

PEMURNIAN BIOETANOL MENGGUNAKAN PROSES ADSORBSI DAN DISTILASI ADSORBSI DENGAN ADSORBENT ZEOLIT

Dewi Novitasari (21030110151077) dan Djati Kusumaningrum (21030110151106)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

Pembimbing: Dr. Ir. Tutuk Djoko Kusworo, M.Eng.

Abstrak

*Bioetanol merupakan senyawa alkohol yang diperoleh dengan proses fermentasi biomassa dengan bantuan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*. Adsorpsi (penyerapan) merupakan suatu proses pemisahan dimana komponen dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji proses pemurnian bioetanol menggunakan proses adsorpsi dan distilasi adsorpsi dengan pengaruh variasi variabelnya. Pada proses distilasi menghasilkan kadar etanol yang tidak terlalu tinggi sehingga perlu dikaji suatu proses yang dapat meningkatkan kemurnian bioetanol dengan proses ditilasi adsorpsi. Proses pemurnian bioetanol menggunakan zeolit sebagai adsorbentnya dengan 4 variabel berubah pada proses adsorpsi, yaitu: jenis zeolit, waktu pengadukan, waktu pendiaman, dan berat zeolit. Sedangkan pada proses ditilasi adsorpsi menggunakan 4 variabel berubah, yaitu: jenis zeolit, suhu, berat zeolit, dan waktu. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa proses yang paling efektif untuk pemurnian etanol adalah proses distilasi adsorpsi dengan adsorbent zeolit 4A dengan berat 100 gram, suhu proses 78°C, waktu proses 50 menit. Kadar etanol yang dihasilkan sebesar 98,42%.*

Kata kunci: bioetanol; adsorpsi; distilasi adsorpsi; zeolit

Abstract

*Bioethanol is an alcohol substance which can be obtained by biomass fermentation process by means of *Saccharomyces Cereviceae* help. Adsorption is a separation process where the components of a fluid phase moves to the absorbing surface of the solid (adsorbent). This research aims to examine the process of bioethanol purification using adsorption and distillation process by the influence of variations of the variables. In the distillation process produces ethanol content that is not too high, so it needs to be studied a process that can increase the purity of bioethanol with distillation adsorption process. Bioethanol purification process using zeolite as adsorbent with 4 variables change in the adsorption process, namely: the type of zeolite, stirring time, residence time, and heavy of zeolite. Whereas on distillation adsorption process using 4 variables change, namely: the type of zeolite, temperature weight of zeolite, and processing time. From the results most effective process for ethanol purification is distillation adsorption process with zeolite 4A adsorbent weighing 100 grams, the process temperature 78°C, processing time 50 minutes. Levels of ethanol produced was 98,42%.*

Key words: bioethanol; adsorption; distillation adsorption; zeolite

1. Pendahuluan

Dewasa ini secara umum dunia sedang mengalami krisis minyak karena konsumsi tahunan minyak terus meningkat. Perkembangan dan pertumbuhan industri kimia di Indonesia meningkat dengan pesatnya. Akibatnya cadangan minyak kita menjadi sangat cepat habis. Para ilmuwan memprediksi bahwa pada saat ini minyak yang kita konsumsi akan benar-benar habis hanya dalam 40 tahun pasokan bahan bakar fosil. Sedangkan, saat ini tingkat konsumsi minyak lebih meningkat daripada menurun dan menggunakan lebih dari sumber daya yang terbatas. Selain itu, minyak memiliki beberapa manfaat dalam komunitas global, tetapi hasil pembakaran minyak meningkatkan konsentrasi gas di atmosfer dan menyebabkan masalah lingkungan yang signifikan seperti pemanasan global (Bries, 2008).

Etanol (C₂H₅OH) merupakan senyawa yang banyak dibutuhkan dalam kehidupan manusia, yaitu sebagai minuman atau pencampur, pelarut, antiseptik, bahan baku kimia dan yang terutama saat ini adalah sebagai bahan bakar. Kontinuitas penggunaan bahan bakar fosil (fossil fuel) memunculkan paling sedikit dua ancaman serius yaitu, faktor ekonomi dan polusi akibat emisi pembakaran bahan bakar fosil untuk beberapa dekade

mendatang, masalah suplai harga dan fluktuasinya. Polusi akibat emisi pembakaran bahan bakar fosil ke lingkungan. Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar dapat mengatasi masalah tersebut. Di masyarakat, etanol biasanya dihasilkan dari fermentasi molases dengan ragi terutama dari jenis *Saccharomyces cerevisiae*. Hal ini disebabkan karena *Saccharomyces cerevisiae* dapat memproduksi etanol dalam jumlah besar dan mempunyai toleransi terhadap alkohol yang tinggi (Elevri, 2006). Secara umum, produksi etanol mencakup tiga rangkaian proses, yaitu persiapan bahan baku, fermentasi dan pemurnian. Pada tahap persiapan, bahan baku harus dikonversi terlebih dahulu menjadi larutan gula yang akhirnya akan difermentasi menjadi etanol. Pada tahap fermentasi terjadi pemecahan gula-gula sederhana menjadi etanol melibatkan enzim dan ragi.

Proses pemurnian dengan zeolit ini menggunakan prinsip penyerapan permukaan. Zeolit adalah mineral yang memiliki pori-pori berukuran sangat kecil. Sampai saat ini ada lebih dari 150 jenis zeolit sintetis. Di alam, zeolit terbentuk dari abu lahar dan materi letusan gunung berapi. Zeolit juga bisa terbentuk dari materi dasar laut yang terkumpul selama ribuan tahun (Suwari, 2009).

Etanol yang dihasilkan dengan menggunakan metode distilasi biasanya memiliki kemurnian maksimal 96% (Harjono, 2004). Sedangkan menurut penelitian dari Mila dkk. (2009) kemurnian etanol yang dihasilkan sebesar 77,25%. Dengan kemurnian tersebut maka etanol yang dihasilkan memiliki harga yang relatif murah dan proses pemisahan yang dilakukan memerlukan energi yang banyak sehingga kurang menguntungkan. Sementara itu, untuk memurnikan etanol biasanya digunakan penambahan solven atau dengan distilasi azeotrop. Oleh karena itu, diperlukan suatu penelitian untuk menghasilkan metode yang sederhana dan lebih hemat untuk mendapatkan etanol dengan kemurnian yang lebih tinggi, yaitu dengan cara distilasi adsorpsi dengan adsorbent zeolit. Diperlukan penelitian untuk mengetahui kinerja zeolit dalam mengadsorpsi air dari etanol yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji proses pemurnian bioetanol menggunakan proses adsorpsi dan distilasi adsorpsi dengan pengaruh variasi variabelnya.

2. Bahan dan Metode Penelitian (atau Pengembangan Model bagi yang Simulasi/Permodelan)

Material:

Bahan yang digunakan adalah asam sulfat, zeolit (alam dan 4A), aquadest, etanol 80%, kertas saring.

Aktivasi Zeolit Alam:

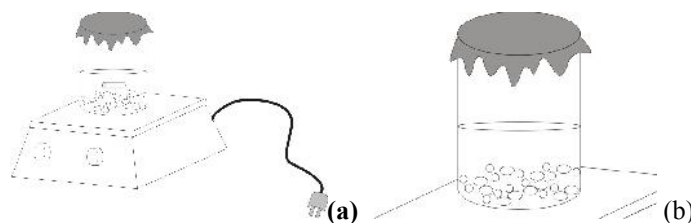
Zeolit direndam dengan larutan H_2SO_4 1M selama 3 jam, lalu disaring, dicuci dan direndam dengan aquadest selama 2 jam. Kemudian disaring kembali dan dioven pada suhu $200^{\circ}C$ selama 2,5 jam.

Aktivasi Zeolit 4A.

Zeolit dioven pada suhu $240-300^{\circ}C$ selama 2,5 jam.

Adsorpsi dengan Zeolit.

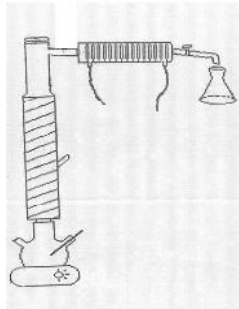
Optimasi waktu pengadukan: Menuangkan etanol umpan ke dalam gelas beker yang berisi zeolit yang sudah ditimbang, lalu diaduk sesuai variabel waktu pengadukan. Kemudian dianalisa kadar etanolnya. Optimasi waktu pendiaman: Menuangkan etanol umpan ke dalam gelas beker yang berisi zeolit yang sudah ditimbang, diaduk sesuai dengan variabel pengadukan yang optimal. Kemudian didiamkan sesuai variabel waktu pendiaman dan dianalisa kadar etanolnya. Optimasi berat zeolit: Menuangkan etanol umpan ke dalam gelas beker yang berisi zeolit yang sudah ditimbang sesuai variabel beratnya, diaduk dan didiamkan sesuai dengan variabel pengadukan dan pendiaman yang optimal. Kemudian menganalisa kadar etanolnya.



Gambar 1. Rangkaian Alat (a) Pengadukan; (b) Pendiaman pada Proses Adsorpsi

Distilasi Adsorpsi dengan Zeolit.

Merangkai alat distilasi adsorpsi, meletakkan zeolit yang sudah ditimbang sesuai variabel pada kolom bahan isian, lalu menuangkan etanol ke labu leher tiga. Selanjutnya dipanaskan hingga suhu konstan sesuai variabel dan didistilasi adsorpsi sesuai dengan variabel waktu proses. Menampung etanol hasil proses pada erlenmeyer kemudian dianalisa kadarnya.



Gambar 2. Rangkaian Alat Proses Distilasi Adsorbsi

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini adalah bertujuan untuk meningkatkan kemurnian etanol. Etanol yang digunakan sebagai umpan yaitu etanol dengan kadar 80%. Untuk mendapatkan kemurnian etanol yang optimal maka pada penelitian ini digunakan dua tahapan proses. Tahapan pertama adalah untuk mengetahui variabel yang berpengaruh pada proses **adsorbsi**, tahapan selanjutnya adalah untuk mengetahui variabel yang berpengaruh pada proses **distilasi adsorbsi**.

Pengaruh Variabel pada Proses Adsorbsi

Proses adsorbsi adalah suatu proses pemisahan dimana komponen dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorbent). Pengaruh waktu pendiaman terhadap kenaikan kadar etanol akan ditampilkan pada Tabel 1. dan Gambar 3.

Tabel 1. Pengaruh Waktu Pendiaman Terhadap Kenaikan Kadar Etanol

Waktu Pendiaman	Zeolit alam	Zeolit 4A
8 jam	84,34%	86,36%
24 jam	81,92%	82,33%
32 jam	74,49%	81,92%
48 jam	72%	84,36%
56 jam	74,92%	84,36%

Dari Gambar 3. dapat dilihat bahwa kadar etanol yang paling optimal sekitar 86,36% pada Zeolit 4A dengan waktu pendiaman 8 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu pendiaman kadar etanol yang dihasilkan semakin menurun, Zeolit alam tidak efektif untuk proses pemurnian etanol. Fenomena ini disebabkan karena zeolit alam mampu menyerap etanol dalam larutan (silvia dan darmawan,2008), sehingga semakin lama waktu pendiaman jumlah air yang terjerap akan semakin meningkat diiringi dengan jumlah etanol yang juga ikut terjerap.

Dari Tabel 1 didapatkan waktu pendiaman yang paling optimum pada waktu 8 jam. Selanjutnya digunakan untuk mengetahui variabel waktu pengadukan yang paling berpengaruh terhadap kenaikan kadar etanol. Hasil penelitian ini akan ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Kenaikan Kadar Etanol

Waktu pengadukan	Zeolit alam	Zeolit 4A
0,5 jam	80,7%	83,13%
1 jam	78,65%	82,32%
1,5 jam	79,47%	83,13%
2 jam	76,17%	81,51%
2,5 jam	79,06%	81,36%

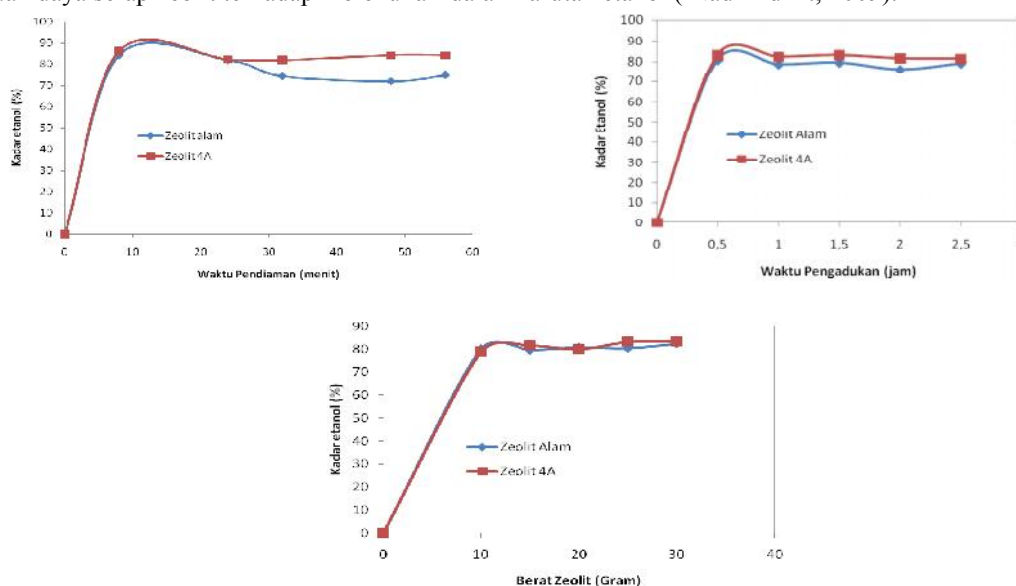
Dari Gambar 3. dapat dilihat data yang paling optimal adalah Zeolit 4A dengan waktu pengadukan 0,5 jam dan waktu pendiaman 8 jam. Kadar etanol yang dihasilkan adalah 83,13%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama waktu pengadukan memiliki pengaruh terhadap jumlah etanol yang dapat diserap oleh adsorbent. Semakin lama waktu pengadukan, maka semakin banyak etanol dan air yang dijerap. Hal ini karena waktu kontak antara larutan dan adsorbent semakin lama, sehingga proses transfer massa etanol ke dalam adsorbent juga semakin bertambah banyak (Putro dan Ardiyany, 2010).

Pengaruh variabel berat zeolit terhadap kenaikan kadar etanol dengan waktu pendiaman yang paling optimum pada waktu 8 jam dan waktu pengadukan yang paling optimum pada waktu 0,5 jam akan ditampilkan pada Tabel 3. dan Gambar 3.

Tabel 3. Pengaruh Berat Zeolit Terhadap Kenaikan Kadar Etanol

Berat	Zeolit alam	Zeolit 4A
10 gr	79,88%	78,65%
15 gr	79,47%	81,51%
20 gr	80,7%	79,88%
25 gr	80,29%	83,13%
30 gr	82,32%	83,23%

Dari Gambar 3. diperoleh berat yang paling optimal yaitu 30 gram pada Zeolit 4A dengan waktu pengadukan 0,5 jam dan waktu pendiaman 8 jam. Kadar etanol yang dihasilkan adalah 83,23%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak zeolit yang digunakan sebagai adsorbent, maka kadar etanol yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan teori dimana semakin banyak jumlah zeolit dan adanya konsentrasi larutan etanol mula – mula yang tetap, maka air yang terjerap akan semakin banyak. Flow rate etanol dipengaruhi oleh volume etanol yang dihasilkan dari proses distilasi adsorpsi itu sendiri. Volume etanol yang diperoleh, dipengaruhi oleh porositas zeolit, luas penampang zeolit yang semakin besar dan daya serap zeolit terhadap molekul air dalam larutan etanol (Nadzif dkk., 2009).



Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar Etanol (%) dengan (a) waktu pendiaman; (b) waktu pengadukan; (c) berat zeolit

Pengaruh Variabel pada Proses Distilasi Adsorpsi

Distilasi adsorpsi merupakan metode pemisahan dimana distilasi dan adsorpsi dilakukan secara simultan. Dalam proses ini terdapat satu kolom adsorbent yang dirangkai menjadi satu dengan alat distilasi. Pada proses distilasi adsorpsi dilakukan variasi variabel untuk mengetahui variabel yang paling mempengaruhi proses. Umpan etanol yang digunakan adalah etanol dengan kadar 80%. Sedangkan variasi variabel yang digunakan adalah jenis zeolit yang digunakan, berat zeolit, suhu proses, dan waktu distilasi adsorpsi.

Di bawah ini merupakan hasil dari penelitian yang akan disajikan pada Tabel 4. sampai dengan Tabel 6. Dari masing – masing tabel disajikan pengaruh dari variasi berat zeolit 50 gram, 75 gram dan 100 gram yang dikombinasikan dengan variasi waktu dan jenis zeolit.

Tabel 4. Pengaruh Suhu Proses dan Waktu pada Proses Distilasi Adsorpsi (Berat Zeolit 50 gram)

Waktu	Zeolit Alam		Zeolit 4A	
	78 ⁰ C	80 ⁰ C	78 ⁰ C	80 ⁰ C
50 menit	88,56%	86,61%	96,36%	90,86%
70 menit	87,39%	86,21%	91,62%	94,21%
90 menit	86,61%	86,21%	91,24%	87,78%

Pada Tabel 4. diambil data penelitian dari variasi berat zeolit sebesar 50 gram. Dengan variasi berat zeolit 50 gram dapat dilihat bahwa kadar etanol yang paling optimal sekitar 96,36% pada Zeolit 4A dengan waktu proses 50 menit.

Tabel 5. Pengaruh Suhu Proses dan Waktu pada Proses Distilasi Adsorpsi (Berat Zeolit 75 gram)

Waktu	Zeolit Alam		Zeolit 4A	
	78 ⁰ C	80 ⁰ C	78 ⁰ C	80 ⁰ C
50 menit	86,61%	86,21%	96,01%	91,24%
70 menit	86,61%	86,21%	94,57%	87%
90 menit	85,82%	85,42%	88,59%	88,95%

Pada Tabel 5. dapat dilihat bahwa kadar etanol yang paling optimal sekitar 96,01% pada Zeolit 4A dan waktu proses 50 menit. Data penelitian tersebut diambil dari variabel tetap berat zeolit sebesar 75 gram.

Tabel 6. Pengaruh Suhu Proses dan Waktu pada Proses Distilasi Adsorpsi (Berat Zeolit 100 gram)

Waktu	Zeolit Alam		Zeolit 4A	
	78 ⁰ C	80 ⁰ C	78 ⁰ C	80 ⁰ C
50 menit	84,95%	88,88%	98,42%	93,84%
70 menit	88,88%	88,56%	96,36%	96,36%
90 menit	84,95%	86,61%	90,86%	90,48%

Pada Tabel 6. dapat dilihat bahwa kadar etanol yang paling optimal sekitar 98,42% pada Zeolit 4A dan waktu proses 50 menit. Dengan menggunakan variasi berat zeolit yang sama yaitu 100 gram.

Dari ketiga Tabel tersebut diatas didapatkan variasi waktu yang paling optimal pada 50 menit waktu proses. Sedangkan jenis zeolit yang paling baik untuk proses distilasi adsorpsi adalah menggunakan zeolit 4A. Dari variasi berat diperoleh kadar etanol yang paling optimal yaitu sebesar 98,42% dengan berat zeolit yang digunakan sebesar 100 gram.

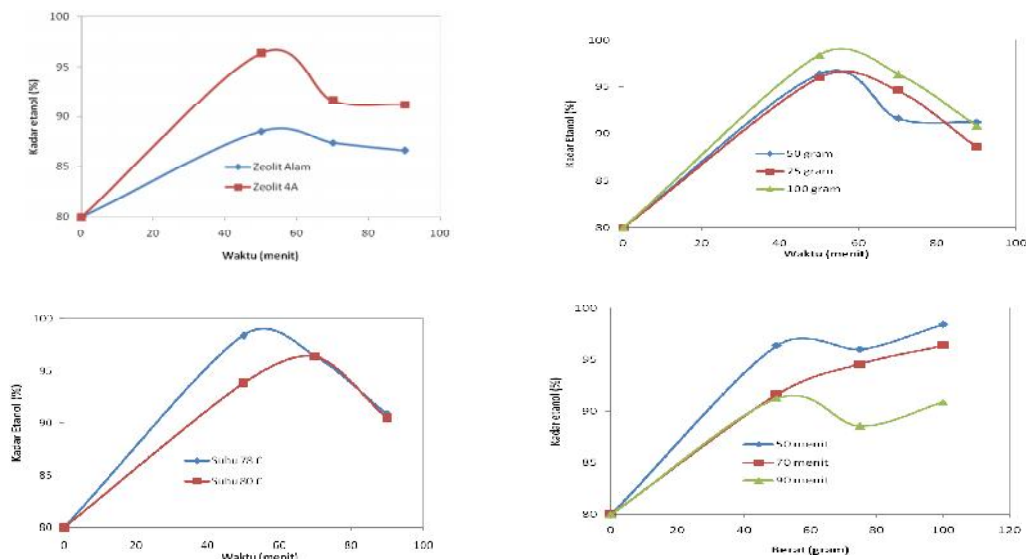
Pengaruh jenis zeolit yang digunakan untuk proses distilasi adsorpsi terhadap peningkatan kadar etanol dapat dilihat pada Gambar 5. Setiap adsorbent mempunyai daya serap terhadap etanol yang berbeda-beda sehingga setiap penambahan jenis adsorbent yang berbeda akan memberikan kemampuan menyerap etanol yang berbeda pula. Kami menggunakan dua macam adsorbent yaitu zeolit alam dan zeolit 4A (Sherviena dkk., 2010). Hal ini sesuai dengan tujuan penelitian kami yaitu dapat mengetahui jenis adsorbent mana yang memberikan hasil optimal dalam menyerap etanol.

Pada Gambar 4. dapat dilihat bahwa pada kondisi suhu tetap 78⁰C dan berat zeolit 50 gram terlihat bahwa zeolit 4A dapat menghasilkan kadar etanol yang lebih tinggi daripada zeolit alam yaitu pada waktu proses 50 menit dapat menghasilkan kadar etanol sebesar 96,36%. Hal ini disebabkan ukuran pori zeolit 4A sebesar 4 angstrom yang dapat menyerap molekul air dengan ukuran 3 angstrom, sedangkan untuk molekul etanol mempunyai ukuran pori 4,4 angstrom. Zeolit alam mempunyai ukuran pori yang beragam sehingga memungkinkan sejumlah etanol dapat terserap lebih besar daripada zeolit 4A. Pada zeolit alam, air yang sudah terserap perlahan-lahan dilepaskan kembali, sedangkan air yang diserap oleh zeolit sintetis akan terikat kuat (Gunturgeni, 2009).

Gambar 4. menunjukkan pengaruh berat zeolit terhadap kadar etanol yang dihasilkan pada proses distilasi adsorpsi pada. Gambar 4. dapat dilihat bahwa pada kondisi suhu tetap 78⁰C dan zeolit 4A yang mana berat yang paling bagus adalah 100 gram dapat menghasilkan kadar etanol 98,42%. Hal ini sesuai dengan teori dimana semakin banyak jumlah zeolit dan adanya konsentrasi larutan etanol mula – mula yang tetap, maka air yang terjerap akan semakin banyak. Flow rate etanol dipengaruhi oleh volume etanol yang dihasilkan dari proses distilasi adsorpsi itu sendiri. Volume etanol yang diperoleh, dipengaruhi oleh porositas zeolit, luas penampang zeolit yang semakin besar dan daya serap zeolit terhadap molekul air dalam larutan etanol (Nadzif dkk., 2009).

Dari Gambar 4. dengan berat tetap 100 gram dan zeolit 4A terlihat bahwa, proses distilasi adsorpsi yang paling baik adalah pada distilasi dengan suhu 78⁰C bukan suhu 80⁰C. Hal ini dikarenakan apabila proses distilasi adsorpsi yang dilakukan pada suhu tinggi maka air yang teradsorpsi akan lebih sedikit bila dibandingkan dengan yang dilakukan pada suhu lebih rendah sebab titik didih etanol yang sesuai dengan standart adalah 78⁰C sehingga agar kemurnian distilat yang dihasilkan lebih tinggi maka sebaiknya temperatur dijaga antara range 77-78⁰C. Kenaikan suhu pada sistem menyebabkan rongga – rongga zeolit bertambah besar sehingga air yang teradsorpsi oleh zeolit lolos kembali (Sholikhati,2009).

Pengaruh waktu proses distilasi adsorpsi terhadap kenaikan kadar etanol akan ditampilkan pada Gambar 4. Data ini diambil pada suhu tetap 78⁰C dan menggunakan zeolit 4A. Variasi waktu yang digunakan adalah mengambil waktu distilasi adsorpsi 50 menit, 70 menit, dan 90 menit. Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa waktu yang paling optimum pada proses distilasi adsorpsi adalah pada waktu 50 menit. Hal ini disebabkan semakin lama waktu yang digunakan untuk proses distilasi adsorpsi maka kesempatan terjerapnya etanol dan air oleh zeolit juga akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu bahwa semakin lama waktu adsorpsi dan semakin kecil ukuran adsorbent maka jumlah etanol yang terserap juga semakin banyak (Sherviena dkk., 2010).



Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar Etanol (%) dengan(a) waktu; (b) berat zeolit

4. Kesimpulan

Pada proses adsorpsi, jenis zeolit yang paling efektif untuk pemurnian etanol adalah zeolit 4A. Semakin singkat waktu pendiaman dan waktu pengadukan, maka kadar etanol yang dihasilkan akan semakin tinggi dengan konsentrasi larutan etanol mula-mula yang tetap. Sedangkan pada proses distilasi adsorpsi, jenis zeolit yang paling efektif untuk pemurnian etanol adalah zeolit 4A. Semakin singkat waktu proses dan dilakukan pada suhu titik didih etanol dengan menggunakan berat zeolit yang paling besar, maka kadar etanol yang dihasilkan akan semakin tinggi dengan konsentrasi larutan etanol mula-mula yang tetap. Proses yang paling efektif untuk pemurnian etanol adalah proses distilasi adsorpsi dengan adsorbent zeolit 4A sebanyak 100 gram, didistilasi pada suhu 78°C selama 50 menit. Dengan umpan etanol 80% kadarnya dapat naik menjadi 98,24%.

Daftar Pustaka

- Bries. A. Rodiel, 2008. *The Extraction of Bioethanol from Pineapple (Ananas Comosus) Peelings Through Simultaneous Saccharification and Fermentation Using The Yeast Saccharomyces Cerevisiae*. Quezon City Science High School, Istanbul.
- Elevri, Putra A., Surya, R.P., 2006. *Produksi etanol Menggunakan Saccharomyces Cerevisiae yang Diamobilisasi dengan Agar Batang*. Akta Kimindo, Vol.1 No.2 April.
- Harjono, 2004. *Zeolit Bahan pemebelah Tanah*. Suara Merdeka, 23 Februari. <http://ajigunturgeni.blogspot.com/2009/08/teknik-pemurnian-etanol.html>
- Milati, S., Sukmawati, R.F., 2009. *Pembuatan Bioetanol dari Kulit Singkong*. Program Studi D III Teknik Kimia. Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Nadzif, M.Y., Wibowo, S., 2009. *Kajian Kinerja Media Kondensasi untuk Pemurnian Ethanol*. Fakultas Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Jawa Timur.
- Putra, Agung N.H., Ardhiyana, Shervienna A.A., 2010. *Proses Pengambilan Kembali Bioetanol Hasil Fermentasi dengan Metode Adsorpsi Hidrofobik*. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Shervienna, A.A., Putro, A.N.H., 2010. *Proses Pengambilan Kembali Bioetanol Hasil Fermentasi dengan Metode Adsorpsi Hidrofobik*. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sholikati, Umi S., Prayitno., 2009. *Penentuan Kecepatan Adsorpsi Boron Dalam Larutan Zirkonium dengan Zeolit*. Yogyakarta
- Silvia, M., Darmawan, Ragil SAC., 2008. *Pengambilan Air dari Sistem Isopropil Alkohol – Air dengan Distilasi Adsorptif Menggunakan Zeolit Alam dan Silika Gel*. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.