



Karakterisasi dan Uji Sifat Fisik Material Zeolit Modifikasi Magnetit sebagai Adsorben Ion Klorida dalam Larutan Berair

Anfi'na Ilma Yunita[✉], Triastuti Sulistyaningsih, dan Nuni Widiarti

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Mei 2019

Disetujui Juni 2019

Dipublikasikan Agustus
2019

Keywords:
zeolit
magnetit
FT-IR
XRD

Abstrak

Preparasi zeolit modifikasi magnetit telah berhasil dilakukan secara kopresipitasi yang diawali dengan melarutkan zeolit ke dalam aquademin. Suspensi zeolit diaduk dengan menambahkan larutan basa NaOH 1 M dan larutan logam Fe²⁺ dan Fe³⁺ pada pH 12 dengan temperatur 65°C. Material zeolit modifikasi magnetit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan FT-IR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*). Material zeolit modifikasi magnetit hasil preparasi dapat ditarik menggunakan medan magnet eksternal sehingga memungkinkan material memiliki karakteristik yang mampu menyerap ion klorida. Pita serapan utama terletak pada bilangan gelombang 1.021 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi regangan asimetri Si-O-Si. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh ukuran partikel rata-rata zeolit sebesar 61,68 nm. Proses modifikasi magnetit terhadap zeolit yang telah dilakukan menyebabkan turunnya kristalinitas pada material, sehingga ukuran kristal berkurang menjadi 58,18 nm.

Abstract

The preparation of the magnetite modification zeolite has been successfully performed by coprecipitation beginning with dissolving zeolite into aquademin. The zeolite suspension was stirred by adding 1 M NaOH solution and Fe²⁺ and Fe³⁺ metal solution at pH 12 with temperature of 65 °C. The synthetic modified magnetite zeolite material was characterized using FT-IR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) and XRD (*X-Ray Diffraction*). The magnetite modified zeolite material of the preparation can be drawn using an external magnetic field to allow the material to have characteristics capable of absorbing chloride ions. The main absorption band lies in the 1,021 cm⁻¹ wave number which is the vibration of the Si-O-Si asymmetry strain. Based on the calculations that have been done, obtained the average particle size of zeolite of 61.68 nm. The process of modifying the magnetite to the zeolite that has been done causes the decrease of crystallinity in the material, so the crystal size decreases to 58.18 nm.

© 2019 Universitas Negeri Semarang

✉Alamat korespondensi:
Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: ilmayunita10@gmail.com

p-ISSN 2252-6951
e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang peranannya tidak dapat dipisahkan dari kehidupan. Air dalam suatu perairan dapat mengandung unsur-unsur berbahaya baik berupa polutan biologis maupun polutan kimia yang menyebabkan kualitas air bersih semakin menurun (Fajaroh, 2012). Sebagian besar air bersih yang berasal dari sumur daerah pesisir tidak aman untuk dikonsumsi secara langsung tanpa ada pengolahan secara khusus karena mengandung beberapa zat pencemar (Sudaryanto, 2014). Salah satu zat pencemar air adalah ion klorida. Purwoto & Wahyu (2013) menyatakan bahwa ion klorida pada lingkungan memiliki dampak terhadap pengkaratan atau dekomposisi pada logam karena sifatnya yang korosif sehingga dapat menyebabkan kerusakan ekosistem pada perairan terbuka. Ion klorida dalam air dapat berbentuk NaCl, HCl, MgCl, CH₃Cl dan lain sebagainya. Adanya garam klorida ini menyebabkan air memiliki rasa asin dan tidak layak untuk dikonsumsi sehari-hari.

Metode adsorpsi merupakan metode alternatif yang potensial karena prosesnya yang relative sederhana, dapat bekerja pada konsentrasi rendah, dapat didaur ulang dan biaya yang dibutuhkan relative murah (Nakamura *et al.*, 2017). Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Banyak material yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben seperti lempung, karbon aktif, zeolit, kitosan, magnetit, dan sebagainya (Barquist *et al.*, 2010).

Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya mineral. Salah satunya adalah mineral zeolit. Zeolit merupakan material berpori yang berbentuk tetrahedral antara alumina dan silikat berhidrat. Zeolit alam memiliki kegunaan dalam proses adsorpsi, pertukaran ion maupun sebagai katalis (Setiawan *et al.*, 2017). Keunggulan zeolit alam adalah memiliki luas permukaan dan keasaman sehingga mudah dimodifikasi dengan mineral lain untuk mendapat hasil yang lebih maksimal dalam proses pemanfaatannya (Barquist *et al.*, 2010).

Zeolit alam memiliki beberapa kelemahan diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ dan Fe³⁺ serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut akan mengurangi aktivitas dari zeolit alam (Setiawan *et al.*, 2018). Untuk memperbaiki karakter zeolit alam yang digunakan sebagai adsorben, katalis atau aplikasi lainnya perlu dilakukan aktivasi atau modifikasi terlebih dahulu sehingga aktivitasnya meningkat (Darajah *et al.*, 2018).

Berbeda dengan zeolit alam, zeolit sintesis mempunyai kristalinitas baik serta kation yang ada dalam situs permukaannya hanya tertentu (H⁺, Na⁺). Ada berbagai macam zeolit sintesis antara lain zeolit Y, zeolit X, mordenit, ZSM-5 dan lain sebagainya. Dari berbagai macam jenis zeolit sintesis, salah satu yang banyak digunakan adalah zeolit Y. Zeolit Y merupakan zeolit sintetis yang mempunyai keunggulan karena memiliki struktur kristal yang sangat teratur, ukuran pori yang seragam dan adanya gugus hidroksil yang bersifat sangat asam. Selain itu, zeolit Y mempunyai stabilitas panas yang tinggi dan menghasilkan sedikit karbon, sehingga mudah diregenerasi kembali, mudah didapat dan mempunyai umur pakai yang panjang (Maarif, 2009).

Seiring dengan perkembangan teknologi, penelitian mengenai zeolit semakin berkembang dengan dilakukan modifikasi pada zeolit. Menurut Abdullah *et al.* (2017) zeolit dapat dimodifikasi untuk memperbaiki sifat-sifat fisika dan sifat-sifat kimianya. Salah satu modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan memberi sifat kemagnetan. Menurut Abdullah *et al.*, (2017) magnetit adalah mineral yang memiliki sifat magnet terbesar di antara semua mineral alam di bumi, sehingga magnetit merupakan oksida besi yang memiliki berbagai keunggulan diantaranya bersifat superparamagnetik, kejenuhan magnet yang tinggi, kontribusi anisotropi yang bagus, dan biokompatibel. Pengembangan atau pemberian lapisan menggunakan magnetit dapat meningkatkan sifat permukaan dan pori-pori zeolit. Pemberian sifat kemagnetan ini dimaksudkan agar *recovery* zeolit dari medium cair setelah proses adsorpsi dapat dilakukan dengan lebih mudah dan cepat, yaitu dengan menggunakan medan magnet eksternal (Nakamura *et al.*, 2017).

Zeolit modifikasi magnetit dapat disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi oleh Abdullah *et al.*, (2017) pada pH 12. Hal ini dilakukan dengan penambahan basa di bawah atmosfer inert pada suhu kamar atau suhu tinggi. Kelebihan dari kopresipitasi yaitu struktur kristal dan sifat magnetik dari sampel yang disintesis dapat dioptimalkan dengan mengontrol parameter-parameter sintesis seperti suhu, pH larutan, kecepatan pengadukan lama pengadukan, konsentrasi garam logam, konsentrasi kopresipitan dan konsentrasi surfaktan (Teja & Koh, 2009).

Metode

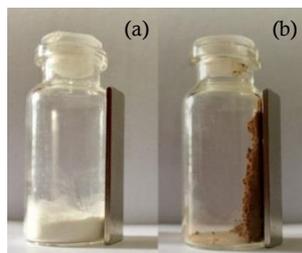
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *X-Ray Diffraction (XRD) PANalytical* seri *Xpert'3 Powder* dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) Perkin Elmer Frontier*. Bahan yang digunakan

adalah zeolit Y komersial buatan *Sigma Aldrich*, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaOH dengan *grade pro analyst* buatan *Merck*, dan aquademin.

Sintesis zeolite modifikasi magnetit. Langkah pertama adalah melarutkan 5,00 g zeolit ke dalam 50 mL aquademin. Suspensi zeolit diaduk selama 20 menit sambil ditambahkan 25 mL NaOH 1 M tetes demi tetes sebagai reagen pengendap pada suhu 65°C . Kemudian 50 mL larutan yang mengandung ion Fe^{3+} 1,14 M dan Fe^{2+} 0,57 M ditambahkan ke dalam suspensi zeolit sampai pH mencapai 12 dengan cara segera menambahkan sejumlah NaOH 1 M tetes demi tetes. Suspensi diaduk terus menerus selama 30 menit dengan suhu 65°C menggunakan hot plate (Abdullah *et al.*, 2017). Endapan dipisahkan menggunakan magnet eksternal, disaring menggunakan vacuum buchner dan dicuci beberapa kali dengan aquademin sampai pH normal, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 98°C selama 2 jam (Singh *et al.*, 2016). Akhirnya, dihasilkan padatan berupa zeolite modifikasi magnetit. Kemudian ditumbuk dalam mortar dan diayak dengan pengayak 150 *mesh*. Zeolit modifikasi magnetit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD *PANalytical* seri *Xpert'3 Powder* Cu K ($\lambda = 0,15406$ nm) pada 2θ 5 sampai 80° dan FT-IR *Perkin Elmer Frontier* dengan metode transmisi.

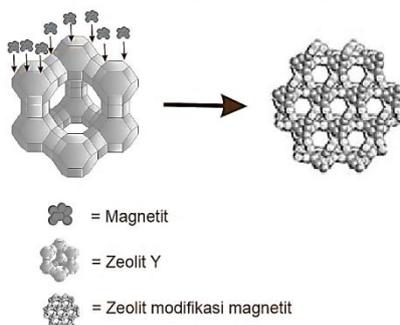
Hasil dan Pembahasan

Zeolit modifikasi magnetit dipreparasi secara kopresipitasi pada pH konstan dengan menambahkan suatu basa, sama seperti metode yang telah dilakukan oleh Abdullah *et al.* (2017). Pada penelitian ini, suspensi larutan zeolit Y yang berwarna putih diaduk selama 20 menit sambil ditambah larutan NaOH 1 M tetes demi tetes. Penambahan larutan basa hingga mencapai pH 12 karena pada pH tersebut magnetit dapat mengemban zeolit Y dengan baik dan untuk transformasi lengkap garam klorida besi menjadi endapan Fe_3O_4 . Selain itu, pH basa juga berfungsi untuk menciptakan mesoporositas dan meningkatkan sifat difusional dengan menghilangkan spesies Si/Al amina intrakristalin dan interkristal pada pori-pori atau celah dalam zeolit. Penambahan garam klorida besi Fe^{2+} dan Fe^{3+} pada suspensi menghasilkan perubahan substansial dari larutan menjadi warna coklat muda dan mengurangi pH larutan (Ma *et al.*, 2013). Gambar 1 menunjukkan perbedaan zeolit dan zeolit modifikasi magnetit yang ditarik menggunakan magnet.



Gambar 1. Uji Kemagnetan (a) Zeolit Y yang tidak beraksi saat ditarik menggunakan magnet, dan (b) Zeolit modifikasi magnetit yang dapat ditarik magnet

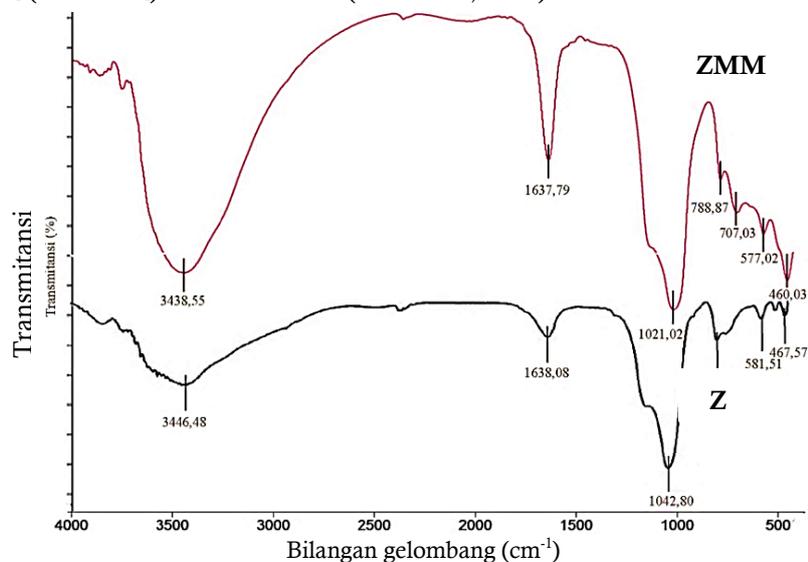
Gambar 1. menunjukkan bahwa zeolit Y sebelum dimodifikasi dengan magnetit tidak dapat ditarik menggunakan magnet karena tidak memiliki sifat kemagnetan. Zeolit memiliki warna putih susu, sedangkan zeolit modifikasi magnetit memiliki warna coklat kehitaman seperti dilaporkan Nakamura *et al.* (2017) dan Singh *et al.* (2016). Interaksi modifikasi secara kimiawi pada saat zeolit dimodifikasi menggunakan magnetit dapat dilihat pada Gambar 2. Mekanisme yang terjadi pada proses modifikasi tersebut berlangsung melalui tahapan pertukaran kation pada magnetit sehingga terbentuk monolayer antara zeolit dan magnetit pada permukaan zeolit. Modifikasi dengan menggunakan magnetit menghasilkan zeolit dengan karakteristik yang mampu menyerap ion klorida.



Gambar 2. Interaksi modifikasi magnetit terhadap zeolit (Gaffer *et al.*, 2017)

Modifikasi yang dilakukan pada material zeolit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. menyebabkan terbentuknya gumpalan-gumpalan atau *cluster* magnetit pada permukaan dan pori-pori zeolit, sehingga menyebabkan zeolit modifikasi magnetit dapat ditarik menggunakan medan magnet eksternal karena magnetit memiliki sifat paramagnetik. Modifikasi yang dilakukan pada zeolit dengan penambahan magnetit dimaksudkan agar muatan pada permukaan zeolit yang semula negatif berubah menjadi positif, sehingga dapat digunakan untuk adsorpsi ion klorida yang merupakan adsorbat bermuatan negatif.

Berdasarkan penelitian, analisis kualitatif material dilakukan menggunakan instrumen FTIR pada bilangan gelombang 4.000-450 cm^{-1} . Sumbu x merupakan bilangan gelombang dan sumbu y merupakan intensitas. Setiap gugus fungsional memiliki serapan inframerah yang khas pada bilangan gelombang tertentu. Spektra inframerah zeolit Y komersial (*Sigma Aldrich*) mempunyai pita absorpsi pada daerah bilangan gelombang 3.446, 1.638, 1.043, 803, 582, 468 cm^{-1} sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Pita-pita absorpsi tersebut merupakan vibrasi yang berbeda dari struktur tetrahedral yang menjadi ciri khas dari zeolit sintetik. Pita absorpsi utama terdapat pada bilangan gelombang sekitar 1.100 cm^{-1} dengan bahu sekitar 1.230 cm^{-1} yang merupakan vibrasi dari regangan asimetri Si-O-Si, sedangkan daerah 700 cm^{-1} merupakan vibrasi dari regangan/tekuk simetri dari jembatan Si-O-Si. Semakin tajam intensitas serapan menunjukkan semakin banyak vibrasi dari suatu gugus fungsi yang terbentuk (Singh *et al.*, 2016). Pita absorpsi sekitar bilangan gelombang 550 dan 450 cm^{-1} merupakan vibrasi dari getaran Si-O-Si. Pita absorpsi zeolit komersial pada bilangan gelombang 450, 700, dan 1.100 cm^{-1} merupakan spektra karakteristik SiO_4 (atau AlO_4) unit tetrahedral (Sadowska, 2013).



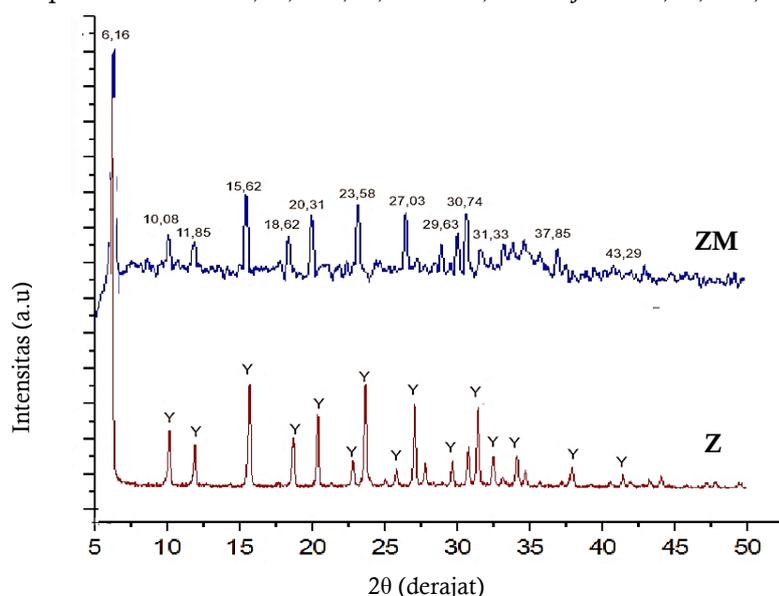
Gambar 3. Spektra FT-IR zeolit dan zeolit modifikasi magnetit

Interaksi kimia non-ikatan dapat dilihat pada Gambar 3 yang merupakan spektra FTIR zeolit modifikasi magnetit. Rendahnya transmittansi puncak getaran Fe-O dalam spektrum zeolit modifikasi magnetit dikarenakan adanya tumpang tindih dengan pita Si-O yang diatribusikan dari struktur molekul zeolit (Sagir *et al.*, 2016). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, zeolit modifikasi magnetit hasil preparasi menunjukkan pita serapan yang relatif lebar dan kuat dengan vibrasi ulur O-H pada bilangan gelombang 3439 cm^{-1} karena struktur interporous H_2O . Posisi getaran pita pada bilangan gelombang 1638 cm^{-1} dikaitkan dengan getaran lentur H-O-H (Abdullah *et al.*, 2017). Pita serapan pada bilangan gelombang 3439 dan 1638 cm^{-1} merupakan vibrasi peregangan dari gugus hidroksil yang terdapat pada permukaan magnetit (Petcharoen *et al.*, 2012). Pita serapan utama terdapat pada bilangan gelombang 1021 cm^{-1} yang merupakan vibrasi dari regangan asimetri Si-O-Si dalam kerangka zeolit modifikasi magnetit. Adanya pita pada bilangan gelombang 707 cm^{-1} dikarenakan adanya getaran Al-O.

Tumpang tindih Fe-O dengan vibrasi tekuk Si-O/Al-O kerangka TO_4 terbentuk pada bilangan gelombang 577 dan 460 cm^{-1} . Menurut Teja & Koh (2009) senyawa magnetit ditandai dengan adanya pita serapan pada bilangan gelombang 565 dan 421 cm^{-1} yang merupakan vibrasi peregangan ikatan $\text{Fe}^{2+}\text{-O}^{2-}$. Interaksi kimia non ikatan dan keutuhan struktur zeolit terjadi setelah perlakuan dengan penambahan NaOH dan setelah penggabungan dengan Fe^{2+} dan Fe^{3+} karena penambahan larutan NaOH dengan konsentrasi yang rendah sehingga dapat menginduksi mesoporositas dalam kerangka zeolit. Namun, jika desilikasi dilakukan menggunakan larutan NaOH konsentrasi tinggi maka dapat mengakibatkan

kerusakan signifikan zeolit dan menyebabkan pembentukan situs protonik (bukan gugus Si-OH-Al) dari kekuatan asam lemah (Sadowska *et al.*, 2013).

Difaktogram zeolit modifikasi magnetit dalam kisaran 2θ pada 5-50 derajat yang disajikan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa puncak-puncak tertinggi pada $2\theta = 6,16; 10,08; 11,85; 20,30; 23,58; 27,02; 30,74; 31,33; 37,85; \text{ dan } 43,29^\circ$ yang menunjukkan bahwa fasa material hasil preparasi adalah zeolit modifikasi magnetit. Puncak-puncak ini sesuai dengan penelitian Abdullah *et al.* (2017) yang telah disesuaikan dengan JCPDS zeolit dengan struktur fase kubik No. 038-0240. Puncak yang dapat mengidentifikasi adanya senyawa zeolit Y berdasarkan Treacy & Higgins (2007), yaitu dengan nilai $2\theta = 6,19; 15,61; 18,64; 20,30; 23,58; 25,72; 26,97; 27,70; 29,55; 33,99; \text{ dan } 34,58^\circ$, sedangkan puncak yang dapat mengidentifikasi adanya senyawa magnetit berdasarkan penelitian Sulistyarningsih *et al.* (2013) telah sesuai JCPDS Fe_3O_4 No 19-629 dengan $2\theta = 30,2; 35,6; 43,3; 57,1; \text{ dan } 62,7^\circ$. Semua sampel menunjukkan puncak yang kuat dan tajam dengan intensitas tinggi yang dikaitkan dengan kristalinitas fase zeolit dan zeolit modifikasi magnetit. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh ukuran partikel rata-rata zeolit sebesar 61,68 nm. Proses modifikasi magnetit terhadap zeolit yang telah dilakukan menyebabkan turunnya ukuran kristal pada material menjadi 58,18 nm karena penambahan senyawa magnetit telah merusak struktur dan pori-pori zeolit. Turunnya kristalinitas yang ditandai dengan turunnya intensitas pada 2θ dari 2886,72; 756,24; dan 796,46 menjadi 443,79; 154,62; dan 142,63.



Gambar 4. Difaktogram XRD zeolit dan zeolit modifikasi magnetit

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa material zeolit modifikasi magnetit berhasil dipreparasi dengan metode kopresipitasi pada pH 12. Uji kemagnetan pada material menunjukkan bahwa zeolit modifikasi magnetit bersifat para magnetik sehingga memungkinkan material memiliki karakteristik yang mampu menjerap ion klorida. Material zeolit modifikasi magnetit hasil preparasi memiliki pita serapan utama pada bilangan gelombang 1021 cm^{-1} yang merupakan vibrasi regangan asimetri Si-O-Si. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, proses modifikasi magnetit terhadap zeolit yang telah dilakukan menyebabkan turunnya kristalinitas pada material sehingga ukuran kristal berkurang dari 61,68 nm menjadi 58,18 nm karena penambahan senyawa magnetit telah merusak struktur dan pori-pori zeolit. Turunnya kristalinitas yang ditandai dengan turunnya intensitas pada 2θ dari 2886,72; 756,24; dan 796,46 menjadi 443,79; 154,62; dan 142,63.

Daftar Pustaka

- Abdullah, N.H., S.M. Kaymar, E. Pooria, C. Mohammad, C. Ezzat, & Luqman. 2017. Facile and Green Preparation of Magnetite/Zeilite Nanocomposites for Energy Application in a Single Step Procedure. *Journal of Alloys and Compounds*, 17(1): 1-23
- Barquist, K., & S.C. Larsen. 2010. Chromate Adsorption on Bifunctional, Magnetic Zeolite Composites. *Microporous and Mesoporous Materials Journal*, (130): 197-202

- Belviso, C., A. Elisabetta, B. Sandra, C. Francesco, P. Simone, P. Davide, V. Gaspare, & F. Saverio. 2015. Synthesis of Magnetic Zeolite at Low Temperature Using a Waste Material Mixture: Fly Ash and Red Mud. *Microporous and Mesoporous Materials Journal*, (202): 208-216
- Darojah, L.I., Jumaeri, & E. Kusumastuti. 2018. Modifikasi Zeolit A dengan Surfaktan HDTMA dan Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Nitrat. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(15): 94-101
- Fajaroh, F., H. Setyawan, W. Widiyastuti, & S. Winardi. 2012. Synthesis of Magnetite Nanoparticles by Surfactant-Free Electrochemical Method in an Aqueous System. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, (23): 328-333
- Gaffer, A., A.A. Amal, A. Delvin. 2017. Magnetic Zeolite-Natural Polymer Composite for Adsorption of Chromium (VI). *Egyptian Journal of Petroleum*, 10(1): 1-4
- Maarif, H. 2009. Reaksi Kompetisi antara Perengkahan dan Polimerisasi Tir Karet dari Ban Bekas dengan Katalis Mo-Ni/Zeolit Y. *Skripsi*. FMIPA. Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Nakamura, A., K. Sugawara, S. Nakajima, & K. Murakami. 2017. Adsorption of Cs Ions using a Temperature-Responsive Polymer/Magnetite/Zeolite Composite Adsorbent and Separation of the Adsorbent from Water using High-gradient Magnetic Separation. *Colloids and Surfaces Physicochemical Engineering Aspect*, 8(17): 1-41
- Purwoto, S., & W. Nugroho. 2013. Removal Klorida, TDS dan Besi Pada Air Payau melalui Penukar Ion dan Filtrasi Campuran Zeolit Aktif dengan Karbon Aktif. *Journal of Chemical Science*, 11(1): 1-8
- Sadowska, K., G. Marek., M. Drozdek, P. Kustrowski, M. Datka, & T. Rey. 2013. Desilication of Highly Siliceous Zeolite ZSM-5 with NaOH and NaOH/tetrabutylamine Hidroksida. *Microporous and Mesoporous Matterials*, 168(5): 195-205
- Sagir, T., M. Huysal, Z. Durmus, B. Zengin, M. Senel, & S. Isik. 2016. Preparation and In Vitro Evaluation of 5-flourouracil Loaded Magnetite-Zeolite Nanocomposite (5-FU-MZNC) for Cancer Drug Delivery Applications. *Journal of Biomedicine & Pharmacotherapy*, (77): 182-190
- Setiawan, Y., F.W. Mahatmanti, Harjono, & Jumaeri. 2017. Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode Top-down. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(8): 43-49
- Singh, L., H.S. Sudhanshu, J.A.H. Coaquira, J. Matilla., M. Edi, A.C. Guimaraes, E. Oliveira., K.G. Vijayendra. 2016. Magnetic Interactions in Cubic Iron Oxide Magnetic Nanoparticle Bound to Zeolite. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 406: 98-102
- Sudaryanto., M.D. Robert, S. Dadan, & F.L. Rachmat. 2014. Gangguan Air Laut terhadap Kondisi Air Tanah di Wilayah Semarang, Jawa Tengah. *Majalah Geologi Indonesia*, 29(2): 101-113.
- Suligianto, B. 2017. Sintesis MgO/Nanokristalin Zeolit sebagai Katalis Basa pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kedelai Menjadi Biodiesel. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Sulistyaningsih, T., D.S.V. Silalahi, S.J. Santosa, D. Siswanta, & B. Rusdiarso. 2013. Synthesis and Characterization of Magnetic MgAl-NO₃-HTM Composite via the Chemical Co-precipitation Method. *International Conference on Biology, Environment and Chemistry*, 58(19): 95-99
- Teja, A.S. & P. Koh. 2009. Synthesis, Properties, and Application of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, (55): 22-45
- Treacy, M.M.J., & J.B. Higgins. 2007. *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites – Fifth Revised Edition*. USA: Elsevier