



Kajian Proses Pemurnian Etanol-Air dengan Metode Dehidrasi Cair dan Uap Menggunakan Zeolit Alam Modifikasi

Ronny Kurniawan*, S.Juhanda, Salafudin, Reski Purwanda, Nurkhatimah Utami

Program Studi Teknik Kimia, FTI, Itenas Bandung, Jl. PHH. Mustafa No 23 Bandung

*E-mail: ron_itenas@yahoo.com

Abstract

One of the problem that occur in this time related about ethanol substitution for gasoline is hard to get ethanol in high purity (fuel grade ethanol) or ethanol with more than 99.5 % (v/v) in concentration. Dehydration process to get high purity of ethanol that doing today needs more development. One of the method is using the Modification Natural Zeolite (ZAM) so that the general objective of this research that is for improve purity of ethanol by dehydration using Modification Natural Zeolite (ZAM) and the specific objective is to determine the best condition on the activation process of zeolite based on the activation type and size of the zeolite (mesh 4/8 and mesh 16/18) in terms of the specific surface area and iodine. And to determine the best conditions of ethanol dehydration process based on concentration of mixture feed (85%(v/v), 90%(v/v), and 95%(v/v)), processing time of dehydration (1 hour, 1,5 hour, and 2 hour) and the type of contact between ethanol-water mixture and zeolite (vapor adsorption and liquid adsorption) in terms of the concentration of ethanol produced. Result of the research that has been done is use natural zeolite modification with combined activation methods of physics and chemistry, the high concentration of ethanol produced is 99.7% when the processing time is 1 hour and the concentration of ethanol feed is 95% (v/v) on the method of dehydration of ethanol-water mixture steam.

Keyword : Ethanol, Dehydration, Zeolite

Pendahuluan

Sumber energi bagi suatu negara sangat penting untuk mendukung perkembangan industri. Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang menghadapi persoalan energi yang serius akibat ketergantungan yang sangat besar terhadap bahan bakar fosil. Kenyataan bahwa cadangan minyak bumi yang semakin menipis maka perlu dilakukan upaya untuk memecahkan permasalahan ketergantungan terhadap bahan bakar dalam pemenuhan kebutuhan energi. Semakin tingginya harga minyak bumi dan dalam rangka mengurangi ketergantungan yang sangat besar terhadap bahan bakar minyak (BBM) maka pemerintah telah menerbitkan Perpres No. 5 tahun 2006 tentang pengembangan sumber energi alternatif terbarukan dari biomasa (*biofuel*) yang salah satunya adalah bioetanol sebagai pensubstitusi BBM jenis bensin. Etanol yang digunakan untuk pencampuran bahan bakar bensin kemurniannya harus lebih dari 99,5%, namun hal ini masih menjadi kendala terutama pada proses pemurnian dan biaya proses pemurniannya. Etanol dihasilkan melalui proses fermentasi karbohidrat yang dilanjutkan dengan pemurnian melalui proses distilasi. Proses distilasi hanya dapat menghasilkan etanol dengan kemurnian sekitar 95% sedangkan bila akan digunakan sebagai pensubstitusi bahan bakar (*biofuel*) perlu dimurnikan lagi hingga mencapai 99,5% yang lazim disebut *fuel grade ethanol* (FGE).

Proses pemurnian etanol menjadi *fuel grade ethanol* biasanya membutuhkan biaya yang besar. Oleh karena itu dibutuhkan suatu alternatif metode pemurnian etanol dengan biaya yang lebih murah. Salah satu metode yang tidak membutuhkan biaya yang besar adalah dengan melalui proses dehidrasi. Dehidrasi adalah salah satu jenis reaksi eliminasi yaitu pengurangan molekul air dari suatu senyawa alkohol yang menghasilkan suatu alkena. Proses dehidrasi dibagi menjadi 2 yaitu dehidrasi secara fisika dan kimia. Dehidrasi secara kimia menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau kapur tohor sedangkan dehidrasi secara fisika salah satunya menggunakan zeolit. Zeolit merupakan batuan yang mudah dijumpai dan harganya relatif terjangkau sehingga untuk memurnikan etanol dengan menggunakan dehidrasi dengan zeolit membutuhkan biaya yang tidak terlalu besar, namun untuk memaksimalkan kinerja dari zeolit tersebut dibutuhkan aktivasi terlebih dahulu.

Zeolit telah lama menjadi pusat perhatian sebagai adsorben yang baik karena sifat fisika dan kimia dari zeolit yang unik sehingga dalam dasawarsa ini, zeolit oleh para peneliti dijadikan sebagai mineral serba guna. Sifat-sifat unik tersebut meliputi dehidrasi, adsorben dan penyaring molekul, katalisator dan penukar ion (Anggraini, 2013).



Berbeda dengan zeolit sintesis yang strukturnya dapat diprediksi dari senyawa penyusunnya, zeolit alam mempunyai struktur yang tidak selalu sama, tergantung pada kondisi pembentuknya di alam.

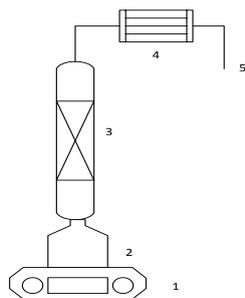
Proses aktivasi diperlukan untuk meningkatkan sifat khusus zeolit sebagai adsorben dan menghilangkan pengotor. Pemilihan zeolit sebagai bahan penyerap pada proses dehidrasi etanol didasarkan pada beberapa pertimbangan antara lain: ketersediaan zeolit alam Indonesia yang melimpah, harga zeolit alam yang murah, tidak memerlukan input energi yang tinggi, dan tidak akan menyebabkan kontaminasi terhadap etanol yang dihasilkan setelah proses dehidrasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan etanol dengan kemurnian yang tinggi yang dapat digunakan untuk keperluan substitusi bahan bakar minyak.

Tujuan umum penelitian ini adalah meningkatkan kemurnian etanol dengan metode dehidrasi menggunakan zeolit alam modifikasi dan tujuan khususnya adalah menentukan kondisi terbaik pada proses aktivasi zeolit berdasarkan jenis aktivasi dan ukuran zeolit ditinjau dari ukuran pori dan bilangan iodin serta menentukan kondisi terbaik proses dehidrasi berdasarkan kadar etanol umpan, waktu kontak dan jenis kontak antara campuran etanol-air dan zeolit ditinjau dari konsentrasi etanol yang dihasilkan.

Pada penelitian ini akan dilakukan proses pemurnian atau pemisahan etanol-air dengan menggunakan proses dehidrasi menggunakan zeolit. Zeolit yang digunakan merupakan zeolit alam yang berasal dari Sukabumi yang akan diaktivasi sebelumnya. Proses dehidrasi etanol menggunakan zeolit alam modifikasi ini dilakukan pada sebuah kolom dengan cara melewatkan campuran etanol-air ke dalam kolom berisi hamparan (*bed*) zeolit dan dengan cara memasukkan etanol ke dalam wadah berisi zeolit untuk kemudian di aduk. Variabel yang digunakan untuk aktivasi zeolit adalah jenis aktivasi yaitu secara fisika, secara kimia, secara fisika dan kimia serta ukuran zeolit yaitu mesh 4/8 dan mesh 16/18. Pada proses dehidrasi etanol, variabel yang digunakan adalah etanol umpan yang akan dimurnikan dengan kadar 85%(v/v), 90%(v/v), dan 95%(v/v), waktu kontak campuran etanol-air dan zeolit yaitu 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam serta jenis kontak antara campuran etanol-air dan zeolit yaitu dengan cara pengadukan dan dehidrasi uap campuran. Hasil yang diharapkan bisa diperoleh kondisi terbaik yang menghasilkan konsentrasi etanol hasil pemurnian tertinggi mencapai *fuel grade ethanol*.

Metodologi

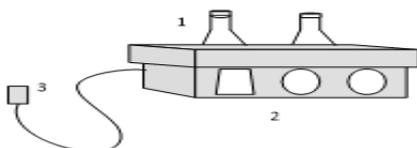
Peralatan Penelitian



Gambar 1. Skema dan foto alat proses dehidrasi etanol-air dalam fasa uap

Keterangan gambar:

1. Heater
2. Labu bundar (etanol-air umpan)
3. Kolom berisi hamparan zeolit alam modifikasi
4. Kondensor
5. Distilat



Gambar 2. Skema dan foto alat proses dehidrasi etanol-air dengan pengadukan dalam fasa cair

Keterangan gambar:

1. Erlenmeyer (etanol-air + zeolite alam modifikasi)
2. Shaker
3. Tombol on/off shaker

Prosedur Kerja

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu:

1. Tahap aktivasi zeolit alam secara fisik, kimia, dan fisik-kimia
2. Tahap dehidrasi etanol air dalam fasa cair dan uap

Analisis

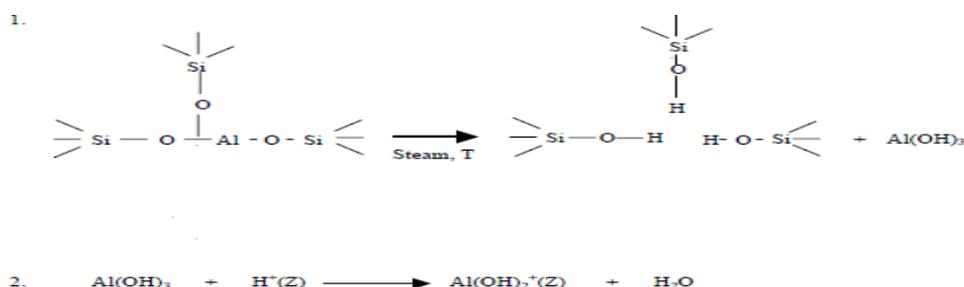
Analisis yang dilakukan adalah analisis bilangan iodin dan luas permukaan sfesifik dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk zeolit alam dan zeolit alam modifikasi (hasil aktivasi) serta analisis refraktometri untuk konsentrasi etanol hasil dehidrasi.

Hasil dan Pembahasan

Aktivasi Zeolit

Zeolit alam yang digunakan berasal dari daerah Sukabumi Jawa Barat, kemudian diperkecil ukurannya sesuai dengan variasi yang digunakan yaitu mesh 4/8 dan mesh 16/18. Setelah diperkecil kemudian zeolit alam dicuci untuk kemudian di aktivasi. Zeolit alam diaktivasi menggunakan metode aktivasi kimia dengan larutan NaOH, aktivasi fisika dengan metode pemanasan pada suhu 400°C, dan gabungan aktivasi fisika dan kimia. Zeolit alam yang telah diaktivasi dinamakan Zeolit Alam Modifikasi (ZAM).

Peningkatan temperatur pada waktu aktivasi akan meningkatkan daya adsorpsi uap air oleh zeolit karena meningkatnya sifat – sifat khusus dari zeolit alam modifikasi dengan cara menghilangkan unsur pengotor seperti K, Ca, Na, Mg dan Fe serta kadar air yang masih terdapat dalam pori zeolit (Swantomo, dkk., 2009). *Steam* yang digunakan merubah komposisi dari aluminium tetrahedral yang terdapat dalam zeolit menjadi bentuk nontetrahedral dengan tidak menghilangkan kandungan Al dalam zeolit. Mekanisme reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

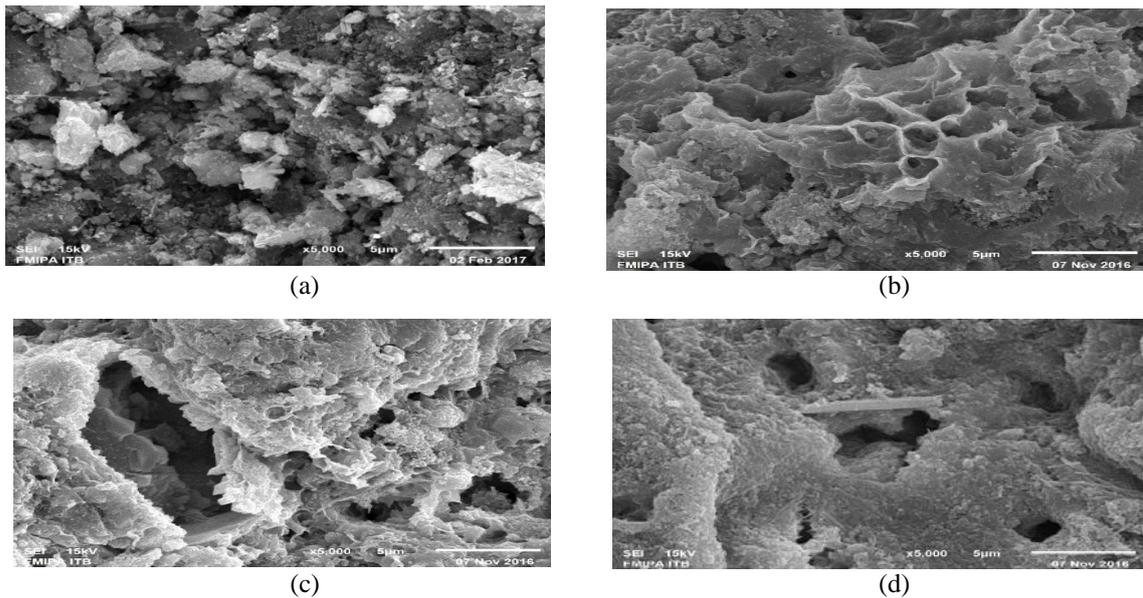


Pada suhu di atas 400 °C lebih banyak *steam* yang dilepas oleh zeolit sehingga menjadi lebih aktif untuk merubah struktur zeolit menjadi lebih aktif sehingga kemampuan penyerapan zeolit menjadi lebih baik (Buchori dan Budiyono, 2003). Akibat dari meluruhnya zeolit maka terjadi penggantian ion aluminium yang bervalensi 4 dan ion silika yang bervalensi 3 sehingga ion tersebut memerlukan logam alkali atau alkali tanah seperti K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, dan sebagainya agar muatan listriknya stabil. Hal inilah yang menyebabkan pengotor zeolit berupa logam alkali atau alkali tanah dapat berkurang dengan metode pemanasan.

Pada aktivasi kimia dilakukan penambahan basa yaitu larutan NaOH dengan konsentrasi 0.5 N. Penambahan pereaksi ini bertujuan untuk membersihkan logam yang menempel pada pori zeolit selain itu penambahan basa juga berfungsi untuk melarutkan silika yang menyebabkan perubahan struktur zeolit serta berkurangnya silika dalam kerangka zeolit dapat menurunkan rasio Si/Al. Rasio Si/Al yang kecil menyebabkan bertambahnya keaktifan dari pori zeolit untuk menyerap suatu komponen. Analisis zeolit hasil aktivasi dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Hasil analisis zeolit alam modifikasi

Jenis Aktivasi	Ukuran (mesh)	Bilangan Iod	Diameter Pori (Å)
Fisika	4/8	494,242	3,604
	16/18	520,957	
Kimia	4/8	547,673	2,968
	16/18	534,315	
Fisika & Kimia	4/8	547,673	3,18
	16/18	561,031	

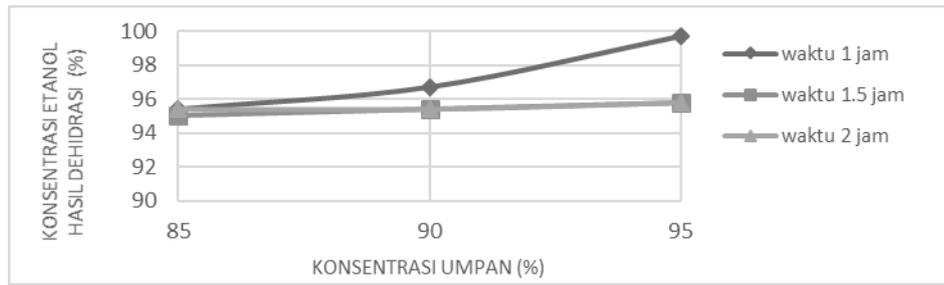


Gambar 3. Foto hasil analisis SEM zeolit alam (a) Sebelum aktivasi (b) Setelah aktivasi fisik (c) Setelah aktivasi kimia (d) Setelah aktivasi fisik dan kimia

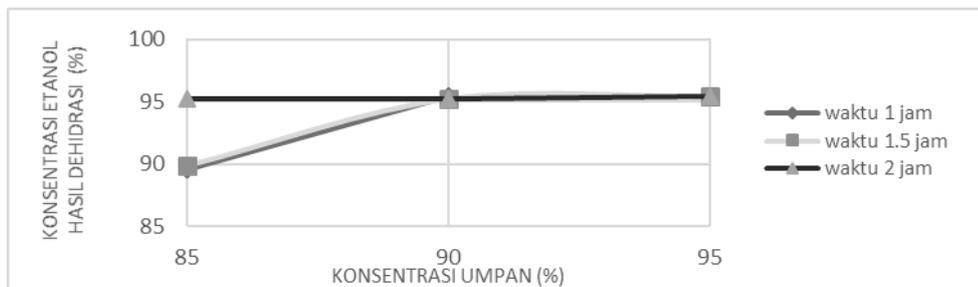
Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa keadaan hasil uji untuk zeolit alam sebelum diaktivasi tidak memiliki pori yang terlihat jelas karena masih terdapatnya zat pengotor seperti alkali tanah pada permukaan zeolit alam maka dari itu perlu dilakukannya aktivasi pada zeolit alam untuk memunculkan pori dan menambah sisi aktif dari zeolit alam. Namun hal berbeda ditunjukkan oleh zeolit alam hasil aktivasi, ukuran pori dari zeolit yang terbesar dapat ditunjukkan pada aktivasi fisika, hal ini disebabkan tidak ada kandungan air di dalam pori zeolit namun rasio Si/Al masih tinggi dikarenakan tidak ada penambahan NaOH. Untuk ukuran pori yang terkecil ditunjukkan pada aktivasi kimia, hal ini disebabkan menurunnya rasio Si/Al namun disamping itu kecilnya ukuran pori zeolit disebabkan oleh masih adanya kandungan air dalam pori zeolit karena tidak dilakukannya pemanasan pada suhu tinggi. Pada zeolit dengan aktivasi gabungan antara fisika dan kimia terlihat bahwa ukuran porinya berada diantara aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Hal ini menandakan bahwa tidak adanya kandungan air didalam pori zeolit dan telah menurunnya rasio Si/Al pada zeolit. Pada metode dehidrasi, luas permukaan pori zeolit berpengaruh pada kemampuan adsorpsi zeolit terhadap molekul – molekul air yang terkandung dalam campuran etanol – air. Semakin besar luas permukaan maka akan semakin besar kemampuannya untuk berinteraksi dan berikatan dengan molekul air. Molekul etanol dengan ukuran diameter pori $4,4 \text{ \AA}$ akan sulit masuk ke dalam pori zeolit dengan ukuran 3 \AA namun molekul air dengan ukuran $2,8 \text{ \AA}$ dapat masuk dengan baik ke dalam pori zeolit. Pada dehidrasi etanol, diharapkan bahwa pori zeolit yang terbaik adalah yang memiliki ukuran pori yang paling kecil yang tentunya disesuaikan dengan ukuran molekul air dan bioetanol yang dipisahkan (Khaidir, 2012).

Nilai bilangan iod pada mesh 4/8 cenderung lebih kecil dibandingkan nilai iod pada ukuran 16/18 hal ini dikarenakan pada ukuran yang lebih kecil terdapat pori yang lebih banyak sehingga iod yang dijerap oleh zeolit lebih banyak. Namun, pada aktivasi kimia bilangan iod pada ukuran 4/8 lebih besar dari bilangan iod ukuran 16/18 hal ini dapat disebabkan masih adanya kadar air yang terdapat pada pori zeolit karena pada aktivasi kimia tidak dilakukan pemanasan pada temperatur 400°C . Bilangan iod pada zeolit dengan aktivasi fisika cenderung lebih kecil dibandingkan dengan bilangan iod pada zeolit dengan aktivasi kimia. Hal ini disebabkan pada aktivasi kimia dilakukan penambahan NaOH yang menyebabkan menurunnya rasio Si/Al dimana apabila rasio Si/Al semakin kecil maka pori zeolit lebih aktif dalam menyerap iod. Pada aktivasi gabungan antara fisika dan kimia nilai bilangan iodnya cenderung lebih besar dibandingkan dengan nilai bilangan iod pada aktivasi fisika maupun aktivasi kimia. Hal ini menandakan bahwa telah berkurangnya rasio antara Si/Al juga tidak adanya air yang terkandung dalam pori zeolit.

Pengaruh Konsentrasi Umpam Terhadap Konsentrasi Etanol yang Dihasilkan di Berbagai Waktu Proses pada Ukuran Zeolit Mesh 4/8 dan Mesh 16/18 dengan Metode Dehidrasi Cair dan Metode Dehidrasi Uap

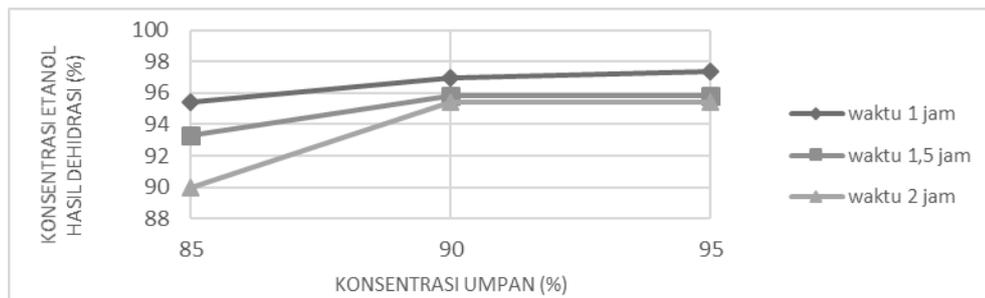


(a)

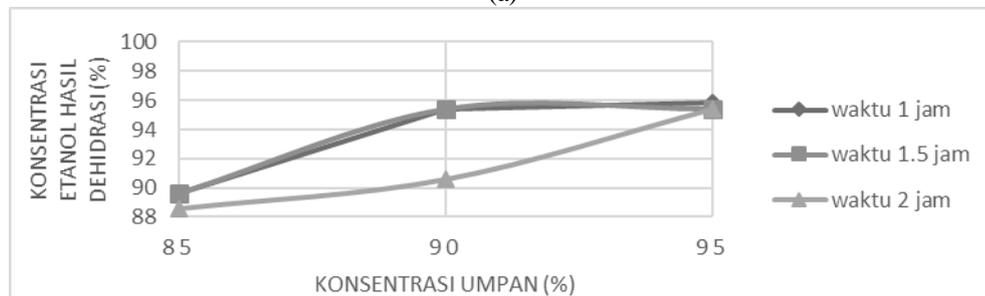


(b)

Gambar 4. Grafik pengaruh konsentrasi umpam terhadap konsentrasi etanol hasil dehidrasi di berbagai waktu proses pada ukuran zeolit 4/8 dengan (a) Metode dehidrasi uap (b) Metode dehidrasi cair



(a)



(b)

Gambar 5. Grafik pengaruh konsentrasi umpam terhadap konsentrasi etanol hasil dehidrasi di berbagai waktu proses pada ukuran zeolit 16/18 dengan (a) Metode dehidrasi uap (b) Metode dehidrasi cair

Pada Gambar 4 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa kondisi terbaik ditunjukkan pada konsentrasi umpam 95% dan pada saat waktu kontaknya 1 jam. Hal ini dapat disebabkan pada waktu kontak yang tidak terlalu lama meminimalisir terjerapnya etanol ke dalam pori zeolit karena waktu yang lebih lama akan memperbesar perpindahan massa etanol ke dalam adsorben atau zeolit (putra dkk, 2010) selain itu, kadar etanol yang tinggi mempermudah zeolit untuk menyerap air dan juga meminimalisir etanol yang ikut terjerap ke dalam pori zeolit. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 dengan konsentrasi awal 85% dan dilakukan pada waktu 1 jam konsentrasi etanol yang didapatkan hanya



94,9% yang berarti konsentrasi tersebut lebih rendah dibandingkan pada saat konsentrasi awal 90% dan 95%. Hal ini disebabkan kapasitas zeolit yang telah mencapai tingkat maksimum yang berarti zeolit tidak dapat lagi menyerap air dengan baik.

Waktu yang digunakan untuk proses pemisahan etanol-air yaitu 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam untuk proses pemisahan menggunakan dehidrasi uap maupun cair. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 terlihat bahwa pada waktu 1 jam konsentrasi etanol yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan waktu proses 1,5 jam dan 2 jam hal ini dapat disebabkan zeolit yang digunakan memiliki pori yang tidak seragam sehingga menyebabkan adanya etanol yang ikut terjepit di pori zeolit dan semakin lama waktu dehidrasi maka akan semakin banyak etanol yang ikut terjepit (Silvia dan Darmawan, 2008). Pada dehidrasi cair dapat dilihat dimana konsentrasi etanol ketika waktu kontak 1,5 jam dan 2 jam memiliki kecenderungan yang sama, hal ini dapat disebabkan semakin lama waktu maka logam-logam yang terkandung pada pori zeolit yang menyebabkan penutupan pori akan larut sehingga pori akan terbuka dan luas permukaan akan menjadi lebih besar (Widayat, dkk., 2010) hal ini menyebabkan etanol dapat ikut terjepit didalam pori zeolit. Hal itu dapat juga disebabkan zeolit mampu menyerap air secara maksimum pada kondisi air normal karena pada proses dehidrasi ini air yang dijerap terdapat dalam bentuk azeotrop dengan etanol sehingga memungkinkan etanol juga terjepit di pori zeolit hal ini ditunjukkan dengan pengurangan volume etanol setelah proses dehidrasi uap (Khaidir, dkk., 2009).

Pada Gambar 4. Dehidrasi cair untuk ukuran mesh 16/18 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu proses maka konsentrasi etanol hasil dehidrasi cenderung menurun hal ini disebabkan bahan yang terjepit dalam pori-pori zeolit masih bercampur antara etanol dengan air dalam fase cair. Pada prinsipnya proses adsorpsi melalui cara perendaman adalah pengikatan air secara fisika. Metode pemisahan yang lebih baik terhadap campuran etanol-air dapat dilakukan dalam fase uap dengan kondisi yang terkontrol dengan baik sehingga fungsi zeolit sebagai material *molecular sieve* akan lebih optimal. (Khaidir, 2012). Sama halnya untuk metode dehidrasi uap pada ukuran zeolit mesh 16/18 juga menunjukkan penurunan untuk waktu 1 jam, 1,5 jam maupun 2 jam. Hal ini dapat juga disebabkan pengaruh ukuran zeolit yang digunakan. Semakin kecil ukuran partikel *adsorbent* dengan massa yang sama maka akan semakin luas permukaan *adsorbent* tersebut karena semakin banyak luas permukaan maka kontak etanol dengan *adsorbent* semakin banyak juga sehingga air banyak yang terserap tapi tidak menutup kemungkinan etanol juga dapat terserap kedalam pori zeolit yang disebabkan ukuran pori yang tidak seragam sehingga dapat menyebabkan konsentrasi etanol hasil dehidrasi menurun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Selain itu, semakin kecil ukuran *adsorbent* maka semakin besar kecepatan adsorpsinya (Prayitno, dkk. 2009).

Kesimpulan

1. Kadar etanol dapat ditingkatkan hingga 99,7% dengan menggunakan metode dehidrasi dengan zeolit alam modifikasi.
2. Kondisi terbaik untuk aktivasi zeolit didapatkan dengan metode aktivasi gabungan fisika dan kimia dengan ukuran diameter 3,18 Å serta bilangan iod 547,673 untuk mesh 4/8 dan 561,031 untuk mesh 16/18
3. Kondisi terbaik untuk meningkatkan kemurnian etanol yaitu dengan menggunakan metode dehidrasi uap pada konsentrasi umpan 95% (v/v), waktu kontak 1 jam serta ukuran zeolit mesh 4/8 yang menghasilkan konsentrasi etanol hasil dehidrasi sebesar 99,7%.

Daftar Pustaka

- Anggraini, Suci Lila. Zeolit dan Manfaatnya, 2013. <https://sucililaangraini.files.wordpress.com/2013/04/nebeng-yo-do.pdf>. (diakses pada 8 Juni 2016).
- Buchori, Luqman dan Budiyo. Aktivasi zeolit dengan perlakuan asam dan kalsinasi. Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP, Semarang. 2003.
- Khaidir dkk. Modifikasi zeolit alam sebagai material molecular sieve pada proses dehidrasi bioetanol. Jurnal Zeolit Indonesia, Institut Pertanian Bogor. 2009.
- Khaidir. Dehidrasi bioetanol menggunakan zeolit alam termodifikasi. Departemen Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh Lhokseumawe. 2012.
- Prayitno, Umi S. Penentuan kecepatan adsorpsi boron dalam larutan zirkonium dengan zeolit. Prosiding Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir, STTN BATAN, Yogyakarta, ISSN 1978 – 0176. 2009.
- Putra ANH, Shervienna AA. Proses pengambilan kembali bioetanol dengan metode adsorpsi hidrofobik. Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro, Semarang. 2010.
- Silvia M., Darmawan, Ragil SAC. Pengambilan air dari sistem isopropil alkohol - air dengan distilasi adsorptif menggunakan zeolit alam dan silika gel. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. 2008.
- Swantomo, Deni, dkk. Adsorpsi fenol dalam limbah dengan zeolit alam terkalsinasi. STTN-BATAN, Yogyakarta. 2009.



Widayat, dkk. Pengaruh waktu dealuminasi dan jenis sumber zeolit alam terhadap kinerja h-zeolit untuk proses dehidrasi etanol. Teknik Kimia Fakultas Universitas Diponegoro Semarang. 2010.



Lembar Tanya Jawab

Moderator : Bambang Hari Prabowo (Universitas Jenderal Achmad Yani)
Notulen : Indriana Lestari (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Ilham Muhammad Akbar Najib (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Mengacu pada standar kualitas zeolit alam dan buatan, bagaimanakah cara untuk mendapatkan zeolit alam yang memiliki kualitas sama dengan zeolit sintetis/buatan?
Jawaban : Sebagai lembaga penelitian kita perlu mencari sesuatu yang memiliki kinerja yang baik namun dengan harga yang murah. Zeolit sintetis memiliki harga yang mahal dan memenuhi standar/kualitas, khususnya jika digunakan sebagai adsorben, maka akan memiliki ukuran pori yang sama. Hal inilah yang menjadi kendala pada zeolit alam. Sebelum diaktivasi zeolit alam memiliki pori yang tertutup, dan apabila terbuka memiliki ukuran pori yang tidak sama/bervariasi, oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi, yakni aktivasi baik secara fisika, kimia, maupun gabungan fisika-kimia. Terkait hal tersebut pada penelitian ini digunakan senyawa basa karena memberikan penurunan terhadap rasio silika/air, yang berpengaruh terhadap keaktifan penyerapan, terutama senyawa polar. Zeolit alam mungkin belum bisa menyamai kinerja dari zeolit sintetis, tetapi kita dapat membuat zeolit sintetis dari *fly ash* yang mengandung silika cukup besar.
2. Penanya : Bambang Hari Prabowo (Universitas Jenderal Achmad Yani)
Pertanyaan : Apakah perbedaan penggunaan zeolit alam dan sintetis/buatan?
Jawaban : Zeolit sintetis banyak digunakan sebagai katalis, karena selain ukuran pori yang sama juga untuk mempercepat suatu reaksi. Sedangkan zeolit buatan pada umumnya digunakan sebagai bahan untuk mengambil atau memisahkan. Tetapi pada tahap awal, kita masih bisa melakukan variasi suhu, konsentrasi bahan kimia untuk aktivasi zeolit alam.
3. Penanya : Aspiyanto (LIPI Kimia, Serpong)
Pertanyaan : Berdasarkan hasil penelitian, apakah *yield* etanol dapat ditingkatkan lagi dan bagaimanakah pendapat penyaji mengenai metode pervaporasi untuk memurnikan etanol?
Jawaban : Berdasarkan hasil penelitian, *yield* tertinggi dicapai pada 99,7% (kondisi *fill drips*). Pencapaian ini sudah lebih besar dari 99,5%. *Yield* tidak dapat ditingkatkan lagi, karena parameter adsorben dibuat sama untuk setiap perlakuan. Namun, pada tahap penelitian lanjutan, dilakukan penimbangan massa adsorben untuk mengetahui kapasitas penyerapan. Terkait metode pervaporasi untuk pemurnian etanol-air, dari segi ekonomi dengan penggunaan membran, menyebabkan kapasitas dan biaya menjadi tidak ekonomis.

