

PEMURNIAN BIOETANOL HASIL FERMENTASI KULIT NANAS MENGUNAKAN PROSES DISTILASI-ADSORPSI PADA VARIASI JENIS PERLAKUAN DAN UKURAN PORI ADSORBEN

Diah Pramushinta¹, Said Zul Amraini², Chairul²

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293
Telp. 083186742817; d.pramushinta@gmail.com

ABSTRACT

One of the alternatives is by utilizing bioethanol as a renewable alternative energy source. This study aims to obtain ethanol from pineapple peel using solid state fermentation process and the purification using distillation and adsorption process, obtain comparative data on the adsorption capacity of the natural zeolite without activation and the activated natural zeolite, to get data the optimum of adsorbent to produce bioethanol, and characterize the physical properties of bioethanol and qualitative test by GC-MS. The pore size of adsorbent variations are 60; 100; 200 mesh and variation of treatment of adsorbent the natural zeolite without activation and the activated natural. From the research is obtained the highest bioethanol concentration average is 10,44 % volume. The most effective process for ethanol purification is distillation and adsorption process by natural zeolite adsorbent without activation with pore size of 200 mesh. Ethanol content increased from 95 % to 99.8 % v. Bioethanol from distillation and adsorption process in accordance with ISO standards.

Keywords: Bioethanol; solid state fermentation; zeolite; distillation and adsorption process

1 Pendahuluan

Kebutuhan energi saat ini masih banyak disuplai dari bahan bakar yang berasal dari fosil. Adanya isu lingkungan dan fakta akan terbatasnya sumber bahan bakar fosil yang berakibat pada krisis energi yang akan menyebabkan terganggunya pertumbuhan perekonomian dunia telah menstimulasi upaya penggunaan dan pengembangan bahan bakar yang *renewable* dan ramah lingkungan [Junaidi, 2012].

Salah satu bahan bakar terbarukan yang sangat potensial untuk dikembangkan adalah etanol. Etanol yang terbuat dari tumbuhan disebut bioetanol digunakan sebagai bahan bakar mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya lebih ramah lingkungan, memiliki nilai oktan yang lebih tinggi dari premium.

Bioetanol juga merupakan bahan bakar yang tidak mengakumulasi gas karbon dioksida (CO₂) dan relatif kompetibel dengan mesin mobil berbahan bakar bensin [Teresa, dkk., 2010]. Kelebihan lain dari bioetanol adalah pada cara pembuatannya yang sederhana yaitu fermentasi dengan menggunakan mikroorganisme tertentu [Mursyidin, 2007].

Salah satu bahan baku yang digunakan untuk fermentasi etanol adalah kulit nanas. Provinsi Riau merupakan salah satu daerah penghasil nanas terbesar di Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik [2012] produksi buah nanas di Riau mencapai 63.030 ton. Dari hasil studi kasus di lapangan yang dilakukan Oktaviani [2013], beberapa usaha olahan keripik nanas di Kualu Nanas, Pekanbaru, Riau memiliki kapasitas rata-rata

12-15 kg/hari dengan jumlah buah nanas yang digunakan sebagai bahan baku sekitar 200 kg/hari.

Bioetanol yang digunakan pada campuran bahan bakar untuk kendaraan harus bersifat *anhydrous* agar tidak menyebabkan korosi pada mesin, sehingga bioetanol harus mempunyai *grade* sebesar 99%-100% [Khairani, 2007]. Teknologi komersial yang efisien untuk mengeringkan etanol adalah adsorpsi air dari uap etanol *azeotropik* oleh *molecular sieves* [Rakhmatullah, dkk.]. Zeolit termasuk bahan *molecular sieve*, pemilihan zeolit sebagai bahan penyerap pada proses dehidrasi bioetanol 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 [Khaidir, 2011].

2 Metodologi

2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku Substrat

Substrat yang digunakan dalam produksi *fuel grade bioethanol* dengan metode *Solid State Fermentation* (SSF) adalah kulit nanas yang diperoleh dari industri rumah tangga pengolahan keripik nanas desa Kualu Nanas, Riau. Limbah nanas yang diperoleh kemudian dicuci dan dibentuk menjadi substrat halus dengan cara dihaluskan menggunakan *blender* hingga membentuk *slurry*.

2.2 Tahap Pengembangan dan Inokulasi *Zymomonas mobilis*

Mikroorganisme yang digunakan adalah *Zymomonas mobilis* yang diperoleh dari Laboratorium PAU Universitas Gadjah Mada, dan ditumbuh kembangkan pada media tumbuh yang diperkaya dengan komposisi media glukosa 100 gram/liter, *yeast extract* 10 gram/liter, KH_2PO_4 1 gram/liter, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,5 gram/liter, dan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1 gram/liter. 1 jarum ose *Zymomonas mobilis* diinokulasi ke dalam 1 ml media tumbuh diperkaya yang telah disterilisasi pada temperatur 121 °C selama 20 menit dan dikocok menggunakan *shaker* selama 24 jam pada kecepatan 120 rpm [Aditya, 2011].

2.3 Tahap Persiapan Fermentor

Fermentor yang digunakan dalam proses fermentasi ini adalah erlenmeyer ukuran 2 liter, fermentor yang akan digunakan disterilisasi terlebih dahulu pada temperatur 121 °C selama 15 menit di dalam *autoclave* untuk menghilangkan mikroorganisme kontaminan.

2.4 Tahap Fermentasi

Proses fermentasi dilakukan pada erlenmeyer 2 liter, fermentor dan kulit nanas yang telah disterilisasi diinokulasikan dengan inokulum *zymomonas mobilis* yang telah disiapkan secara hati-hati dan aseptik. pH awal proses fermentasi diatur 5 menggunakan *buffer* sitrat dan temperatur 30 °C serta kondisi anaerob, proses fermentasi berlangsung selama 24 jam dengan volume inokulum 10% v.

2.4 Tahap Persiapan Adsorben

Pada penelitian ini digunakan dua jenis adsorben untuk proses adsorpsi yaitu zeolit alam tanpa aktivasi dan zeolit alam teraktivasi basa. Tahap persiapan zeolit alam teraktivasi basa adalah dengan menghaluskan zeolit alam kemudian diayak hingga mencapai ukuran sesuai dengan variabel penelitian yaitu 60, 100, dan 140 *mesh*. Pada tahap persiapan zeolit teraktivasi basa yaitu zeolit alam 60, 100, dan 140 *mesh* dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 300 °C selama 3 jam. Setelah itu zeolit diaktivasi secara kimia melalui penambahan basa. Sebanyak 20 gram sampel zeolit alam ditambahkan 30 ml larutan NaOH 0,75 N. Campuran di-*refluks* selama 2 jam pada suhu 90 °C sambil diaduk dengan menggunakan pengaduk. Campuran kemudian disaring dan dibilas dengan aquades hingga mencapai pH netral. Residu yang diperoleh dikeringkan dalam *furnace* dengan suhu 300 °C selama 3 jam [Zuhaidha, 2012].

2.5 Tahap Pemisahan dan Pemurnian

Pada tahap pemisahan dan pemurnian yaitu terdiri dari proses pembuatan etanol-air pada kondisi *azeotrop* yaitu kondisi dimana air tidak dapat dipisahkan lagi. Alat yang digunakan pada proses ini adalah alat distilasi dan pemurnian dilakukan secara berulang-ulang

hingga campuran etanol-air tidak dapat dipisahkan lagi.

Pemurnian lanjutan yaitu penghilangan air atau dikenal dengan proses dehidrasi, pada penelitian ini digunakan proses distilasi-adsorpsi dengan variasi jenis dan ukuran adsorben, kemudian diukur kadar alkohol yang diperoleh.

2.6 Tahap Analisa Produk

Etanol hasil fermentasi kemudian dimurnikan dengan proses distilasi dan distilasi-adsorpsi lalu etanol hasil pemurnian yang diperoleh dianalisa karakteristiknya. Analisa yang dilakukan yaitu analisa kadar alkohol, densitas, viskositas etanol, pH, serta uji kuantitatif menggunakan GCMS.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Bioetanol Hasil Proses Fermentasi

Pada penelitian ini digunakan metode *solid state fermentation* (SSF) dan mikroba yang digunakan adalah *Zymomonas mobilis*. Pada penelitian ini diperoleh kadar alkohol rata-rata hasil fermentasi kulit nanas menggunakan metode *solid state fermentation* (SSF) sebesar 10,44% volum.

3.2 Perolehan Kadar Alkohol Hasil Proses Distilasi

Kadar etanol yang diperoleh dari hasil fermentasi adalah sebesar 11% volum yang terdiri dari campuran etanol-air maupun senyawa pengotor sehingga perlu dilakukan pemurnian untuk meningkatkan kadar alkohol pada bioetanol hasil fermentasi. Kadar alkohol yang diperoleh setiap pengulangan proses distilasi dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Perolehan Kadar Alkohol pada Proses Distilasi

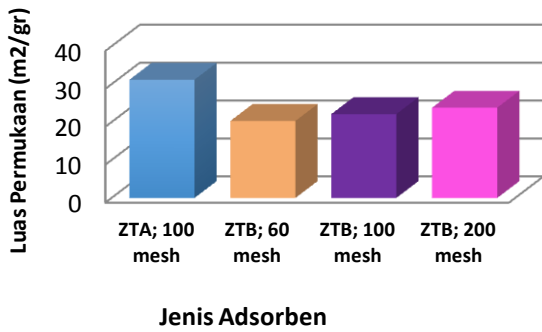
No.	Kadar Alkohol pada Distilasi ke- (% v)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	25	41	68	74	84	95	95
2	22	47	61	73	85	95	95
3	26	49	70	76	86	95	95
4	22	48	63	73	84	94	95,4
5	20	42	60	71	81	94	95,2
6	23	41	56	72	80	94	95

Pada penelitian ini, kadar alkohol pada bioetanol tidak dapat ditingkatkan lagi saat mencapai kadar 95-96% volum. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa campuran *azeotrop* etanol-air tidak mengikuti Hukum Raoult's. Pada campuran etanol-air terjadi penyimpangan (deviasi) positif dengan titik didih campuran berada dibawah titik didih masing-masing bahan yaitu di bawah titik didih etanol dan air [Clark 2005]. Walaupun dimurnikan dengan distilasi secara terus-menerus, kadar etanol yang diperoleh tidak akan melebihi 95,6% berat. Oleh karena itu, untuk memurnikan etanol, maka perlu dilakukan adsorpsi menggunakan adsorben yang bertindak sebagai *molecular sieve* [Prihandana, 2007].

3.3 Pengaruh Aktivasi Terhadap Luas Permukaan Zeolit

Zeolit diaktivasi terlebih dahulu melalui aktivasi fisika dan aktivasi kimia menggunakan NaOH. Proses aktivasi secara fisis bertujuan untuk menghilangkan molekul-molekul air serta zat-zat organik pengotor yang ada pada kerangka zeolit. Perlakuan termal ini dapat pula menyebabkan perpindahan kation, yang akan mempengaruhi letak kation serta ukuran pori dan pada akhirnya akan mempengaruhi kesetimbangan serta kinetika adsorpsi [Ackley dkk., 2003]. Aktivasi kimia bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan. Prinsipnya dengan penambahan pereaksi tertentu sehingga diperoleh pori-pori zeolit yang bersih [Affandi, 2011].

Luas permukaan dari sampel zeolit yang digunakan ditentukan berdasarkan adsorpsi isoteremis menggunakan metode Brunauer, Emmett, & Teller (BET) [Condon 2006]. Kurva standar hasil pengukuran luas permukaan menggunakan metode BET dapat dilihat pada Lampiran D. Hasil dari uji BET Adsorb yang telah dilakukan memberikan data tentang luas permukaan zeolit yang dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Luas Permukaan Sampel Zeolit

Keterangan:

ZTA: Zeolit alam tanpa aktivasi

ZTB: Zeolit alam teraktivasi basa

Perlakuan aktivasi seharusnya menyebabkan peningkatan luas permukaan spesifik karena pemanasan zeolit dapat menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaan pori-pori bertambah. Akan tetapi hal ini tidak terjadi pada penelitian ini karena kemungkinan distribusi pori zeolit yang kurang merata. Hasil penelitian ini sesuai dengan yang dilaporkan Muchtar [1983], bahwa menurunnya luas permukaan dapat disebabkan oleh distribusi pori yang kurang merata. Penurunan nilai luas permukaan zeolit dapat disebabkan pula karena terbentuknya aglomerasi (gumpalan). Aglomerasi merupakan proses bergabungnya partikel-partikel kecil menjadi struktur yang lebih besar melalui mekanisme pengikatan fisis [Agusetiani, 2012].

Penelitian yang dilakukan oleh Yuliusman dkk., [2010] dengan menggunakan metode uji BET Autosorb terlihat bahwa zeolit alam memiliki luas permukaan lebih besar dibandingkan dengan zeolit alam yang telah dilakukan aktivasi, hal ini mengindikasikan bahwa proses aktivasi yang dilakukan diperkirakan merusak struktur alumina dan silika dari zeolit yang dapat memperkecil luas permukaannya. Selain itu suhu kalsinasi yang tinggi juga membuat luas permukaan zeolit semakin kecil, karena kalsinasi ditujukan untuk mendapatkan kristalinitas yang baik. Semakin tinggi suhu kalsinasi, semakin baik kristalnya, semakin besar pula ukurannya sehingga menurunkan luas permukaan efektifnya.

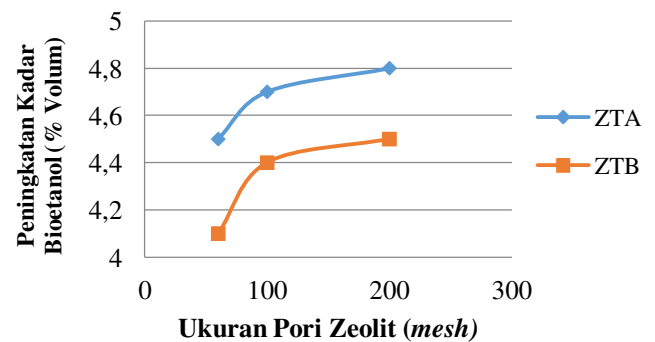
3.4 Pengaruh Ukuran Zeolit Terhadap Kemampuan Adsorpsi

Dehidrasi etanol merupakan proses pemurnian etanol sehingga didapatkan etanol dengan kadar diatas titik azeotrop. Dehidrasi yang dilakukan yaitu dengan cara distilasi adsorpsi menggunakan *molecular sieve* zeolit alam tanpa aktivasi dan zeolit alam teraktivasi basa dengan ukuran partikel 60, 100, dan 200 *mesh*. Kadar etanol sebelum dan setelah proses distilasi-adsorpsi dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Perolehan Kadar Alkohol pada Proses Distilasi-Adsorpsi

No.	Jenis Adsorben	Kadar Etanol setelah adsorpsi (% v)	Kadar Etanol setelah adsorpsi (% v)	Kenaikan kadar Etanol (% v)
1	ZTA; 60 <i>mesh</i>	95	99,5	4,5
2	ZTA; 100 <i>mesh</i>	95	99,7	4,7
3	ZTA; 200 <i>mesh</i>	95	99,8	4,8
4	ZTB; 60 <i>mesh</i>	95,4	99,5	4,1
5	ZTB; 100 <i>mesh</i>	95,2	99,6	4,4
6	ZTB; 200 <i>mesh</i>	95	99,5	4,5

Hubungan antara kenaikan kadar etanol dengan ukuran zeolit dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Ukuran Pori Zeolit terhadap Peningkatan Kadar Bioetanol

Dari grafik dapat di atas dapat dilihat bahwa peningkatan kadar bioetanol dengan menggunakan zeolit alam teraktivasi basa lebih rendah dibandingkan peningkatan kadar bioetanol menggunakan zeolit alam tanpa aktivasi. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya luas permukaan zeolit setelah proses aktivasi yang menyebabkan menurunnya kemampuan penyerapan air oleh zeolit sehingga kenaikan kadar bioetanolnya juga rendah.

Pada proses distilasi-adsorpsi dengan variasi ukuran pori zeolit peningkatan kadar bioetanol mengalami kenaikan sesuai dengan semakin kecilnya ukuran pori zeolit. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin besar luas permukaan adsorben akan menyebabkan kontak antara zeolit dengan air akan semakin besar sehingga hasil penyerapan etanol semakin banyak.

Adsorben berukuran kecil dengan luas permukaan yang besar akan memberikan jumlah partikel yang lebih banyak dari adsorben berukuran besar untuk massa yang sama [Lee, 2003]. Semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin banyak pori yang dimiliki per satuan partikel adsorben. Hal ini menyebabkan etanol yang diserap semakin banyak [Prayitno, dkk., 2009].

3.5 Karakteristik Sifat Fisika Bioetanol

Karakteristik sifat fisika bioetanol hasil pemurnian dengan proses distilasi-adsorpsi meliputi penampakan fisik berupa warna, bau, densitas, viskositas, dan pH.

3.5.1 Warna dan Bau Bioetanol

Hasil penampakan fisik dan bau bioetanol yang dihasilkan dari proses distilasi-adsorpsi dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Warna dan Bau Bioetanol Hasil Proses Distilasi-Adsorpsi

No.	Bioetanol	Warna	Bau
1	ZTA; 60 <i>mesh</i>	Jernih dan terang, tidak ada endapan atau kotoran	Khas etanol, tidak asam
2	ZTA; 100 <i>mesh</i>	Jernih dan terang, tidak ada endapan	Khas etanol, tidak asam

atau kotoran

No.	Bioetanol	Warna	Bau
3	ZTA; 200 <i>mesh</i>	Jernih dan terang, tidak ada endapan atau kotoran	Khas etanol, tidak asam
4	ZTB; 60 <i>mesh</i>	Jernih dan terang, tidak ada endapan atau kotoran	Khas etanol, tidak asam
5	ZTB; 100 <i>mesh</i>	Jernih dan terang, tidak ada endapan atau kotoran	Khas etanol, tidak asam
6	ZTB; 200 <i>mesh</i>	Jernih dan terang, tidak ada endapan atau kotoran	Khas etanol, tidak asam

Warna dan bau bioetanol yang dihasilkan dari hasil pemurnian menggunakan zeolit sesuai dengan Standar Nasional Indonesia Kualitas Bioetanol yang dapat digunakan sebagai bioetanol untuk campuran bahan bakar (gasohol) [SNI 7390-2008].

3.5.2 Densitas, Viskositas, dan pH Bioetanol

Hasil uji densitas, viskositas, dan pH bioetanol dari proses distilasi-adsorpsi dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Densitas, Viskositas, dan pH Bioetanol Hasil Proses Distilasi-Adsorpsi

No.	Bioetanol	Densitas (g/ml)		Viskositas (Cp)		pH	
		H	S	H	S	H	S
1	ZTA; 60 <i>mesh</i>	0,80		1,08		6,7	
2	ZTA; 100 <i>mesh</i>	0,77		0,90		6,6	
3	ZTA; 200 <i>mesh</i>	0,81		1,09		6,5	
4	ZTB; 60 <i>mesh</i>	0,76	0,79	1,07	1,17	6,6	6,5-9,0
5	ZTB; 100 <i>mesh</i>	0,82		1,09		6,5	
6	ZTB; 200 <i>mesh</i>	0,82		1,08		6,5	

Keterangan:

H: Hasil uji
S: Standar

Densitas dan viskositas bioetanol hasil proses distilasi-adsorpsi mendekati nilai densitas dan viskositas etanol teknis standar. Nilai pH bioetanol hasil proses distilasi-adsorpsi memenuhi nilai standar pH bioetanol sesuai dengan SNI 7390 tahun 2008.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil kegiatan penelitian ini sebagai berikut.

1. Fermentasi dari kulit nanas dapat menghasilkan bioetanol yang memenuhi standar SNI untuk uji fisik dan kadar etanol
2. Proses yang paling efektif untuk pemurnian etanol adalah proses distilasi-adsorpsi dengan adsorben zeolit alam tanpa aktivasi dengan ukuran pori 200 mesh.

5. Saran

Pada produksi bioetanol dari kulit nanas selanjutnya direkomendasikan untuk melakukan analisa komposisi kimia bioetanol hasil pemurnian sesuai dengan standar pengujian yang tercantum pada SNI tahun 2008.

6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Said Zul Amraini, ST., MT dan Bapak Chairul ST., MT yang telah membimbing dan memberikan ilmu-ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Mama, papa dan adik-adik tersayang, terima kasih atas doa dan kasih sayangnya selama ini.

Daftar Pustaka

Ackley, M.W., Rege, S.U., Saxena, H., 2003, *Application of Natural Zeolites in The Purification and Separation of Gases, Journal Microporous and Mesoporous Materials* 61, 25-42.

Aditya, F. L. 2011. Pembuatan Bioetanol dari Nira Sorgum menggunakan Bakteri *Zymomonas mobilis* dengan Variasi Volume Inokulum, Laporan Penelitian, Teknik Kimia Universitas Riau, Pekanbaru.

Agusetiani L, Pardoyo, Subagio A, 2012. Pembuatan Nanozeolit Dari Zeolit Alam Secara Top Down Menggunakan High Energy Dan Aplikasinya Untuk Penyerapan Ion Fe^{3+} . Skripsi. Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro. Semarang

Badan Pusat Statistik, 2012, Produksi Buah-buahan Menurut Provinsi, [Http://www.bps.go.id/produksi](http://www.bps.go.id/produksi), diakses pada 10 Juni 2013, pukul 15.00 WIB.

Condon JB. 2006. *Surface Area and Porosity Determinations by Physisorption measurements and theory*. Amsterdam. Elsevier.

Junaidi, B.A, Abdullah, dan Gunawan. (2012). Kajian Produksi Biodiesel dan Bioetanol Berbasis Mikroalga Secara Simultan, Laporan Penelitian, Fakultas MIPA, Universitas Lampung, Lampung.

Khairani, R. 2007. Tanaman jagung sebagai bahan bio-fuel. <http://www.macklintmip-unpad.net/Bio-fuel/Jagung/Pati.pdf>, diakses pada 25 Juli 2013, pukul 15.00 WIB.

Lee, Y.,J., Kim, J.,H., Kim, S.,H., Hong, S.,B., & Seo, G. (2008). *Nanocrystalline Beta Zeolite : An Efficient Solid Acid Catalyst For The Liquid Phase Degradation of High-Density Polyethylene. Applied Catalyst B : Enviromental* 83 (2008) 160-167.

Oktaviani, R. 2013. Produksi Etanol dari Limbah Kulit Nanas dengan Metode *Solid State Fermentation* (SSF) Terhadap Variasi Waktu dan Variasi Ukuran Partikel Substrat. Laporan Penelitian, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.

Prihandana, R. (2007). Bioetanol Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan. Jakarta: Agromedia.

Prayitno, Umi S, 2009, Penentuan Kecepatan Adsorpsi Boron Dalam Larutan Zirkonium Dengan Zeolit, Prosiding Seminar Nasional V Sdm Teknologi Nuklir, Sttn Batan, Yogyakarta, Issn 1978 – 0176.

- Rahmatullah DKA, Wiradini G, Ariyanto NP. 2007. Pembuatan adsorben dari zeolit alam dengan karakteristik adsorben properties untuk kemurnian bioetanol. Laporan akhir. Bandung. Fakultas teknologi industri. Institut teknologi bandung.
- SNI 7390-2008. Standar Nasional Indonesia Kualitas Bioetanol. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Teresa M. M., Antonio A. M. dan Caetano, N.S. 2010. *Microalgae for Biodiesel Production and Other Applications: A Review, Renewable and Sustainable Energy*, 14 217-232.
- Yuliusman , Widodo W.P, Yulianto S.N, Yuda P. 2010. Preparasi Zeolit Alam Lampung Dengan Larutan Hf, Hcl Dan Kalsinasi Untuk Adsorpsi Gas CO. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Zuhaidha, N. 2012. Zeolit Alam Teraktivasi Basa Untuk Pemurnian Bioetanol. Skripsi, Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor.