

Aplikasi Zeolit Alam Terdealuminasi dan Termodifikasi HDTMA sebagai Adsorben Fenol

Mutngimaturrohmah^{*)}, Drs. Gunawan, M.Si.^{*)}, Khabibi, M.Si.^{*)}

^{*)}Lab. Analitik, Jurusan kimia, Fakultas MIPA, Universitas Diponegoro Semarang

Abstrak

Zeolit merupakan mineral aluminasilikat dengan struktur kerangka tiga dimensi, memiliki rongga dan saluran yang saling berhubungan sehingga menyebabkan bagian permukaannya menjadi sangat luas dan efektif sebagai adsorben. Selain itu, zeolit juga memiliki muatan negatif yang dapat berinteraksi dengan senyawa atau molekul bermuatan seperti heksadesiltrimetilamonium (HDTMA⁺). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan zeolit alam termodifikasi oleh Heksadesiltrimetilamonium (HDTMA⁺) dan membandingkan kemampuan adsorpsi zeolit alam, zeolit alam+HDTMA, zeolit alam terdealuminasi dan zeolit alam dealuminasi modifikasi HDTMA⁺ terhadap fenol. Uji adsorpsi terhadap fenol dilakukan terhadap kedua zeolit termodifikasi dengan memvariasikan pH dan waktu kontak menggunakan shaker dengan kecepatan 150 rpm. Fenol yang tidak teradsorpsi ditentukan melalui pengukuran menggunakan spektrofotometer uv-vis. Dari penentuan menggunakan spektrofotometer uv-vis dapat diperoleh bahwa pada zeolit alam dealumiansi dan termodifikasi HDTMA⁺ pH optimum untuk adsorpsi fenol adalah 10, sedangkan waktu kontak optimumnya adalah 12jam. Kemampuan adsorpsi maksimal fenol adalah pada zeolit alam dealuminasi dan termodifikasi HDTMA(2 gram) dengan fenol teradsorp sebesar 94,394 ppm.

Kata kunci: HDTMA, Fenol, adsorpsi, Zeolit

Application of HDTMA Modified and Dealuminated Natural Zeolite as Phenol adsorbent

Abstract

Zeolite is an aluminosilicate mineral which has three dimensional frameworks in its structure, it has cavities and channels related each other that cause the surfaces become wide and effective as an adsorbent. Beside that, zeolite having negative charge, can interact with charge compounds or molecules such as hexadecyltrimethylammonium (HDTMA⁺). The aim of this research is to obtain modified natural zeolite by hexadecyltrimethylammonium (HDTMA⁺) as well as to compare the ability of natural zeolite, natural zeolite using HDTMA, dealuminated natural zeolite, and modified dealuminated natural zeolite to adsorb phenol. The analysis of the modified zeolite ability to adsorb phenol was conducted at pH and time contact variation with shaking at 150 rpm. The adsorbed phenol was determined by UV-Vis spectrophotometer. The result of UV-Vis spectrophotometric determinations of these modified zeolite showed the optimum pH for phenol adsorption was 10, while the contact period of 12 hours. The modified dealuminated HDTMA natural zeolite(2g) adsorbed the higher quantity of phenol (94.39 ppm).

Keyword: HDTMA, Phenol, Adsorption, Zeolite

PENDAHULUAN

Zeolit merupakan senyawa alam yang banyak terdapat di wilayah Indonesia. Zeolit ini memiliki berbagai macam kegunaan. Salah satunya adalah untuk penyerap senyawa organik (Bouffard dan Duff, 2000).

Zeolit mempunyai struktur tiga dimensi unik yang berperan penting terhadap penyaringan molekul. Zeolit yang diperoleh dari alam umumnya mempunyai ukuran pori sebesar

20 Å, sehingga kemampuan adsorpsinya rendah terhadap molekul yang berukuran besar. Mengingat begitu pentingnya peranan zeolit dalam kehidupan, maka perlu dilakukan usaha untuk mendapatkan zeolit dengan daya guna yang lebih dibanding zeolit alam (Sutarti & Rachmawati, 1994) Salah satu cara untuk meningkatkan daya guna zeolit alam (ZA) melalui peningkatan kereaktifan yaitu dengan memodifikasi permukaan zeolit alam. Cara untuk memodifikasi permukaan zeolit alam

antara lain dengan dealuminasi (Skeels, and Breck, 1984) dan interaksi dengan surfaktan (Bowman, 1995; Haggerty, 1994).

Dealuminasi adalah suatu teknik modifikasi zeolit melalui pengurangan aluminium di kerangka maupun pada permukaan zeolit (Lesley & Elain, 1992). Dengan berkurangnya Al, maka rasio Si/Al akan meningkat sehingga zeolit akan bersifat hidrofob (Sutarti & Rachmawati, 1994).

Modifikasi zeolit alam selanjutnya adalah dengan surfaktan. Surfaktan dapat digunakan untuk memodifikasi permukaan luar zeolit. Molekul surfaktan yang teradsorpsi akan membentuk lapisan pada permukaan luar zeolit. Lapisan tersebut menyebabkan perubahan sifat zeolit, salah satunya adalah pengurangan sifat hidrofili (Bowman & Sullivan, 2000).

Salah satu surfaktan yang dapat digunakan untuk memodifikasi zeolit adalah *hexadecyltrimethylammonium* (HDTMA). Ersoy dan Çelik (2003) telah melakukan penelitian terhadap pengaruh panjang rantai hidrokarbon pada adsorpsi surfaktan kation pada klipnotilit. Mereka menggunakan surfaktan kation, yaitu *tetradecyltrimethylammonium* (TDTMA), *dodecyltrimethylammonium* (DDTMA) dan HDTMA. Hasil yang diperoleh menyatakan bahwa keefektifan pertukaran ion dan interaksi hidrofob bertambah dengan penambahan panjang rantai, dan surfaktan yang paling banyak terserap dalam klipnotilit adalah HDTMA. Ukuran HDTMA terlalu besar untuk memasuki pori zeolit sehingga penyerapan HDTMA hanya terbatas pada permukaan dari zeolit. Apabila konsentrasi HDTMA ditingkatkan hingga melebihi konsentrasi misel kritis (*critical misel concentration*, CMC), maka permukaan zeolit akan berubah menjadi muatan positif (Li dkk, 2000).

Zeolit yang termodifikasi oleh HDTMA memiliki permukaan yang penuh dengan gugus karbon dan sifat hidrofili dari zeolit tersebut akan berkurang, sehingga dapat digunakan untuk menyerap zat organik seperti benzena, anilin, toluen dan fenol (Bouffard dan Duff, 2000).

Fenol merupakan senyawa organik yang sering kali digunakan dalam industri seperti pemurnian minyak bumi, sehingga banyak sisa fenol limbah di lingkungan. Senyawa ini sangat toksik apabila dihirup dan merupakan iritan yang sangat kuat dan dapat terakumulasi di limbah (Considine, 1989).

Dalam penelitian ini dilakukan modifikasi terhadap zeolit alam (ZA) Wonosari dengan HDTMA⁺ dan secara tidak langsung melalui proses dealuminasi menggunakan HCl. Selanjutnya ditentukan pengaruh modifikasi HDTMA⁺ pada konsentrasi optimal untuk mengadsorpsi fenol. Kemampuan adsorpsi zeolit termodifikasi HDTMA⁺ di bandingkan dengan zeolit terdealuminasi dan zeolit alam tanpa dealuminasi.

BAHAN DAN CARA KERJA

Alat. Gelas beker 50, 250, dan 1000 mL, erlenmeyer 250 mL, kaca arloji, neraca analitis (Mettler AT 200), corong pisah, pipet ukur 5 dan 25 mL, pipet tetes, gelas ukur 10 dan 25mL, pemanas listrik, kertas saring watchman 40, *Batch Shaker* (TIT TS-330), ayakan lolos 200 mesh, spektrometer Shimadzu FTIR-820 IPC, XRD (XRD-6000 Shimadzu), spektrofotometri UV-Visible (Shimadzu UV-1201).

Bahan. Zeolit alam Gunungkidul Yogyakarta, *heksadesiltrimetiamonium Clorida* (HDTMA-Cl) p.a, HCl p.a, NH₄NO₃ p.a, NaOH p.a, fenol, kloroform, dan akuades.

Cara Kerja

1. Preparasi

Batuan zeolit Wonosari ditumbuk hingga halus dan diayak dengan ukuran lolos 200 mesh dan dicuci dengan akuades. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 4 jam.

2. Dealuminasi Zeolit

Dealuminasi zeolit alam menggunakan konsentrasi HCl 6M dan NH₄NO₃ 2M yang merupakan konsentrasi maksimum untuk dealuminasi zeolit alam Wonosari (Ermawati, 2003)

Sebanyak 200 g zeolit alam Gunungkidul direndam dalam 400 mL HCl 6M selama 4 jam. Campuran selanjutnya disaring dan dicuci dengan akuades hingga filtrat menunjukkan pH netral. Pencucian dihentikan apabila sudah tidak terdapat endapan pada filtrat ketika ditambah dengan Ag⁺.

Setelah kering, zeolit kemudian direndam kembali dalam 400 mL NH₄NO₃ 2M selama 4 jam. Campuran disaring dan dicuci dengan akuades hingga filtrat menunjukkan pH netral. Residu kemudian dikeringkan dalam oven 300 °C selama 4 jam.

3. Karakterisasi Zeolit

Zeolit dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD untuk mengetahui komposisi zeolit.

4. Modifikasi Zeolit

Untuk modifikasi zeolit dengan HDTMA mengacu pada hasil penelitian dari Li dkk (2000)

Sebanyak 10 gram zeolit dealuminasi dimasukkan kedalam erlenmeyer. Zeolit tersebut kemudian ditambahkan HDTMA dengan konsentrasi 50 mmol sebanyak 25 mL. Campuran selanjutnya diaduk dalam shaker pada suhu ruang selama 8 jam pada kecepatan 150 rpm. Untuk mengetahui kemampuan zeolit alam dalam menyerap HDTMA, maka perlakuan tersebut diulangi untuk zeolit alam.

5. Aplikasi Zeolit Alam Terdealuminasi dan Termodifikasi untuk Penyerapan Fenol

a. Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Fenol oleh Zeolit Termodifikasi

Untuk cara kerja mengacu pada penelitian (Li dkk, 2000)

Sebanyak 2 g zeolit hasil modifikasi HDTMA dicampurkan dengan fenol dengan konsentrasi 100 ppm. Campuran selanjutnya diaduk dalam shaker dengan kecepatan 150 rpm dengan memvariasikan pH 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 selama 24 jam. Kemudian disaring dengan corong Buchner dan filtratnya ditambah $K_3Fe(CN)_6$ dan pereaksi 4-AAP 0,3 mL, pengaturan pada pH 10. Filtrat selanjutnya diuji dengan menggunakan spektrometer UV-Vis.

b. Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Fenol oleh Zeolit Termodifikasi

Sebanyak 2 g zeolit hasil modifikasi HDTMA dicampurkan dengan fenol dengan konsentrasi 100 ppm.. Campuran selanjutnya diaduk dalam shaker dengan kecepatan 150 rpm pada pH optimum dan variasi waktu 1, 2, 3, 6, 12 dan 24 jam. Kemudian disaring dengan corong Buchner dan filtratnya ditambah $K_3Fe(CN)_6$ dan pereaksi 4-AAP 0,3 mL serta pengaturan pada pH 10. Filtrat selanjutnya diuji dengan menggunakan spektrometer UV-Vis.

c. Pengaruh Adsorpsi Fenol pada Zeolit Alam Terdealuminasi (ZAT) dan Zeolit Alam Terdealuminasi yang Telah Termodifikasi dengan Surfaktan HDTMA (ZAAM)

Sebanyak 2g zeolit hasil modifikasi HDTMA dicampurkan dengan fenol dengan konsentrasi 100 ppm. Campuran selanjutnya diaduk dalam shaker dengan kecepatan 150 rpm pada pH dan waktu optimum. Kemudian disaring dengan corong Buchner dan filtratnya ditambah $K_3Fe(CN)_6$ dan pereaksi 4-AAP 0,3 mL serta

pengaturan pada pH 10. Filtrat selanjutnya diuji dengan menggunakan spektrometer UV-Vis.

Untuk mengetahui perbandingan hasilnya maka dilakukan perlakuan yang sama terhadap zeolit alam dan zeolit alam yang terdealuminasi.

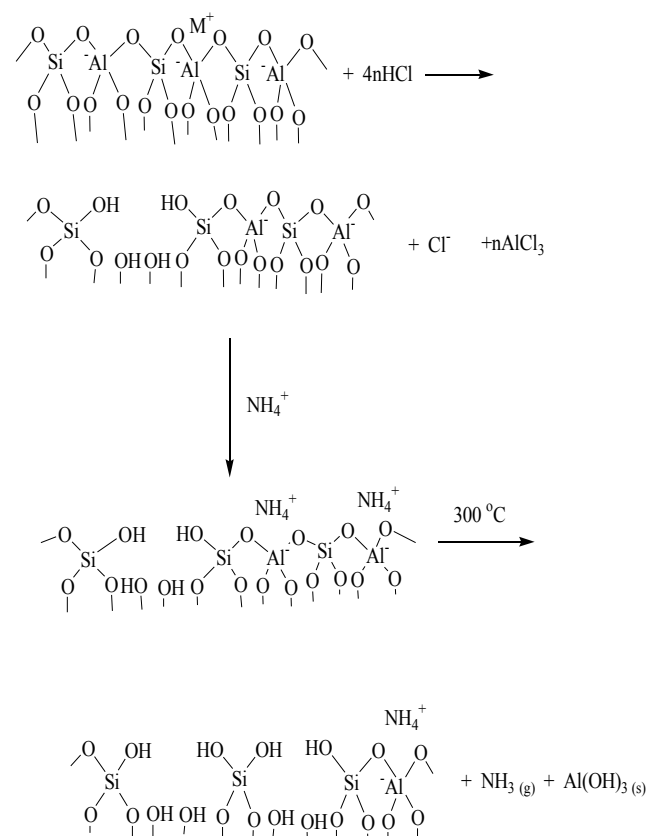
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Preparasi Zeolit

Zeolit di ambil di beberapa titik di daerah wonosari. Zeolit alam tersebut kemudian dihancurkan dan di ayak dengan menggunakan ukuran lolos 200 mesh. Hal ini bertujuan untuk homogenitas ukuran permukaan zeolit dan untuk memperbesar luas permukaan zeolit sehingga kemampuan adsorsinya dapat lebih optimal.

2. Dealuminasi Zeolit

Proses dealuminasi selanjutnya dilakukan menggunakan HCL 6M dan NH_4NO_3 2M yang merupakan konsentrasi maksimum untuk proses dealuminasi. Dimana dalam konsentrasi ini rasio Si/Al mencapai maksimal (Ermawati, 2003). Pelarut yang digunakan dalam proses dealuminasi adalah air. Hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan Si (dalam bentuk $Si(OH)_4$) yang akan dimasukkan untuk mengganti (*replacement*) atom-atom Al pada *framework* zeolit. Mekanisme reaksinya dapat dilihat pada gambar 4.1. (Weitkamp, J. and Puppe, L., 1999):

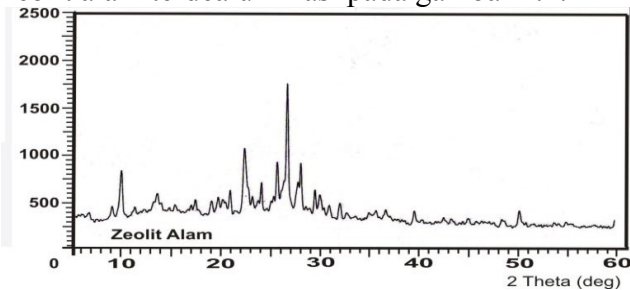


Gambar 4.1 Dealuminasi zeolit

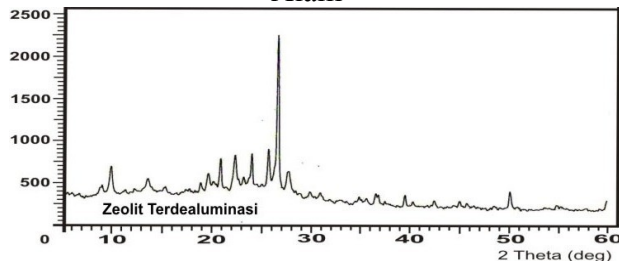
Pada dealuminasi, ion H^+ yang dihasilkan dari reaksi penguraian HCl dalam medium air akan mengurai ikatan atom Al yang berada pada *framework* zeolit. Ion H^+ ini akan diserang oleh atom oksigen yang terikat pada Si dan Al. Berdasarkan harga energi disosiasi ikatan Al-O (116 kkal/mol) jauh lebih rendah dibandingkan energi disosiasi ikatan Si-O (190 kkal/mol), maka ikatan Al-O jauh lebih mudah terurai dibandingkan Si-O. Sehingga ion H^+ akan cenderung menyebabkan terjadinya pemutusan ikatan Al-O dan akan terbentuk gugus silanol. Sedangkan ion Cl^- hasil penguraian ion HCL juga akan mempengaruhi kekuatan ikatan Al-O dan Si-O. Ion Cl^- memiliki elektronegativitas yang tinggi (3,16) dan berukuran kecil ($r = 0,97A^0$), sehingga menyebabkan ion ini mudah berikatan dengan kation bervalensi besar seperti Si^{4+} dan Al^{3+} . Tetapi ion Cl^- akan cenderung berikatan dengan atom Al dikarenakan harga elektronegativitas atom Al lebih kecil (1,61) dibanding elektronegativitas atom Si (1,90).

3. Karakterisasi Zeolit

Karakterisasi struktur zeolit dilakukan menggunakan XRD-6000 *X-Ray Diffractometer Shimadzu* untuk mengetahui komposisi utama mineral zeolit. Hasil analisa pada penelitian ini dapat dilihat pada difraktogram zeolit alam dan zeolit alam terdealuminasi pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Difraktogram sinar X pada Zeolit Alam



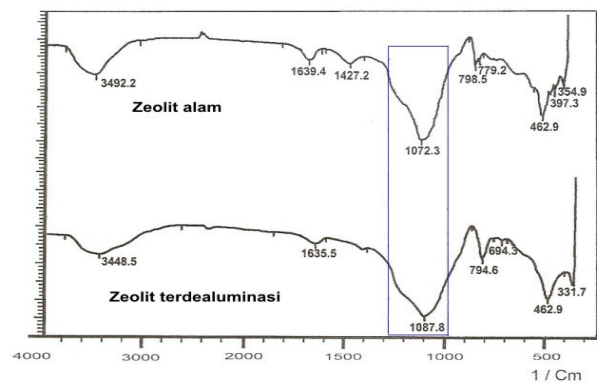
Gambar 4.3. Difraktogram sinar X pada Zeolit Alam Dealuminasi

Tabel 4.1 Perbandingan Difraktogram

Zeolit alam		Zeolit terdealuminasi	
d(A)	I	d(A)	I
3,96066	49	3,98621	21
3,46168	38	3,46752	24
3,33269	100	3,34869	100

Pada difraktogram tampak bahwa pada intensitas yang sama (100) telah terjadi pergeseran, yaitu pada zeolit alam adalah 3,33269 sedangkan pada zeolit terdealuminasi adalah 3,34869. Pergeseran difraktogram ini merupakan pendekatan dalam memprediksi telah terjadi dealuminasi pada zeolit.

Untuk memperkuat hasil analisa di atas maka dilakukan analisa menggunakan FTIR. Secara spektroskopis, zeolit dapat diamati pada rentang daerah bilangan gelombang 300-1300 cm^{-1} . Panjang gelombang tersebut merupakan daerah utama serapan ikatan tetrahedral dari komponen utama penyusun zeolit yaitu SiO_4 dan AlO_4 (Hamdan, 1992). Sedangkan hasil analisis spektra inframerah dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.4. Spektra FTIR Zeolit Alam dan Zeolit Terdealuminasi

Pita pada 300-420 cm^{-1} merupakan daerah untuk *pore opening* pada *external linkage*. Rentangan simetri O-AL-O atau O-Si-O pada internal tetrahedral akan muncul pada 650-720 cm^{-1} sedang untuk *external linkage* akan muncul pada 750-820 cm^{-1} . Tekukan Si-O atau Al-O akan muncul pada daerah 420-500 cm^{-1} . Adsorban pada daerah 950-1250 cm^{-1} menunjukkan rentangan asimetri (Wietkamp dan Puppe, 1999). Pada zeolit alam rentangan asimetri ditunjukkan pada pita 1076,2 cm^{-1} dan pada zeolit alam aktivasi ditunjukkan pada pita 1087,8 cm^{-1} .

Terjadinya dealuminasi dapat diamati dari adanya pergeseran pada spektra vibrasi internal dan eksternal. Bila terjadi proses dealuminasi, maka akan ada pergeseran spektra ke arah bilangan gelombang yang lebih tinggi pada vibrasi ulur internal zeolit dan pergeseran pita ke arah bilangan gelombang yang lebih rendah pada vibrasi eksternal. Hal ini seiring dengan menurunnya jumlah Al dalam struktur zeolit (Flanigen dan Khatami, 1997). Hasil penelitian sesuai dengan penjelasan di atas, bahwa terjadi pergeseran pita pada daerah

vibrasi internal zeolit alam yaitu dari $1072,3 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $1087,8 \text{ cm}^{-1}$ pada zeolit alam terdealuminasi. Ini diperkuat dengan adanya pergeseran pada vibrasi *pore opening* yaitu dari $354,9 \text{ cm}^{-1}$ pada zeolit alam menjadi $331,7 \text{ cm}^{-1}$ pada zeolit alam termodifikasi.

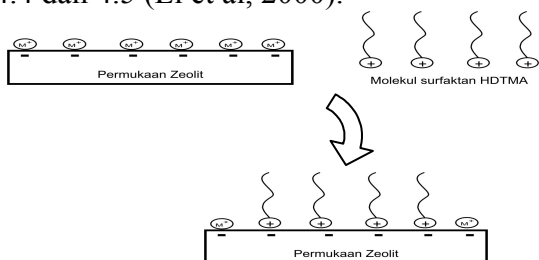
Penjelasan difraktogram sinar X dan spektra FTIR pada zeolit alam dan zeolit dealuminasi membuktikan telah terjadi proses dealuminasi.

4. Modifikasi Zeolit alam

Modifikasi zeolit merupakan sebuah perlakuan terhadap zeolit alam sehingga diperoleh zeolit yang memiliki kemampuan yang lebih baik (Sutarti Rahmawati, 1994). Salah satu surfaktan yang dapat digunakan untuk memodifikasi zeolit adalah *hexadecyltrimethylammonium* (HDTMA). Zeolit yang termodifikasi oleh HDTMA^+ memiliki permukaan yang penuh dengan gugus karbon dan sifat hidrofil dari zeolit tersebut akan berkurang, sehingga dapat digunakan untuk menyerap zat organik seperti benzena, fenol, toluen dan anilin (Bouffard dan Duff, 2000).

Penyerapan surfaktan kation terhadap permukaan bermuatan negatif melibatkan pertukaran kation dan ikatan hidrofob. Pada level muatan yang rendah, monomer-monomer surfaktan tertahan oleh pertukaran ion dan membentuk monolayer. Seiring dengan peningkatan surfaktan yang tersedia, interaksi antara ekor hidrokarbon menyebabkan pembentukan bilayer.

Mekanisme adsorpsi HDTMA^+ di permukaan zeolit diilustrasikan dalam Gambar 4.4 dan 4.5 (Li et al, 2000).

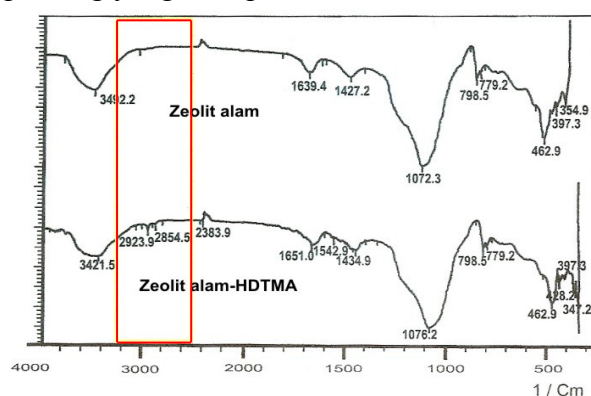


Gambar 4.5. Mekanisme Pembentukan Monolayer HDTMA^+ pada Zeolit

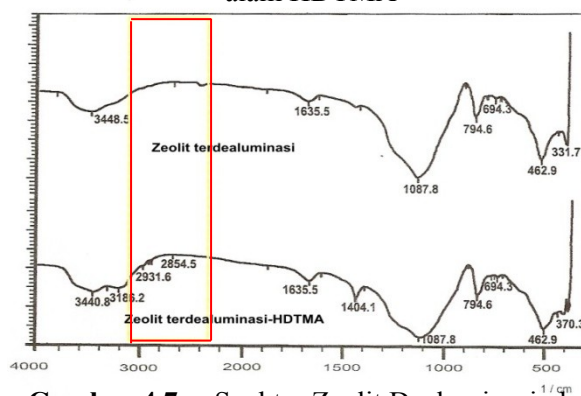
Molekul HDTMA^+ memiliki dua bagian dengan karakter yang berbeda, dimana bagian ekornya merupakan rantai alkil (orde C-16) yang bersifat nonpolar dan bagian kepalanya bersifat polar dengan muatan +1 (Sullivan, 1999). Bagian polar dari HDTMA^+ yang bermuatan +1, merupakan bagian yang berinteraksi dengan bagian permukaan zeolit yang bermuatan -1. Pertukaran molekul HDTMA^+ pada permukaan

zeolit melalui pertukaran kation dengan kation penyeimbang.

Menurut Li dkk (2000) penambahan HDTMA melebihi CMC (*Critical Micel Concentration*) mengakibatkan HDTMA yang terserap pada zeolit dapat membentuk bilayer. Besarnya CMC dari HDTMA adalah $1,3 \text{ mmol/L}$ (Li dkk 1997). Pada konsentrasi yang lebih tinggi dari CMC tersebut, molekul-molekul HDTMA^+ terorientasi membentuk dua lapisan (bilayer) melalui interaksi hidrofob dari rantai alkil dan menciptakan sebuah lapisan bersifat nonpolar yang selektif. Bila dilihat dari variasi konsentrasi HDTMA^+ yang digunakan, maka pembentuk bilayer yang sempurna memiliki peluang yang cukup besar.



Gambar 4.6. Spektra FTIR Zeolit alam dan Zeolit alam HDTMA



Gambar 4.7. Spektra Zeolit Dealuminasi dan Zeolit dealuminasi termodifikasi HDTMA^+

Pada zeolit yang telah dimodifikasi dengan HDTMA^+ baik pada zeolit alam maupun zeolit alam dealuminasi muncul pita pada daerah $2800\text{-}3000 \text{ cm}^{-1}$. Pada zeolit alam pita yang menunjukkan bahwa zeolit telah dimodifikasi dengan HDTMA^+ adalah pada pita $2923,6 \text{ cm}^{-1}$ dan $2854,5 \text{ cm}^{-1}$. Untuk zeolit dealuminasi muncul pada pita $2931,6 \text{ cm}^{-1}$ dan $2854,5 \text{ cm}^{-1}$. Pita-pita tersebut sesuai dengan mode rentangan simetris dan asimetris CH_2 dari amina (Hongping dkk, 2004).

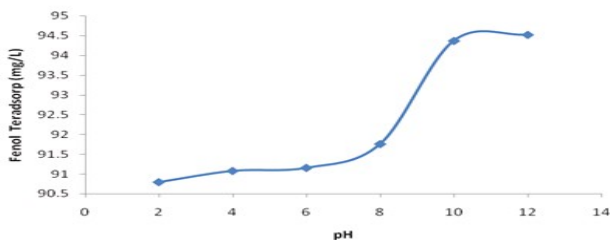
Frekuensi pita absorpsi rentangan CH_2 dari rantai amina sangat sensitif terhadap

perubahan konformasi dari rantai dan hanya ketika rantai pada *high ordered (all trans conformations)* pita absorpsi yang sempit berada pada sekitar 2916 cm^{-1} ($\nu_{as}(\text{CH}_2)$) dan 2848 cm^{-1} ($\nu_{s}(\text{CH}_2)$) pada spektrum infra merah. Pada kisaran konsentrasi tinggi, pita absorpsi rentangan CH₂ asimetris relatif konstan dan berada pada *all trans conformations*. Pada konsentrasi rendah frekuensi bergeser secara signifikan pada bilangan gelombang yang lebih tinggi. Rentangan simetris CH₂ pada FT-IR mengalami pergeseran. Rentangan simetris CH₂ sedikit sensitif terhadap konformasi rantai (Hongping, 2004).

5. Uji adsorpsi

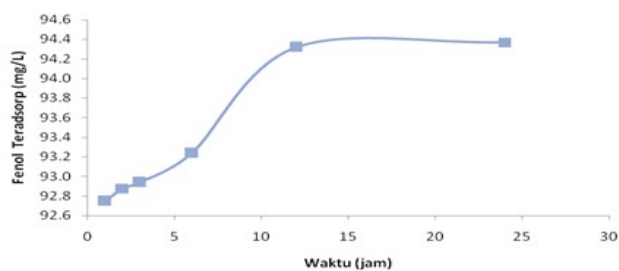
Untuk mengetahui pengaruh HDTMA⁺ zeolit alam dealuminasi dalam mengadsorpsi ion fenol telah dilakukan uji adsorpsi dengan parameter variasi pH larutan fenol dan waktu kontak larutan fenol dengan zeolit alam dealuminasi dengan konsentrasi HDTMA⁺ 50 mmol.

Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap pengaruh pH optimum dan waktu kontak terhadap proses adsorpsi fenol. Dari data yang diperoleh terlihat bahwa penyerapan mengalami kenaikan signifikan pada pH 10, kemudian mengalami kenaikan yang tidak berarti.



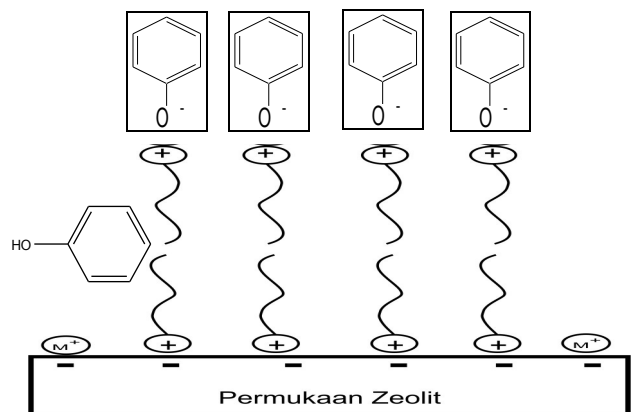
Gambar 4.8. Grafik Hubungan antara pH dengan fenol teradsorp

Pada grafik tersebut diatas terlihat bahwa pH optimum untuk adsorpsi fenol adalah pada pH 10. Dalam pH basa fenol berada dalam keadaan ion fenolat..



Gambar 4.9. Grafik hubungan antara waktu kontak dengan fenol teradsorp

Pada penelitian ini kemungkinan HDTMA⁺ yang diadsorpsi oleh zeolit dalam bentuk *bilayer*. Mekanisme adsorpsi fenol pada permukaan zeolit-HDTMA⁺ adalah dengan berinteraksinya antara ion fenolat yang bermuatan negatif dengan permukaan zeolit-HDTMA⁺. Mekanisme tersebut disajikan pada Gambar 4.11. Fenol juga mempunyai cincin benzena yang bersifat non polar. Cincin benzena ini juga berperan dalam proses adsorpsi dengan cara berinteraksi dengan bilayer HDTMA⁺ yang bersifat hidrofob.



Gambar 4.10. Mekanisme adsorpsi fenol pada zeolit termodifikasi HDTMA⁺

Hal ini diperkuat dengan hasil adsorpsi yang paling tinggi ditunjukkan saat fenol berada pada suasana basa. Dimana fenol berada dalam bentuk ion fenolat. Ion fenolat inilah yang akan berikatan dengan bilayer HDTMA⁺.

Dalam tabel berikut disajikan perbandingan tingkat adsorpsi antara zeolit alam dan zeolit dealuminasi

Tabel 4.2 Perbandingan tingkat adsorpsi fenol

Macam zeolit	A	fp	Fenol Sisa (mg/L)	Fenol Teradsorp (mg/L)
Zeolit Alam	0.877	4	43.789	56.211
Zeolit Alam HDTMA	0.562		6.893	93.107
Zeolit Dealuminasi	0.689	4	34.110	65.890
Zeolit Dealuminasi HDTMA	0.462		5.606	94.394

Pada tabel terlihat bahwa fenol teradsorpsi paling banyak menggunakan zeolit dealuminasi HDTMA⁺ sebesar (94.394 mg/L). Ini disebabkan pada zeolit terdealuminasi HDTMA⁺ terbentuk struktur bilayer sehingga memungkinkan ion fenolat yang berinteraksi dengan zeolit semakin banyak.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Modifikasi zeolit dengan (HDTMA⁺) dapat dilakukan terhadap zeolit alam (ZA) dan zeolit alam terdealuminasi (ZAD).
2. pH optimum untuk adsorpsi fenol adalah 10, sedangkan waktu optimumnya adalah 12 jam.
3. Modifikasi zeolit dengan HDTMA⁺ memiliki kemampuan mengadsorpsi fenol lebih efektif dibanding zeolit alam.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Bapak Drs. Gunawan, M.Si. selaku Pembimbing I yang telah memberikan dukungan dan nasehat kepada penulis selama penelitian dan penulisan
2. Bapak Khabibi, M.Si. selaku Pembimbing II yang telah memberikan dukungan dan nasehat kepada penulis selama penelitian dan penulisan

DAFTAR PUSTAKA

- Bouffard, S.C dan Duff, S.J.B., 1999, *Uptake of Dehydroabietic Acid Using Organically-Tailored Zeolit*, www.elsevier.com/locate/watres.
- Bowman, R.S dan Sullivan, E.J., Li. Z., 2000, *Environ Sci. Technical*
- Bowman, R.S., 2000, "Surfactant Modified Zeolite (SMZ)-A Versatile, Inexpensive Sorbent For Removing Contaminant From Water", New Mexico Institute
- Considine, D.M., 1989, *Van Nostrand's Scientific Encyclopedia*, Van Nostrand Reinhold: NY
- Ermawati, Y., 2003, *Pengaruh konsentrasi HCl dan NH₄NO₃ Terhadap Dealuminasi Zeolit Alam Wonosari*, Skripsi, UNDIP: Semarang
- Ersoy, B dan Celik, M.S., 2003, *Effect of Hydrocarbon Chain Length on Adsorption of Cationic onto Clinoptilolite*, *Journal Clays and Clays Minerals*, vol 51, hal 172-180
- Flanigen, E.M. dan Khatami, H., 1971 "Infrared Structural Studies of Zeolite Frameworks", Union Carbide Corporation: New York; pp.16, 201-207
- Haggerty, G.M and R.S Bowman, 1994, "Sorption of Inorganic Anions by Organo-Zeolites", *Environ Sci. Technology*.
- Hongping, H., Ray, F.L., dan Jianxi, Z., 2004, "Infrared Study of HDTMA⁺ Intercalated Montmorillonite", Elsevier.
- Lesley, S., Elain, M., 1992, *Solid State Chemistry*, Chapman & Hall: London
- Li, Z., Allesi, D dan Allen, L., 2000, *Influence of quaternary Ammonium of Sorption of Selected Metal Cations onto Clinoptilolite Zeolite*, *Journal of Environmental Quality*, vol 31, hal 1106-1114
- Skeels, G.W., Breck, D.W., 1984, "Proceeding of the 6th International Zeolite Conference", Olson, D., Bislo A., Eds., Butterworths, Guilford, U.K. P. 87.
- Sutarti, M dan Rachmawati, M., 1994, *Zeolit Tinjauan Literatur*, Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI: Jakarta.
- Sullivan, E.J., R.S Bowman dan I.A Legeic., 1999, *Sorption of Arsenate from Soil-Washing Leachate by Surfactant-Modified Zeolite*, *Environ Sci Technol*.
- Weitkamp, J. dan Puppe. L., 1999, "Catalysis and Zeolites: Fundamental and Applications", Springer-Verlag Berlin Heidelberg:Germany.