

PREPARASI DAN KARAKTERISASI ZEOLIT ALAM MALANG SEBAGAI ADSORBEN PADA ADSORPSI AIR DALAM PEMURNIAN BIOETANOL MEMBENTUK *FUEL GRADE ETHANOL (FGE)*

Suratno Lourentius¹, Ery Susiany Retnoningtyas¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jl. Kalijudan 37 Surabaya 60114 Telp 0313891264
Email: suratno.lourentius@yahoo.co.id

Abstrak

Seiring menipisnya sumber energi fosil, maka perlu dicari alternatif bahan bakar pengganti, misalnya bioetanol. Kebutuhan bioetanol saat ini mencapai 1,82 juta kiloliter. Bahan baku bioetanol misalnya ubi kayu. Bioetanol yang digunakan sebagai bahan bakar memiliki konsentrasi >99,5% dan ini disebut *fuel grade ethanol (FGE)*. Pencampuran 5% FGE dengan 95% premium akan membentuk biopremium. Industri yang memproduksi FGE saat ini menggunakan metode pemurnian adsorpsi dengan *molecular sieve* yang masih diimpor. Dalam penelitian ini diteliti pemurnian bioetanol 95% menjadi FGE menggunakan adsorpsi zeolit alam Malang. Potensi tambang zeolit di kabupaten Malang berkisar 3,2-4,8 juta ton dan belum dimanfaatkan maksimal. Preparasi adsorben zeolit sebagai berikut: diayak serbuk zeolit dengan *sieve shaker* untuk memperoleh ukuran -80+100 mesh. Selanjutnya, zeolit diaktivasi menggunakan larutan asam sulfat 1-5% selama 3 jam pada suhu kamar. Campuran hasil aktivasi selanjutnya dipisahkan, dan zeolit yang terpisah dicuci dengan akuades. Zeolit kemudian dikalsinasi pada suhu 200-700°C selama 3 jam. Prosedur pengujian daya adsorpsi sebagai berikut: ditimbang 1 gram zeolit alam preparasi dengan menggunakan neraca analitis. Selanjutnya diambil bioetanol 95% dengan perbandingan 1 gram zeolit: 10 ml bioetanol 95%. Zeolit direndam dalam bioetanol selama 3 jam sampai mencapai kesetimbangan. Setelah itu larutan dipisahkan dari zeolitnya. Kemudian larutan bioetanol ditentukan densitas/konsentrasinya menggunakan pignometer dan terhadap zeolit ditentukan daya adsorpsi airnya. Daya adsorpsi tertinggi dicapai pada zeolit yang dipreparasi dengan asam sulfat 2% dan suhu kalsinasi 600°C dengan daya adsorpsi 0,420 g air/g adsorben. Analisis terhadap zeolit dengan SEM menunjukkan adanya kristal oksida dalam zeolit dengan pola yang lebih tertata, serta rasio Si/Al=12,29/4,73≈4.

Kata kunci: adsorpsi; bioetanol; FG; prepares; zeolit

Pendahuluan

Cadangan minyak bumi terbukti (*proven reserves*) di Indonesia saat ini diperkirakan sebesar 9 miliar barel. Dengan tingkat produksi rata-rata sebesar 500 juta barel per tahun, maka jika tidak ditemukan cadangan baru, cadangan tersebut akan habis dalam waktu kurang lebih 18 tahun. Sedangkan untuk gas bumi, cadangannya masih cukup besar yakni 182 triliun kaki kubik, maka cadangan gas bumi masih tersisa selama kurang lebih 61 tahun. Demikian juga dengan batu bara, dari total perkiraan cadangan sebesar 57 miliar ton dengan tingkat produksi sebesar 130 juta ton per tahun, maka cadangan barubara diperkirakan akan habis selama kurang lebih 147 tahun (Yusgiantoro, 2005). Selain itu, kedua jenis bahan bakar di atas, produksi batu bara sebesar 144 juta ton per tahun, dan *net coal export* sebesar 112,8 juta ton per tahun (Susanto dkk., 2004). Menurut data Kementrian Energi dan Sumber Daya Meniral (ESDM) menyebutkan sepanjang tahun 2010, konsumsi premium 23 juta kilo liter atau 7 persen di atas kuota, solar 12,8 juta kilo liter atau 14 persen di atas kuota, dan minyak tanah 2,4 juta kilo liter atau 37 persen di bawah kuota karena terkonversi ke elpiji. Dari sumber yang sama hingga 16 Maret 2011, kebutuhan premium mencapai 66.937 kilo liter per hari atau melebihi kuota premium yang sebesar 63.536 kilo liter per hari, konsumsi solar sebesar 35.839 kilo liter per hari yang melebihi kuota seoar sebesar 35.849 kilo liter per hari. (Kementrian ESDM, 2011). Berdasarkan data di atas, kebutuhan akan bensin atau premium menduduki peringkat pertama terbesar dan kebutuhan tersebut akan terus meningkat. Berkenaan dengan menipisnya sumber energi fosil tersebut, untuk mengantisipasi kebutuhan akan energi pada masa mendatang yang makin lama makin meningkat tersebut, maka perlu dicari alternatif bahan bakar pengganti, misalnya biodiesel dan bioetanol. Penggunaan biodiesel dan bioetanol akan menghemat pemakaian solar/biodiesel dan bensin. Biodiesel yang sekarang ini dikembangkan dibuat dari minyak kelapa sawit kasar (*crude palm oil*), minyak jarak kasar (*crude jathropa oil*) atau minyak kelapa kasar (*crude coconut oil*). Pencampuran biodiesel sampai sekitar 15% dengan minyak solar akan membentuk biosolar. Bahan baku untuk memproduksi bioetanol antara lain: ubi kayu, ubi jalar, jagung, sagu, tetes dan tebu.

Produksi etanol Indonesia sebagian besar diserap oleh pasar domestik untuk industri kimia, industri farmasi, industri rokok kretek, industri kosmetika, industri tinta dan percetakan dan industri meubel serta sisanya diekspor. Etanol tersebut memiliki konsentrasi sekitar 95% v/v dan disebut etanol terhidrat. Bioetanol yang akan digunakan sebagai bahan bakar memiliki konsentrasi > 99,5% v/v dan ini disebut *fuel grade ethanol (FGE)* dan disebut etanol anhidrat. Pencampuran 5% FGE dengan 95% premium akan membentuk biopremium. Biopremium tersebut oleh Pertamina telah diproduksi dengan kode E-5. Menurut Rencana Strategis Bioethanol pada tahun 2009 ditargetkan penanaman 1,0 juta hektar untuk tebu dan singkong yang akan memproduksi energi 4,54 juta kiloliter. Biopremium tersebut terformulasi sebagai E-5 dan E-15 dan merupakan 2% dari kebutuhan energi mix (Prihandono, 2007).

Sampai saat ini baru beberapa didirikan pabrik yang memproduksi *FGE* antara lain: PT Molindo Raya Industrial (MRI), PT Rajawali Nusantara Indonesia (RNI) dan pilot plant BPPT. Kendala yang dihadapi dalam memproduksi *fuel grade ethanol (FGE)* adalah biaya investasi yang tinggi. Biaya investasi yang tinggi ini berkaitan dengan pemurnian bioetanol 92% menjadi *FGE* menggunakan distilasi azeotropis yang selain memerlukan biaya operasi tinggi karena memerlukan solven dan juga tidak ramah lingkungan. Dalam penelitian ini hendak diteliti pemurnian bioetanol 95% menjadi *FGE* menggunakan adsorpsi zeolit alam Malang tanpa bantuan solven sehingga biaya operasinya tentu lebih murah. Zeolit merupakan bahan tambang yang terdapat di berbagai daerah: Malang, Lampung, Jawa barat dan Mamasa – Majene, Sulawesi Barat. Potensi zeolit asal Mamasa-Majene, 43.457.600 ton (www.indonesia.go.id, diakses 10 Desember 2010). Sementara, untuk Malang potensi tambang zeolit berkisar dari 3,2 sampai 4,8 juta ton. Namun bahan tambang tersebut sampai kini belum dimanfaatkan secara maksimal (Kiswara, 2010). Dengan demikian apabila tambang zeolit tersebut dapat dimanfaatkan sebagai adsorben bisa digunakan sebagai adsorben alternatif untuk adsorben *zeolit* yang bukan saja adsorben impor, tetapi juga harganya relatif lebih mahal. Padahal di Kabupaten Malang ini masih terdapat sekitar 155.945 rumah tangga miskin yang perlu ditingkatkan kesejahteraannya. Dengan demikian pemanfaatan zeolit dapat menggiatkan kegiatan roda perekonomian khususnya di daerah Malang. Di samping itu adsorben yang dipreparasi bisa diimplementasikan pada industri rumah tangga pembuatan bioetanol/spiritus.

Pada proses pemurnian bioetanol menjadi *fuel grade ethanol (FGE)* yang selama ini dilaksanakan menggunakan adsorben molecular sieve (MS) yang masih diimpor, misalnya dari China. Potensi tambang di Indonesia khususnya Malang memiliki bahan tambang zeolit yang cukup banyak dan belum dimanfaatkan secara maksimal serta bisa dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti adsorben untuk keperluan tersebut. Oleh karena itu dalam penelitian ini hendak diteliti preparasi dan karakterisasi zeolit alam asal Malang sebagai adsorben untuk dehidrasi bioetanol. Preparasi zeolit dan uji daya adsorpsi dalam pemurnian bioetanol membentuk *fuel grade ethanol (FGE)* hendak dibahas dalam makalah ini.

Banyak produk seperti alumina, silica, dan *zeolit* dan zeolit dapat digunakan untuk mengadsorpsi air pada proses pengeringan yang biasanya dapat diregenerasi secara konvensional. Disamping itu juga aluminium oksida, silica gel, karbon aktif, dan montmorillonite. Mineral zeolit bukan merupakan mineral tunggal, melainkan sekelompok mineral yang terdiri dari beberapa jenis unsur. Secara umum mineral zeolit adalah senyawa alumino silikat hidrat dengan logam alkali tanah serta mempunyai rumus kimia sebagai berikut:



dengan M = misalnya, Na, K, Li, Ag, NH, H, Ca, Ba, ... dan seterusnya.

Ikatan ion Al-Si-O adalah pembentuk struktur kristal, sedangkan logam alkali adalah kation yang mudah bertukar (*exchangeable cation*). Jumlah molekul air menunjukkan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal zeolit tersebut dipanaskan. Sekarang ini lebih dari 40 zeolit alam maupun 150 tipe yang artificial telah digunakan dalam berbagai bidang berdasarkan publikasi International Zeolit Association. Pada struktur zeolit, semua atom Al dalam bentuk tertahedra sehingga atom Al akan bermuatan negatif karena berkoordinasi dengan 4 atom oksigen dan selalu dinetralkan oleh kation alkali atau alkali tanah untuk mencapai senyawa yang stabil. Lain halnya dengan batuan lempung (*clay materials*) dengan struktur lapisan, dimana sifat pertukaran ionnya disebabkan oleh 1) brokend bonds yaitu makin kecil partikel penyerapan makin besar, 2) gugus hidroksid yang mana atom hidrogen dapat digantikan dengan kation lain atau 3) substitusi isomorf Al pada tertrahedra Si menyebabkan ikatan Al-Si cukup kuat dan mengurangi swelling.

Zeolit adalah aluminosilikat kristal yang memiliki 3 dimensi yang menghubungkan jaringan silica dan alumina tetrahedral. Air hidrat diserap dari bahan ini dengan pemanasan untuk memproduksi cavitas seragam yang mengadsorpsi secara selektif molekul dengan ukuran spesifik. *Zeolit* dengan ukuran 4-8 mesh biasa digunakan untuk penyerapan fase gas, sementara ukuran 8-12 mesh digunakan untuk menyerap fase cairan. Bentuk bubuk dari tipe-tipe: 3A, 4A, 5A and 13X sangat cocok untuk penerapan-penerapan khusus. Oleh karena telah dikenal lama untuk kapasitas pengeringannya (bahkan sampai suhu 90°C), *zeolit* akhir-akhir ini diterapkan dalam sintesis organik, juga sering digunakan untuk isolasi produk yang diinginkan dari reaksi kondensasi. Zeolit sintesis ini ditunjukkan untuk

menyerap air, alkohol (termasuk metanol dan etanol) dan asam klorida dari sistem misalnya sintesis ketimine dan enamine, kondensasi ester dan konversi aldehida tidak jenuh menjadi polyenal.

Hasil penelitian terdahulu untuk proses dehidrasi air dalam bioetanol menggunakan adsorben *molecular sieve*, tepung singkong dan tepung gayong telah dilaksanakan oleh Siagian. Pada kondisi *breakthrough*, kapasitas serap rata-rata dari *molecular sieve*, tepung singkong dan tepung ganyong adalah 9,25, 2,46 dan 1,55 g H₂O/g adsorben (Siagian, 2006). Ivanova dkk. (2009) telah meneliti adsorpsi air dalam etanol menggunakan clinoptilolite alam dan dilaporkan bahwa clinoptilolite alam bisa menyerap air sampai 0,16 g air/g adsorben. Carmo dan Gubulin (1997) telah meneliti adsorpsi air dalam ethanol menggunakan zeolit 3A bentuk bola dan silinder pada berbagai suhu dan dilaporkan bahwa kurva kesetimbangan adsorpsi mengikuti persamaan Langmuir dengan kapasitas adsorpsi mencapai 0,190 – 0,241 g air/g adsorben. Sementara itu, Sun dkk., (2007) telah meneliti adsorpsi air dalam etanol menggunakan adsorben biomaterial.

Metode Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan:

- Bioetanol 95% produksi Malindo Raya Industrial (MRI) Lawang Jawa Timur;
- Zeolit alam produksi CV. Halimun Jaya, Jl. Halimun No. 4, Malang;
- Etanol absolut dan asam sulfat GR produksi Merck;
- Kertas pH.

Alat-alat yang digunakan:

- Beaker gelas;
- Neraca analitis Mettler Taledo;
- Corong buchner diameter 9 cm dan pompa vaccum;
- Pignometer 5 ml dan dan GC Shimadzu;
- Kertas saring Whatman 42;
- Alat uji SEM-EDAX.

Prosedur preparasi adsorben zeolit alam Malang

- Diayak serbuk zeolit alam Malang dengan menggunakan ayakan *sieve shaker* untuk memperoleh serbuk zeolit berukuran -80+100 mesh;
- Zeolit alam Malang diaktivasi dengan perbandingan 1 gram zeolit dengan 10 ml larutan asam sulfat dengan konsentrasi berkisar 1-5% dalam *beaker glass* yang diaduk selama 3 jam pada suhu kamar;
- Dipisahkan zeolit alam Malang dari asam sulfat dengan menggunakan corong *buchner* dan selanjutnya dicuci dengan akuades;
- Dikalsinasi zeolit alam Malang yang sudah dipisahkan dengan corong buchner dengan menggunakan *furnace* Thermoline pada suhu berkisar 200–700°C selama 3 jam. Zeolit alam yang sudah dikalsinasi telah siap untuk mengadsorpsi air dalam bioetanol.
- Karakterisasi zeolit alam Malang dengan SEM, XRD dan EDAX.

Prosedur penentuan daya adsorpsi zeolit

- Ditimbang 1 gram zeolit alam hasil kalsinasi dengan menggunakan neraca analitis Mettler Toledo;
- Diambil dengan perbandingan 1:10 antara zeolit dengan bioetanol;
- Dicampurkan zeolit dengan bioetanol ke dalam *beaker glass*;
- Dibiarkan selama 3 jam agar transfer massa air dari bioetanol ke seluruh permukaan zeolit berakhir dan mencapai kesetimbangan;
- Dipisahkan zeolit dari larutan bioetanol. Kemudian larutan bioetanol ditentukan konsentrasinya (C^*) dengan menggunakan pignometer 5 ml untuk menentukan densitas dan konsentrasi air dalam bioetanol. Untuk memvalidasi konsentrasi tersebut juga digunakan instrumen GC Shimadzu sebagai cek atau pembandingan;
- Ditentukan juga daya adsorpsi ditentukan dengan cara gravimetri menggunakan oven OHAUS pada suhu 110°C. Daya adsorpsi dinyatakan dalam g air/g adsorben zeolit (X).

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Zeolit alam Malang

Dari survey yang telah dilakukan terdapat beberapa penyuplai zeolit alam Malang yaitu CV. Berkat Arta Jaya, Jl. Taman Raden Intan Kav. 608, Malang; CV. Prima Niaga Lestari, Perumahan Joyo Grand Blog GG No.3, Malang; CV. Pancuran Mas, Jln. Pulosari No. 9 Malang, dan CV. Halimun Jaya, Jl. Halimun No. 4, Malang. Zeolit alam Malang ditambang dalam bentuk batuan/lempengan, kemudian batuan zeolit tersebut diperkecil ukurannya menggunakan pengecel ukuran *crusher* menjadi serpihan-serpihan kecil, dan selanjutnya di dihancurkan

menggunakan *ball mill* membentuk serbuk/*powder*. Untuk kepentingan penelitian dengan mempertimbangkan kualitas dari zeolite alam tersebut penulis membeli zeolit dari CV. Halimun Jaya, dalam bentuk serbuk/bubuk yang lolos ayakan -80+100 mesh. Gambar zeolit dalam keadaan bubuk berwarna hijau kotor dan zeolit yang sudah dipreparasi berwarna coklat disajikan pada Gambar 1 sebagai berikut.



a. Zeolit sebelum preparasi (awal)



b. Zeolit setelah preparasi

Gambar 1. Zeolit alam asal Malang

Preparasi zeolit alam Malang

Zeolit alam Malang yang dibeli dari CV. Halimun Jaya selanjutnya dipreparasi menurut prosedur preparasi sebagaimana diuraikan dalam metode penelitian. Hasil preparasi yang memberikan kinerja adsorben yang relatif baik selanjutnya dianalisis komposisi kimiawinya dengan alat SEM, XRD dan EDAX yang dimiliki oleh Laboratorium Divisi Karakterisasi Material, Jurusan Material dan Metalurgi, FTI-ITS, Surabaya.

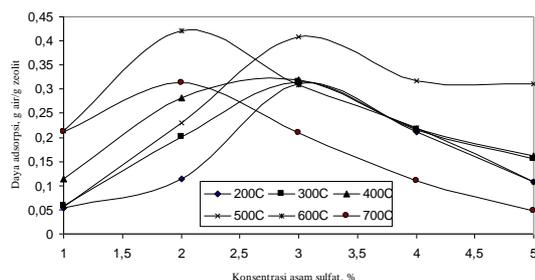
Dalam penelitian ini dilakukan preparasi dan karakterisasi zeolit alam asal Malang untuk dimanfaatkan sebagai adsorben pada pemurnian bioetanol agar diperoleh *Fuel Grade Ethanol (FGE)*. Zeolit alam dengan ukuran pori 3A dapat berperan sebagai adsorben guna mengadsorpsi air dalam larutan bioetanol karena ukuran molekul air kurang daripada 3A, sedangkan ukuran molekul etanol lebih daripada 3A, sehingga molekul air dapat masuk ke dalam pori zeolit dan teradsorpsi di permukaan pori. Untuk dapat berperan sebagai adsorben, zeolit alam Malang perlu dipreparasi terlebih dahulu agar zeolit memiliki daya adsorpsi. Preparasi atau modifikasi zeolit alam Malang dilakukan secara kimiawi menggunakan asam sulfat encer dan secara fisika dengan kalsinasi. Proses diawali dengan perendaman bubuk zeolit dalam larutan asam sulfat encer (berkisar 1-5%) selama waktu 3 jam. Penggunaan konsentrasi asam yang lebih besar daripada 5% akan menyakibatkan dialumisasi sehingga rasio mol Si/Al menjadi meningkat. Kemudian zeolit disaring dengan corong *buchner* untuk memisahkan zeolit dengan asam sulfat tersisa dan garam-garam sulfat terlarut. Kemudian zeolit dikalsinasi dalam *furnace* dengan suhu 200-700°C, untuk mengusir air lepas dan air kristal dalam pori-pori adsorben dan juga mengubah garam-garam sulfat yang berupa padatan di dalam zeolit menjadi oksida-oksida logam. Kalsinasi di bawah 200°C belum bisa melepas molekul-molekul kristal air, sedangkan suhu kalsinasi di atas 700°C mengakibatkan adsorben rusak dari bentuk kristal menjadi hablur.

Proses pengujian daya adsorpsi dilakukan dengan merendam zeolit alam yang sudah dipreparasi atau dimodifikasi di dalam larutan bioetanol dengan konsentrasi 95% ke atas dengan perbandingan sebesar 1 gram zeolit alam : 10 ml larutan bioetanol dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu kamar tanpa pemanasan. Perbandingan ini diambil berdasarkan percobaan pendahuluan. Pemanasan justru akan menguapkan etanol dari larutan bioetanol, sehingga adsorpsi tidak berlangsung sebagaimana yang diharapkan.

Analisis kandungan air dalam bioetanol dilaksanakan menggunakan data pengukuran densitas dan kromatogram GC untuk mengetahui lebih tepat konsentrasi bioetanol yang diperoleh.

Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat dan suhu kalsinasi terhadap daya adsorpsi

Pengaruh konsentrasi asam sulfat dan suhu terhadap daya adsorpsi disajikan pada Gambar 2 di bawah ini.



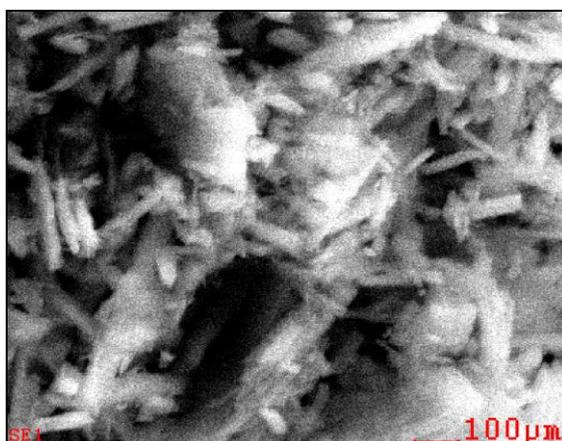
Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat dan Suhu Kalsinasi terhadap Daya Adsorpsi Zeolit

Pada Gambar 2 terlihat bahwa pola kurva-kurvanya memiliki puncak-puncak dengan puncak tertinggi pada kadar asam sulfat 2%, dan dialami pada suhu kalsinasi 600°C. Didasarkan pada kadar asam sulfat yang lebih tinggi akan mengakibatkan proses dialumasi. Pada Gambar 2 ditunjukkan kenaikan daya adsorpsi pada setiap kenaikan konsentrasi H₂SO₄ karena H₂SO₄ menghilangkan pengotor-pengotor yang ada di permukaan zeolit, sehingga luas permukaan adsorpsi meningkat sehingga air lebih mudah teradsorpsi ke dalam pori-pori zeolit. Namun daya adsorpsi mengalami penurunan mendekati konsentrasi H₂SO₄ 5% dan selebihnya, hal ini disebabkan zeolit akan mengalami dealuminasi ketika konsentrasi H₂SO₄ lebih besar daripada 5%. Dealuminasi terjadi karena bahan oksida Al₂O₃ bereaksi dengan H₂SO₄ membentuk Al₂SO₄. Hal ini juga menyebabkan pola kristal dalam zeolit menjadi rusak.

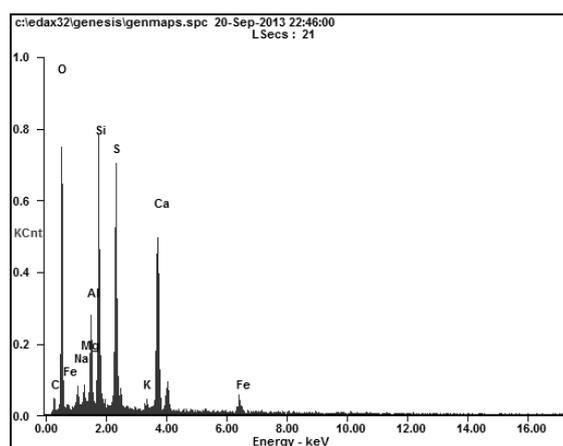
Pada suhu 400°C konsentrasi H₂SO₄ lebih besar daripada 2% dan suhu yang lebih besar daripada 600°C yaitu pada suhu 700°C, maka adsorben zeolit akan mengalami kerusakan membentuk hablur. Daya adsorpsi tertinggi dicapai pada zeolit yang dipreparasi dengan asam sulfat 2% dan suhu kalsinasi 600°C dengan daya adsorpsi 0,420 g air/g adsorben. Larutan bioetanol yang sudah diadsorpsi airnya memiliki konsentrasi etanol 99,6% yang sudah bisa diklasifikasikan ke dalam *FGE*.

Hasil analisis SEM, EDAX dan XRD

Hasil analisis SEM, dan XRD terhadap zeolit dengan daya adsorpsi tertinggi disajikan pada dengan perbesaran 10.000 kali disajikan pada Gambar 3, dan 4.



Gambar 3. Data analisis SEM Adsorben Dengan Preparasi Kadar Asam Sulfat 2% dan 600°C



Gambar 4. Data analisis XRD Adsorben Dengan Preparasi Kadar Asam Sulfat 2% dan 600°C

Pada Gambar 3 terlihat adanya pola kristal yang tegas pada zeolit yang memungkinkan zeolit memiliki luar permukaan per satuan massa yang besar. Sedangkan pada Gambar 4 terlihat adanya unsur-unsur logam dalam zeolit dengan puncak-puncak yang tegas. Sementara itu hasil hasil uji dengan zeolit yang sama menggunakan alat EDAX dapat diketahui komposisi unsur-unsur logam dalam zeolit sebagai berikut: Na=1,5%, Mg=1,41%, Al=4,73%,

K=0,58%, Ca=11,40%, Fe=1,67% dan Si=12,29%. Rasio Si/Al=12,29/4,73≈4. Zeolit yang digunakan sebagai adsorben air memiliki nilai rasio Si/Al sekitar 4.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Zeolit alam Malang yang diaktivasi dengan larutan asam sulfat 2% dan dikalsinasi pada suhu 600⁰C bisa digunakan sebagai adsorben dan memiliki daya adsorpsi tertinggi yaitu 0,420 g air/g zeolit;
2. Zeolit alam Malang yang dipreparasi mengandung logam-logam: Na=1,5%, Mg=1,41%, Al=4,73%, K=0,58%, Ca=11,40%, Fe=1,67% dan Si=12,29%. Rasio Si/Al=12,29/4,73≈4. Logam-logam tersebut berada dalam bentuk oksida logam.
3. Larutan bioetanol yang sudah diadsorpsi airnya memiliki konsentrasi etanol 99,6% yang sudah bisa diklasifikasikan ke dalam FGE.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada DP2M, Dikti, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah mendanai Hibah Penelitian Fundamental tahun anggaran 2013.

Daftar Pustaka

- Anonim, (2010), "*Potensi Zeolit di Berbagai Daerah di Indonesia*", www.indonesia.go.id, diakses 10 Desember 2010
- BSN, (2006), "*Bioetanol Terdenaturasi untuk Gasohol*" SNI DT 27-0001, <http://www.sisni.bsn.go.id>, Diakses 20 Januari 2012.
- Boudreau, T.M. and Gordon A. Hill, G.A., (2005), "*Improved ethanol-water Separation using fatty acids*", pp. 1-10, Elsevier Ltd., Amsterdam
- Carmo, M.J., and Gubulin, J.C., (1997), "Ethanol – Water Adsorption on Commercial 3A Zeolit: Kinetic and Thermodynamic Data", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 14 (3).
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, (2006), "*Rencana Strategis Bioetanol Sampai dengan Tahun 2005*", Departemen ESDM RI, Jakarta
- Dias, M.O.S., Mateus, F.A.D., Filho, R.M., Maciel, M.R.W., Carlos E.V., Rossell, C.O.V., (2008), "Anhydrous Bioethanol for Fuels and Chemicals – Evaluations of Alternative Distillations and Solvents", *18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE 18*, Elsevier Ltd., Amsterdam, pp. 1-6
- Geankoplis, C.J., (2003), "*Transport Processes and Separation Process Principles*", Prentice Hall International, New Jersey, 4 ed., pp.125-135, pp. 760-770
- Ivanova, E.I., Damgaliev, D., Konstovo, M., (2009), "Adsorption Separation of Ethanol-Water Liquid Mixtures By Natural Clinoptilolite", *Jurnal of The University of Chemical Technology and Metallurgy, Bulgaria*, Vol. 44, No. 3, pp. 267-274
- Kementerian ESDM, (2011), *Konsumsi Bahan Bakar di Indonesia Sampai Maret 2011*, Kementerian ESDM RI, Jakarta
- Madson, P.W. and Monceaux, D.A., (2003), "*Fuel ethanol production*", KATZEN International, Inc., Cincinnati, pp.1-11
- Kiswara, B.Y., (2010), "*Zeolit, Harta Karun Terpendam di Malang Selatan*" <http://beritajatim.com>, diakses 14 April 2010
- Prihandono, R., Noerwijan, K., Adinurani, P.G., Setyaningsih, D., Setiadi, S. dan Hendroko, R., (2007), "*Bioetanol Ubi Kayu: Bahan Bakar Masa Depan*", Agro Media, Jakarta, pp. 25-66
- Siagian, T., (2006), "*Pengeringan Etanol Azeotropik Dengan Metode Adsorpsi*", hlm.1-20, Tesis Magister Teknik Kimia ITB, Bandung, pp. 25-66
- Sun, N., Okoye, C., Niu, H.C., Wang, H., (2007), "Adsorption of Water and Ethanol By Biomaterial", *International Journal of Green Energy*, Vol. 4 (6), pp. 623-634,
- Susanto, Suwarna, N., dan Panggabean, H.,(2004), "Potensi Energi Fossil Fuel dan Energi Alternatif Pngganti di Indonesia", *Mineral dan Energi*, Vol. 2 (4), pp. 22-30
- Tim Nasional Pengembangan Bahan Bakar Nabati, (2006), "*Blue Print Pengembangan Bahan Bakar Nabati untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran 2006-2025*", Timnas Pengembangan BBN, Jakarta
- Yusgiantoro, P., (2005), "*Kebijakan Energi Nasional*", Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, Jakarta