

## Kajian modifikasi dan karakterisasi zeolit alam dari berbagai negara

Dewi Yuanita Lestari<sup>\*)</sup>

<sup>\*)</sup>*Jurusan Pendidikan Kimia UNY, dewiyuan@yahoo.com*

### Abstrak

Kajian ini ditujukan untuk mempelajari modifikasi dan karakterisasi zeolit alam dari berbagai negara. Zeolit alam adalah zeolit yang ditambang langsung dari alam sehingga harganya jauh lebih murah daripada zeolit sintesis. Namun zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, di antaranya mengandung banyak pengotor serta kristalinitasnya kurang baik. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam sehingga dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, atau aplikasi lainnya, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu.

Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan baik secara fisika maupun secara kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi, tujuannya untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pengasaman. Tujuannya untuk menghilangkan pengotor anorganik. Modifikasi zeolit alam lebih lanjut dilakukan untuk mendapatkan bentuk kation dan komposisi kerangka yang berbeda. Modifikasi ini biasanya dilakukan melalui pertukaran ion, dealuminasi, dan substitusi isomorfis.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa zeolit alam dari Turki dan Slovenia mayoritas kandungannya klinoptilolit sedangkan zeolit alam Indonesia (Malang dan Wonosari) banyak mengandung mordenit dan klinoptilolit. Aktivasi dan modifikasi yang dilakukan terhadap berbagai zeolit alam seperti perlakuan asam dan substitusi isomorfis ternyata mampu memperbaiki karakter zeolit alam antara lain dalam peningkatan keasaman, kristalinitas, luas permukaan spesifik dan rasio Si/Al serta hilangnya pengotor-pengotor.

**Kata Kunci :** zeolit alam, dealuminasi, aktivasi zeolit

### Pendahuluan

Zeolit merupakan material yang memiliki banyak kegunaan. Zeolit telah banyak diaplikasikan sebagai adsorben, penukar ion, dan sebagai katalis. Zeolit adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  yang saling terhubung oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa, sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga, yang didalamnya terisi oleh ion-ion logam, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Chetam, 1992)

#### Zeolit alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku

menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga akhirnya terbentuk mineral-mineral zeolit. Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu-debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap di dasar danau dan dasar lautan. Debu-debu vulkanik tersebut selanjutnya mengalami berbagai macam perubahan oleh air danau atau air laut sehingga terbentuk sedimen-sedimen yang mengandung zeolit di dasar danau atau laut tersebut (Setyawan, 2002).

Jenis zeolit alam dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu:

- Zeolit yang terdapat di antara celah-celah batuan atau di antara lapisan batuan zeolit jenis ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit bersama-sama dengan mineral lain seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, fluorit dan mineral sulfida.

## Kajian modifikasi dan...

- b. Zeolit yang berupa batuan; hanya sedikit jenis zeolit yang berbentuk batuan, diantaranya adalah: klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabsit dan heulandit.

Zeolit alam adalah zeolit yang ditambang langsung dari alam. Dengan demikian harganya jauh lebih murah daripada zeolit sintesis. Zeolit alam merupakan mineral yang jumlahnya banyak tetapi distribusinya tidak merata, seperti klinoptilolit, mordenit, phillipsit, chabazit dan laumontit. Namun zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, di antaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam sehingga dapat digunakan sebagai katalis, absorben, atau aplikasi lainnya, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu. Selain untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang terdapat pada zeolit alam, proses aktivasi zeolit juga ditujukan untuk memodifikasi sifat-sifat dari zeolit, seperti luas permukaan dan keasaman. Luas permukaan dan keasaman yang meningkat akan menyebabkan aktivitas katalitik dari zeolit meningkat. Salah satu kelebihan dari zeolit adalah memiliki luas permukaan dan keasaman yang mudah dimodifikasi (Yuanita, 2010).

## Pembahasan

### Sifat kimia dan fisika zeolit

Halimantun Hamdan (1992) mengemukakan bahwa zeolit merupakan suatu mineral berupa kristal silika alumina yang terdiri dari tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silikat dan air. Air yang terkandung dalam pori tersebut dapat dilepas dengan pemanasan pada temperatur 300 hingga 400 °C. Pemanasan pada temperatur tersebut air dapat keluar dari pori-pori zeolit, sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Sutarti, 1994). Jumlah air yang terkandung dalam zeolit sesuai dengan banyaknya pori atau volume pori.

Zeolit banyak ditemukan dalam batuan. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral  $AlO_4^{2-}$  dan  $SiO_4^{4-}$  yang saling berhubungan melalui atom O dan di dalam struktur,  $Si^{4+}$  dapat diganti dengan  $Al^{3+}$ . Ikatan Al-O-Si membentuk struktur kristal sedangkan logam alkali

atau alkali tanah merupakan sumber kation yang dapat dipertukarkan (Sutarti, 1994).

Kerangka struktur tiga dimensi senyawa alumina silikat terdiri atas dua bagian, yaitu bagian netral dan bagian bermuatan. Bagian netral semata-mata dibangun oleh silikon dan oksigen dan jenisnya bervariasi antara  $SiO_4^{4-}$  sampai  $SiO_2$  dengan perbandingan Si:O dari 1:4 sampai 1:2. Bagian bermuatan dibangun oleh ion aluminium yang kecil dan oksigen. Dalam bagian ini terjadi penggantian ion pusat silikon bervalensi empat dengan kation aluminium yang bervalensi tiga, sehingga setiap penggantian ion silikon dan ion aluminium memerlukan satu ion logam alkali atau alkali tanah yang monovalen atau setengah ion logam divalen, seperti :  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ , dan lain-lain untuk menetralkan muatan listriknya.

### Rasio Si/Al dalam Zeolit

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kerangka tetrahedral dari zeolit tidak stabil terhadap asam atau panas. Selain itu diketahui bahwa zeolit mordenit yang mempunyai perbandingan Si/Al = 5 adalah sangat stabil. Maka diusahakan untuk membuat zeolit dengan kadar Si yang lebih tinggi dari satu yang kemudian diperoleh zeolit Y dengan perbandingan kadar Si/Al antara 1-3. Contoh zeolit Si sedang adalah zeolit Omega (sintesis) sedangkan zeolit alam yang termasuk jenis ini adalah mordenit, erionit dan klinoptilolit.

### Selektivitas Zeolit

Kation-kation dalam kerangka zeolit dapat ditukar dan disubstitusi tanpa merubah struktur kerangka (isomorfis) dan dapat menimbulkan gradien medan listrik dalam kanal-kanal dan ruangan-ruangan zeolit (Smith, 1992). Gradien ini akan dialami semua adsorbat yang masuk ke pori zeolit, karena kecilnya diameter pori yang ukurannya beberapa angstrom. Sebagai akibatnya kelakuan-kelakuan zat teradsorpsi seperti tingkat disosiasi, konduktivitas dan lain-lain akan berbeda dari kelakuan zat yang bersangkutan dalam keadaan normalnya. Molekul yang polar (mis: amoniak atau air) akan berinteraksi lebih kuat dengan gradien medan elektronik intrakristal, dibanding molekul-molekul non polar. Zeolit yang banyak mengalami substitusi kerangka isomorfis, sehingga cenderung memilih molekul-molekul yang polar untuk diadsorpsi. Sebaliknya molekul-molekul non polar akan diserap oleh zeolit dengan rasio Si/Al tinggi.

### Luas Permukaan Zeolit

Struktur yang khas dari zeolit, yakni hampir sebagian besar merupakan kanal dan pori,

menyebabkan zeolit memiliki luas permukaan yang besar. Keadaan ini dapat dijelaskan bahwa masing-masing pori dan kanal dalam maupun antar kristal dianggap berbentuk silinder, maka luas permukaan total zeolit adalah akumulasi dari luas permukaan (dinding) pori dan kanal-kanal penyusun zeolit. Semakin banyak jumlah pori yang dimiliki, semakin besar luas permukaan total yang dimiliki zeolit. Menurut Dyer (1988), luas permukaan internal zeolit dapat mencapai puluhan bahkan ratusan kali lebih besar dibanding bagian permukaan luarnya. Luas permukaan yang besar ini sangat menguntungkan dalam pemanfaatan zeolit baik sebagai adsorben ataupun sebagai katalis heterogen.

Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan baik secara fisika maupun secara kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi, tujuannya untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pengasaman. Tujuannya untuk menghilangkan pengotor anorganik. Pengasaman ini akan menyebabkan terjadinya pertukaran kation dengan  $H^+$  (Ertan, 2005)

Modifikasi zeolit alam lebih lanjut dilakukan untuk mendapatkan bentuk kation dan komposisi kerangka yang berbeda. Modifikasi ini biasanya dilakukan melalui pertukaran ion, dealuminasi, dan substitusi isomorfis.

#### Dealuminasi zeolit

Perubahan rasio Si/Al pada suatu material akan mempengaruhi sifat dari material tersebut. Semakin tinggi rasio Si/Al suatu material maka material tersebut semakin bersifat hidrofobik. Dealuminasi adalah metode komersial yang paling penting untuk mendapatkan jumlah Al yang diinginkan.

Kenaikan rasio Si/Al akan memberikan pengaruh terhadap sifat-sifat zeolit seperti berikut ini:

1. Terjadinya perubahan medan magnet elektrostatik dalam zeolit, sehingga mempengaruhi interaksi adsorpsi zeolit. Zeolit bersilika rendah akan bersifat hidrofilik sementara zeolit bersilika tinggi bersifat hidrofobik (dan lipofilik).
2. Zeolit bersilika rendah (Zeolit A dan X) dapat stabil pada temperatur 800-900 K, sedangkan zeolit bersilika tinggi (H-ZSM-5) stabil hingga temperatur 1300 K.

3. Zeolit bersilika rendah mudah rusak pada pH kurang dari 4, sedangkan zeolit bersilika tinggi lebih stabil dalam lingkungan asam kuat
  4. Kekuatan asam akan meningkat, sedangkan sisi Asam Bronsted akan berkurang dengan naiknya rasio Si/Al. Kekuatan asam ini disebabkan oleh posisi aluminium dalam kerangka yang lebih terisolasi. Menurut Triantafillidis (2000), semakin banyak kandungan Al dalam *framework* zeolit (rasio Si/Al menurun) akan menyebabkan kekuatan atau total situs asam zeolit menurun. Sehingga berdasarkan data tersebut dapat dinyatakan bahwa dealuminasi akan menyebabkan peningkatan keasaman zeolit. Keasaman yang dimaksud adalah kekuatan asam yang terdapat pada permukaan zeolit atau banyaknya situs asam yang terdapat pada permukaan zeolit
- Menurut Sherrington (2001), metode yang dapat digunakan untuk dealuminasi zeolit:

1. Perlakuan hidrotermal
2. Perlakuan kimia
  - a. dealuminasi dengan penyisipan Si  
 **$(NH_4)_2SiF_6$  dalam larutan.** Dealuminasi dengan  $(NH_4)_2SiF_6$  merupakan salah satu contoh dealuminasi dengan penyisipan Si. Al dihilangkan dari kerangka zeolit dalam bentuk garam heksafluorosilikat yang larut dalam air. Selanjutnya Si akan menempati kerangka yang ditinggalkan Al.  
**Uap  $SiCl_4$ .** Sekitar 95% Al pada kerangka dapat dihilangkan ketika NaY direaksikan dengan  $SiCl_4$ .
  - b. dealuminasi tanpa penyisipan Si
    - dengan asam (contoh: HCl,  $HNO_3$ )
    - dengan agen pengkhelet (contoh: EDTA)
3. Perlakuan hidrotermal dan kimia

Ertan dan Ozkan (2005) melakukan modifikasi dengan perlakuan asam terhadap zeolit alam dari Gördes, Turki. Zeolit alam tersebut kaya akan klinoptilolit dan memiliki komposisi kimia (% berat oksida) 14.1  $Al_2O_3$ , 64.2  $SiO_2$ , 1.8  $MgO$ , 1.7  $Na_2O$ , 5.3  $K_2O$ , 1.0  $CaO$ , 1.8  $Fe_2O_3$ , dan 10.3  $H_2O$

Hasil modifikasi menunjukkan bahwa zeolit yang telah diberi perlakuan asam memiliki sifat yang mirip dengan zeolit sintesis tipe A dan tipe X.

Zeolit alam dari Turki yang kaya akan klinoptilolit, ketika diberi perlakuan asam dengan menggunakan HCl,  $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$ , dan  $HNO_3$ , mengalami penurunan jumlah kation. Penurunan jumlah kation ini bergantung pada jenis asam yang digunakan serta kondisi pada perlakuan asam.

## Kajian modifikasi dan...

Selain menyebabkan terjadinya penurunan jumlah kation, perlakuan asam juga menyebabkan terjadinya peningkatan rasio Si/Al. Setelah perlakuan asam, volume dan luas permukaan mengalami peningkatan. Perlakuan dengan  $H_3PO_4$  yang merupakan suatu asam lemah menyebabkan struktur mikropori meningkat tanpa menurunkan kristalinitas. Pada perlakuan dengan asam kuat (HCl dan  $HNO_3$ ) terdapat kerusakan pada struktur kristal (Ertan dan Ozkan, 2005).

Mockovciakova dkk (2007) melakukan modifikasi terhadap zeolit alam dari Nizny' Hrabovec, Slovenia yang komponen utama penyusunnya adalah klinoptilolite dengan komposisi  $(Ca, K_2, Na_2, Mg)_4 Al_8 Si_{40}O_{96} \cdot 24H_2O$ . Modifikasi yang dilakukan adalah dengan membuat komposit zeolit alam/besi oksida untuk meningkatkan sifat adsorpsi dari zeolit alam

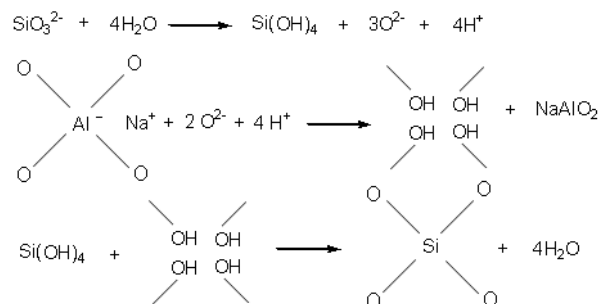
Hasil analisis dengan XRD menunjukkan bahwa zeolit alam yang digunakan lebih dari 80 % merupakan klinoptilolit tetapi juga memiliki kandungan silica tinggi. Setelah dilakukan modifikasi terlihat bahwa puncak pada  $2\theta: 22.27^\circ, 22.78^\circ, 28.34^\circ, 36.19^\circ$  mengalami penurunan tetapi sifat Kristal zeolit masih tetap ada

Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem zeolit alam-besi oksida bukan hanya sistem campuran fisis dari dua struktur mesopori. Komposit yang dibuat pada 20, 50, dan  $85^\circ C$  mengalami penurunan pada luas permukaan dan volume pori dibanding zeolit alam yang dianalisis dengan metode BET. Pada zeolit alam, hanya volume mikropori yang sangat kecil yaitu  $0,0003 \text{ cm}^3/\text{g}$  yang tidak terpengaruh oleh penambahan besi oksida dalam pembuatan komposit. Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa struktur agregat maghemite teradsorpsi pada permukaan zeolit.

Menurut Setiadi dan Pertiwi (2007), proses aktivasi dan modifikasi merupakan cara untuk meningkatkan kualitas dari zeolit yaitu dengan meningkatkan keasaman pada inti aktif zeolit alam. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan dengan pertukaran ion selama 20-120 jam menggunakan  $NH_4Cl$  1M pada temperatur ruang untuk menggantikan ion  $Ca^{2+}$  dengan  $NH_4^+$  sehingga didapatkan  $NH_4\text{-NZ}$ . Kalsinasi pada  $600^\circ C$  selama 2 jam dilakukan agar struktur zeolit lebih stabil dan lebih tahan pada temperatur reaksi yang cukup tinggi. Perbandingan rasio Si/Al yang dimiliki oleh zeolit alam tersebut adalah 5,17. Hasil XRD menunjukkan bahwa zeolit alam Malang memiliki struktur mordenit yang tercampur dengan klinoptilolit. Pencucian zeolit sebelum dilakukan pertukaran ion dimaksudkan untuk menghilangkan

pengotor-pengotor yang larut dalam air dan ditambahkan sedikit asam berkonsentrasi rendah yaitu 0,146% agar dapat mempermudah proses pertukaran ion serta meningkatkan kemurnian zeolit alam per satuan massanya. Kristalinitas zeolit alam setelah mengalami pertukaran ion adalah 50,8%. Jika dibandingkan dengan % kristalinitas zeolit alam fresh (asli), maka terjadi kenaikan persentase kristalinitas dengan perbedaan yang relatif kecil, yaitu 6,7%. Hasil ini menunjukkan bahwa pencucian dan pertukaran ion dengan menggunakan larutan  $NH_4Cl$  1M tidak merusak struktur tetapi malah dapat lebih memurnikan zeolit dari pengotor-pengotornya. Proses kalsinasi yang dilakukan pada temperatur  $300^\circ C$  dan  $600^\circ C$  cukup efektif, tidak merusak struktur awal zeolit. Hasil ini menandakan bahwa zeolit alam mempunyai kestabilan struktur kerangka yang cukup tinggi walaupun terbentuk secara alami.

Yuanita (2010) melakukan modifikasi terhadap zeolit alam Wonosari-Indonesia dengan perlakuan asam (HCl) dan penyisipan Si pada kerangka zeolit menggunakan natrium silikat. Hasil analisis dengan XRD menunjukkan bahwa zeolit Wonosari mengandung kristal mordenit dan klinoptilolit. Zeolit alam awal memiliki rasio Si/Al 6,05 namun setelah dilakukan perlakuan asam dan penyisipan Si, rasio Si/Al meningkat menjadi 9,71. HCl bereaksi dengan zeolit sehingga menyebabkan terekstraknya Al dari zeolit. Hal ini mengakibatkan turunnya kandungan Al dalam zeolit sehingga rasio mol Si/Al naik. Penambahan natrium silikat pada zeolit akan menyebabkan terjadinya penyisipan Si dalam kerangka zeolit. Si akan menempati ruang yang ditinggalkan oleh Al atau dapat dikatakan bahwa Si mensubstitusi Al sehingga kandungan Si dalam sampel zeolit meningkat.



Gambar 1 Penyisipan Si dalam kerangka zeolit menggunakan natrium silikat (Weikamp dan Puppe, 1999)

Kandungan logam seperti Ca, Fe pada zeolit mengalami penurunan setelah perlakuan karena terjadinya pertukaran ion antara kation-kation dari zeolit dengan proton dari HCl. Sedangkan luas permukaan spesifik, rerata jejari pori dan volume total pori katalis mengalami peningkatan setelah perlakuan asam dan penambahan natrium silikat. Peningkatan ini lebih disebabkan karena terjadinya pembukaan pori zeolit alam yang semula tertutupi oleh pengotor melalui dengan dan refluks dengan HCl. Pada saat refluks dengan natrium silikat terjadi penyisipan Si dalam kerangka zeolit. Hal ini menyebabkan peningkatan luas permukaan zeolit akibat perlakuan asam menjadi tidak terlalu besar. Kristalinitas padatan zeolit ditunjukkan oleh besarnya intensitas puncak pada difraktogram difraksi sinar X. Intensitas puncak-puncak zeolit sebelum dimodifikasi maupun setelah modifikasi tidak banyak mengalami perubahan. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan asam dan penyisipan Si tidak merusak sifat kristal dari katalis.

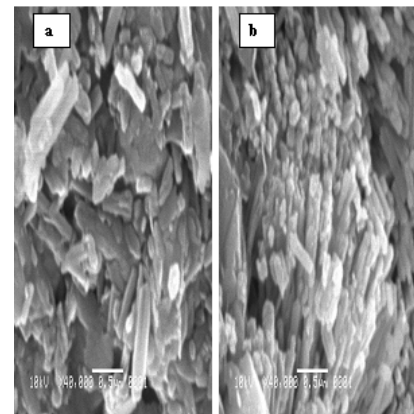
Mahardiani melakukan modifikasi terhadap zeolit alam Wonosari-Indonesia dengan perendaman HF 1%, refluks dengan HCl 6M dan perlakuan dengan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1 M. Analisis dengan XRD menunjukkan bahwa zeolit Wonosari mengandung kristal mordenit dan klinoptilolit. Hasil analisis menggunakan XRF menunjukkan bahwa proses perlakuan asam (HF 1%, dan HCl 6M) pada katalis menyebabkan terjadinya penurunan kandungan logam Ca, Fe, dan Mg pada zeolit dan peningkatan keasaman zeolit.

Zeolit alam mempunyai rasio Si/Al sebesar 4,96 dan setelah diberi proses perlakuan asam terjadi peningkatan rasio Si/Al menjadi 9,80 Aktivasi secara kimia dilakukan dengan pengasaman dengan tujuan agar terjadi dealuminasi. Dealuminasi menjadi langkah penting berhubungan dengan fungsi zeolit sebagai katalis. Tujuan dealuminasi adalah untuk mengoptimalkan kandungan aluminium dalam zeolit, sehingga zeolit menjadi lebih stabil pada temperatur tinggi. Dan mengontrol keasaman dan selektivitas zeolit. Dealuminasi adalah proses perusakan struktur kerangka zeolit dimana terjadi pemutusan Al dalam kerangka (Al *framework*) menjadi Al luar kerangka (Al *non-framework*) akibatnya rasio Si/Al akan menjadi semakin meningkat.

Luas permukaan spesifik zeolit alam mengalami kenaikan yang sangat signifikan setelah perlakuan refluks HCl 6M. Peningkatan luas permukaan spesifik zeolit juga berpengaruh pada

peningkatan volume total pori. Luas permukaan spesifik katalis meningkat karena HCl 6M dapat melarutkan pengotor baik organik maupun anorganik yang bersifat menutupi pori, sehingga pori-pori zeolit menjadi terbuka dan permukaannya menjadi lebih luas. Jejari pori dominan pada kisaran 10-20 Å (kelimpahan terbesar), kemudian 21-30 Å, 31-40 Å, dan >100 Å. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit yang digunakan sebagai katalis berukuran mikropori dan mesopori dan tidak ada makropori.

Hasil karakterisasi SEM-EDX melalui perbesaran 40.000x, dapat terlihat bahwa zeolit setelah diberi perlakuan asam (b) seperti perendaman dengan HF 1%, refluks HCl 6M dan perlakuan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1M mempunyai banyak pori dan kristal zeolitnya tertata lebih rapi dibandingkan dengan zeolit alam (a)



**Gambar 2** Karakterisasi SEM-EDX dari zeolit alam sebelum modifikasi (a); zeolit alam setelah modifikasi (b) (Mahardiani, 2010)

## Kesimpulan

1. zeolit alam dari Turki dan Slovenia mayoritas kandungannya klinoptilolit sedangkan zeolit alam Indonesia (Malang dan Wonosari) banyak mengandung mordenit dan klinoptilolit).
2. Aktivasi dan modifikasi yang dilakukan terhadap berbagai zeolit alam seperti perlakuan asam dan substitusi isomorfis ternyata mampu memperbaiki karakter zeolit alam antara lain dalam peningkatan keasaman, kristalinitas, luas permukaan spesifik dan rasio Si/Al serta hilangnya pengotor-pengotor.

## Daftar Pustaka

- Cheetam, D., A., 1992, *Solid State Compound*, Oxford university press, 234-237
- Dyer, A., 1988, *An Introduction to Zeolite Molecular Sieves*, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, England
- Ertan, A., and Ozkan, 2005, CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> Adsorption on the Acid (HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) Treated Zeolites. *Adsorption*, Vol 11, 151-156
- Hamdan, H., 1992, *Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and Modification*, Universiti Teknologi Malaysia, Penang
- Mahardiani, L., 2010, *Preparation and Characterization of Ni/Zeolite From Natural Zeolite For Hydrocracking Process*, The 2th International Conference on Chemical Sciences (ICCS-2010)
- Mockovčiaková, A., Matik, M., Orolínová, Z., Hudec, P., dan Kmecova, E., 2007. Structural characteristics of modified natural zeolite, *J Porous Mater*, DOI 10.1007/s10934-007-9133-3
- Setiadi dan Pertiwi, A., 2007, Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi senyawa ABE menjadi Hidrokarbon, *Prosiding Konggres dan Simposium Nasional Kedua MKICS*, ISSN : 0216-4183, 1-4
- Setyawan P.H.D., 2002, Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium Pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis, *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 3 No.2, Juli 2002.
- Sherrington, D. C., and A. P. Kybett, 2001, *Supported Catalysts and Their Application*, Royal Society of Chemistry. London, 61-65
- Smith, K., 1992, *Solid Support and Catalyst in Organic Synthesis*, Ellis Horwood PTR, Prentice Hall, London.
- Sutarti, M. dan M. Rachmawati, 1994, *Zeolit: Tinjauan Literatur*, Jakarta: Pusat dokumentasi dan dan Informasi LIPI.
- Triantafillidis, C., Vlessidis, A., and Evmiridis, N., 2000, Dealuminated H-Y Zeolite: Influence of The Degree and The Type of Dealumination Method on Structural and Acidic Characteristics of H-Y Zeolite, *Ind. Eng. Chem Vol. 39*, No. 2, 307-3019
- Yuanita, D., 2009, *Hidrogenasi Katalitik Metil Oleat Menjadi Stearil Alkohol Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam*, Prosiding Seminar Nasional Kimia UNY.