



Sintesis Zeolite Y dengan Menggunakan Metode Sol-Gel

Fitri Nur Haliza^a, Salvia Olga Sabrina^{a*}, Siti Nur Lailatul Fitriyah^a

^aDepartemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang No. 5 Malang 65145 Jawa Timur, Indonesia

*Corresponding author, email: salvia.olga.2103326@students.um.ac.id

Paper received: 3-7-2023; accepted: 15-7-2023; published: 30-7-2023

Abstract

Zeolite is a non-metal mineral that has a multipurpose role such as ion exchanger, adsorbent, molecular filter, and catalyst. The unrenewable nature of zeolite results in the existence of zeolite increasingly depleted so that efforts need to be made to make synthetic or artificial zeolite. Zeolite Y is one of the most widely developed types of zeolite. The experiment "Zeolite Y Synthesis Using the Sol-Gel Method" aims to synthesize zeolite Y using the sol-gel method. In this experiment, zeolite Y was synthesized using the sol-gel method with a molar composition of $10\text{Na}_2\text{O} : 6.17\text{Al}_2\text{O}_3 : 15\text{SiO}_2 : 300\text{H}_2\text{O}$ and a Si/Al ratio of 2.43. The results of this experiment are 1.267 grams of zeolite Y material in powder form and white in color with a yield of 25.84%.

Keywords: zeolite Y; sol-gel; hydrothermal

Abstrak

Zeolite merupakan mineral non logam yang mempunyai peran multiguna seperti penukar ion, adsorben, penyaring molekul, dan katalisator. Sifat zeolite yang *unrenewable* ini mengakibatkan keberadaan zeolite semakin lama akan semakin menipis sehingga perlu dilakukan upaya untuk membuat zeolite sintetis atau tiruan. Zeolite Y merupakan salah satu jenis zeolite yang paling banyak dikembangkan. Percobaan "Sintesis Zeolite Y dengan Menggunakan Metode Sol-Gel" bertujuan untuk mensintesis zeolite Y dengan menggunakan metode sol-gel. Pada percobaan ini dilakukan sintesis zeolite Y menggunakan metode sol-gel dengan komposisi molar $10\text{Na}_2\text{O} : 6,17\text{Al}_2\text{O}_3 : 15\text{SiO}_2 : 300\text{H}_2\text{O}$ dan rasio Si/Al 2,43. Hasil dari percobaan ini yaitu berupa material zeolite Y yang berbentuk powder dan berwarna putih sebanyak 1,267 gram dengan yield sebesar 25,84%.

Kata kunci: zeolite Y; sol-gel; hidrotermal

1. Pendahuluan

Zeolit merupakan mineral aluminosilikat terhidrasi dengan struktur tiga dimensi terbuka yang dimanfaatkan sebagai adsorben atau penukar kation. Zeolit disintesis dengan metode sol gel yang dilanjutkan dengan proses hidrotermal. Zeolit sintesis dibuat untuk menangani kelemahan zeolit alam, seperti mengatur pori-porinya supaya lebih spesifik pemanfaatannya. Zeolit sintesis mempunyai sifat lebih baik dibanding zeolit alam karena zeolit alam tidak terpisah dalam lingkungan asam seperti zeolit sintesis (Saputra, 2006). Selain itu, zeolit alam mempunyai keterbatasan seperti kemurnian yang rendah dan ukuran pori-pori yang kurang seragam (Breck, 1974).

Zeolit sintesis yang sering dikembangkan salah satunya adalah zeolit Y. Zeolit ini ialah suatu mineral Faujasit yang mempunyai rasio Si/Al 1-3 dengan stabilitas dan selektivitas adsorpsi tinggi terhadap air dan molekul-molekul polar. Hal tersebut digunakan dengan mekanisme suhu tinggi sebagaimana dalam perengkahan katalitik cair (FCC) (Wang dkk., 2013). Selain itu, zeolit Y diaplikasikan sebagai katalis pada pembuatan minyak, yang bertindak sebagai penukar ion dalam mekanisme desalinasi air laut dan juga adsorben karena mampu mentransfer sulfur dioksida (SO_2). Menurut Saputra (2006), zeolit Y dimanfaatkan secara spesifik sebagai removal, pemisah fruktosa-glukosa, pemisah N_2 di udara, dan bahan pendingin kering.

Sintesis zeolit Y terbentuk saat gel terkristalisasi dari suhu ruang hingga $200^\circ C$ dengan tekanan atmosfer atau autogenous. Mekanisme ini baik digunakan pada logam alkali untuk mempersiapkan gabungan gel yang reaktif dan homogen. Struktur gel terbentuk akibat polimerisasi anion aluminat dan silikat. Ukuran dan struktur jenis polimerisasi menentukan komposisi dan struktur gel hidrat. Beberapa zeolit terbentuk dalam keadaan hidrotermal. Bahan utama pembentukannya adalah aluminat silikat (gel) dari beragam logam sebagai kation. Komposisi gel, sifat fisik dan kimia reaktan. Berbagai jenis kation serta keadaan kristalisasi juga mempengaruhi struktur yang diperoleh (Septia, 2011). Kelemahan zeolit Y adalah memiliki struktur mikropori. Struktur mikropori menjadikan dependensi dalam menyebarkan dan mentransportasikan massa ke situs aktif. Hal tersebut membawa dampak pada polimerisasi produk maupun reaksi intermediet sehingga menutup situs aktif dan pori pada struktur. Dengan demikian, waktu katalis zeolit Y menjadi pendek (Na dkk., 2013).

Sintesis zeolit Y dibuat menggunakan metode sol gel dan dilanjutkan dengan proses hidrotermal dengan mengamati pengaruh dan variasi komponen, variasi suhu hidrotermal, dan variasi waktu hidrotermal (Imam dkk., 2013). Metode sol gel memiliki kelebihan di antaranya adalah kehomogenan yang lebih baik, kemurnian tinggi, suhu relatif rendah, tidak terjadi reaksi dengan senyawa sisa, kemampuan diperkecilnya kehilangan bahan akibat penguapan, dan mengurangi pencemaran udara (Fernandes, 2011).

Penelitian mengenai sintesis zeolit menggunakan metode hidrotermal pada tahap kristalisasinya telah banyak dilakukan. Metode hidrotermal memiliki kelebihan di antaranya adalah bahan yang disintesis mudah membentuk kristal dan dilakukan kristalisasi. Reaksi yang terjadi pada suhu di atas $100^\circ C$ dan pada tekanan di atas 1 atm. Selain itu, metode sol gel hidrotermal lebih disukai pada sintesis zeolit karena menghasilkan zeolit dengan kristal yang lebih teratur susunannya dan lebih baik. Hal ini karena membentuk sol gel terlebih dahulu sebelum dilakukan hidrotermal.

Zeolit Y berhasil disintesis oleh Sang dkk. (2005) dengan komposisi molar $10\text{Na}_2\text{O}: 1,0\text{Al}_2\text{O}_3: 15\text{SiO}_2: 300\text{H}_2\text{O}$. Berdasarkan Komposisi rasio molar tersebut, terdapat perbedaan pada rasio molar SiO_2 dan Al_2O_3 . Bersumber pada komposisi rasio sintesis zeolite Y, diperoleh perbandingan rasio molar SiO_2 dan Al_2O_3 . Perbandingan rasio molar akan berdampak pada kristalinitas sintesis zeolite Y yang diperoleh. Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ mempengaruhi ukuran kristal zeolite, kristalinitas zeolite, luas permukaan zeolite, dan keasaman dari zeolite. Selain itu, suhu dan waktu kristalisasi juga mempengaruhi kristalinitas zeolite Y hasil sintesis.

Dalam penelitian Kasmui dkk. (2008) menyatakan bahwa rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ akan mempengaruhi perubahan struktur pori zeolit Y. Rasio SiO_2 yang semakin kecil akan membuat ukuran struktur pori zeolit Y semakin besar, sebaliknya rasio SiO_2 yang semakin tinggi akan membuat ukuran struktur pori zeolit Y semakin kecil. Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang tinggi akan meningkatkan kristalinitas dan kekuatan asam pada zeolit sintesis (Jacobs dan Martens, 1987). Variasi rasio molar juga akan berpengaruh pada ukuran partikel zeolit (Armaroli dkk., 2006) dan berpengaruh pada keasaman serta kristalinitas zeolit (Khalifah dkk., 2010).

Berdasarkan pendahuluan di atas, maka pada percobaan ini akan dilakukan sintesis zeolite Y dengan menggunakan metode sol-gel. Pada percobaan yang kami lakukan digunakan komposisi molar $10\text{Na}_2\text{O}: 6,17\text{Al}_2\text{O}_3: 15\text{SiO}_2: 300\text{H}_2\text{O}$. Metode sol-gel digunakan karena pada metode ini menyebabkan derajat kristalinitas dan kemurnian yang tinggi, memperkecil distribusi ukuran partikel, serta sintesis hanya satu tahap. Hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD (X-Ray Diffraction).

2. Metode

Alat dan Bahan

Pada percobaan sintesis zeolite Y dengan menggunakan metode sol-gel. Alat yang digunakan yaitu neraca analitik, beaker glass 250 mL, beaker glass 50 mL, cawan porselen 100 mL, kaca arloji, batang pengaduk, spatula, pipet tetes, *magnetic stirrer*, reaktor sintesis hidrotermal, kertas indikator universal, oven, dan botol semprot. Sementara, bahan yang digunakan yaitu padatan Al_2O_3 *p.a.*, larutan Na_2SiO_3 , dan aquades.

Prosedur

Pada percobaan sintesis zeolite Y dengan menggunakan metode sol-gel, dilakukan dengan menggunakan komposisi molar yaitu $15\text{Na}_2\text{O}: 6,17\text{Al}_2\text{O}_3: 15\text{SiO}_2: 300\text{H}_2\text{O}$. Pertama, dimasukkan 10,27 g aquades ke dalam beaker glass 250 mL kemudian ditambahkan 3,66 g larutan Na_2SiO_3 dan 1,26 g padatan Al_2O_3 *p.a.* Kedua, diaduk selama 40 menit dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Ketiga, dipindahkan campuran ke dalam teflon reaktor hidrotermal dan dilakukan pemeraman selama 30 menit pada suhu kamar. Keempat, dikristalisasi pada suhu 160°C selama 6 jam. Kelima, dicuci kristal yang terbentuk dengan aquades hingga diperoleh pH 7-8. Keenam, dikeringkan pada suhu 120°C selama 70 menit atau hingga berat konstan. Ketujuh, dikarakterisasi dengan menggunakan XRD powder.

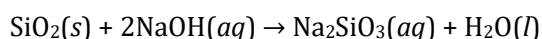
3. Hasil dan Pembahasan

Sintesis Zeolit Y

Percobaan sintesis zeolite Y dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel. Komposisi molar yang digunakan yaitu $10\text{Na}_2\text{O}: 6,17\text{Al}_2\text{O}_3: 15\text{SiO}_2: 300\text{H}_2\text{O}$ dan rasio Si/Al

2,43. Hal tersebut karena zeolit Y memiliki rasio Si/Al di antara 1-3. Zeolite merupakan zat padat yang struktur kristalnya mempunyai ruang pori. Sintesis zeolit Y dilakukan karena mempunyai banyak kegunaan. Zeolite Y termasuk ke dalam jenis faujasit yaitu memiliki kemampuan adsorpsi yang baik, yang digunakan sebagai katalis pada proses pengolahan minyak mentah (Ali dkk., 2015), sebagai penukar ion pada proses desalinasi air laut (Bhatia, 1990), dan sebagai adsorben yang memindahkan sulfur dioksida (SO₂) dari gas sisa (Kiti, 2012). Metode sol-gel merupakan metode sintesis material yang melibatkan pembentukan koloid sol (partikel padat yang terdispersi dalam cairan) yang kemudian diendapkan menjadi gel padat. Pada sintesis zeolite Y digunakan metode sol-gel karena dengan menggunakan metode ini diperoleh derajat kristalinitas dan kemurnian yang tinggi, memperkecil distribusi ukuran partikel, dan proses sintesisnya hanya dalam satu tahap (Fathizadeh & Ordou, 2011).

Sintesis zeolite Y dimulai dengan pencampuran 10,294 g aquades; 3,648 g larutan Na₂SiO₃ yang tidak berwarna; dan 1,255 g padatan Al₂O₃ *p.a* yang berwarna putih, dengan dilakukan pengadukan menggunakan magnetic stirrer selama 40 menit. Tujuan dilakukannya pengadukan yaitu untuk mencapai distribusi yang homogen. Silika (SiO₂) dari larutan Na₂SiO₃ dan alumina (Al₂O₃) bertindak sebagai prekursor. Berikut merupakan persamaan reaksi yang terjadi pada perolehan silika dari larutan Na₂SiO₃.

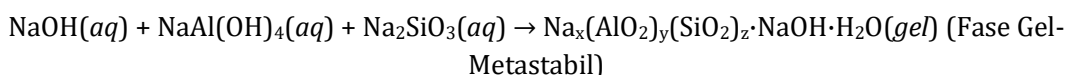


Sementara, natrium hidroksida (NaOH) dari larutan Na₂SiO₃ bertindak sebagai aktivator pada proses peleburan untuk menghasilkan garam silikat dan aluminat yang larut dalam air. Hasil peleburan tersebut berfungsi dalam pembentukan zeolit pada proses hidrotermal. Selain itu, NaOH berfungsi untuk menghasilkan suasana basa dalam larutan, di mana akan terjadi reaksi polimerisasi ion-ion pembentuk zeolit (Zahro, 2014). Berikut merupakan persamaan reaksi yang terjadi.



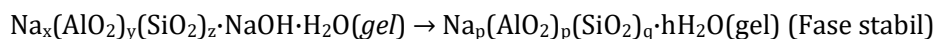
Larutan Na₂SiO₃ dan padatan Al₂O₃ *p.a* dilarutkan dalam aquades sebagai tahap pertama dari metode sol-gel di mana terjadi pembentukan koloid sol dan reaksi hidrolisis. Reaksi hidrolisis terjadi pada suasana basa. Pada suasana basa kemungkinan air mengalami disosiasi untuk membentuk nukleofilik berupa ion hidroksil (OH⁻) yang akan menyerang silika.

Setelah dilakukan pengadukan kemudian dilakukan pemeraman dalam teflon selama 30 menit pada suhu kamar. Pada tahap ini terjadi pelarutan dan proses polimerisasi struktur inti zeolite, di mana terjadi represipitasi dari monomer silika menjadi struktur gel yang lebih kaku, kuat, dan menyusut dalam larutan dengan melibatkan reaksi kondensasi. Berikut merupakan persamaan reaksi yang terjadi.



Kristal yang dihasilkan dari tahap pemeraman masih dalam kondisi metastabil sehingga perlu dilakukan tahap penguat hubungan antar kristal (Ramimoghadam dkk., 2012). Hal tersebut dilakukan dengan proses hidrotermal. Proses hidrotermal dilakukan

dengan media pelarut berair dalam bom teflon yang disegel pada suhu 160°C selama 6 jam dan di bawah tekanan autogen yang bertujuan untuk meningkatkan kristalinitas dan menyeragamkan kisi-kisi kristal zeolite. Dalam kondisi tersebut, penurunan viskositas pelarut meningkatkan proses difusi sehingga terjadi proses pertumbuhan kristal. Berikut persamaan reaksi yang terjadi.



Padatan yang terbentuk setelah melalui proses hidrotermal kemudian dicuci menggunakan aquades hingga diperoleh pH 8. Hal tersebut bertujuan untuk menetralkan zeolite yang disebabkan oleh adanya NaOH serta menghilangkan pengotor yang larut dalam air. Padatan yang telah dicuci kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 70 menit atau hingga berat konstan. Pengeringan ini bertujuan untuk menghilangkan air yang terperangkap di dalam rongga zeolite sehingga memperluas permukaan zeolite Y. Setelah dikeringkan, diperoleh padatan berbentuk powder dan berwarna putih seperti pada Gambar 1. Massa zeolit ditimbang berkala setiap 10 menit sekali sampai diperoleh massa konstan. Massa total zeolit Y sebesar 1,267 gram dengan yield sebesar 25,84%.



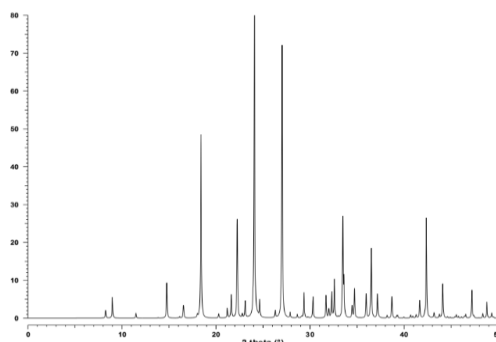
Gambar 1. Pencitraan sampel zeolit Y

Karakterisasi Zeolit Y

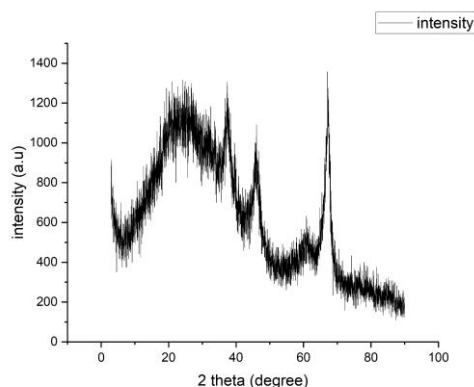
Pada percobaan ini, penulis telah melakukan karakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan tingkat kemurnian dan kristalinitas zeolite Y. Sementara untuk karakterisasi FTIR dan SEM, penulis menggunakan hasil karakterisasi dari penelitian terdahulu yang relevan dengan percobaan ini sebagai prediksi dan bahan latihan dalam mengembangkan keterampilan penulis untuk melakukan karakterisasi.

X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis menggunakan XRD ini dilakukan untuk memberikan informasi terkait tingkat kemurnian dan kristalinitas dari hasil sintesis zeolite Y. Pada karakterisasi ini, merujuk pada Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites oleh M.M.J Treacy dan J.B. Higgins yang digunakan sebagai pembanding dari hasil karakterisasi zeolite Y yang kami lakukan.



Gambar 2. Hasil karakterisasi Zeolite Y oleh Treacy and Higgins

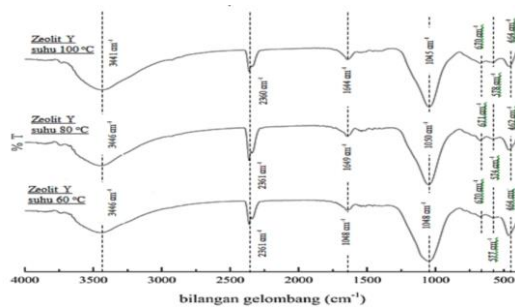


Gambar 3. Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD

Pada sintesis zeolite yang kami lakukan terdapat ketidaksesuaian perolehan data puncak yang dihasilkan oleh karakterisasi XRD di mana dalam percobaan kami teridentifikasi 4 puncak yang dihasilkan dari hasil karakterisasi tersebut. Puncak 1 dan 2 merupakan zeolite Y yang muncul pada 37.61(13) dan 45.70(3). Sementara, untuk puncak 3 dan 4 dihipotesiskan bukan merupakan zeolite Y, tetapi terdapat zeolite lain yang terbentuk karena puncak tersebut muncul di luar area zeolite Y 612(4) dan 67.23(5). Ketidaksesuaian data tersebut disebabkan oleh kesalahan komposisi molar dalam sintesis zeolite Y di mana tidak tercukupinya komposisi salah satu komponen menyebabkan zeolite tersebut tidak menempel sehingga memungkinkan untuk terbentuknya zeolite lain. Namun, hasil sintesis yang diperoleh berupa serbuk berwarna putih mengindikasikan bahwa dalam percobaan kami menghasilkan zeolite Y meskipun diikuti dengan terbentuknya zeolite lain. Dengan demikian, disimpulkan bahwa zeolite Y yang dihasilkan mempunyai kristalinitas yang rendah ditunjukkan dengan munculnya puncak yang rendah pula. Selain itu, tingkat kemurniannya juga relatif rendah karena masih terbentuk zeolite lain yang diduga muncul akibat kesalahan komposisi molar yang digunakan.

Fourier Transform Infrared (FTIR)

Analisis menggunakan FTIR ini bertujuan untuk mengetahui adanya gugus fungsi yang terdapat dalam zeolite Y hasil sintesis. Berdasarkan hasil karakterisasi oleh Ali dkk. (2015) diperoleh informasi bahwa hasil sintesis dari ketiga variasi suhu hidrotermal mempunyai kriteria yang relatif sama (Muis dkk., 2021). Hal ini karena ketiga variasi tersebut mengandung gugus fungsi yang sama dan tidak dipengaruhi oleh perubahan struktur yakni gugus O-T-O dimana T merupakan gugus Si atau Al yang terbaca pada panjang gelombang 1048,670 nm dan 464 nm. Di samping itu juga terdapat gugus yang terpengaruh oleh perubahan struktur yakni gugus cincin ganda yang terbaca pada panjang gelombang 574 nm. Sementara, untuk gugus-OH terbaca pada daerah panjang gelombang sekitar 3446 nm dan 1048 nm yang mengindikasikan adanya air yang masih terperangkap pada pori-pori zeolite. Hal ini memungkinkan adanya gugus Si-H yang terbaca pada panjang gelombang 2361 nm.

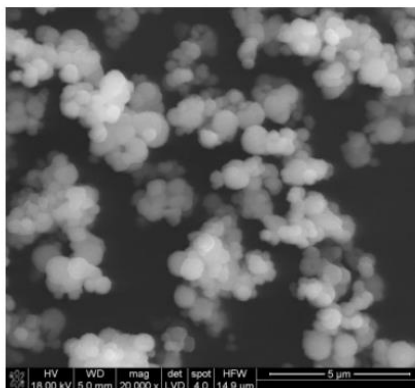


Gambar 4. Spektra IR Zeolite Y

Sumber: Ali dkk., 2015

Scanning Electron Microscope (SEM)

Tujuan dari karakterisasi menggunakan SEM ini adalah untuk mengetahui morfologi bentuk permukaan partikel dari zeolite Y yang di sintesis. Karakterisasi yang dilakukan oleh Muis dkk. (2021) memberikan informasi bahwa zeolite Y yang disintesis menunjukkan adanya material berpori pada setiap kristal yang membuktikan bahwa zeolite merupakan kerangka SiO₄ dan AlO₄ yang berbentuk tetrahedral (Fajria & Adrianyc, 2014). Selain itu, hasil karakterisasi ini juga menunjukkan bentuk kristal zeolite yang seragam dan tidak muncul bentuk lain. Hal ini membuktikan bahwa hasil hidrotermal dilakukan pada temperatur yang paling optimal sehingga mampu menghasilkan kristal zeolite yang berbentuk seragam. Dalam sintesis yang kami lakukan, dihipotesiskan mempunyai hasil karakterisasi yang sama dengan Muis dkk. (2021). Walaupun menggunakan metode yang berbeda, akan tetapi mempunyai persamaan dalam beberapa prosedur sintesisnya termasuk waktu hidrotermal.



Gambar 5. Hasil SEM dengan perbesaran 20,0 μm (2500x)

Sumber: Muis dkk., 2021

4. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan sintesis zeolite Y dengan menggunakan metode sol-gel disimpulkan bahwa zeolit Y yang disintesis dengan komposisi molar $10\text{Na}_2\text{O} : 6,17\text{Al}_2\text{O}_3 : 15\text{SiO}_2 : 300\text{H}_2\text{O}$ dan rasio Si/Al 2,43 berupa serbuk putih. Padatan berbentuk powder yang berwarna putih diperoleh sebanyak 1,267 gram dengan yield sebesar 25,84%. Karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa zeolite Y yang dihasilkan memiliki kristalinitas yang rendah dan tingkat kemurnian yang relatif rendah karena masih terbentuk zeolite lain yang diduga muncul akibat kesalahan komposisi molar yang digunakan. Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk identifikasi gugus fungsi. Karakterisasi menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan partikel dari zeolite Y yang disintesis.

Ucapan Terima Kasih

Semua penulis menyampaikan terima kasih kepada (1) Husni Wahyu Wijaya, Ph.D dan Meyga Evi Ferama Sari, M.Si selaku dosen pengampu perkuliahan Praktikum Sintesis Anorganik (Genap 2023/2024) dan (2) Dr. Yessi Permana dan Siti Hartinah Qurbayni (Yessi Lab, Kimia, ITB) yang memfasilitasi karakterisasi sampel hasil sintesis.

Daftar Rujukan

- Ali, S., Amalia, S., Fasya, A. G., & Khalifah, S.N. (2015). Synthesis and Characterization of Zeolite Y From Bagasse Ash with Hydrothermal Temperatures Variations Using The Sol-Gel Method. *Alchemy*, 4(1), 88-91. DOI: 10.18860/al.v4i1.3069.
- Armaroli, T., Simon, L.J., Digne, M., Montanari, T., Bevilacqua, M., Valtchev, V., Patarin, J., dan Busca, G. (2006). *Effects of crystal size and Si/Al ratio on the surface properties of H-ZSM-5 zeolites*. *Applied Catalysis A: General*. Vol. 306. hal. 78-84.
- Bhatia, S. (1990). *Zeolite Catalysis: Principles and Applications*. Florida: CRC Press.
- Breck, D. (1974). *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use*. John Wiley and Sons: New York.
- Fajria, U. S. & Adrianyc, R. (2014). Aplikasi Zeolit NaX yang Disintesis dari Abu Terbang PLTU Ombilin untuk Penyerapan Gas CO. *Jurnal Kimia Unand*, 16.
- Fathizadeh, M. & Ordou, N. (2011). Controlling Yield of NaY Zeolite Synthesis by Hydrothermal Method. *Int. J. Ind. Chem*, 2(4), 190-195.
- Fernandez, B.R. (2011). Sintesis Nanopartikel. Universitas Andalas : Padang.

- Imam P, T., Arneli, dan Suseno, A. (2013). *Pengaruh Konsentrasi NaOH pada Pengambilan Silika dari Abu Sekam Padi untuk Sintesis Zeolit dan Aplikasi sebagai Builder Detergen*. Vol. 1. No. 1. Hal 275-282. Fakultas Sains dan Matematika. Universitas Diponegoro. Kampus Tambalang. Semarang.
- Jacobs, P.A., dan Martens, J.A. (1987). *Synthesis of High-Silica Aluminosilicate: Studies in Surface and Catalysis*. Elsevier Science Publisher, Netherland.
- Kasmui, Muhlisin, Z., dan Sumarni, W. (2008). *Kajian Pengaruh Variasi Rasio Si/Al dan Variasi Kation Terhadap Perubahan Ukuran Pori Zeolit Y Dengan Menggunakan Metode Mekanika Molekuler*.
- Khalifah, S.N., Hartanto, D., dan Prasetyoko, D. (2009). *Sintesis dan Karakterisasi ZSM-5 Mesopori dengan Variasi Rasio SiO₂/Al₂O₃*. Tesis Tidak Diterbitkan. Surabaya: Jurusan Kimia Anorganik. Fakultas FMIPA Insitut Teknologi Surabaya. Surabaya.
- Kiti, E. V. (2012). *Synthesis of Zeolites and Their Application to the Desalination of Sweater*. (Tesis) Kwame Nkrumah University, Kumasi.
- Kusdarto. (2008). Potensi Zeolit di Indonesia. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 7(2), 78-87.
- Muis, L., Sanova, A., & Suryadri, H. (2021). Karakterisasi zeolite dari ampas tebu yang dihasilkan dari reaktor hidrotermal dan aplikasinya pada penyerapan ion logam Pb²⁺. *Chempublish Journal*, 6(1), 1-11.
- Na, K., Choi, M., & Ryoo, R., (2013). Recent advances in the synthesis of hierarchically nanoporous zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*, 166, 3-19.
- Ramimoghadam, D., Hussein, M. Z. B. & Yap, Y. H. T. (2012). The Effect of Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) and Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) on the 10 Properties of ZnO Synthesize by Hydrothermal Method. *Int J MolSci*, 13, 13275-13293.
- Sang, S., Liu, Z., Tian, P., Liu, Z., Qu, L., & Zhang, Y., (2006). Synthesis of Small Crystals Zeolite NaY. *Material Letters*, 60, 1131-1133.
- Saputra, R. (2006). *Pemanfaatan Zeolit Sintetis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri*.
- Septia, P. (2011). *Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio NaOH:Na₂SiO₃, Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing, dan Jenis Prekursor terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer*. (Skripsi) Universitas Indonesia, Depok, Indonesia.
- Wang, Z., Kumakiri, I., Tanaka, K., Chen, X., & Kita, H. (2013). NaY zeolite membranes with high performance prepared by a variable-temperature synthesis. *Microporous and Mesoporous Materials*, 182, 250-258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2013.05.002>.
- Zahro, A. (2014). *Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Y dari Abu Ampas Tebu Variasi Rasio Molar SiO₂/Al₂O₃ dengan Metode Sol Gel Hidrotermal*. (Skripsi) Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, Indonesia.