

# Sintesis Zif-8 dengan Metode Solvotermal dalam Pelarut Etanol dan Dimetilformamida

Pradipta Pangastuti, Muhammad Nadjib Mudjahid, dan Ratna Ediati  
Jurusan Kimia, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail: nadjib@chem.its.ac.id

**Abstrak**— Sintesis material kristal ZIF-8 menggunakan metode solvotermal dalam media etanol:*N,N*,dimetilformamida pada suhu 120 °C selama 40 jam dengan variasi perbandingan pelarut 0, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5 dan 7:3 telah berhasil dilakukan. Karakteristik ZIF-8 hasil sintesis berdasarkan kristalinitas dengan XRD menunjukkan puncak karakteristik pada semua sampel pada daerah 2 $\theta$  sebesar 7,3; 10,3; 12,7; 16,4 dan 18,0°. Hasil karakterisasi dengan FTIR membuktikan terbentuknya ZIF-8 dengan munculnya spektra pada bilangan gelombang 420 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan terjadinya ikatan antara seng dan nitrogen. Hasil dengan SEM menunjukkan morfologi permukaan paling baik pada ZIF-8(3:7) berbentuk segi empat.

**Kata Kunci**— Etanol, DMF, karakterisasi, ZIF-8.

## I. PENDAHULUAN

DALAM beberapa tahun terakhir, *metal organic framework* (MOF) telah menarik perhatian banyak peneliti karena MOF memiliki luas permukaan dan volume pori besar [1]-[6]. Pengendalian bentuk dan ukuran partikel merupakan hal yang penting karena bentuk dan ukuran partikel menentukan sifat kimia dan fisika dari partikel. Dibandingkan dengan material MOF yang umum, MOF berukuran nano dapat menunjukkan sifat yang khas atau meningkatkan hasil dari adsorpsi, membran dan katalis [7]-[10]. Oleh karena itu, MOF telah menjadi kelompok baru dari kristal berpori yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan material organik konvensional baik mikropori maupun mesopori dan memiliki banyak potensi untuk aplikasi dalam bidang adsorpsi, pemisahan/penyimpanan gas, dan katalis heterogen [11]-[13].

Salah satu jenis MOF yang telah berhasil disintesis adalah *zeolitic imidazolate framework* (ZIF). ZIF merupakan kelompok dari MOF dengan stabilitas termal dan kimia yang tinggi [14]. Awalnya ZIF-8 disintesis sebagai mikrokristal oleh Yaghi, dkk menggunakan *N,N*-dimetilformamida (DMF) [15]. ZIF-8 yang dihasilkan memiliki struktur sodalit (SOD), dengan ukuran pori 11,6 Å dan diameter pori 3,4 Å serta strukturnya fleksibel dan memungkinkan masuknya molekul yang lebih besar dari ukuran celah ini [16]. Secara umum, sintesis ZIF-8 dikembangkan dengan metode solvotermal dalam pelarut jenis amida [17]. Sintesis ZIF-8 dalam pelarut DMF telah dilaporkan oleh Sulistyio dkk. (2013) pada berbagai suhu solvotermal (100, 120, 140 °C), masing-masing selama 6, 12, 24, 36 dan 48 jam. ZIF-8 hasil sintesis dengan morfologi paling teratur dan luas permukaan besar dihasilkan pada

kondisi suhu solvotermal 120 °C selama 24 jam. Selanjutnya, pada sintesis MOF-5, kondisi optimum untuk mendapatkan padatan dengan kristalinitas tertinggi dan morfologi paling teratur adalah sintesis secara solvotermal dalam pelarut DMF pada suhu kristalisasi 120 °C selama 24 jam [18].

Metode solvotermal untuk sintesis ZIF-8 telah berhasil dilakukan dalam berbagai pelarut organik, yaitu metanol [19][20], *N,N*-dimetilformamida (DMF) [21]-[23], *N,N*-diethylformamida (DEF) [24], dan air [25]. Sintesis ZIF-8 yang melibatkan pencampuran sederhana menggunakan pelarut metanol pada suhu kamar dihasilkan ZIF-8 berukuran ~50 nm dengan yield sekitar 50%. [26][27]. Material nanokristal juga telah diperoleh dalam pelarut air [27]. Hasil sintesis ZIF-8 dengan pelarut air memiliki ukuran ~85 nm. Namun berdasarkan hasil kristal ZIF-8 skala nano, morfologi dan distribusi ukuran kristal pada tingkat skala nano masih kurang baik, sehingga berbagai strategi metode dilakukan untuk memperbaikinya.

Berbagai metode digunakan untuk mengatur ukuran nanokristal ZIF-8, seperti sonokristalisasi [28], radiasi microwave [29], penggunaan *micromixer* [30], atau sintesis ionothermal dengan *microwave* [31]. Pada semua metode tersebut, sintesis ZIF-8 dilakukan dengan tiga pelarut tunggal yaitu DMF, air dan metanol. Secara umum dalam desain metode sintesis, pelarut yang digunakan adalah pelarut tunggal. Penggunaan pelarut campuran untuk sintesis material MOF telah dilaporkan oleh Yang dkk. (2014), yaitu sintesis MOF-5 dengan metode solvotermal dalam campuran pelarut etanol dan DMF pada suhu 120 °C. Yang dkk. (2014) melaporkan bahwa penggunaan campuran pelarut etanol dan DMF untuk sintesis MOF-5 dengan doping Ni dapat mengontrol ukuran dan bentuk kristal yang dihasilkan. Penggunaan campuran pelarut etanol dan DMF tersebut diterapkan pada penelitian ini untuk sintesis ZIF-8. Pengaruh pelarut adalah hal yang penting dalam domain kimia koordinasi untuk meningkatkan kristalinitas material. Selain itu penggunaan campuran pelarut etanol dan DMF memberikan nilai ekonomis karena telah diketahui harga DMF cukup tinggi dibandingkan dengan etanol.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdapat dua macam, yakni peralatan gelas dan peralatan ukur. Peralatan gelas terdiri dari gelas beaker, gelas vial, spatula,

labu ukur, pipet volum, pipet tetes, pro pipet, corong, *hotplate magnetic stirrer*, *magnetic stirrer*, kaca arloji, termometer, *sentrifuge* dan buret. Peralatan ukur terdiri dari neraca analitis, difraktometer Philips X'Pert PN-1830 X-ray, *Fourier Transform Infrared* (FTIR), Shimadzu *Instrument Spectrum One 8400S*, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) Zeiss EVO MA 10, N<sub>2</sub> adsorpsi *Quantachrome* dan *Thermogravimetry Analyzer* (TGA-METTLER TOLEDO). Sedangkan, bahan-bahan Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (Sigma-Aldrich, 99,0%), 2-metilimidazol (MeIM, Sigma-Aldrich, 99,0%), N,N-dimetilformamid (DMF, Merck, 99,8%) dan etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, Merck, 99,7%).

#### B. Sintesis Zeolitic Imidazolate Frameworks-8 (ZIF-8)

ZIF-8 disintesis dengan mereaksikan 2,3873 gr Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O dan 1,4942 gr MeIM dalam 30 mL etanol:DMF dengan variasi rasio volume 0, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, dan 7:3 dalam gelas vial tertutup dan diaduk dengan pengaduk magnetik selama 20 menit agar larutan homogen. Selanjutnya, campuran reaksi dipanaskan dalam oven dengan laju pemanasan 5 °C/min hingga 120 °C selama 40 jam. Setelah proses pemanasan, campuran reaksi didiamkan hingga suhu kamar. Endapan yang terbentuk kemudian didekantasi dan ditambahkan 15 mL metanol dan dibiarkan selama dua hari dengan penggantian tiap harinya. Kemudian dilakukan proses pengeringan dengan oven vacuum pada suhu 70°C selama 20 menit, dilanjutkan pada oven suhu 100 °C selama 2 jam.

#### C. Karakterisasi Hasil Sintesis ZIF-8

Hasil padatan kemudian dikarakterisasi dengan spektrofotometer FTIR, difraktometer Sinar-X (XRD) dan Scanning Elektron Microscope (SEM).

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Sintesis ZIF-8 (Zeolitic Imidazolate Frameworks-8)

Sintesis ZIF-8 (Zeolitic Imidazolate Frameworks-8) dilakukan dengan metode solvotermal dengan prekursor garam logam terhidrasi berupa seng nitrat heksahidrat (Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) dan ligan organik berupa 2-metilimidazol (MeIM) dalam media etanol:DMF.

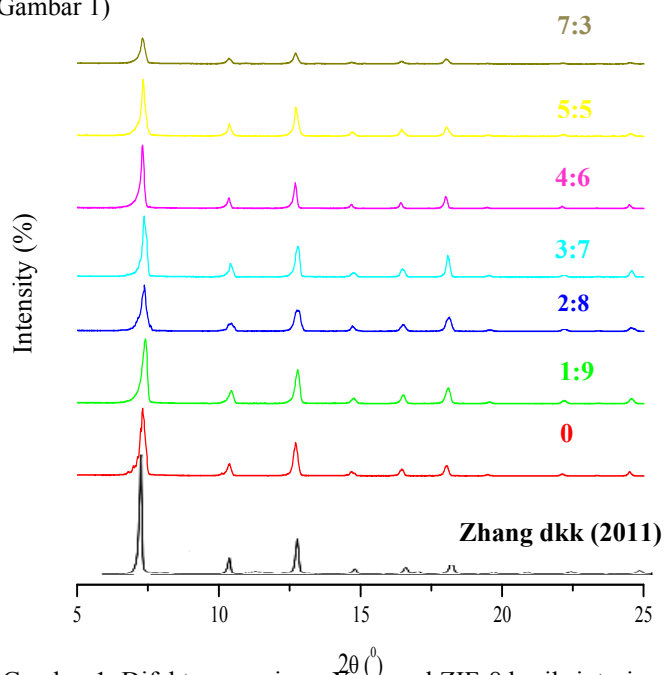
Berdasarkan pengamatan secara visual hasil dari campuran reaksi berwarna putih kecuali pada pelarut yang menggunakan DMF saja yang berwarna kuning pucat. Padatan kuning pucat tersebut kemungkinan besar merupakan hasil reaksi dari logam Zn<sup>2+</sup> dan ligan 2-metilimidazol. Selanjutnya endapan yang terbentuk kemudian didekantasi dan dicuci dengan 15 mL metanol dan dibiarkan selama 24 jam. Proses pencucian dilakukan dua kali untuk menghilangkan sisa pelarut DMF yang terjebak dalam kerangka ZIF-8. Selanjutnya proses pengeringan dilakukan dalam vakum pada suhu 70 °C selama 20 menit untuk menghilangkan metanol yang terperangkap dalam kristal ZIF-8 karena titik didih metanol adalah 65 °C.

Selanjutnya, kristal hasil sintesis dinotasikan sesuai dengan variasi rasio volume etanol:DMF berturut-turut yaitu ZIF-8 (0), ZIF-8 (1:9), ZIF-8 (2:8), ZIF-8 (3:7), ZIF-8 (4:8), ZIF-8 (5:5) dan ZIF-8 (7:3).

Hasil sintesis yang memiliki berat sampel terbesar adalah ZIF-8(0), dan secara umum penambahan etanol telah menurunkan berat padatan hasil sintesis. Penurunan berat ini kemungkinan karena proses protonasi dari ligan imidazol semakin berkurang dengan bertambahnya jumlah etanol. Meskipun demikian, Yang dkk. (2014) melaporkan bahwa penambahan etanol dalam pelarut DMF pada sintesis MOF-5 yang didoping Ni dapat mengontrol ukuran dan morfologi kristal yang dihasilkan.

#### B. Hasil Karakterisasi dengan Difraksi Sinar-X (XRD)

Analisis menggunakan difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui struktur dan kristalinitas dari ZIF-8 hasil sintesis (Gambar 1)



Gambar 1. Difraktogram sinar-X sampel ZIF-8 hasil sintesis dan penelitian Zhang dkk. (2011)

Pola difraksi sinar-X dari ZIF-8 yang telah dipaparkan oleh Zhang dkk. (2011) memiliki puncak karakteristik pada sudut 2θ sebesar 7,29; 10,32; 12,65; 16,5 dan 18,1°. Pada penelitian ini, pola difraksi sinar-X dari hasil sintesis ZIF-8 menunjukkan puncak di sekitar 7,3; 10,3; 12,7; 16,4 dan 18,0°.

Jika dibandingkan dengan hasil yang telah dilaporkan oleh Zhang dkk. (2011), pola difraksi sinar-X padatan hasil sintesis pada penelitian sama dengan yang telah dilaporkan. Namun pada sampel ZIF-8(7:3), intensitas puncak karakteristik terlalu rendah dibandingkan dengan hasil penelitian milik Zhang dkk. (2011) hal tersebut disebabkan kristal belum terbentuk sempurna.

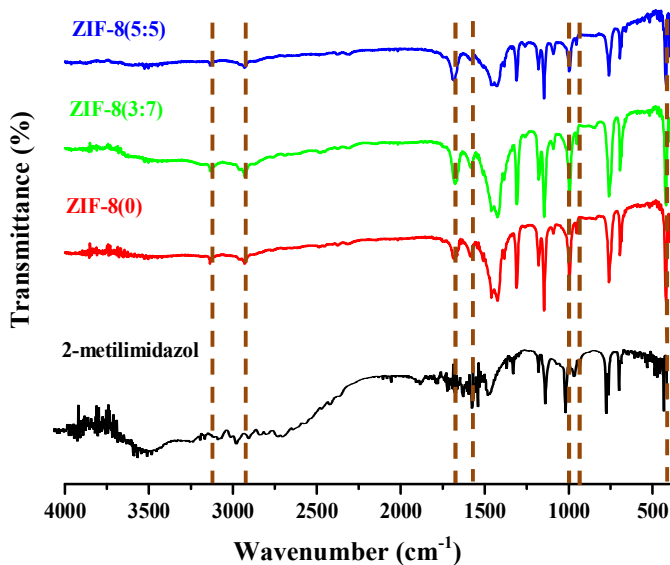
Derajat kristalinitas diperoleh dari intensitas puncak khususnya pada puncak daerah 2θ sekitar 7° [32]. Dari hasil difraksi sinar-X, puncak pada 2θ=7° memiliki intensitas tertinggi adalah pada sampel ZIF-8 (1:9), pada daerah 7,43°. Diasumsikan bahwa ZIF-8(1:9) yang disintesis dengan metode solvotermal pada suhu 120 °C memiliki tingkat kristalinitas

yang paling tinggi sehingga digunakan sebagai pembanding dan kristalinitasnya dianggap 100 % (Tabel 1). Dari hasil yang telah didapatkan, kristalinitas dari padatan ZIF-8 (1:9) adalah yang paling tinggi, yaitu sebesar 100 %.

### C. Hasil Karakterisasi dengan Spektroskopi Inframerah

Gambar 2. Menunjukkan spektra FTIR dari hasil sintesis ZIF-8. Terdapat pita serapan yang tajam pada daerah 421  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi stretching Zn-N yang menandakan bahwa di dalam sampel ZIF-8 membentuk ikatan antara seng dengan nitrogen. Pada daerah bilangan gelombang 994  $\text{cm}^{-1}$  dan 1145  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi stretching C-N. Selain itu stretching C=N muncul pada daerah bilangan gelombang 1580  $\text{cm}^{-1}$ . Untuk daerah bilangan gelombang sekitar 1682  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi stretching C=C. Dan pada bilangan gelombang 2930  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan C-H  $\text{sp}^3$  dan bilangan gelombang 3130  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan C-H  $\text{sp}^2$  [33]-[35].

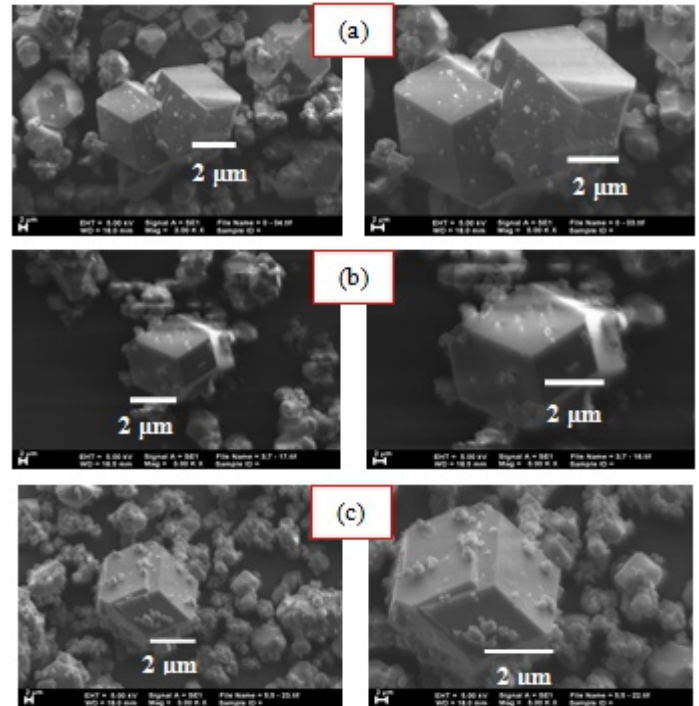
Spektra pada hasil sintesis dengan variasi volume rasio etanol:DMF menunjukkan kesamaan pita serapan dengan referensi MeIM, hal tersebut menunjukkan bahwa MeIM telah bereaksi sepenuhnya selama pembentukan struktur ZIF-8.



Gambar 2. Spektra FTIR sampel ZIF-8 hasil sintesis dengan variasi rasio volume etanol:DMF.

### D. Hasil Karakterisasi SEM-EDX

Morfologi permukaan dari sampel ZIF-8 hasil sintesis pada variasi volume rasio etanol:DMF ZIF-8(0), ZIF-8(3:7) dan ZIF-8(5:5) ditunjukkan pada Gambar 3. Struktur ZIF-8 terlihat teratur dan terdapat partikel kecil-kecil yang menempel.



Gambar 3. Foto SEM (a) ZIF-8(0); (b) ZIF-8(3:7); (c) ZIF-8(5:5)

Partikel kecil tersebut merupakan kristal-kristal ZIF-8. Dibuktikan dari hasil XRD, bahwa tidak ada senyawa lain selain ZIF-8. Morfologi yang paling teratur adalah ZIF-8 (3:7). Keteraturan morfologi terlihat pada foto hasil SEM dengan bentuk bidang segi empat. Pengamatan menggunakan SEM mendukung hasil dari difraktogram XRD, dimana, ZIF-8 (3:7) memiliki kristalinitas yang lebih besar dibandingkan dengan kristalinitas ZIF-8 (5:5). ZIF-8(3:7) hasil sintesis memiliki kesesuaian morfologi dengan ZIF-8 yang telah disintesis oleh Nguyen dkk. (2012). Menurut Cho dkk. (2013), morfologi yang dihasilkan mengindikasikan bahwa kerangka ZIF-8 yang terbentuk dari kation  $\text{Zn}^{2+}$  dan ligan 2-metilimidazol terkoordinasi secara tetrahedral membentuk cincin segi empat dari kluster  $\text{Zn}_4$ .

## IV. KESIMPULAN

Sintesis kristal ZIF-8 dengan metode solvothermal dalam media etanol:*N,N*-dimetilformamida pada suhu 120 °C selama 40 jam dengan variasi perbandingan pelarut 0, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5 dan 7:3 telah berhasil dilakukan. Kristal ZIF-8 yang dihasilkan berbentuk butiran berwarna putih. Karakteristik ZIF-8 hasil sintesis berdasarkan kristalinitas dengan XRD menunjukkan puncak karakteristik pada semua sampel pada daerah  $2\theta$  sebesar 7,3; 10,3; 12,7; 16,4 dan 18,0°. Hasil karakterisasi dengan FTIR membuktikan terbentuknya ZIF-8 dengan munculnya spektra pada bilangan gelombang 420  $\text{cm}^{-1}$  yang mengindikasikan terjadinya ikatan antara seng dan nitrogen. Hasil dengan SEM menunjukkan morfologi permukaan paling baik pada ZIF-8(3:7) berbentuk segi empat.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Drs. Muhammad Nadjib M., M.S. dan Dra. Ratna Edianti, MS., Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rosi, N.L., Eckert J., Eddaoudi M., Vodak D.T., Kim J., O'Keeffe M., Yaghi O.M. (2013). Hydrogen storage in microporous metal-organic frameworks. *Science*, 300, 1127-1129.
- [2] Maji T.K., Matsuda R., Kitagawa S., (2007). Photoactivation Of A Nanoporous Crystal For On-Demand Guest Trapping And Conversion. *Nat. Mater.*, 6, 142-148.
- [3] Li J., Kuppler R.J., Zhou H.C., (2009). Selective Gas Adsorption And Separation In Metal-Organic Frameworks. *Chem. Soc.*, 38, 1477-1504
- [4] Yuan B., Pan Y., Li Y., Yin B., Jiang V. (2010). A Highly Active Heterogeneous Palladium Catalyst for the Suzuki-Miyaura and Ullmann Coupling Reactions of Aryl Chlorides in Aqueous Media. *Chem. Int. Ed.*, 49, 4054-4058
- [5] Zhang M., Guan J., Zhang B., Su D., Williams C.T., Liang C., (2012). Chemical Vapor Deposition of Pd(C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>)(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>) to Synthesize Pd@MOF-5 Catalysts for Suzuki Coupling Reaction. *Catal. Lett.*, 142, 313-318
- [6] Jiang, D., Mallat, T., Krumeich, F. & Baiker, A. (2011). Polymer-Assisted Synthesis Of Nanocrystalline Copper-Based Metal-Organic Framework For Amine Oxidation. *Catal. Commun.*, 12 (7), 602-05.
- [7] Guo, H. L., Zhu, Y. Z., Wang, S., Su, S. Q., Zhou, L., Zhang, H. J., (2012). Combining Coordination Modulation with Acid-Base Adjustment for the Control over Size of Metal-Organic Frameworks. *Chem. Mater.*, 24 (3), 444-450.
- [8] Taylor-Pashow KML, Della Rocca J, Xie Z, Tran S, Lin W. (2009). Postsynthetic modifications of iron-carboxylate nanoscale metal-organic frameworks for imaging and drug delivery. *J Am Chem Soc.*, 131, 14261-14263.
- [9] Zacher D., Shekhah O., Wöll C., Fischer R. A. (2009). Thin films of metal-organic frameworks *Chem. Soc.*, 38, 1418-1429.
- [10] Jiang H.L., Akita T., Ishida T., Haruta M., Xu Q., Am J. (2011). Synergistic catalysis of Au@Ag core-shell nanoparticles stabilized on metal-organic framework. *Chem. Soc.*, 133 1304-1306.
- [11] Moggach, Stephen A., Bennet, Thomas D., Cheetham, Anthony K. (2009). The Effect of Pressure on ZIF-8: Increasing Pore Size with Pressure and the Formation of a High-Pressure Phase at 1,47 GPa. *Angewandte Chem.*, 121, 7221-7223.
- [12] Nguyen, L.T. L., Le, K.K.A., Phan, N.T.S. (2012). A Zeolitic Imidazolate Framework ZIF-8 Catalyst for Friedel-Crafts Acylation. *Chin. Journal Of Catalysis.*, 33, 688-696.
- [13] Zhang, Z., Xian, S., Xi, H., Wang, H., Li, Z. (2011). Improvement of CO<sub>2</sub> Adsorption on ZIF-8 Crystals Modified by Enhancing Basicity of Surface. *Chemical Engineering Science.*, 66, 4878-4888.
- [14] Phan, A., Doonan, C.J., Uribe-Romo, Fernando J., Knobler, C.B., O'Keeffe, M., Yaghi, O.M. (2009). Synthesis, Structure, and Carbon Dioxide Capture Properties of Zeolitic Imidazolate Frameworks. *Accounts of Chemical Research.*, 43, 58-67.
- [15] Park, K. S., Ni, Z., Cote, A. P., Choi, J. Y., Huang, R., Uribe-Romo, Fernando J., Chae, Hee K., O'Keeffe M., Yaghi, Omar M. (2006). Exceptional Chemical and Thermal Stability of Zeolitic Imidazolate Frameworks. *Proceeding of the National Academy of Sciences.*, 103, 27.
- [16] Fairen-Jimenez, D, Moggach, SA, Wharmby, MT, Wright, PA, Parsons, S & Düren, T (2011). Opening the Gate: Framework Flexibility in ZIF-8 Explored by Experiments and Simulations, *American Chemical Society.*, 133, 23, 8900-8902.
- [17] Phan, A., Doonan, C.J., Uribe-Romo, Fernando J., Knobler, C.B., O'Keeffe, M., Yaghi, O.M. (2009). Synthesis, Structure, and Carbon Dioxide Capture Properties of Zeolitic Imidazolate Frameworks. *Accounts of Chemical Research.*, 43, 58-67.
- [18] Mulyati, T.A. (2014). Aktivasi Karbon Berpori Berstruktur MOF-5 Menggunakan KOH sebagai Material Penyimpan Hidrogen. Thesis Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [19] Venna, Surendar R., Carreon, Moises A. (2009) Highly Permeable Zeolite Imidazolate Framework-8 Membranes for CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> Separation. *J. AM. CHEM. SOC* 132, 76-79.
- [20] Cravillon, J., Schruder, C.A., Bux, H., Rothkirch, A., Caro, J., Wiebcke, M. (2011) Formate Modulated Solvothermal Synthesis of ZIF-8 Investigated Using Time-Resolved In Situ X-ray Diffraction and Scanning Electron Microscopy. *The Royal Society of Chemistry.* 12, 2086-2090.
- [21] Park, K. S., Ni, Z., Cote, A. P., Choi, J. Y., Huang, R., Uribe-Romo, Fernando J., Chae, Hee K., O'Keeffe M., Yaghi, Omar M. (2006). Exceptional Chemical and Thermal Stability of Zeolitic Imidazolate Frameworks. *Proceeding of the National Academy of Sciences.*, 103, 27.
- [22] Nguyen, L.T. L., Le, K.K.A., Phan, N.T.S. (2012). A Zeolitic Imidazolate Framework ZIF-8 Catalyst for Friedel-Crafts Acylation. *Chin. Journal Of Catalysis.*, 33, 688-696.
- [23] Zhang, Z., Xian, S., Xi, H., Wang, H., Li, Z. (2011). Improvement of CO<sub>2</sub> Adsorption on ZIF-8 Crystals Modified by Enhancing Basicity of Surface. *Chemical Engineering Science.*, 66, 4878-4888.
- [24] Park, K. S., Ni, Z., Cote, A. P., Choi, J. Y., Huang, R., Uribe-Romo, Fernando J., Chae, Hee K., O'Keeffe M., Yaghi, Omar M. (2006). Exceptional Chemical and Thermal Stability of Zeolitic Imidazolate Frameworks. *Proceeding of the National Academy of Sciences.*, 103, 27.
- [25] Venna, Surendar R., Carreon, Moises A. (2009) Highly Permeable Zeolite Imidazolate Framework-8 Membranes for CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> Separation. *J. AM. CHEM. SOC* 132, 76-79.
- [26] Cravillon, J., Schruder, C.A., Bux, H., Rothkirch, A., Caro, J., Wiebcke, M. (2011) Formate Modulated Solvothermal Synthesis of ZIF-8 Investigated Using Time-Resolved In Situ X-ray Diffraction and Scanning Electron Microscopy. *The Royal Society of Chemistry.* 12, 2086-2090.
- [27] Pan, Y., Liu, Y., Zeng, G., Zhao, L., Lai, Z. (2011). Rapid Synthesis of Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8) Nanocrystals in an Aqueous System. *Chem. Communication.*, 47, 2071-2073.
- [28] Seoane B., Zamaro J.M., Tellez C., Coronas J., (2012). Sonocrystallization of zeolitic imidazolate frameworks (ZIF-7, ZIF-8, ZIF-11 and ZIF-20) *Crys. Eng. Commun.*, 14, 3103-3107
- [29] Bao Q., Lou Y., Xing T., Chen J., (2013). Rapid Synthesis Of Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8) In Aqueous Solution Via Microwave Irradiation. *Inorg. Chem. Commun.*, 37, 170-173
- [30] Yamamoto D., Maki T., Watanabe S., Tanaka H., Miyahara M.T., Mae K., (2013). Synthesis and adsorption properties of ZIF-8 nanoparticles using a micromixer. *Chem. Eng. J.*, 227, 145-150.
- [31] Yang L., Lu Chin H., (2012). Microwave-assisted Ionothermal Synthesis and Characterization of Zeolitic Imidazolate Framework-8. *Chem J.*, 30-5, 1040-1044
- [32] Venna, S.R., Jasinski, J.B., Carreon, M. A. (2010). Structural Evolution of Zeolitic Imidazolate Framework-8. *Journal of American Chemical Society.*, 132, 18030-18033.
- [33] Nguyen, L.T. L., Le, K.K.A., Phan, N.T.S. (2012). A Zeolitic Imidazolate Framework ZIF-8 Catalyst for Friedel-Crafts Acylation. *Chin. Journal Of Catalysis.*, 33, 688-696
- [34] Ordoñez, M. J. C., Balkus, K. J., Ferraris, J. P. dan Musselman, I. H. (2010). Molekular sieving realized with ZIF-8/Matrimid mixed-matrix membranes. *Journal of Membrane Science.*, 361, 28-37.
- [35] Lanchas, M., Vallejo-Sanchez, D., Beobide G., Castillo, O., Aguayo, A.T., Luque, A., Roman P., (2012). A direct reaction approach for the synthesis of zeolitic imidazolate frameworks: template and temperature mediated control on network topology and crystal size. *Chem. Commun.*, 48, 9930-9932.