

PEMANFAATAN ZEOLIT ALAM AKTIF SEBAGAI ADSORBEN BIOETANOL AMPAS TEBU

UTILIZATION OF ACTIVATED NATURAL ZEOLIT AS AN ADSORBENT FOR BIOETHANOL SUGARCANE BAGASSE

*Nabila Estiani Alsari dan Amaria Amaria**

*Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761*

** Corresponding author, email: amaria@unesa.ac.id*

Abstrak. Krisis energi fosil karena tingginya penggunaan bahan bakar minyak menjadi faktor penting dalam upaya pengembangan sumber energi alternatif dari bahan baku alami yaitu bioetanol. Bioetanol dibuat dengan bahan baku seperti pati, gula, atau selulosa yang menghasilkan kadar etanol rendah, sehingga perlu ditingkatkan melalui proses dehidrasi dengan zeolit alam teraktivasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar bioetanol ampas tebu dan waktu optimal adsorpsi air dalam bioetanol menggunakan zeolit alam aktif. Pada penelitian ini zeolit alam diaktivasi secara kimia dan fisika menggunakan H_2SO_4 2% selama 3 jam dan dikalsinasi pada suhu $600^\circ C$ selama 6 jam. Variasi waktu adsorpsi bioetanol dengan zeolit adalah 1, 3, 5 dan 7 jam dengan tiga kali pengulangan. Bioetanol ampas tebu dihasilkan melalui hidrolisis, dilanjutkan proses fermentasi ragi, destilasi dan adsorpsi dengan zeolit alam aktif yang kemudian kadar etanol diukur dengan alat refraktometer alkohol. Hasil penelitian yang didapatkan adalah kadar etanol ampas tebu sebelum diadsorpsi adalah 42% dan setelah diadsorpsi dengan zeolit pada variasi waktu rendam 1, 3, 5 dan 7 jam berturut-turut sebesar 43%; 44%; 47%; dan 45%.

Kata kunci : *bioetanol, ampas tebu, adsorpsi, zeolit alam*

Abstract. The fossil energy crisis due to the high use of fuel oil is an important factor in efforts to develop alternative energy sources from natural raw materials, namely bioethanol. Bioethanol is made from raw materials such as starch, sugar or cellulose which produces low ethanol content, so it needs to be increased through a dehydration process with activated natural zeolite. This study aims to determine the content of bagasse bioethanol and the optimal time of water adsorption in bioethanol using active natural zeolite. In this study natural zeolite was activated chemically and physically using 2% H_2SO_4 for 3 hours and calcined at $600^\circ C$ for 6 hours. Variation in adsorption time of bioethanol with zeolite was 1, 3, 5 and 7 hours with three repetitions. Sugarcane bagasse bioethanol is produced through hydrolysis, followed by yeast fermentation, distillation and adsorption with active natural zeolite, then the ethanol content is measured with an alcohol refractometer. The results obtained were that the ethanol content of bagasse before being adsorbed was 42% and after being adsorbed with zeolite at variations of soaking time of 1, 3, 5 and 7 hours respectively 43%; 44%; 47%; and 45%.

Key words: *bioethanol, baggase, adsorption, natural zeolite*

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar minyak yang tinggi di Indonesia dapat menyebabkan pencemaran udara dan krisis energi fosil karena ketersediaannya yang terbatas. Energi fosil

merupakan energi tidak terbarukan dan merupakan salah satu penghasil utama bahan bakar minyak, sehingga adanya krisis energi mengakibatkan naiknya harga bahan bakar. Semakin banyak bahan bakar minyak yang digunakan, maka semakin sedikit persediaan yang ada. Hal ini

menjadi pertimbangan dalam menciptakan energi alternatif dari sumber daya alam terbarukan salah satunya adalah bioetanol. Keunggulan bioetanol sebagai bahan bakar yaitu memiliki angka oktan yang lebih tinggi (106-110) dibandingkan bensin (91-96), sehingga bisa digunakan sebagai campuran untuk meningkatkan kualitas bensin dan dapat menurunkan emisi karbon monoksida pada asap kendaraan [1].

Menurut Dragone, dkk [2] terdapat beberapa jenis bioetanol berdasarkan bahan bakunya, yaitu bioetanol generasi pertama yang mengandung pati atau gula seperti singkong dan tebu, bioetanol generasi kedua berasal dari bahan nabati yang mengandung lignoselulosa, dan bioetanol generasi ketiga yang berasal dari alga. Bioetanol generasi pertama dikhawatirkan dapat mengganggu kebutuhan pangan karena bahan bakunya adalah bahan pertanian yang mengandung gula. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan bioetanol generasi kedua dengan memanfaatkan bahan nabati yang mengandung selulosa dan hemiselulosa tinggi yang biasanya berasal dari limbah pertanian, contohnya yaitu ampas tebu. Ampas tebu merupakan residu padat dalam proses pengolahan tebu yang masih belum banyak dimanfaatkan sebagai produk yang memiliki nilai tambah dan bukan merupakan sumber pangan.

Bioetanol diproduksi melalui beberapa tahap diantaranya, tahap 1 persiapan bahan baku, yaitu secara fisika berupa pencahahan, penggilingan, dan penepungan untuk memperkecil ukuran bahan dan menghilangkan kandungan lignin yang terdapat dalam ampas tebu agar tidak mengganggu proses pemecahan selulosa menjadi glukosa, tahap 2 hidrolisis untuk memisahkan komponen organiknya mengubah selulosa menjadi glukosa, tahap 3 fermentasi mengubah gula menjadi etanol menggunakan *S. cerevisiae* dan tahap 4 pemurnian yaitu pemisahan etanol dan air melalui kondensasi berdasarkan titik didih etanol yaitu 78°C serta dehidrasi digunakan untuk memisahkan dan beberapa komponen cair lainnya agar diperoleh kadar etanol yang maksimal [3].

Kadar etanol maksimum yang dapat diperoleh dengan penyulingan yaitu sekitar 95% dan ada kandungan air sebesar 5%. Sisa air 5% dapat dihilangkan dengan cara adsorpsi menggunakan adsorben [4]. Salah satu adsorben yang berfungsi untuk mengadsorpsi air yaitu zeolit alam [4]. Zeolit alam digunakan sebagai adsorben karena memanfaatkan bahan lokal dengan harga

yang relatif murah dan ketersediaannya yang melimpah. Struktur zeolit alam memiliki ruangan berpori yang dapat diisi molekul air atau kation. Karakteristik kisi kristal yang berongga pada zeolit berfungsi mengikat ion logam dan molekul air [5]. Molekul air berukuran sebesar 2,8 Å, sedangkan molekul etanol sebesar 4,4 Å. Pori zeolit memiliki ukuran sebesar 3 Å, sehingga molekul air yang mempunyai ukuran yang lebih kecil akan terserap oleh zeolit, sedangkan molekul etanol yang ukurannya lebih besar dari ukuran pori zeolit akan sulit terserap oleh zeolit [6]. Peningkatan kadar etanol menggunakan zeolit telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya oleh Isvandiary [7] dari 45 menjadi 66,67%;

Susilo, dkk [8] dari 94,54% menjadi 98,92%, dan Rahman, dkk [9] dari 3,9% menjadi 27,22%.

Kandungan zeolit alam seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe yang merupakan pengotor menyebabkan kemampuan dalam adsorpsi rendah, sehingga dalam pemanfaatannya perlu diaktivasi terlebih dahulu. Menurut Lourentius, dkk [10] H₂SO₄ dapat digunakan untuk menghilangkan pengotor pada permukaan zeolit, sehingga luas permukaan adsorpsi meningkat dan campuran air dalam etanol lebih mudah terserap ke dalam pori-pori zeolit. Semakin luas permukaan zeolit maka semakin banyak air yang terserap, sehingga kemurnian etanol meningkat dan mempermudah proses pemisahan etanol.

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan bioetanol dengan bahan dasar ampas tebu menggunakan metode hidrolisis, fermentasi, dan destilasi yang kemudian didehidrasi menggunakan zeolit alam yang sudah diaktivasi menggunakan H₂SO₄. Hasil yang diperoleh yaitu etanol dengan kadar yang optimal diukur menggunakan refraktometer alkohol dan dikarakterisasi menggunakan FTIR.

METODE PENELITIAN

Bahan

Zeolit alam PT SMBC Intratech Gresik, Ampas tebu dari pasar Sepanjang Sidoarjo, H₂SO₄ 98% (Merck®), akuades, dan *S. cerevisiae* (ragi NKL 57124).

Alat

Labu destilasi, kondensor, gelas kimia, corong, *heating mantle*, pH meter, termometer alkohol, kertas saring, *magnetic stirrer*, ayakan 100 mesh, refraktometer alkohol (ATC Brix 0-80%), oven (Lab tech), Tanur (Thermo scientific), FTIR

(PerkinElmer Spectrum Two), dan XRF (Panalytical, Type : Minipal 4)

Prosedur Penelitian

Pembuatan Bioetanol Ampas Tebu

1. Tahap Persiapan Bahan Baku
Ampas tebu dicuci dan dibersihkan, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam. Setelah itu, ampas tebu diblender hingga menjadi serbuk [11].
2. Tahap Hidrolisis
Serbuk ampas tebu sebanyak 500 g tebu dimasukkan ke gelas kimia 2000 mL lalu dituangkan 1000 mL akuades dan diaduk. Kemudian dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam. Setelah itu didinginkan dan disaring filtrat dari ampas tebu [11].
3. Tahap Fermentasi
Larutan hasil hidrolisis difermentasi menggunakan erlenmeyer 500 mL yang telah di sterilisasi, Kemudian ditambahkan 4 gram ragi (*S. cerevisiae*). Kemudian pH larutan diatur hingga 4,5-5. Proses fermentasi berlangsung selama 60 jam [11].
4. Tahap Pemurnian
Larutan hasil fermentasi dimasukkan ke dalam labu distilasi dan diatur suhu 78°C.

Aktivasi Zeolit Alam

1. Aktivasi Kimia
Zeolit alam dihancurkan dan dikecilkan ukurannya dengan ayakan 100 mesh. Kemudian zeolit direndam dengan H₂SO₄ 2 % (1 gram zeolit:10 ml H₂SO₄ 2%) selama 3 jam menggunakan *magnetic stirrer* [10]. Setelah itu disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral.
2. Aktivasi Fisika
Zeolit alam dikalsinasi pada suhu 600°C dengan tanur selama 3 jam untuk melepaskan molekul air alam pori-pori zeolit agar dapat mempermudah proses adsorpsi bioetanol [10].

Adsorpsi Bioetanol dengan Zeolit

Bioetanol hasil distilasi sebanyak 5 mL ditambah dengan 10 gram zeolit teraktivasi dan direndam dalam waktu yang berbeda sesuai dengan variasi yang ditentukan yaitu selama 1, 3, 5, dan 7 jam.

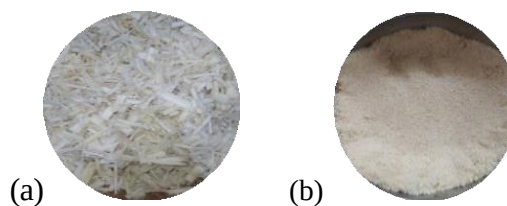
Pengujian Kadar Bioetanol

Etanol setelah adsorpsi dengan zeolit diukur kadarnya dengan refraktometer alkohol. Etanol hasil distilasi diteteskan pada prisma, kemudian diamati angka yang terukur dalam refraktometer alkohol. Besarnya angka terukur dapat ditunjukkan oleh warna putih pada skala prisma [12].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Bioetanol Ampas Tebu

1. Tahap Persiapan Bahan baku

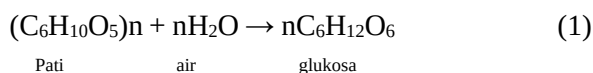


Gambar 1. Ampas tebu a) sebelum dan b) sesudah digiling

Ampas tebu dicuci, dipotong, dan digiling untuk memperkecil ukuran bahan, merusak struktur kristal dari selulosa, menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, serta meningkatkan porositas bahan. Ampas tebu sebelum digiling berupa serat padat berwarna putih dan setelah digiling berupa serbuk berwarna putih kecoklatan karena mengalami delignifikasi yaitu terurainya lignin menjadi selulosa untuk mempermudah proses hidrolisis [3].

2. Tahap Hidrolisis

Hidrolisis dilakukan untuk memecah pati menjadi glukosa dengan bantuan air. Reaksi hidrolisis ditunjukkan seperti persamaan berikut (1) [13]



Hasil yang diperoleh yaitu larutan hidrolisis ampas tebu berwarna kuning dan memiliki aroma manis seperti gula. pH larutan hasil hidrolisis adalah 5. Hal ini disebabkan oleh proses hidrolisis yang menggunakan air, sehingga tidak perlu diatur pHnya ketika dilanjutkan untuk proses fermentasi. Merujuk pada penelitian Irvan, dkk [3] bahwa hidrolisis dengan air tidak diperlukan penyesuaian pH, sehingga dapat langsung dilanjutkan pada

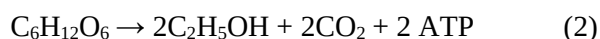
proses fermentasi, karena fermentasi berlangsung pada pH 4,5-5.

3. Tahap Fermentasi

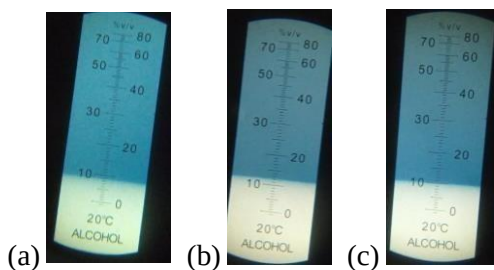


Gambar 2. Larutan hasil fermentasi

Fermentasi merupakan proses perubahan gula menjadi alkohol dan CO₂ oleh ragi (*S. cerevisiae*). Reaksi fermentasi alkohol secara umum diketahui melalui persamaan (2) [11]



Hasil yang diperoleh yaitu larutan berwarna kuning (Gambar 2.) dan terdapat endapan ragi di atas permukaan larutan, memiliki bau khas etanol, dan terdapat gelembung - gelembung yang menandakan adanya reaksi fermentasi. Kadar etanol setelah fermentasi diukur menggunakan refraktometer alkohol yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran kadar etanol pada fermentasi: a) pertama, b) kedua, dan c) ketiga

Kadar etanol pada fermentasi pertama, kedua, dan ketiga berturut-turut yaitu sebesar 9%, 12%, dan 10% dengan waktu fermentasi yang sama selama 60 jam. Setelah 60 jam fermentasi tidak diperoleh kadar etanol yang tinggi karena masih banyak mengandung air. Pada penelitian

Rahman, dkk [14] kadar etanol yang dihasilkan pada fermentasi yaitu sebesar 3,9% tidak memperoleh kadar diatas 18-21%, karena dengan kadar tersebut dapat merusak ragi yang bereaksi dengan etanol, sehingga perlu dilakukan destilasi untuk memperoleh kadar yang lebih tinggi.

4. Tahap Pemurnian

Destilasi dilakukan untuk memisahkan etanol dari air melalui perbedaan titik didih. Titik didih air sebesar 100 sedangkan etanol 78 [7]. Larutan fermentasi yang dipanaskan pada rentang suhu 78° mengakibatkan etanol menguap, dan melalui kondensasi, etanol akan menetes dan mengalami kenaikan kadar yang kemudian diuji kadarnya dengan refraktometer alkohol. Kadar etanol setelah destilasi berturut-turut sebesar 30%, 42%, dan 38%.

Aktivasi Zeolit Alam

Zeolit alam digerus hingga halus menggunakan mortar dan alu. Kemudian dikecilkan ukurannya menggunakan ayakan 100 mesh. Hal ini bertujuan agar jumlah luas permukaan zeolit alam semakin besar, sehingga kemampuan adsorpsinya dapat lebih optimal [5]. Zeolit alam tidak memiliki stabilitas termal yang tinggi, ukuran pori yang tidak sama dan aktivitas adsorpsi rendah, sehingga dilakukan aktivasi untuk meningkatkan sifat adsorpsi zeolit alam.



Gambar 4. Zeolit alam: a) sebelum diaktivasi b) sesudah diaktivasi dengan 2% H₂SO₄ dan dikalsinasi pada suhu 600°C.

Aktivasi menggunakan asam (2 % H₂SO₄) dan kalsinasi dengan suhu 600°C selama 3 jam. Aktivasi zeolit alam efektif dengan menggunakan larutan asam karena dapat menghilangkan pengotor yang menutup pori dan dengan adanya H⁺ dalam kerangka zeolit yang menyebabkan permukaan lebih aktif dan zeolit lebih porous [5]. Kemudian zeolit dikalsinasi dalam tanur pada suhu 600°C, untuk mengeluarkan air dalam pori-pori

zeolit. Perubahan warna zeolit sebelum diaktivasi berwarna abu-abu dan sesudah diaktivasi berwarna coklat yang ditunjukkan pada Gambar 4. Perubahan warna menunjukkan bahwa kadar air pada kerangka zeolit setelah proses kalsinasi telah berkurang [15]. Hal ini seperti yang dijelaskan Handoyo, dkk [15] pada penelitiannya tentang peningkatan rasio si/al zeolit alam bahwa perubahan warna pada zeolit alam berwarna abu-abu kehijauan sebelum dilakukan aktivasi dan berwarna kekuningan setelah dilakukan aktivasi dan kalsinasi karena kandungan air (hidrat) yang terikat pada struktur zeolit telah hilang.

Tabel 1. Hasil XRF Zeolit Alam Teraktivasi

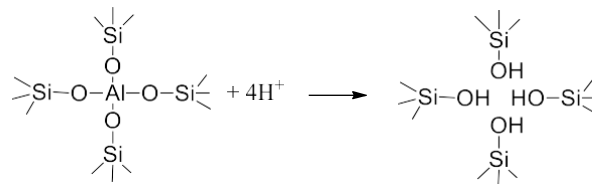
NO.	Kandungan (unsur)	Kadar (%)	Kadar (%)
		Sebelum Aktivasi	Sesudah Aktivasi
1.	Zr	0,24	0,012
2.	Sr	0,68	0,031
3.	Al	7,30	3,068
4.	Fe	20,3	1,741
5.	Si	47,7	34,19
6.	Renik	23,78	39,65

Pada hasil XRF zeolit alam teraktivasi pada Tabel 1 menunjukkan adanya penurunan kadar Al dari 7,3 menjadi 3,068. Hasil ini diperoleh karena zeolit bereaksi dengan asam yang menyebabkan penurunan kadar Al dalam kerangka zeolit, sehingga rasio Si/Al meningkat dari 6,5 menjadi 11,14. Merujuk pada penelitian Norvia, dkk [16] bahwa penambahan asam menyebabkan terurainya aluminium pada kerangka zeolit, sehingga rasio Si/Al akan meningkat. Tingginya rasio Si/Al meningkatkan keasaman dan luas permukaan serta pori-pori zeolit, sehingga dapat mempermudah proses adsorpsi bioetanol. Rasio Si/Al pada zeolit dapat menentukan kerapatan muatan di dalam kristal. Rasio Si/Al yang besar menyebabkan kerapatan muatan tinggi, molekul yang polar, dan kemampuan kemampuan untuk mengikat molekul besar akan bertambah, sehingga memiliki kapasitas tukar yang tinggi [17].

Adsorpsi Air pada Bioetanol dengan Zeolit Alam Teraktivasi

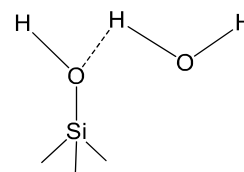
Adsorpsi air pada bioetanol dilakukan untuk meningkatkan kadar etanol. Adsorben yang digunakan yaitu zeolit alam yang sudah diaktivasi dengan larutan asam H₂SO₄. Penambahan asam

pada zeolit menyebabkan dealuminasi yaitu proses penggantian aluminium dengan hidrogen, sehingga rasio Si/Al meningkat karena pelepasan Al dari sisi aktif Si-O-Al menjadi gugus silanol (Si-OH) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 [18].



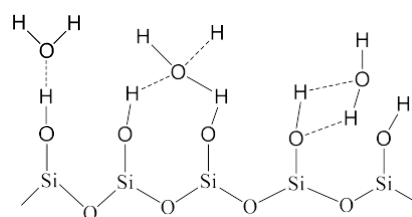
Gambar 5. Reaksi aktivasi zeolit dengan asam [5]

Reaksi dengan asam meningkatkan kandungan proton (H⁺) dalam zeolit dan gugus siloksi (Si-O⁻) karena keluarnya Al, sehingga dapat membentuk gugus silanol (Si-OH). Gugus silanol (Si-OH) yang semakin banyak dalam zeolit, menyebabkan kemampuan mengikat molekul air (H₂O) dapat terjadi melalui ikatan hidrogen, sehingga proses adsorpsi dapat berjalan [18].



Gambar 6. Pemutusan ikatan hidrogen antara molekul air dengan gugus silanol [18]

Adanya gugus silanol (Si-OH) dalam zeolit meningkatkan kemampuan mengikat molekul air yang terjadi melalui ikatan hidrogen. Air yang terkandung dalam bioetanol dapat teradsorpsi karena berikatan dengan gugus silanol (Si-OH) yang terkandung dalam zeolit akibat proses dealuminasi. Interaksi molekul air pada permukaan zeolit ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 7. Molekul air pada permukaan zeolit [18]

Molekul air dan ion-ion logam bergerak bebas dalam kerangka zeolit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dapat mengikat molekul air, sehingga proses adsorpsi dapat berjalan.

Proses adsorpsi dilakukan dengan perendaman zeolit yang telah diaktivasi ke dalam bioetanol dengan perbandingan 1 gram zeolit yang sudah diaktivasi : 10 ml etanol dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* tanpa pemanasan dan pada suhu kamar dengan variasi waktu yang ditentukan yaitu 1, 3, 5, dan 7 jam. Setelah itu zeolit yang tercampur pada etanol disaring menggunakan kertas saring dan corong. Kemudian kadar etanol yang telah diadsorpsi dengan zeolit teraktivasi dihitung kadarnya menggunakan alat *refractometer alcohol*.

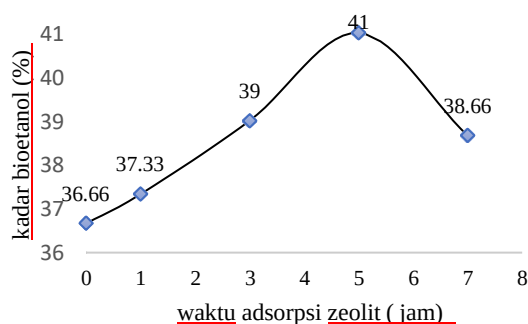
Pengujian Kadar Bioetanol

Biotanol yang telah diadsorpsi dengan zeolit alam teraktivasi diukur kadarnya menggunakan alat *refractometer alcohol* merk ATC. Pengukuran kadar etanol dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran Kadar Etanol

Tabel 2. Pengukuran Kadar Etanol					
	Kadar etanol	Kadar etanol setelah adsorpsi dengan zeolit (%)			
	sebelum adsorpsi	ja ¹ m	ja ³ m	ja ⁵ m	ja ⁷ m
	(%)				
	30	31	32	34	32
	42	43	44	47	45
	38	38	40	42	39
Rata-rata	36,6	37,3	39	41	38,6

Dari hasil pengujian kadar etanol yang dihasilkan pada Tabel 2 dapat dijelaskan pada grafik Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hubungan waktu adsorpsi zeolit terhadap kadar etanol

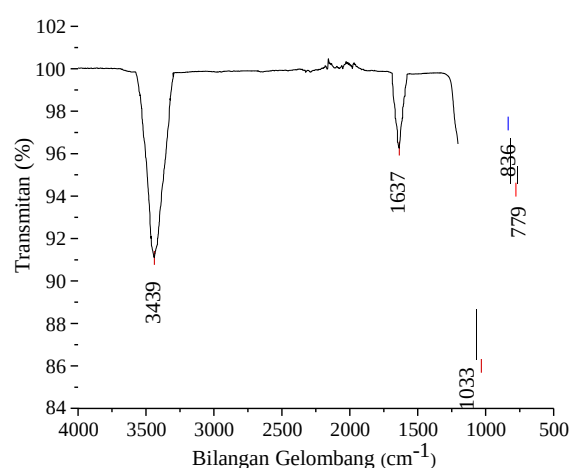
Berdasarkan pengamatan grafik Gambar 8 menjelaskan bahwa kemampuan adsorpsi air oleh zeolit terjadi dengan cepat dalam rentang waktu 1 hingga 5 jam. Hal ini ditandai dengan selisih kenaikan kadar etanol sebesar 4,4 %. Setelah 5 jam kemampuan adsorpsi air oleh zeolit berkurang, sehingga selisih kadar bioetanol yang dihasilkan relatif kecil. Pada adsorpsi waktu 1 hingga 5 jam, proses penyerapan optimal karena permukaan aktif zeolit yang meningkat, sehingga kemampuan penyerapan air oleh zeolit masih tinggi. Kadar etanol pada waktu adsorpsi ke-5 jam mengalami kenaikan dari 43% menjadi 47% dengan selisih kenaikan 7%.

Pada penelitian Susilo, dkk [8] kadar etanol yang dihasilkan dengan waktu perendaman selama 5 jam meningkat dari 94,54 menjadi 98,92. Namun, pada waktu kontak diatas 5 jam zeolit mulai jenuh. Hal ini sesuai pada penelitian Khaidir [18] lamanya waktu adsorpsi mempengaruhi kadar alkohol yang dihasilkan. Waktu adsorpsi yang digunakan tidak bisa melebihi 5 jam karena apabila semakin lama waktu adsorpsi jumlah air yang terserap akan semakin meningkat diiringidengan jumlah alkohol yang juga ikut terserap dalam fase cair. Hal tersebut juga mengakibatkan adanya desorpsi yaitu proses adsorpsi yang terjadi

secara reversible, sehingga zeolit melepaskan air dari permukaan adsorben kembali ke dalam etanol

[19].

Karakterisasi FTIR Zeolit Teraktivasi



Gambar 9. Spektra IR Zeolit Alam Teraktivasi

Identifikasi gugus fungsional dengan FTIR dilakukan pada zeolit teraktivasi untuk mengetahui gugus-gugus yang terbentuk pada proses aktivasi zeolit. Gugus-gugus fungsional

yang ditunjukkan pada spektra IR diantaranya yaitu gugus silanol (Si-OH), gugus siloksan (Si-O-Si), dan gugus siloksi (Si-O⁻). Berdasarkan spektra IR zeolit teraktivasi pada Gambar 9 terlihat adanya vibrasi regangan oleh gugus -OH dari Si-OH pada daerah serapan 3439 cm⁻¹, vibrasi bengkokan oleh gugus -OH dari Si-OH pada daerah serapan 1637 cm⁻¹, vibrasi regangan Si-O⁻ dari Si-O-Si pada daerah serapan 1033 cm⁻¹ dan vibrasi ulur asimetri oleh gugus Si-O dari ikatan Si-O-Si pada bilangan gelombang 779 cm⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa hasil aktivasi zeolit menunjukkan karakteristik zeolit dalam proses adsorpsi air dalam etanol melalui ikatan hidrogen antara gugus silanol (Si-OH) dan air (H₂O)[18].

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kadar bioetanol yang paling tinggi yaitu sebesar 41% dengan waktu adsorpsi yang optimal pada waktu ke-5 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. S. Nigam and A. Singh, "Production of liquid biofuels from renewable resources," *Prog Energy Combust Sci*, vol. 37, no. 1, pp. 52–68, Feb. 2011, doi: 10.1016/J.PECS.2010.01.003.
- [2] G. Dragone, B. D. Fernandes, A. Vicente, B. Fernandes, A. A. Vicente, and J. A. Teixeira, "Third Generation Biofuels From Microalgae," *Technology and Education Topic in Applied Microbiology and Biotechnology and Microbial*, pp. 1355–1366, 2014
- [3] Irvan, P. Prawati, and B. Trisakti, "Pembuatan Bioetanol dari Tepung Ampas Tebu Melalui Proses Hidrolisis Termal dan Fermentasi: Pengaruh Ph, Jenis Ragi dan Waktu Fermentasi," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 4, no. 2, pp. 27–31, 2015.
- [4] B. Susilo, S. H. Sumarlan, and D. Feminda Nurirenia, "Pemurnian Bioetanol Menggunakan Proses Distilasi dan Adsorpsi dengan Penambahan Asam Sulfat (H₂SO₄) pada Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben," *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 5, no. 1, pp. 19–26, 2017.
- [5] W. S. Atikah, "Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi sebagai Media Adsorben Pewarna Tekstil," *Arena Tekstil*, vol. 32, no. 1, pp. 17–24, 2017.
- [6] A. R. Fauzi, D. Haryadi, and S. Priyandi, "Pengaruh Waktu Fermentasi dan Efektivitas Adsorben dalam Pembuatan Bioetanol Fuel Grade dari Limbah POD Kakao (Theobroma Cacao)," *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, vol. 1, no. 1, pp. 179–185, 2012.
- [7] S. Isvandiary, S. Tjahjani, and Amaria, "Pemanfaatan Zeolit Alam untuk Meningkatkan Kemurnian Bioetanol dari Singkong Karet (Manihot glaziovii)," *UNESA Journal of Chemistry*, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [8] B. Susilo, U. A., and R. Yulianingsih, "Pemurnian Alkohol Menggunakan Proses Destilasi-Adsorpsi dengan Penambahan Adsorben Zeolit Sintesis 3 Angstrom," 2018.
- [9] N. A. Rahman and H. Setyawati, "Peningkatan Kadar Bioetanol dari Kulit Nanas Menggunakan Zeolit Alam Dan Batu Kapur," *Berkala Ilmiah Teknik Kimia*, vol. 1, no. 1, pp. 13–16, 2012.
- [10] S. Lourentius and E. S. Retnoningtyas, "Preparasi Dan Karakterisasi Zeolit Alam Malang Sebagai Adsorben Pada Adsorpsi Air dalam Pemurnian Bioetanol Membentuk Fuel Grade Ethanol(FGE)," 2013.
- [11] F. Anwar and R. Subagyo, "Pembuatan Bioetanol Berbahan Baku Ampas Tebu dan Kulit Pisang Dengan Variasi Massa Ragi," *ROTARY*, vol. 2, no. 1, pp. 123–136, 2020.
- [12] W. B. Subrimobdi, "Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Saccharomyces Cerevisiae Terhadap Tingkat Produksi Bioetanol dengan Bahan Baku Nira Siwalan," 2012.
- [13] F. Anwar and R. Subagyo, "Pembuatan Bioetanol Berbahan Baku Ampas Tebu dan Kulit Pisang dengan Variasi Massa Ragi," *Rotary*, vol. 2, no. 1, pp. 123–136, 2020.
- [14] N. Astuti Rahman and H. Setyawati, "Peningkatan Kadar Bioetanol dari Kulit Nanas Menggunakan Zeolit Alam dan Batu Kapur," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 6, no. 2, pp. 46–49, 2020.
- [15] R. Handoyo et al., "Peningkatan Rasio Si/Al Zeolit Alam Mordenit sebagai Bahan Dasar Zeolit Katalis," *Jurnal Zeolit Indonesia*, vol. 4, no. 1, pp. 19–24, 2005.
- [16] S. Norvia, Suhartana, and Pardoyo, "Dealuminasi Zeolit Alam Menggunakan

- Asam (HCl dan H₂SO₄) untuk Katalis pada Proses Sintesis Biodiesel,” *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 19, no. 2, pp.72–76, 2016.
- [17] S. Liu, N. Zhao, and S. Rudenja, “Surface Interpenetrating Networks of Poly(ethylene terephthalate) and Polyamides for Effective Biocidal Properties,” *Macromol Chem Phys*, vol. 211, no. 3, pp. 286–296, 2010, doi: <https://doi.org/10.1002/macp.200900381>.
- [18] M. Yusuf, D. Suhendar, E. Prabowo, and H. J. Kimia, “Studi Karakteristik Silika Gel Hasil Sintesis dari Abu Ampas Tebudengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida,” *Sunan Gunung Djati State Islamic Univesity (UIN)*, vol. VIII, no. 1, pp. 16–28, 2014.