

MODIFIKASI DAN KARAKTERISASI ZEOLIT ALAM TASIKMALAYA DENGAN Fe₂O₃

MODIFICATION AND CHARACTERIZATION OF TASIKMALAYA NATURAL ZEOLITES WITH Fe₂O₃

Reka Oktaviani*, Noor Hindryawati, Aman Sentosa Panggabean

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman
Jalan Barong Tongkok No. 4 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, 75123

*E-mail: rekaoktaviani26@gmail.com

Received: 09 November 2018, Accepted: 09 March 2019

ABSTRACT

Research on natural zeolite has been carried out as a porous material modified by Fe₂O₃ semiconductor material. Starting with natural zeolite preparation, dealumination by activating it using HCl solution, modifying natural zeolite with Fe₂O₃ using FeCl₃ and NaOH solution, then characterized using X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) and test the surface area using a Methylene Blue solution. The results of the XRF analysis showed that the composition of Fe₂O₃ increased after it was modified to 38.022%, which was previously namely 3.193%. The results of SEM analysis showed changes in the morphology of natural zeolites after being modified with Fe₂O₃. The results of the XRD analysis showed that there was a diffraction peak which provided information that the sample contained Fe₂O₃. Zeolite-Fe₂O₃ has a surface area of 110,2707 m²/g.

Keywords: Natural Zeolite, Fe₂O₃, Semiconductor

PENDAHULUAN

Beberapa wilayah di Indonesia yang kaya akan zeolit alam tersebar luas di berbagai lokasi antara lain di Bayah (Banten Selatan), Cikembar (Sukabumi), Nanggung (Tasikmalaya), Malang, Lampung dan Sulawesi Selatan. Zeolit alam ini sebelumnya belum dimanfaatkan secara optimal. Zeolit alam terbentuk dikarenakan adanya proses perubahan alam dari batuan vulkanik dan batuan sedimen yang mengendap jutaan tahun silam. Zeolit merupakan suatu kelompok mineral yang dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa [1].

Karakteristik kimia, fisika dan struktural dari zeolit alam dapat diaplikasikan ke dalam berbagai bidang. Zeolit memiliki sejumlah sifat kimia maupun fisika yang menarik, diantaranya mampu menyerap zat organik maupun anorganik, sebagai penukar kation (*ion exchanger*), katalisator (*catalysit*) dan penyaring molekul berukuran halus (*molecular sieving*) [5]. Salah satu kegunaan lain daripada zeolit alam adalah sebagai katalis yang didasarkan pada adanya ruang kosong yang dapat digunakan sebagai katalis ataupun sebagai penyangga katalis untuk reaksi katalitik. Kemampuan zeolit sebagai katalis berkaitan dengan tersedianya pusat-pusat aktif (*active site*) dalam saluran antar zeolit [7].

Penggunaan zeolit alam sebagai katalis dalam reaksi fotokatalis dapat digunakan untuk menguraikan zat warna karena adanya radikal hidroksil yang dapat berperan sebagai oksidator. Metode ini memerlukan bahan semikonduktor antara lain TiO₂, ZnO dan Fe₂O₃ [6]. Modifikasi ini dilakukan dengan menyisipkan material fotokatalis ke dalam zeolit. Potensi Fe₂O₃ sebagai katalis untuk reaksi fotokatalisis yaitu memiliki celah pita sebesar 2-2.2 eV [3]. Efisiensi fotokatalis yang baik dengan celah pita yang kecil yaitu di bawah cahaya tampak (*Visible Light*) [10]. Modifikasi zeolit alam Tasikmalaya dengan bahan semikonduktor Fe₂O₃ memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa organik dan polutan yang terdapat didalam air limbah buangan industri ataupun limbah rumah tangga.

Berdasarkan penjelasan di atas penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik zeolit alam yang telah didealuminasi terlebih dahulu agar meningkatkan rasio Si/Al pada zeolit. Kemudian dilanjutkan dengan tahap modifikasi zeolit alam yaitu dengan menambahkan oksida logam Fe₂O₃ sebagai bahan semikonduktor. Lalu dilakukan analisa menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF),

X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM).

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan ialah neraca analitik, seperangkat alat refluks, *ultrasonikator, furnace*, cawan porselin, spatula, *beaker glass*, botol *reagen*, batang pengaduk, oven, erlenmeyer, *hot plate, magnetic stirrer*, labu alas datar, termometer, botol kaca, pengayak berukuran 100 *mesh*, pengayak berukuran 200 *mesh*, labu ukur ukuran 1000 mL, labu ukur ukuran 100 mL, labu ukur ukuran 10 mL, penggerus, instrumen *X-Ray Fluorescence (XRF)*, instrumen *X-Ray Diffraction (XRD)* dan instrumen *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

Bahan

Bahan yang digunakan adalah zeolit alam, HCl, *Methylen Blue*, NaOH, FeCl₃, AgNO₃, kertas saring, kertas *whatman*, aluminium foil, plastik *wrap*, pH universal dan aquadest.

Prosedur Penelitian

Preparasi sampel

Zeolit alam diayak hingga diperoleh ukuran 100 *mesh*. Selanjutnya zeolit alam direndam dengan aquadest selama 24 jam lalu disaring. Kemudian zeolit dipanaskan dalam oven pada suhu 120°C selama 3 jam. Zeolit alam dikarakterisasi menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence (XRF)* [8].

Dealuminasi zeolit alam dengan HCl

Sebanyak 25 gram zeolit alam berukuran 100 *mesh* dimasukkan ke dalam 100 mL larutan HCl 6 M. Proses dealuminasi dengan merefluks selama 13 jam pada suhu 70°-80°C, lalu dilanjutkan dengan ultrasonik selama 2 jam pada suhu 60°C. Kemudian disaring dan dinetralkan dengan aquadest. Kemudian residu yang diperoleh dikeringkan selama 2-3 jam pada suhu 100°C. Zeolit alam hasil dealuminasi dikalsinasi pada suhu 700°C selama 2 jam. Zeolit alam hasil dealuminasi dikarakterisasi menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)* [7].

Modifikasi zeolit dengan Fe₂O₃

Sebanyak 250 mL larutan FeCl₃ 0,2 M ditambahkan sedikit demi sedikit larutan NaOH 0,4 M sambil diaduk hingga pH = 2. Kemudian larutan didiamkan selama 24 jam. Sebanyak 10 gram zeolit alam hasil dealuminasi ditambahkan 250 mL larutan FeCl₃ dan NaOH dengan pH = 2 dan diaduk selama 5

jam. Kemudian suspensi didiamkan selama 24 jam dan disaring. Residu dicuci dengan aquadest beberapa kali dan filtrat ditetesi dengan AgNO₃ 0,1 M hingga tidak terbentuk endapan putih. Kemudian dioven pada suhu 110°C - 120°C. Dilanjutkan dengan digerus hingga halus dan diayak dengan menggunakan ayakan ukuran 100 *mesh*. Selanjutnya zeolit dikalsinasi pada suhu 400°C selama 5 jam, kemudian dikarakterisasi dengan instrumen *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)* [2].

Karakterisasi Fe₂O₃ pada zeolit alam

Analisa dengan X-Ray Fluorescence (XRF)

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur pada zeolit alam sebelum dan setelah dilakukan modifikasi dengan penambahan Fe₂O₃.

Analisa dengan X-Ray Diffraction (XRD)

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui komposisi dari zeolit alam sebelum dan setelah dilakukan modifikasi dengan penambahan Fe₂O₃. Hasil difraktogram yang diperoleh kemudian diinterpretasikan sebagai perbandingan.

Analisa dengan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui morfologi dan topografi pada zeolit alam sebelum dan setelah dilakukan modifikasi dengan penambahan Fe₂O₃.

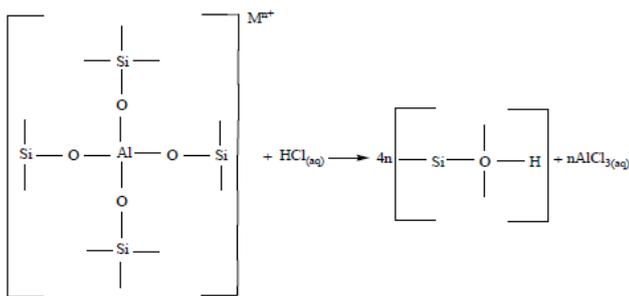
HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Sampel dan Dealuminasi Zeolit Alam dengan HCl

Penelitian ini diawali dengan preparasi sampel zeolit alam dimana preparasi awal dengan mengayak zeolit alam hingga memperoleh ukuran 100 *mesh*. Proses ini bertujuan untuk menghomogenkan ukuran dan memperbesar luas permukaan. Kemudian dilanjutkan dengan proses perendaman dengan aquadest bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang lolos ayakan. Lalu zeolit alam dipanaskan, dimana pada proses ini disebut dehidrasi. Menurut [1], proses dehidrasi pada zeolit alam bertujuan untuk melepaskan molekul air yang terjebak didalam kerangka zeolit sehingga meningkatkan keaktifan zeolit alam.

Aktivasi pada zeolit alam dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu aktivasi secara kimia dan fisika. Pada penelitian ini aktivasi zeolit alam secara kimia dilakukan dengan menambahkan larutan HCl 6 M ke dalam zeolit alam yang telah dipreparasi. Aktivasi dengan larutan asam menyebabkan

terjadinya dealuminasi pada kerangka zeolit. Dealuminasi ini dilakukan untuk meningkatkan rasio Si/Al. Menurut Handhoyo, dkk., (2005), meningkatnya rasio Si/Al berarti juga akan meningkatkan situs asam dari zeolit itu sendiri. Situs asam ini merupakan situs yang berfungsi sebagai sisi aktif pada zeolit. Dengan meningkatnya situs asam berarti juga meningkatkan keaktifan zeolit. Adapun larutan asam yang dapat digunakan antara lain HCl, HNO₃, H₂SO₄ dan H₃PO₄. Larutan HCl 6 M berfungsi untuk menghilangkan pengotor sehingga membuka pori-pori zeolit menjadi berukuran pori lebih besar dan oksida aluminium dari kerangka dalam kristal akan keluar dari struktur zeolit dan terlarut dalam larutan HCl 6 M. Larutan HCl dipilih sebagai medium karena larutan HCl dapat mengekstraksi Al dalam zeolit, yaitu Al dalam kerangka zeolit menjadi Al di luar kerangka zeolit disebut sebagai proses dealuminasi [4]. Berikut contoh reaksi pelepasan Al dari dalam kerangka zeolit oleh pelarut HCl pada gambar 1.



Gambar 1. Reaksi pelepasan Al dari dalam kerangka zeolit [4]

Menurut Fatimah (2005), ion H⁺ hasil penguraian HCl dalam medium air akan diserang oleh atom oksigen yang terikat pada kerangka Si dan Al. Energi disosiasi ikatan Al-O (116 kkal/mol) jauh lebih kecil daripada ikatan Si-O (190 kkal/mol), sehingga ikatan Al-O lebih mudah terurai. Sementara itu ion Cl⁻ dari penguraian HCl memiliki elektronegativitas yang tinggi sehingga mudah berikatan dengan kation bervalensi besar seperti Si⁴⁺ dan Al³⁺. Akan tetapi dalam hal ini ion Cl⁻ akan cenderung berikatan dengan Al³⁺ karena elektronegativitas atom Al lebih kecil daripada atom Si.

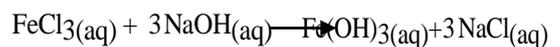
Pada saat direfluks terjadi perubahan warna pada larutan yang awalnya bening menjadi kuning pekat. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara HCl dengan logam yang terdapat dalam zeolit. Dimana HCl akan berubah warna menjadi kuning apabila terkontaminasi kandungan logam. Kemudian dilanjutkan dengan ultrasonik selama 2

jam yang bertujuan untuk memecah senyawa yang tidak memerlukan waktu yang lama.

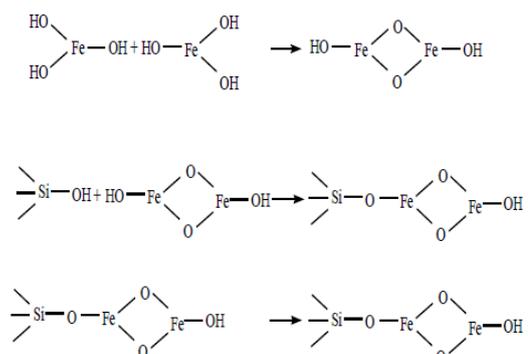
Aktivasi zeolit alam secara fisika dilakukan dengan pemanasan (kalsinasi) pada suhu tinggi yaitu hingga 700°C selama 2 jam. Penggunaan asam pada proses dealuminasi mengakibatkan berubahnya sebagian struktur dari kerangka zeolit. Sehingga dilakukan proses kalsinasi untuk menstabilkan pori yang lebih besar, meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit. Setelah proses kalsinasi zeolit alam berwarna putih kekuningan daripada zeolit alam sebelum kalsinasi. Menurut Handhoyo., dkk (2005), warna kehijauan pada zeolit sebelum dilakukan preparasi dikarenakan adanya kandungan air (hidrat) yang terikat pada struktur zeolit. Setelah dikalsinasi maka kandungan hidrat sudah dihilangkan sehingga warnanya menjadi lebih putih.

Modifikasi zeolit dengan Fe₂O₃

Proses modifikasi dilakukan dengan mengambil larutan NaOH 0,4 M yang kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit kedalam larutan FeCl₃ 0,2 M. penambahan larutan NaOH dilakukan hingga pH = 2 sambil diaduk, karena pH tersebut merupakan kondisi larutan sebelum larutan mengendap. Jika terdapat endapan dapat mengganggu proses modifikasi logam dalam zeolit alam. Adapun reaksi yang terjadi dalam proses tersebut sebagai berikut.



Selanjutnya zeolit alam hasil dealuminasi ditambahkan dengan larutan FeCl₃ 0,2 M dan NaOH 0,4 M tersebut sambil diaduk. Pengadukan dilakukan agar proses reaksi berlangsung maksimal ke dalam struktur zeolit alam. Sehingga proses pertukaran antar kation zeolit alam dan kation dari luar dapat terjadi. Adapun reaksi pembentukan zeolite dengan Fe₂O₃ dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Reaksi zeolit dengan Fe₂O₃ [2]

Proses selanjutnya yaitu pembentukan Fe₂O₃ dari Fe(OH)₃ seperti pada gambar 2 dengan bantuan kalsinasi pada suhu 400°C selama 5 jam. Pada proses ini Fe(OH)₃ bereaksi dengan Fe(OH)₃ serta kehilangan H₂O. Faktor kelembaban serta suhu mempengaruhi proses pembentukan Fe₂O₃. Setelah 5 jam diperoleh serbuk berwarna kecoklatan.

Zeolit alam memiliki gugus Si-OH yang dapat mengikat kation Fe³⁺ dari logam yang ditambahkan. Kemudian dilakukan kalsinasi yang bertujuan untuk memperkuat ikatan Si-O-Fe, membentuk oksida logam besi yaitu Fe₂O₃, menstabilkan struktur zeolit alam dari proses interkalasi logam dan memperbesar pori zeolit [2]. Adapun reaksi yang terjadi pada pembentukan Fe₂O₃ yaitu sebagai berikut.



Karakterisasi zeolit alam

Hasil analisa XRF (X-Ray Fluorescence)

Analisa XRF ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia penyusun zeolit alam sebelum aktivasi, setelah aktivasi (dealuminasi) dan zeolit-Fe₂O₃ dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Analisis komposisi kimia zeolit alam menggunakan XRF

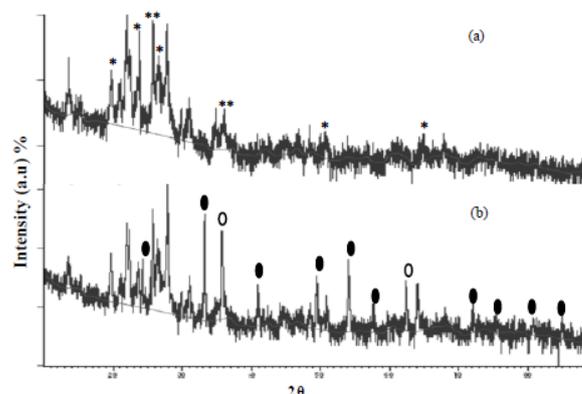
Sampel	Parameter Analisa (%)					
	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	SiO ₂	MnO	ZnO
Zeolit	6,937	6,348	8,156	78,26	0,264	0,033
Zeolit Dealuminasi	3,193	2,016	6,972	87,69	0,107	0,013
Zeolit- Fe ₂ O ₃	38,022	1,158	4,308	56,13	0,166	0,030

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan SiO₂ setelah proses dealuminasi dengan menggunakan HCl 6 M yaitu menjadi 87,699%. Peningkatan komposisi SiO₂ disebabkan karena komposisi logam seperti Ca, K, Mn, Zn dan pengotor lainnya yang terdapat pada pori dan permukaan zeolit alam mengalami penurunan setelah aktivasi. Hal ini dikarenakan logam-logam tersebut dalam bentuk oksida logam larut saat proses dealuminasi dengan menggunakan HCl, sehingga mengakibatkan pori-pori dari material semakin terbuka. Dari hasil analisa dapat diketahui bahwa tidak semua pengotor larut dalam proses aktivasi dengan HCl. Dalam hal ini proses aktivasi tidak cukup dengan larutan asam, melainkan juga harus ada proses kalsinasi yang termasuk dalam proses aktivasi fisika agar pengotor-pengotor yang tidak sepenuhnya larut dengan asam dapat hilang dengan kalsinasi. Dengan adanya sisa pengotor akan mengganggu proses modifikasi dengan

Fe₂O₃ dan juga akan mempengaruhi luas permukaan pada zeolit alam. Selanjutnya setelah proses modifikasi dengan Fe₂O₃ menunjukkan kenaikan komposisi Fe₂O₃ menjadi 38,022% dari komposisi setelah dealuminasi 3,192%. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi telah berhasil dilakukan.

Hasil analisa XRD (X-Ray Diffraction)

Untuk melihat perubahan jenis oksida logam yang ada pada zeolit termodifikasi maka dilakukan analisis XRD (X-Ray Diffraction). Hasil dari uji ini berupa grafik (a) zeolit setelah aktivasi, (b) zeolit- Fe₂O₃ pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil analisa XRD (a) zeolit setelah aktivasi dan (b) zeolit-Fe₂O₃

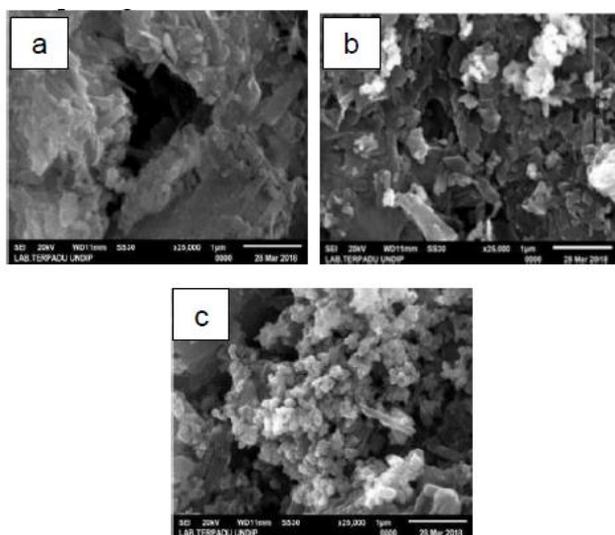
Dari gambar 3 (a) pola XRD untuk zeolit setelah aktivasi menunjukkan puncak difraksi pada 2θ = 22,4308°, 25,7429°, 26,6009°, 29,8803° dan 30,9614° hasil ini sesuai dengan penelitian menurut Korkuna, dkk., (2006) memberikan informasi bahwa yang terkandung dalam sampel tergolong jenis *klinoptilolit*. Sedangkan puncak difraksi pada 2θ = 22,4308°, 26,6009° dan 27,7322° memberikan informasi bahwa yang terkandung dalam sampel tergolong jenis *mordenit*. Zeolit diidentifikasi mengandung campuran jenis *klinoptilolit* dan *mordenit*. Perbedaan dari gambar A dan gambar B yaitu terletak pada intensitas dan index miller kedua gambar. Pada gambar (a) memiliki intensitas yang menunjukkan komposisi SiO₂ dan Al₂O₃ pada zeolit alam Tasikmalaya. Menurut penelitian Renaldy, dkk., (2017) adanya kandungan SiO₂ pada zeolit alam Tasikmalaya setelah aktivasi memiliki index miller [1,0,0], [1,0,1], [1,1,2] dan [1,1,3]. Untuk Al₂O₃ ada zeolit alam Tasikmalaya setelah aktivasi memiliki index miller [0,1,2] dan [1,0,4].

Untuk gambar 3 (b) pola XRD untuk zeolit-Fe₂O₃ menunjukkan puncak difraksi pada 2θ = 24,1954°; 33,2027°; 40,9409°; 49,497°; 54,1393°; 57,6740°; 72,0937°; 75,538°; 84,992°; 88,6555°

memberikan informasi bahwa sampel mengandung Fe_2O_3 sesuai dengan data JCPDS No. 13-534. Hal ini membuktikan bahwa Fe_2O_3 terdapat dalam material zeolit- Fe_2O_3 . Selain itu diperoleh juga 2 puncak difraksi pada $2\theta = 35,6977^\circ$ dan $62,4724^\circ$ memberikan informasi bahwa sampel juga mengandung Fe_3O_4 sesuai dengan data JCPDS 11-614. Sehingga sampel mengandung campuran antara Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 .

Hasil analisa SEM (Scanning Electron Microscopy)

Untuk melihat morfologi permukaan dari material tersebut dilakukan analisis Scanning Electron Microscopy (SEM). Hasil dari uji ini berupa foto penampang dari Fe_2O_3 (a) zeolit dealuminasi, (b) zeolit termodifikasi Fe_2O_3 dengan perbesar 25.000 kali pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil analisa SEM (a) zeolit dealuminasi, (b) dan (c) zeolit termodifikasi Fe_2O_3 dengan perbesaran 25.000 kali

Pada gambar 4 (a) dengan perbesaran 25.000 kali diperoleh morfologi permukaan yang kurang seragam/homogen dan terdapat berongga. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada zeolit dealuminasi tersedia rongga dan penampang yang cukup lebar yang memungkinkan untuk dimodifikasi dengan logam Fe_2O_3 . Gambar 4 (b) dan (c) menunjukkan bahwa setelah zeolit alam dimodifikasi dengan Fe_2O_3 terdapat partikel bulat-bulat yang seragam pada permukaan zeolit. Partikel tersebut terlihat mengisi pada rongga-rongga zeolit. Berdasarkan morfologi permukaan dapat disimpulkan bahwa Fe_2O_3 telah termodifikasi pada permukaan zeolit.

Uji luas permukaan

Luas permukaan zeolit alam sebelum diaktivasi, zeolit setelah aktivasi (dealuminasi) dan zeolit- Fe_2O_3 dilakukan dengan adsorpsi *methylene blue*. Adapun uji luas permukaan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Luas permukaan zeolit sebelum aktivasi, zeolit setelah aktivasi (dealuminasi) dan zeolit- Fe_2O_3

Sampel	Luas Permukaan (m^2/g)
Zeolit sebelum aktivasi	93,25543
Zeolit setelah aktivasi (Dealuminasi)	114,8206
Zeolit- Fe_2O_3	110,2707

Dari hasil yang diperoleh pada uji luas permukaan zeolit setelah aktivasi (dealuminasi) lebih besar. Hal ini menandakan pengotor-pengotor seperti oksida logam yang menutupi pori-pori zeolit banyak berkurang, sehingga memiliki luas permukaan yang besar dan menghasilkan banyak ruang kosong. Luas permukaan zeolit alam setelah aktivasi yang besar sangat diinginkan agar kation yang berada didalam kerangka zeolit dapat dipertukarkan dengan logam Fe_2O_3 . Kemudian terjadi penurunan luas permukaan pada zeolit- Fe_2O_3 hal ini mengindikasikan bahwa modifikasi Fe_2O_3 menyebabkan penempatan Fe_2O_3 pada pori-pori zeolit alam yang memiliki banyak ruang kosong, sehingga luas permukaannya menurun.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Hasil analisa menggunakan XRF menunjukkan meningkatnya komposisi Fe_2O_3 setelah dimodifikasi menjadi 38,022%.
- Hasil analisa menggunakan XRD memberikan informasi bahwa sampel mengandung Fe_2O_3 .
- Hasil analisa SEM menunjukkan adanya perubahan pada zeolit alam setelah dimodifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang terkait dalam membantu dan memberi dorongan motivasi kepada peneliti. Ucapan terima kasih juga kepada pihak yang terlibat dalam penelitian ini, laboran laboratorium Kimia Fisik dan Anorganik FMIPA Unmul Kakak Priilianda Kusmiaty, S.Si, laboran laboratorium Biokimia FMIPA Unmul Abang Ryan Octovianus, S.Si dan HIBAH PD UPT 2017 DIKTI.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amelia, R. 2003. *Pengaruh Konsentrasi Molekul Pengarah Terhadap Kristalinitas dan Komposisi Mineral Zeolit Pada Modifikasi Zeolit Alam Wonosari*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2] Cromain, C. N dan Cahyaningrum, S.E. 2016. Karakterisasi Bentonit Terpilar Fe₂O₃ Sebagai Adsorben. *UNESA Journal of Chemistry*. Vol. 5 No 3.
- [3] Dawy, M., Safaa, K dan Aziz. 2012. Synthesis, Characterization and Optical Properties of α -Fe₂O₃ Nanoparticle. *Journal Basic Appl Sci*. 6(4):55–62.ISSN 1991-8178.
- [4] Dina, H. 2004. *Pengaruh Perlakuan Beberapa Jenis Asam Terhadap Kemampuan Adsorpsi Cd (II) oleh Zeolit*. Semarang: UNNES.
- [5] Erawati, T., Rosita, N dan Retnosari. 2003. Penentuan Daya Serap Zeolit Alam Malang Selatan Terhadap Biru Metilen dan Kuinin HCl. *Farmasi Airlangga*. Vol.2 No.3.
- [6] Fatimah, I dan Wijaya, K. 2005. Sintesis TiO₂/Zeolit Sebagai Fotokatalis Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi Fotodegradasi. *TEKNOIN*. Vol.10 No. 4:257-267.
- [7] Handhoyo, R., Prijatama H., Sofiyah S., Nurlela I, Yusianita N., Amelia R dan Komala R. 2005. Peningkatan Rasio Si/Al Zeolit Alam Mordenit Sebagai Bahan Dasar Zeolit Katalis. *Jurnal Indonesia*. Bandung: Pusat Geoteknologi LIPI. Vol. 4 No 1.
- [8] Heraldly E., Hisyam SW dan Sulistiyono. 2003. *Karakterisasi dan Aktivasi Zeolit Alam Ponorogo*. Surakarta: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- [9] Korkuna O., Lebeda R., Skubiszewska J., Vrublevs T., Gun V.M., Ryczkowski J. 2006. Structural and Physicochemical Properties of Natural Zeolites, Clinoptilolite and Mordenite. *Microporous and Mesoporous Mat*. 87:243-254.
- [10] Sumartono, A dan Andayani, W. 2007. The Use of TiO₂-Zeolit as a Catalyston the Degradaton Process of Erionil Red Dye. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol. 7 No. 1:141-146.