



PENGARUH RASIO Si/Al, KATION DAN *TEMPLATE* ORGANIK TERHADAP UKURAN RONGGA ZEOLIT ZSM-5

Hepi Endrias*), Kasmui dan Agung Tri Prasetya

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Desember 2012
Disetujui Desember 2012
Dipublikasikan Mei 2013

Kata kunci:
metode mekanika molekuler
ukuran pori
zeolit ZSM-5

Abstrak

Penelitian ini tentang pemodelan struktur zeolit ZSM-5 yang dimodifikasi rasio Si/Al, kation dan *template* organiknya untuk mengetahui pengaruhnya terhadap ukuran rongga dan energinya menggunakan metode mekanika molekuler. Pemodelan zeolit dilakukan dengan membuat kerangka struktur satu unit sel zeolit ZSM-5. Selanjutnya dilakukan variasi rasio Si/Al dan variasi kation yaitu ion Na⁺, Li⁺, Mg²⁺ dan Ca²⁺ pada rasio Si/Al = 2, serta penambahan *template* organik yaitu 1,6-heksanadiol, 1,6-heksanadiamin, 1-propanol, dan 1-propanamin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa memperkecil rasio Si/Al-nya akan mengakibatkan pembesaran diameter rongga. Diameter rongga zeolit ZSM-5 sebelum dimodifikasi dengan atom Al sebesar 7,94 Å dan setelah dimodifikasi berkisar 7,97 Å. Pada zeolit ZSM-5 dengan variasi kation diketahui bahwa ukuran rongga zeolit ZSM-5 dengan ion Ca²⁺ lebih besar dibandingkan Li⁺, Mg²⁺ dan Na⁺. Zeolit ZSM-5 dengan ukuran diameter rongga paling besar adalah zeolit ZSM-5 dengan kation Ca²⁺ yaitu 7,999994 Å. Pada zeolit ZSM-5 dengan variasi *template* organik menunjukkan bahwa *template* yang memiliki gugus amina menghasilkan struktur zeolit ZSM-5 dengan ukuran rongga yang lebih kecil dibanding *template* yang memiliki gugus alkohol.

Abstract

This study about modeling the structure of zeolite ZSM-5 modified its ratio Si/Al, cations and organic template to determine its effect on the size of the cavity using molecular mechanics methods. Modeling of zeolite ZSM-5 is done by creating a framework structure of a unit cell of zeolite ZSM-5. Next to vary the ratio of Si/Al, Si atoms replaced with atoms of Al and molecular modeling of zeolite ZSM-5 with a variety of cations are ions Na⁺, Li⁺, Mg²⁺ and Ca²⁺ at a ratio of Si/Al = 2, and the addition of organic template 1,6-hexanediol, 1,6-hexanediamine, 1-propanol, and 1-propanamine. The results of this research is that minimize its Si/Al ratio enlargement would lead to cavity diameter. Diameter cavity zeolite ZSM-5 before modified with Al atoms at 7.94 Å and after modified about 7.97 Å. In the zeolite ZSM-5 with cations variation is known that the size of cavity of zeolite ZSM-5 with a Ca²⁺ ion is greater than Li⁺, Mg²⁺ and Na⁺. ZSM-5 zeolite with biggest cavity diameter is ZSM-5 zeolite with Ca²⁺ cation is 7.999994 Å. In the zeolite ZSM-5 with organic templates variation, ZSM-5 zeolite structure used is ZSM-5 zeolite with Na⁺ cation. From the research it can be seen that the template that has the amine group produces ZSM-5 zeolite structure with cavity size smaller than the template that has the alcohol group.

© 2013 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
E-mail: endriashp22@gmail.com

Pendahuluan

Pemodelan molekul merupakan salah satu bagian komputasi kimia tentang studi struktur molekul, yang mempelajari tentang struktur, sifat, karakteristik dan kelakuan suatu molekul. Pemodelan molekul dapat digunakan untuk merancang suatu molekul sebelum dibuat di laboratorium sehingga dapat diperoleh molekul yang diinginkan secara efisien, sebagai contoh pemodelan molekul untuk merancang struktur zeolit sebelum dilakukan sintesis zeolit yang dikehendaki (Muhlisin, 2008).

Zeolit merupakan kelompok mineral pertama kali ditemukan tahun 1756 oleh mineralogist dari Swedia bernama Baron Axel Cronstedt. Zeolit merupakan kristalin alumina silikat dengan kerangka anionik yang kaku berupa kanal dan rongga. Rongganya berisi kation logam yang dapat ditukar, seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan lainnya, serta dapat mengikat molekul air (Trisunaryanti, 2006).

Zeolit didefinisikan sebagai kristal alumino silikat yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbentuk oleh tetrahedral $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dan $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dengan pori-pori didalamnya terisi ion-ion logam. Biasanya logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Ribiero *et al.* 1984).

Zeolit sangat dibutuhkan dalam jumlah besar untuk industri dewasa ini karena keberadaannya sebagai struktur mikroporus yang membawa pada sifat adsorpsi yang unik. Zeolit telah dikembangkan dalam berbagai aplikasi antara lain penukar ion, adsorben, katalis dan lain sebagainya. Manfaat yang sedemikian banyak telah mendorong beberapa ahli kimia untuk meneliti sifat intrinsiknya seperti ukuran rongga, cara berinteraksi dengan adsorben dan pembuatan zeolit sintetis.

Zeolit sintetis terus dikembangkan sehubungan dengan pemanfaatan zeolit yang lebih luas yang membutuhkan struktur zeolit dengan ukuran pori yang besar. Di dalam struktur zeolit, ukuran pori dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain rasio Si/Al, penambahan kation dan *template* organik. Sehingga perlu diketahui harga rasio Si/Al suatu zeolit yang menghasilkan struktur dengan ukuran pori yang paling besar sebelum dilakukan sintesis.

Zeolit memiliki sejumlah sifat kimia maupun fisika yang menarik, di antaranya mampu menyerap zat organik maupun anorganik, dapat berlaku sebagai penukar

kation, dan sebagai katalis untuk berbagai reaksi. (Handoko dan Setyawan, 2002).

Zeolit juga sering disebut sebagai “*molecular sieve*” atau “*molecular mesh*” (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan/menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain: mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering.

Zeolit dengan kadar Si tinggi dimana perbandingan Si/Al = 10-100 memiliki sifat permukaan tidak dapat diperkirakan lebih awal, sangat higroskopis dan menyerap molekul non polar. Sehingga sangat baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Contoh: ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21 dan ZSM-24.

Ion-ion pada rongga zeolit, seperti Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , dan Sr^{2+} berguna untuk memelihara kenetralan listrik dan dapat bergerak bebas sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran ion. Kemampuan pertukaran ion pada zeolit merupakan salah satu parameter untuk menentukan mutu zeolit.

Senyawa organik dapat digunakan untuk menciptakan rongga dan ukuran senyawa zeolit yang dibuat. Bentuk dan ukuran senyawa organik bersifat khas, sehingga dapat dijadikan *template* untuk mendapatkan rongga rongga optimum sesuai kebutuhan. Misalnya ZSM-5 dengan *template* organik ion tetra propil amonium yang menghasilkan rongga yang cukup besar. Penambahan *template* organik pada suatu zeolit, merupakan metode untuk mendapatkan ukuran rongga yang lebih besar sehingga zeolit sintesis yang dihasilkan dapat menyerap molekul dengan ukuran yang lebih besar (Kusumawardani, 1999).

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui seberapa besar pengaruh rasio Si/Al, pengaruh kation-kation Na^+ , Li^+ , Mg^{2+} dan Ca^{2+} serta *template* organik terhadap perubahan ukuran rongga dan energi molekul pada zeolit ZSM-5 menggunakan metode Mekanika Molekuler.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Komputasi, Laboratorium Kimia Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat keras dan perangkat lunak komputer.

Perangkat keras meliputi Intel® Core™2 Quad Q8400 @2.66 GHz 2,67 GHz 32-bit OS; Random Access Memory (RAM) 4,00 GB; Harddisk 320 GB dan Monitor Hewlett-Packard LE1851w. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Hyperchem8 versi evaluasi dan Windows Vista Business. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu Model Zeolit ZSM-5 yang dibuat secara komputasi.

Pemodelan molekul zeolit ZSM-5 dibuat struktur satu unit sel zeolit ZSM-5 dimana model yang dipakai yaitu kerangka zeolit ZSM-5 tanpa H₂O. Kerangka dasar struktur satu unit sel zeolit ZSM-5 dibuat dengan menyusun pusat tetra hedral seluruhnya. Struktur zeolit ZSM-5 merupakan pengulangan dari unit-unit selnya yang saling berhubungan, maka dalam pemodelan ini hanya dilakukan pemodelan kerangka struktur satu unit zeolit ZSM-5 saja. Model dibuat menggunakan program hyperchem 8.0 versi evaluasi. Model zeolit ZSM-5 kemudian dioptimasi geometri menggunakan metode mekanika molekuler yang terdapat pada program hyperchem 8.0 versi evaluasi hingga diperoleh bentuk molekul yang paling stabil yang ditandai dengan energi minimum yang paling kecil.

Pemodelan zeolit ZSM-5 dengan variasi rasio Si/Al dilakukan dengan mengganti n atom Si dengan atom Al dalam sangkar β penyusun kerangka zeolit ZSM-5, dimana nilai n hanya berkisar 1-10, sesuai aturan Lowenstein yang melarang adanya ikatan Al-O-Al. Untuk setiap substitusi satu atom Al, diperoleh satu struktur zeolit ZSM-5 dengan rasio sesuai dengan perbandingan jumlah atom Si dan jumlah atom Al masing-masing. Variasi rasio Si/Al yang dilakukan yaitu 95; 47; 31; 23; 18,2; 15; 12,7; 11; 9,7 dan 8,6. Masing-masing model zeolit ZSM-5 dengan variasi rasio Si/Al kemudian dioptimasi geometri menggunakan metode mekanika molekuler yang terdapat pada program hyperchem 8.0 versi evaluasi hingga diperoleh bentuk molekul yang paling stabil yang ditandai dengan energi minimum yang paling kecil.

Pemodelan zeolit ZSM-5 dengan variasi kation ini dilakukan dengan menyeimbangkan muatan negatif karena substitusi atom Si oleh atom Al, yaitu dengan menambahkan ion monovalen ataupun divalent. Ion yang ditambahkan adalah Li⁺, Na⁺, Mg²⁺ dan Ca²⁺. Struktur ZSM-5 yang dimodel adalah struktur dengan rasio Si/Al = 47. Masing-masing model zeolit ZSM-5 dengan variasi kation kemudian

dioptimasi geometri menggunakan metode mekanika molekuler yang terdapat pada program hyperchem 8.0 versi evaluasi hingga diperoleh bentuk molekul yang paling stabil yang ditandai dengan energi minimum yang paling kecil.

Pemodelan zeolit ZSM-5 dengan penambahan *template* organik dilakukan terhadap struktur zeolit ZSM-5 dengan ratio Si/Al = 47 yang sudah dinetralkan dengan kation Na⁺, untuk mengetahui perubahan ukuran rongga zeolit. *Template* yang digunakan adalah 1,6-heksanadiol, 1,6-heksanadiamin, 1-propanol, dan 1-propanamin. Masing-masing model zeolit ZSM-5 dengan penambahan *template* organik kemudian dioptimasi geometri menggunakan metode mekanika molekuler yang terdapat pada program hyperchem 8.0 versi evaluasi hingga diperoleh bentuk molekul yang paling stabil.

Hal terakhir yang dilakukan adalah pengukuran rongga zeolit. Ukuran rongga zeolit yang dimaksud adalah diameter *window*-nya. Pengukuran dilakukan terhadap semua struktur zeolit yang telah dioptimasi geometri. Dilakukan dengan membuka file.hin lalu diukur diameter rata-rata sebagai jarak dari atom O dan atom O lain yang terjauh. Cara mengukur panjang diameter rongga zeolit ZSM-5 adalah dengan mengukur jarak antara atom oksigen dalam Al-O-Si dengan atom O lain yang terjauh dalam cincin beranggotakan 10 yang menghubungkan masing-masing sangkar β . Dari setiap data jarak atom oksigen dibuat reratanya.

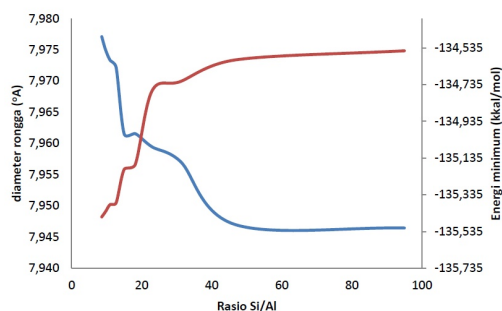
Hasil dan Pembahasan

Pemodelan molekul zeolit ZSM-5 dilakukan dengan membuat kerangka struktur satu unit sel zeolit yang terdiri dari tujuh bujur sangkar β . Sangkar β tersusun dari 13 TO₄ dimana T dapat berupa atom Si dan Al. Kerangka dasar struktur satu unit sel zeolit ZSM-5 dibuat dengan T seluruhnya atom Si dan tersusun oleh 42 unit bangun standar 5-1 (UBS 5-1). Kerangka dasar struktur satu unit sel zeolit ZSM-5 dibuat dengan menyusun pusat tetra hedral T seluruhnya atom Si (Rasio Si/Al = ~) tanpa adanya pengaruh kation dan molekul air.

Tahap selanjutnya yaitu optimasi geometri dari struktur zeolit ZSM-5. Optimasi geometri bertujuan untuk mencari energi minimum dari zeolit ZSM-5. Setelah tahap optimasi geometri dilakukan, didapatkan energi minimum sebesar -134,0675305 Kcal/mol.

Variasi dilakukan dengan mengganti n

atom Si dengan atom Al dalam sangkar β penyusun kerangka zeolit ZSM-5, dimana nilai n hanya berkisar 1-10, sesuai aturan Lowenstein yang melarang adanya ikatan Al-O-Al. Untuk setiap substitusi satu atom Al, diperoleh satu struktur zeolit ZSM-5 dengan rasio sesuai dengan perbandingan jumlah atom Si dan jumlah atom Al masing-masing dioptimasi geometri menggunakan metode mekanika molekuler MM+.



Gambar 1. Grafik rasio Si/Al terhadap diameter rongga dan energi minimum zeolit ZSM-5

Perhitungan-perhitungan matematis dalam proses optimasi geometri ini sepenuhnya dilakukan oleh kerja komputer. Bentuk geometri yang stabil ditunjukkan dengan harga energi potensial yang paling rendah.

Data tersebut menunjukkan semakin bertambahnya jumlah atom Al yang disubstitusikan menyebabkan penurunan rasio Si/Al. Penurunan rasio ini juga diikuti penurunan energi minimum struktur zeolit ZSM-5 tersebut. Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa pemodelan zeolit ZSM-5 dengan metode mekanika molekuler yang telah dilakukan, dengan bertambahnya jumlah atom Al yang disubstitusikan ke dalam kerangka dasar zeolit ZSM-5 akan menyebabkan meningkatnya stabilitas struktur kerangka dasar zeolit ZSM-5 yang ditunjukkan dengan penurunan energi minimum zeolit ZSM-5 tersebut.

Hal ini disebabkan adanya pengaruh tarikan dan tolakan dari tiap atom penyusun zeolit ZSM-5 saat dilakukan optimasi geometri. Meskipun atom Si telah disubstitusi dengan atom Al, panjang ikatan Al-O dan panjang ikatan Si-O pada struktur zeolit ZSM-5 semuanya tidak sama. Ada yang memendek dan ada yang memanjang, sehingga ketika dilakukan pengukuran rongga dari semua titik dari atom O ke atom O terjauh dan data yang diperoleh rata-rata, hasilnya tidak jauh berbeda. Meskipun demikian, dari data tersebut masih dapat kita katakan bahwa rasio Si/Al mempengaruhi

perubahan ukuran rongga pada zeolit ZSM-5. Seperti hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Sugiyanti, 2008.

Pemodelan zeolit dilakukan menggunakan zeolit ZSM-5 yang memiliki rasio Si/Al = 47. Struktur zeolit dengan rasio Si/Al = 47 kemudian ditambahkan dua kation Na^+ sehingga rumus molekulnya menjadi $\text{Na}_2(\text{AlO}_2)_2(\text{SiO}_2)_{94}$. Kation ditambahkan dianggap dapat berinteraksi secara langsung dengan atom Al karena zeolit menjadi bermuatan negatif setelah ditambahkan atom Al.

Struktur zeolit ZSM-5 dengan kation Na^+ kemudian dimodifikasi dengan mensubstitusi kation Na^+ dengan kation Li^+ , Mg^{2+} dan Ca^{2+} . Struktur zeolit ZSM-5 dengan kation Na^+ dan kation Li^+ masing-masing dilakukan optimasi geometri untuk mendapatkan struktur yang stabil.

Tabel 1. Diameter rongga dan energi minimum zeolit ZSM-5 setelah dilakukan variasi kation

Rumus Struktur	Kation	Ukuran Kation ($^{\circ}\text{A}$)	Diameter rongga rata-rata ($^{\circ}\text{A}$)	Energi minimum (Kkal/mol)
$\text{Li}_2(\text{AlO}_2)_2(\text{SiO}_2)_{94}$	Li^+	1,45	7,993768	-130,85510
$\text{Na}_2(\text{AlO}_2)_2(\text{SiO}_2)_{94}$	Na^+	1,78	7,989756	-134,512201
$\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2(\text{SiO}_2)_{94}$	Mg^{2+}	1,5	7,999414	-128,154481
$\text{Ca}(\text{AlO}_2)_2(\text{SiO}_2)_{94}$	Ca^{2+}	1,8	7,999994	-127,302883

Jika dilihat berdasarkan golongan masing-masing kation, dapat dijelaskan bahwa, untuk zeolit ZSM-5 dengan penambahan kation golongan alkali tanah, semakin besar ukuran kationnya menyebabkan semakin besar energinya, yang menyebabkan juga semakin besarnya diameter rongga zeolit. Hal ini dapat disebabkan karena semakin besar ukuran kationnya maka jarak inti kation dengan atom Al akan semakin jauh sehingga energi yang diperlukan untuk berinteraksi antara dengan atom Al akan semakin besar.

Sedangkan untuk zeolit ZSM-5 dengan penambahan kation golongan alkali, semakin besar ukuran kationnya akan menyebabkan stabilitas zeolit ZSM-5 semakin meningkat atau dengan kata lain energi minimum yang dihasilkan semakin kecil. Hal tersebut juga berhubungan dengan diameter rongga yang dihasilkan, semakin kecil energi minimumnya maka semakin kecil diameter rongga yang dihasilkan. Hubungan antara ukuran kation dengan energi minimum dan diameter rongga yang dihasilkan, dapat disebabkan jumlah kation yang digunakan untuk menetralkan muatan dalam zeolit ZSM-5. Meskipun ukuran kation besar, yang menyebabkan jarak inti kation dengan atom Al juga besar, tapi dengan

jumlah kation golongan alkali yang digunakan yaitu dua buah kation maka secara tidak langsung akan memperpendek jarak antara inti kation dengan atom Al sehingga energi yang diperlukan kecil.

Jika dibandingkan antara ukuran diameter rongga zeolit ZSM-5 sebelum ditambahkan kation dengan zeolit ZSM-5 setelah ditambahkan kation maka dapat dilihat adanya perubahan ukuran rongga yang cukup signifikan. Diameter rongga sebelum ditambahkan kation sekitar 7,94 Å dan setelah ditambahkan kation diameter rongganya menjadi sekitar 7,99 Å. Hal ini dapat disebabkan oleh dengan adanya tambahan kation ke dalam rongga zeolit ZSM-5 menyebabkan terjadinya perubahan sudut T-O-T yang cukup besar.

Penambahan *template* organik pada suatu zeolit merupakan suatu metode untuk mendapatkan struktur zeolit dengan rongga yang lebih besar. Dalam penelitian ini, pemodelan zeolit ZSM-5 dengan penambahan *template* organik. Adapun stuktur zeolit ZSM-5 yang digunakan yaitu stuktur zeolit ZSM-5 yang telah dimodifikasi dengan kation Na⁺. Penggunaan stuktur zeolit ZSM-5 ini karena muatan negatif yang ada dalam stuktur zeolit ZSM-5 telah dinetralkan dengan adanya dua kation Na⁺. Stuktur zeolit ZSM-5 yang telah dinetralkan dengan kation Na⁺ kemudian dimodifikasi dengan menambahkan *template* organik di dalam rongga zeolit ZSM-5.

Template yang diteliti dalam hal ini antara lain: (i) 1,6-heksanadiol, (ii) 1,6-heksanadiamin, (iii) 1-propanol dan (iv) 1-propanamin. Stuktur zeolit ZSM-5 yang telah dimodifikasi dengan *template* kemudian dilakukan optimasi geometri menggunakan program Hyperchem.

Tabel 2. *Template* organik dengan energi minimum dan diameter rongga yang dihasilkan

Template organik	Energi minimum (kkal/mol)	Diameter rongga zeolit ZSM-5 (°A)
1-propanol	-141.345620	8,098458
1-propanamin	-141.566960	8,095726
1,6-heksanadiol	-146.856738	8,228658
1,6-heksanadiamin	-153.197173	8,209078

Dari data-data di atas, jika ditinjau berdasarkan gugus fungsi yang dimiliki oleh *template* organik maka dapat dilihat bahwa *template* yang memiliki gugus fungsi alkohol (-OH) memberikan efek yang lebih besar pada peningkatan ukuran diameter rongga zeolit ZSM-5 daripada *template* yang memiliki gugus fungsi amina (-NH₂). Namun, justru stuktur

zeolit ZSM-5 yang ditambahkan *template* organik yang memiliki gugus fungsi alkohol menghasilkan energi minimum yang lebih besar dari *template* organik yang memiliki gugus fungsi amina. Hal ini dapat disebabkan adanya ikatan hidrogen yang lebih kuat pada alkohol daripada ikatan hidrogen pada gugus amina. Sehingga untuk memperoleh kondisi yang stabil diperlukan energi yang lebih stabil.

Dan jika ditinjau berdasarkan jumlah atom karbon masing-masing *template* organik, Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin banyak atom karbon yang dimiliki oleh *template* organik maka energi yang dihasilkan akan semakin kecil dan diameter rongga yang dihasilkan semakin besar. Secara teoritis, seharusnya *template* organik yang memiliki atom karbon lebih banyak akan menghasilkan energi yang lebih besar dibanding dengan *template* organik yang memiliki atom karbon lebih sedikit. Hal ini terjadi karena dalam penelitian ini, *template* organik dengan enam atom karbon yang digunakan, memiliki dua gugus fungsi dalam strukturnya yaitu dua gugus alkohol atau dua gugus amina sedangkan *template* organik dengan enam atom karbon yang digunakan hanya memiliki satu gugus fungsi saja yaitu satu gugus alkohol atau satu gugus amina saja. Dengan adanya dua gugus fungsi tersebut, molekul *template* akan semakin semakin stabil sehingga energi tolakan akan semakin kecil. Hal tersebutlah yang mempengaruhi interaksi antara zeolit ZSM-5 dengan *template* organik sehingga energinya lebih kecil.

Dari Tabel 2 dapat dilihat juga bahwa, ukuran diameter rongga zeolit ZSM-5 jika dibandingkan antara stuktur zeolit ZSM-5 sebelum dan sesudah ditambahkan *template* organik, memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Stuktur zeolit ZSM-5 setelah ditambahkan *template* diameternya lebih besar dari stuktur zeolit ZSM-5 tanpa penambahan *template* organik, yaitu sekitar 7,989 Å untuk stuktur zeolit ZSM-5 tanpa penambahan *template* organik dan antara 8,098 - 8,228 Å untuk stuktur zeolit ZSM-5 dengan penambahan *template* organik.

Simpulan

Variasi rasio Si/Al pada zeolit ZSM-5 dapat menyebabkan perubahan diameter rongga stuktur zeolit ZSM-5. Semakin kecil rasio Si/Al yang dipakai akan mengakibatkan diameter rongga zeolit ZSM-5 semakin besar. Penambahan kation pada zeolit ZSM-5 selain untuk menetralkan muatan negatif akibat

adanya substitusi atom Si dengan atom Al, juga dapat memberikan pengaruh pada besar diameter rongga zeolit ZSM-5. Ukuran rongga dengan kation $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Li}^+ > \text{Na}^+$. Penambahan *template* organik pada stuktur zeolit ZSM-5 dapat menyebabkan bertambahnya ukuran diameter rongga zeolit ZSM-5. *Template* organik yang memiliki gugus fungsi alkohol menyebabkan diameter rongga zeolit ZSM-5 bertambah lebih besar dibandingkan dengan *template* organik yang memiliki gugus fungsi amina. Namun, *template* organik yang memiliki gugus fungsi alkohol energinya justru jauh lebih besar dari *template* organik yang memiliki gugus fungsi amina. Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh ikatan hidrogen yang terdapat dalam hidrogen yang kuat sehingga membutuhkan energi yang lebih tinggi untuk memperoleh kondisi yang lebih stabil.

Daftar Pustaka

- Handoko, D. Setyawan P. 2002. Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium Pada Zeolit Alam Dalam Preparasi Katalis. Jurnal Ilmu Dasar vol.3. No.2. Jember : FMIPA UNEJ.
- Kusumawardani, Cahyorini. 1999. Perubahan Ukuran Rongga Pada Modifikasi Molekul Zeolit A Dengan Variasi Rasio Si/Al Dan Variasi Kation Menggunakan Metode Mekanika Molekuler. Skripsi. Yogyakarta: UGM.
- Muhlisin, M. Zaenal. 2008. Kajian Pengaruh Variasi Rasio Si/Al dan Variasi Kation Terhadap Perubahan Ukuran Pori Zeolit Y dengan Menggunakan Metode Mekanika Molekuler. Tugas Akhir S-1. Semarang: FMIPA UNNES.
- Ribiero, R.F., Ridrigues, A.E., Rollman, L.D. 1984. Zeolit: Science and Technology. Netherland: Martinus Nijhoff Publishers.
- Sugiyanti, Nanik. 2008. Perubahan Ukuran Rongga Pada Modifikasi Molekul Zeolit Zsm-5 Dengan Variasi Rasio Si/Al Dan Variasi Kation Menggunakan Metode Mekanika Molekuler. Tugas Akhir S-1. Semarang: FMIPA UNNES.
- Trisunaryanti, W. 2006. Buku Ajar Kimia Zat Padat. Yogyakarta : FMIPA UGM.