHI FLEXSEM 1000.

2.2 Preparasi dan Aktivasi Zeolit Alam

Preparasi dan aktivasi zeolit alam menggunakan metode dari Baykara *dkk* yang telah dimodifikasi dengan Osonio & Vasquez [12,13], yaitu bubuk zeolit alam dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$ kemudian dihaluskan dan disaring pada ukuran 100 mesh. Kemudian serbuk zeolit sebanyak 6 gram diaktivasi dengan direndam pada 500 mL larutan HCl 3 M selama 12 jam. Setelah itu disaring, dicuci dengan akuades 16 kali atau sampai pH netral dan dikeringkan menggunakan oven $150\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam. Selanjutnya sampel zeolit direndam pada larutan 4 M NaCl selama 24 jam, kemudian disaring dan dicuci dengan akuades 16 kali atau sampai pH netral dan dikeringkan menggunakan oven $150\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam.

2.3 Modifikasi Zeolit Teraktivasi dengan Perak

Modifikasi zeolit teraktivasi dengan perak dilakukan dengan metode perendaman menurut Osonio & Vasquez [13], yaitu 6 gram zeolit teraktivasi dimasukkan dalam larutan AgNO_3 (0,025 M, 0,05 M, dan 0,1 M) masing-masing sebanyak 60 mL, kemudian dilanjutkan strirer selama 5 jam. Zeolit teraktivasi yang sudah termodifikasi dicuci dengan akuades hingga pH netral kemudian dikeringkan pada temperatur $150\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam. Lalu dihaluskan dan disaring dengan ayakan ukuran 100 mesh.

2.4 Analisis SEM-EDS

Sampel zeolit yang teraktivasi dan termodifikasi dihaluskan kemudian diletakkan dan ditempel menggunakan *carbon tape*, jika tidak menempel maka dibersihkan terlebih dahulu. Lalu sampel diletakkan pada SEM *specimen holder*. Hasil akan muncul pada monitor dengan gambar morfologinya dan persentase komposisi unsur-unsurnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Morfologi

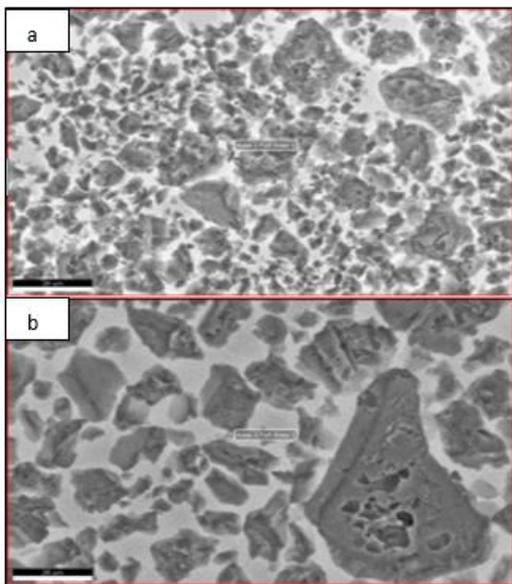
Analisis morfologi dilakukan pada sampel zeolit alam sebelum diaktivasi, setelah diaktivasi, dan setelah dimodifikasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Melalui berkas elektron yang mengenai permukaan sampel, maka akan teridentifikasi adanya perbedaan penggumpalan pada permukaan material zeolit dalam mikrostruktur. Detail penampilan morfologi pada material zeolit disajikan pada Gambar 1 dan 2.

Morfologi permukaan zeolit alam pada Gambar 1.a terlihat bahwa material sebelum diaktivasi memiliki banyak pengotor pada permukaannya, sedangkan

Modifikasi Zeolit Alam Teraktivasi Asam dengan Perak Nitrat

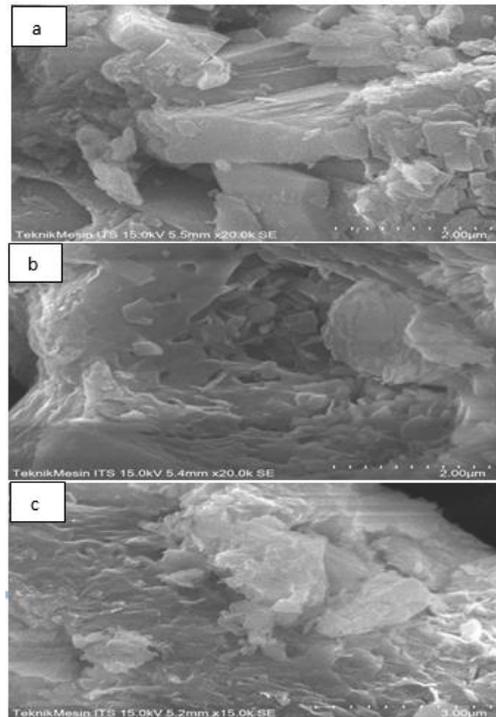
setelah aktivasi terlihat partikel-partikel kecil yang berkurang. Pengotor yang ada di dalam zeolit merupakan molekul anorganik dan organik yang larut atau hilang setelah proses aktivasi menggunakan asam. Namun, pada Gambar 1.b belum terlihat gambaran aglomerasi.

Gambar 2 merupakan morfologi permukaan zeolit aktif termodifikasi. Berdasarkan gambar tersebut, zeolit aktif yang telah dimodifikasi perak nitrat dengan berbagai konsentrasi menunjukkan bahwa makin banyak penambahan konsentrasi perak nitrat, maka terbentuk aglomerasi pada beberapa bagian permukaan zeolit.



Gambar 1. Morfologi permukaan Zeolit Alam (ZA) a) sebelum diaktivasi, b) setelah diaktivasi pada perbesaran 15.000X

Pada pengamatan dengan perbesaran 15.000X permukaan zeolit aktif setelah dimodifikasi tampak lebih jelas adanya aglomerasi pada permukaannya dan lebih tebal pada beberapa bagian saja. Hal ini dimungkinkan persebaran penambahan perak melalui larutan AgNO_3 tidak tersebar secara merata.



Gambar 2. Morfologi permukaan a) ZA-Ag 0,025 b) ZA-Ag 0,05, c) ZA-Ag 0,1 perbesaran 15.000X

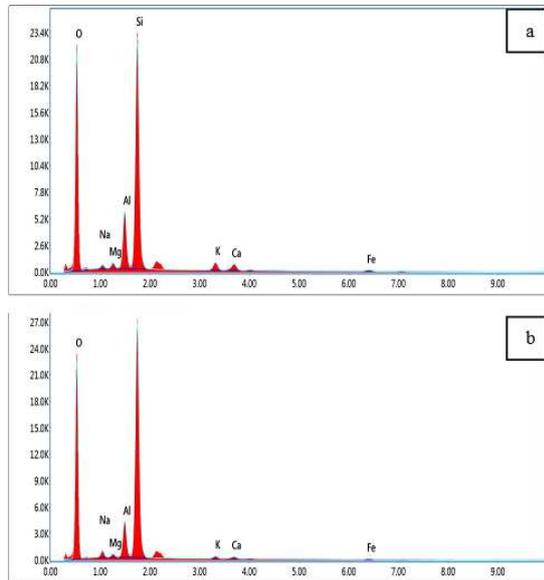
3.2 Analisis Komposisi Unsur

Berdasarkan Tabel 1 terdapat kenaikan unsur Si sebanyak 5,64% dan penurunan unsur Alumina sebanyak 2,19% pada zeolit sebelum dan sesudah teraktivasi. Pada Gambar 3 komposisi unsur Si dan O dominan pada zeolit yang belum aktif dan sudah aktif, Ratio Si/Al yang tinggi pada zeolit akan meningkatkan kemampuan sebagai katalis dan gugus silanol polar pada zeolit juga akan meningkat sehingga akan mudah menyerap air [14,15].

Penambahan larutan perak juga menyebabkan terjadi perubahan kandungan mineral, seiring dengan penambahan modifikasi Ag, yang disajikan pada Tabel 1 hasil analisis EDS. Pada sisi lainnya, kandungan Na semakin menurun dengan besarnya konsentrasi Ag yang ditambahkan. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Aparicio-Vázquez *dkk* [16], struktur pada permukaan zeolit memiliki

Modifikasi Zeolit Alam Teraktivasi Asam dengan Perak Nitrat

ion-ion logam yang bermuatan, seperti ion-ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+} . Ion natrium dalam zeolit dapat bertukar dengan ion logam yang lain seperti ion kalsium, perak dan potasium [17–19].



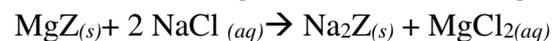
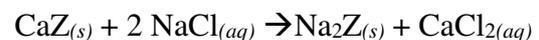
Gambar 3. Scattering komposisi Zeolit Alam (ZA) a) belum diaktivasi, b) setelah diaktivasi

Larutan HCl merupakan salah satu larutan yang sering dipakai saat aktivasi zeolit. Penambahan HCl dapat melarutkan dan menghilangkan oksida dari material pengotor pada permukaan zeolit yang menyebabkan permukaan zeolit terbuka atau berpori sehingga bidang kontak dengan ion lain lebih besar. Berdasarkan Tabel 1, ada beberapa kandungan logam pengotor seperti Mg, Al, K, Ca dan Fe yang mengalami penurunan saat aktivasi zeolit karena terjadi perpindahan ion dari kation zeolit dengan ion proton dari HCl. Proses adsorpsi terjadi karena air mengalir pada pori-pori bersama ion H^+ dan akan bertukar dengan ion pengotor pada zeolit. Perpindahan ion akan berhenti saat zeolit mengalami kejenuhan [5].

Tabel 1. Komposisi zeolit aktif sebelum dan sesudah modifikasi perak (Ag) sebagai hasil pengujian EDS

Jenis Zeolit	Jenis Mineral (%)							
	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Ag
Zeolit sebelum aktivasi	0,9	0,89	8,34	33,75	2,63	2,63	1,77	0
Zeolit teraktivasi	1,81	0,63	6,15	39,39	1,06	1,07	1,15	0
Zeolit aktif dengan AgNO_3 0,025 M	1,25	6,47	0	38,93	0,94	0	0	2,28
Zeolit aktif dengan AgNO_3 0,05 M	0,85	0,65	6,23	39,29	1,14	0	0	4,15
Zeolit aktif dengan AgNO_3 0,1 M	0,64	0,66	5,94	38,53	1,02	0	0	5,74

Proses perendaman zeolit pada larutan garam dapur (NaCl) bertujuan untuk mengaktifkan kembali zeolit yang telah jenuh. Regenerasi ini menyebabkan ion Na pada larutan garam menggantikan ion Ca dan Mg pada zeolit. Berdasarkan Tabel 1 (zeolit teraktivasi), terjadi penambahan unsur ion Na yang diikuti dengan penurunan ion pengotor Ca dan Mg. Berikut reaksinya menurut Marsidi [20].



Ion natrium pada zeolit aktif mampu menyerap ion perak pada larutan perak nitrat. Berdasarkan Tabel 1, terjadi penambahan unsur ion Ag dan diikuti penurunan ion Na. Ion perak yang terserap pada zeolit dapat menghasilkan sifat yang diharapkan dari ion perak untuk aplikasi antimikroba. Selama proses aktivasi dan modifikasi zeolit juga dilakukan

Modifikasi Zeolit Alam Teraktivasi Asam dengan Perak Nitrat

pemanasan pada oven yang menyebabkan air pada zeolit akan keluar dari ruang kristal zeolit dan medan listrik akan menyebar ke rongga utama zeolit. Hal ini akan meningkatkan daya tukar kation sehingga efektif saat proses adsorpsi molekul [21].

Jumlah kation dalam struktur zeolit alam memiliki pengaruh yang signifikan pada sifat adsorpsi zeolit [22]. Peningkatan jumlah Ag pada zeolit dapat dijadikan sebagai tanda telah terjadi perpindahan kation Na oleh Ag pada pori-pori zeolit. Disisi lain, salah satu unsur sebagai *framework* dari zeolit yaitu unsur Si tidak mengalami perubahan signifikan. Hasil ini diperkuat analisis XRD dari hasil penelitian de Araújo *dkk* [23], pada pengamatan 2θ zeolit dengan modifikasi perak nitrat 1%, 5% dan 10% memiliki puncak yang sama dengan kelompok sampel sebelum modifikasi pada area $7,2^\circ$; $12,5^\circ$; $16,1^\circ$; $21,7^\circ$; 30° dan $34,2^\circ$. Hal ini menunjukkan bahwa proses perpindahan kation zeolit yang dimodifikasi perak nitrat tidak merubah struktur zeolit.

Daftar Rujukan

- [1] Gatta, G. D., & Lotti, P. (2018). Systematics, crystal structures, and occurrences of zeolites. *Modified Clay and Zeolite Nanocomposite Materials: Environmental and Pharmaceutical Applications: Elsevier Inc*, Chapter 1, 1-25. doi: 10.1016/B978-0-12-814617-0.00001-3
- [2] Wustoni, S., Mukti, R. R., Wahyudi, A., & Ismunandar. (2011). Sintesis zeolit mordenit dengan bantuan benih mineral alam Indonesia. *Jurnal Matematika & Sains*, 16(3).
- [3] Pabalan, R. T., & Bertetti, F. P. (2001). Cation-exchange properties of natural zeolites. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 45, 453–517. doi: 10.2138/rmg.2001.45.14
- [4] Serati-Nouri, H., Jafari, A., Roshangar, L., Dadashpour, M., Pilehvar-Soltanahmadi, Y., & Zarghami, N. (2020). Biomedical applications of zeolite-based materials: A review. *Materials Science and Engineering C*, 116(February), 111225. doi: 10.1016/j.msec.2020.111225
- [5] Aidha, N. N. (2013). Aktivasi zeolit secara fisika dan kimia untuk menurunkan kadar kesadahan (Ca dan Mg) dalam air tanah. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 35(1), 58. doi: 10.24817/jkk.v35i1.1874
- [6] Atikah, W. S. (2017). Potensi zeolit alam gunung kidul teraktivasi sebagai media adsorben pewarna tekstil the potentiality of activated natural zeolite from gunung kidul as adsorben to textile dyes. *Arena Tekstil*, 32, 17–24.
- [7] Badriyah, L., Restuaji, I. I. M., & Luluk. (2020). Adsorpsi salinitas sumber air madura dengan zeolit alam klinoptilolit teraktivasi basa. *Jurnal Sintesis Penelitian Sains Terapan dan Analisisnya*, 1(2), 47–51.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa aktivasi zeolit alam dengan larutan HCl dan NaCl dapat menghilangkan pengotor pada permukaannya. Modifikasi zeolit yang telah aktif dengan perendaman pada larutan perak nitrat dapat menurunkan kandungan Na dan menyebabkan aglomerasi pada permukaan zeolit. Konsentrasi perak nitrat memiliki pengaruh pada jumlah unsur Ag pada zeolit yang dimodifikasi. Karakterisasi dari zeolit yang telah dimodifikasi dengan perak dapat dilanjutkan sebagai dasar untuk pengembangan material kedokteran gigi.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada DRPM Kemenristekdikti yang telah memberikan dana hibah Penelitian Dosen Pemula, sehingga dapat terselesaikan penelitian ini.

Modifikasi Zeolit Alam Teraktivasi Asam dengan Perak Nitrat

-
- [8] Sunarintyas, S. (2008). Potensi Zeolit Sebagai Material Pembawa Agen Antimikroba dan Adsorben di Bidang Kedokteran Gigi. *Majalah Ilmiah Kedokteran Gigi: Scientific Journal in Dentistry*, 23(1), 38-44.
- [9] Wahyudi, T., Sugiyana, D., & Helmy, Q. (2011). Sintesis Nanopartikel Perak dan Uji Aktivitasnya Terhadap Bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. *Arena Tekstil*, 26(1). doi: 10.31266/at.v26i1.1442
- [10] Kenjiro, K., Hayashi, T., Sato, K., Asai, T., Okano, M., Kominami, Y., Kawai, T. (2010). Effect of self-cured acrylic resin added with an inorganic antibacterial agent on streptococcus mutans. *Dental Materials Journal*, 29(3), 277–285. doi: 10.4012/dmj.2009-076
- [11] Ghatole, K., Gowdra, R. H. G., Azher, S., Sabharwal, S., Singh, V. T., & Sundararajan, B. V. (2016). Enhancing the antibacterial activity of the gold standard intracanal medicament with incorporation of silver zeolite: An in vitro study. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 6(1), 75–79. doi: 10.4103/2231-0762.175418
- [12] Baykara, H., Cornejo, M. H., Murillo, R., Gavilanes, A., Paredes, C., & Elsen, J. (2017). Preparation, characterization and reaction kinetics of green cement: Ecuadorian natural mordenite-based geopolymers. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 50(3). doi: 10.1617/s11527-017-1057-z
- [13] Osonio, A. P., & Vasquez, M. R. (2018). Plasma-assisted reduction of silver ions impregnated into a natural zeolite framework. *Applied Surface Science*, 432, 156–162. doi: 10.1016/j.apsusc.2017.09.076
- [14] Handhoyo, R., Priyatama, H., Sofiyah, S., Nurlela, I., & Yusianita, N. (2005). Peningkatan rasio Si/Al zeolit alam mordenit sebagai bahan dasar zeolit katalis, *Jurnal Zeolit Indonesia* 4(1), 19-24.
- [15] Wang, C., Leng, S., Guo, H., Yu, J., Li, W., Cao, L., & Huang, J. (2019). Quantitative arrangement of Si/Al ratio of natural zeolite using acid treatment. *Applied Surface Science*, 498, 143874. doi: 10.1016/j.apsusc.2019.143874
- [16] Aparicio-Vázquez, S., Fall, C., Islas-Espinoza, M., Alcántara, D., Petranovskii, V., & Olguín, M. T. (2021). Influence of experimental conditions to obtain silver-modified zeolite-rich tuffs on the antimicrobial activity for *Escherichia coli* suspended in aqueous media. *Environmental Technology and Innovation*, 23, 101707. doi: 10.1016/j.eti.2021.101707
- [17] Sato, K., Aoki, K., Sugimoto, K., Izumi, K., Inoue, S., Saito, J., Ikeda, S., and Nakane, T. (2008). Dehydrating performance of commercial LTA zeolite membranes and application to fuel grade bio-ethanol production by hybrid distillation/vapor permeation process. *Microporous and Mesoporous Materials*, 115(1–2), 184–188. doi: 10.1016/j.micromeso.2007.10.053
- [18] Shams, K., & Mirmohammadi, S. J. (2007). Preparation of 5A zeolite monolith granular extrudates using kaolin: Investigation of the effect of binder on sieving/adsorption properties using a mixture of linear and branched paraffin hydrocarbons. *Microporous and Mesoporous Materials*, 106(1–3), 268–277. doi: 10.1016/j.micromeso.2007.03.007
- [19] Watanabe, K., Austin, N., & Stapleton, M. R. (1995). Investigation of the air separation properties of zeolites types a, x and y by monte carlo simulations. *Molecular Simulation*, 15(4), 197–221. doi: 10.1080/08927029508022335
- [20] Marsidi, R. (2001). Zeolit untuk mengurangi kesadahan air. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(1), 1–10. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3476-13.2014
- [21] Golbad, S., Khoshnoud, P., & Abu-Zahra, N. (2017). Synthesis of 4A zeolite and characterization of calcium-and silver-exchanged forms. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 5(05), 237.
- [22] Estiaty, L. M. (2010). Rekayasa mineral zeolit dengan teknik wet impregnation logam inhibitor sebagai bahan dasar anti-septik dengan metode aliran kontinyu. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 9(2), 61–70.
- [23] de Araújo, L. O., Anaya, K., & Pergher, S. B. C. (2019). Synthesis of antimicrobial films based on low-density polyethylene (LDPE) and zeolite a containing silver. *Coatings*, 9(12). doi: 10.3390/coatings9120786
-