

Pemanfaatan Minyak Biji Bintangur (*Calophyllum inophyllum*) Sebagai Biodiesel Dengan Menggunakan Katalis Zeolit Alam Terembani NaN_3

Ilham Salim dan Suwito

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Cenderawasih

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai sintesis metil ester dari minyak bintangur dengan katalis zeolit alam terembani NaN_3 . Proses pengembanan NaN_3 pada zeolit dilakukan dengan merendam zeolit alam teraktivasi dalam larutan NaN_3 selama 24 dengan pengadukan. Keberhasilan pengembanan ditentukan dengan menghitung perubahan kadar natrium dalam zeolit alam dan zeolit alam terembani NaN_3 menggunakan alat *Flame Photometer*. Sintesis metil ester dari minyak bintangur melalui proses transesterifikasi, dengan variasi berat katalis yang digunakan adalah 1%, 10%, dan 15% terhadap berat minyak.

Hasil penelitian diperoleh rendemen minyak bintangur sebesar 75,3%. Konversi minyak bintangur menjadi metil ester dengan variasi katalis zeolit alam terembani NaN_3 1%, 10%, dan 15% terhadap berat minyak memberikan hasil berturut-turut 54,31%, 53,41%, dan 56,63%. Densitas metil ester berkisar 0,87 g/mL - 0,89 g/mL, titik kabut antara 11 – 13 °C, dan titik didih antara 180 - 264 °C.

Kata kunci : Bintangur, Zeolit alam, Biodiesel, Terembani NaN_3 .

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan nasional dewasa ini yang dirasakan adalah masalah energi, baik untuk keperluan rumah tangga, maupun untuk industri dan transportasi akibat ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin terbatas. Kebijakan pemerintah tentang energi ialah pengurangan atau pengalihan penggunaan bahan bakar minyak tanah untuk keperluan rumah tangga dengan bahan bakar LPG yang sudah dilakukan di beberapa provinsi. Upaya-upaya penggunaan sumber-sumber energi alternatif lainnya yang dianggap layak dilihat dari segi teknis, ekonomi, dan lingkungan hidup juga mendapat perhatian dari pemerintah, antara lain Bahan Bakar Nabati (BBN).

Bioenergi adalah bahan bakar alternatif terbaru yang prospektif untuk dikembangkan. Ketersediaan energi fosil yang terbatas, bioenergi merupakan solusi yang tepat sebagai sumber energi alternatif. Kelebihan bioenergi, selain bisa diperbaharui adalah bersifat ramah lingkungan, dapat

terurai, mampu mengurangi efek rumah kaca, dan kontinuitas bahan bakunya terjamin. Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, bioenergi bertransformasi menjadi bentuk yang lebih modern. Bioenergi yang lebih modern diantaranya bioetanol, biodiesel, *Pure Palm Oil* (PPO) atau *Straight Vegetable Oil* (SVO), minyak bakar, dan biogas (Hambali dkk., 2007).

Menurut Hambali dkk. (2007), biodiesel adalah bahan bakar nabati yang dibuat dari minyak nabati, melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi-transesterifikasi. Biodiesel digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti BBM untuk motor diesel. Bahan bakar ini berbentuk cair dan bersifat menyerupai solar.

Bahan baku biodiesel yang telah diteliti di Indonesia adalah minyak sawit, minyak jarak, dan minyak kedelai. Stok bahan baku ini diperkirakan belum mencukupi kebutuhan biodiesel pada masa yang akan datang. Penyebabnya adalah sebagian besar bahan baku tersebut merupakan bahan

pangan bagi manusia. Pengembangan sumber energi minyak nabati nonpangan sangat penting, sebagai sumber utama biodiesel. Berbagai macam jenis tumbuhan dapat menjadi sumber utama biodiesel, tergantung pada sumber daya yang terdapat di suatu tempat/negara.

Bintangur merupakan tumbuhan pelindung pantai dari abrasi, penahan angin laut ke darat, tempat berteduh nelayan, penahan tebing sungai dan pantai dari longsor, pengendali intrusi dan penjaga kualitas air payau, berpotensi untuk penahan gelombang pasang. Kayu bintangur bermanfaat untuk konstruksi rumah, perahu, dan kayu untuk keperluan pertukangan. Biji bintangur dapat dijadikan bahan baku biodiesel.

Bintangur penghasil minyak yang kadar Oktan-nya cukup tinggi (KPH Banyumas Barat, 2007). Minyak bintangur tergolong minyak dengan asam lemak tak jenuh berantai karbon panjang, dengan kandungan utama berupa asam oleat 37,5 %, asam linoleat 26,33% dan asam stearat 19,96%. Selebihnya berupa asam palmitat, asam arachidat, asam linolat dan asam erukat (Badan Penelitian dan Pengembangan Tanaman Kehutanan Bogor, 2006).

Tumbuhan bintangur (*Callophyllum inophyllum*) banyak dijumpai di pesisir pantai Papua. Tumbuhan bintangur ini masih belum banyak dimanfaatkan, dan sangat potensial dikembangkan sebagai sumber BBN jenis biodiesel di Papua.

Mineral zeolit banyak ditemukan di Indonesia dan keberadaannya sangat melimpah. Menurut data statistik dari Pusat Penelitian Teknologi Mineral Bandung diperkirakan di Indonesia terdapat \pm 120 juta ton zeolit alam yang tersebar di 46 lokasi antara lain Malang, Pacitan, Wonosari, dan Lampung. Pemanfaatan zeolit alam masih terbatas, dipasarkan masih dalam bentuk alamiahnya dan digunakan sebagai pupuk di bidang pertanian. Pemanfaatan zeolit alam sebagai katalis dalam berbagai penelitian mulai dikembangkan.

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah

dalam kerangka tiga dimensinya. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversibel.

Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral AlO_4 dan SiO_4 yang saling berhubungan melalui atom O dan di dalam struktur tersebut sebagaimana Si^{4+} diganti dengan Al^{3+} . Zeolit merupakan kristal yang agak lunak, berat jenis 2 - 2,4, warna putih coklat atau kebiru-biruan. Kristalnya berupa struktur tiga dimensi yang tak terbatas dan mempunyai rongga-rongga yang berhubungan dengan yang lain membentuk saluran ke segala arah dengan ukuran bervariasi. Zeolit membawa suatu muatan negatif pada kerangka aluminosilikat yang diimbangi dengan kation logam alkali atau alkali tanah yang berdekatan. Kebanyakan zeolit mengandung molekul air dalam rongganya yang berfungsi sebagai fasa gerak untuk migrasi kation-kation penyeimbang muatan.

Zeolit terdiri atas gugusan alumina dan gugusan silika-oksida yang masing-masing berbentuk tetrahedral dan saling dihubungkan oleh atom oksigen sedemikian rupa sehingga membentuk kerangka tiga dimensi. Zeolit merupakan material berpori, digunakan sebagai pengemban, memiliki luas permukaan yang besar, stabil terhadap temperatur tinggi, harganya murah dan melimpah di Indonesia. Zeolit dapat dimodifikasi dengan mendispersikan logam aktif ke permukaan zeolit untuk menjadikannya katalis. Katalis seperti ini merupakan katalis logam-pengemban, yang dapat digunakan sebagai pengemban katalis basa NaN_3 . Katalis zeolit teremban NaN_3 dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel dari minyak bintangur melalui proses transesterifikasi.

METODE PENELITIAN

Pembuatan Katalis Zeolit Teremban NaN_3

Zeolit dibersihkan, dihaluskan dengan ukuran 200 mesh. Aktivasi zeolit dengan asam sulfat, dilakukan dengan merendam 400 gram zeolit dalam 800 mL larutan H_2SO_4 1 M, diaduk selama 3 jam. Zeolit kemudian dicuci

dengan akuades hingga pH larutan netral. Selanjutnya zeolit dikeringkan dalam oven pada suhu 300°C, kemudian dihaluskan lolos ukurran 200 mesh. Zeolit aktif direndam dalam larutan NaN_3 0,1 M, diaduk selama 24 jam dan disaring. Campuran zeolit – NaN_3 dikeringkan dan dihaluskan dengan ayakan 200 mesh, kemudian dikalsinasi dalam *furnace* pada temperatur 400°C selama 2 jam. Kadar natrium yang teremban dalam zeolit ditentukan dengan menggunakan *Flame Photometer*.

Ekstraksi minyak biji bintangur

Minyak biji bintangur diekstraksi dengan menggunakan metode soxhletasi. Biji bintangur kering, dihaluskan, kemudian ditimbang sejumlah tertentu untuk diekstraksi dengan menggunakan pelarut petroleum eter. Penentuan kadar asam lemak bebas (FFA) minyak biji bintangur ditentukan dengan metode titrasi. Sejumlah minyak ditambah dengan dengan sejumlah etanol 96% netral yang panas. Kemudian campuran tersebut dititrasi menggunakan larutan NaOH 0,01 N, dengan indikator PP. Minyak yang mengandung FFA lebih besar dari 5%, sebelum proses transesterifikasi harus diturunkan kadar FFA hingga kurang dari 5% dengan cara esterifikasi.

Proses Transesterifikasi Menggunakan Katalis Zeolit Terembani NaN_3

Katalis zeolit teremban NaN_3 sebanyak 10% (b/b) terhadap berat minyak biji bintangur dicampur dengan 30% metanol terhadap berat minyak, diaduk hingga homogen. Kemudian minyak dimasukkan ke dalam campuran katalis zeolit alam teremban NaN_3 dan metanol. Reaksi dilakukan dengan system batch pada suhu 50-65°C selama 1 jam pada tekanan atmosferik. Kemudian campuran zeolit dan gliserol yang dihasilkan dipisahkan dari metil ester. Metil ester dicuci dengan air hangat. Proses transesterifikasi dilakukan ulang untuk variasi berat katalis zeolit alam teremban NaN_3 terhadap berat minyak. Uji biodiesel yang dihasilkan dengan menentukan titik kabut, titik didih, dan berat jenis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi Minyak Bintangur

Biji bintangur dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama ± 2 hari untuk mengurangi kadar air yang terdapat di dalamnya. Kandungan air dalam minyak akan dapat menghambat proses selanjutnya. Kadar air yang terdapat dalam biji bintangur adalah 2,5%. Pelarut yang digunakan dalam soxhletasi minyak bintangur adalah petroleum eter. Digunakan pelarut ini karena petroleum eter bersifat non polar sehingga dapat melarutkan minyak bintangur yang juga bersifat non polar. Menurut Ketaren (1986), kelarutan minyak atau lemak dalam suatu pelarut ditentukan oleh sifat polaritas asam lemaknya.

Asam lemak yang bersifat polar cenderung larut dalam pelarut polar, sedangkan asam lemak non polar larut dalam pelarut non polar. Asam lemak berantai karbon panjang cenderung bersifat nonpolar sehingga mudah larut dalam pelarut non polar seperti eter, hidrokarbon, benzene, karbon disulfida dan pelarut-pelarut halogen. Diketahui bahwa asam lemak dari minyak bintangur merupakan asam lemak berantai karbon panjang yaitu asam oleat, sehingga digunakan pelarut petroleum eter dalam proses ekstraks. Proses pemisahan minyak dengan pelarut petroleum eter dilakukan dengan cara distilasi dengan suhu 35-60°C, akan menguapkan petroleum eter.

Minyak bintangur hasil ekstraksi diperoleh rendemen 75,3%. Hasil ini tidak berbeda jauh dengan yang dilaporkan Masyhud (2008), rendemen minyak bintangur mencapai 74%. Rendemen minyak yang besar, tanaman bintangur potensial sebagai sumber biodiesel. Sebelum dilakukan proses lebih lanjut, minyak bintangur harus bebas dari getah. Pnghilangan getah (*degumming*) dengan menggunakan asam fosfat 1%. *Degumming* ini dilakukan untuk menghilangkan fosfatida dari dalam minyak. Karena fosfatida dapat membuat minyak menjadi gelap selama penyimpanan dan akan mengakibatkan berkumpulnya air dalam produk ester (Syah, 2006).

Katalis Zeolit Alam Terembani NaN_3

Zeolit alam dari Wonosari Yogyakarta dihaluskan dan diayak 200 mesh, agar ukuran relatif seragam dan memperbesar luas permukaan zeolit sehingga dapat mempercepat laju reaksi. Selanjutnya zeolit siap diaktivasi.

Aktivasi zeolit menggunakan larutan H_2SO_4 , yaitu dengan mencampur zeolit dengan H_2SO_4 1 M di dalam gelas kimia dan di aduk selama 3 jam. Proses aktivasi ini akan dapat membersihkan permukaan pori dari pengotor yang menutupinya sehingga dengan aktivasi, pori zeolit akan terbuka dan semakin luas. Aktivasi zeolit juga dapat membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan.

Zeolit memiliki beberapa sifat sehingga baik sebagai material pengemban, yaitu : (1) memiliki luas permukaan yang besar, (2) stabilitas termal yang tinggi, (3) porositas yang baik, (4) aktivitas dan selektivitas yang tinggi. Pengemban NaN_3 dilakukan dengan merendam zeolit aktif dalam larutan NaN_3 0,1 M dan diaduk selama 24 jam. Pada proses ini diharapkan logam Na dapat menyisip atau berinteraksi dengan permukaan zeolit aktif, sehingga diperoleh zeolit dengan luas permukaan aktif yang besar dan kebasaaan dari zeolit meningkat dengan adanya NaN_3 .

NaN_3 yang teremban pada zeolit dapat memaksimalkan dan meningkatkan fungsi zeolit sebagai katalis basa dalam proses transesterifikasi minyak bintangur menjadi metil ester. Zeolit yang telah dilakukan pengemban NaN_3 dikalsinasi dalam *furnace* dengan temperatur 400°C selama 2 jam. Kalsinasi bertujuan untuk menguapkan air dan pengotor-pengotor organik yang masih terperangkap di dalam pori-pori kristal.

Keberhasilan pengemban ditentukan dengan mengukur kadar natrium yang terdapat dalam zeolit menggunakan *Flame Photometer*. Hasil pengukuran menunjukkan peningkatan kadar natrium setelah pengemban. Kadar Na yang terdapat dalam zeolit alam Wonosari sebelum pengemban adalah 6 ppm (0,3%), sedangkan setelah pengemban 12,5 ppm (0,625%). Peningkatan kadar natrium dalam zeolit,

secara sederhana menunjukkan terjadinya pengemban NaN_3 pada zeolit.

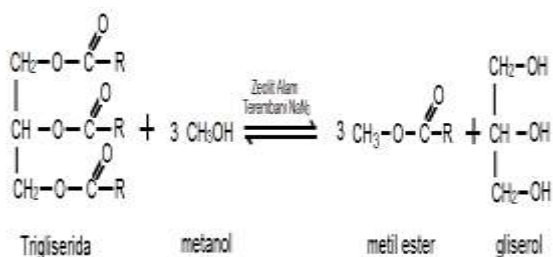
Kadar Asam Lemak Bebas Minyak Bintangur

Kadar asam lemak bebas suatu minyak sangat menentukan dalam pemilihan langkah reaksi selanjutnya. Jika suatu minyak memiliki kadar asam lemak bebas lebih dari 5% maka perlu dilakukan esterifikasi terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan proses transesterifikasi. Pembentukan alkil ester akan terhambat dengan adanya asam lemak bebas. Reaksi pembentukan alkil ester akan berkompetisi dengan reaksi penyabunan. Kandungan asam lemak bebas yang tinggi dapat memicu terjadinya reaksi reaksi penyabunan. Jika kandungan asam lemak bebas dalam minyak kurang dari 5% maka dapat langsung dilakukan proses transesterifikasi.

Kadar asam lemak bebas dari minyak bintangur ditentukan dengan metode titrasi menggunakan larutan standar NaOH. Kadar asam lemak bebas dalam minyak bintangur alah 1,75% (sebelum proses *degumming*) dan 1,76% (setelah proses *degumming*).

Pembuatan Biodiesel

Biodiesel dari minyak bintangur disintesis melalui proses transesterifikasi menggunakan metanol dan katalis zeolit alam terembani NaN_3 . Proses transesterifikasi dilakukan untuk mengubah trigliserida menjadi metil ester. Katalis zeolit alam terembani NaN_3 dicampur dengan metanol untuk mendapatkan metoksida. Campuran katalis dan metanol dimasukkan ke dalam labu yang telah berisi minyak bintangur kemudian dilakukan refluks pada suhu 50°C – 65°C selama 1 jam. Dalam proses transesterifikasi ini zeolit terembani NaN_3 menyediakan ion logam Na bereaksi dengan metanol membentuk natrium metoksida (NaOCH_3). Natrium metoksida berperan sebagai basa lewis bereaksi dengan trigliserida minyak bintangur membentuk metil ester dan gliserol. Reaksinya adalah sebagai berikut :



Metil ester yang dihasilkan dipisahkan dari katalis dan gliserol, dan dicuci menggunakan akuades hingga benar-benar bebas dari gliserol dan katalis. Untuk memastikan bebas dari air, maka dimanaskan di atas hot plate hingga air yang ada dalam metil ester habis.

Rendamen metil ester yang diperoleh dengan beberapa variasi rasio antara katalis dengan minyak bintangur adalah sebagai berikut

Tabel 1 Rendamen Metil Ester dengan beberapa rasio katalis - minyak bintangur

NO	Rasio	Rendamen (%)
1	1%	54,31
2	10%	53,41
3	15%	56,63

Konversi minyak bintangur menjadi metil ester yang ditunjukkan dalam tabel 1 tersebut menjelaskan bahwa semakin banyak katalis zeolit alam terombani NaN_3 yang digunakan dalam proses transesterifikasi, diperoleh persen konversi yang semakin besar. Hasil konversi ini lebih rendah daripada yang telah dilaporkan oleh Badan Litbang Kehutanan mencapai 97,8%. Perbedaan katalis yang digunakan menyebabkan perbedaan rendamen yang diperoleh. Penelitian ini digunakan katalis heterogen berupa zeolit alam terombani NaN_3 , sedangkan penelitian yang dilakukan Badan Litbang Kehutanan menggunakan katalis homogen berupa NaOH . Katalis homogen lebih efektif berinteraksi dengan minyak dibandingkan dengan katalis heterogen. Interaksi antara katalis heterogen dengan minyak hanya terjadi pada bagian permukaan katalis. Luas permukaan pada katalis heterogen berperan penting.

Logam Na pada permukaan zeolit alam terombani NaN_3 merupakan situs aktif yang memegang peranan penting sebagai katalis dalam proses transesterifikasi, dimana pada permukaan zeolit yang mengandung situs aktif tersebut terjadi reaksi antara katalis dengan reaktan. Kadar logam Na dalam zeolit alam terombani NaN_3 berpengaruh terhadap konversi minyak bintangur menjadi metil ester. Hasil penelitian diketahui kadar logam Na dalam zeolit alam terombani NaN_3 masih rendah sehingga hasil konversi minyak bintangur menjadi metil ester yang diperoleh belum optimal.

Uji Kualitas Biodiesel

Tiga parameter yang akan diuji untuk mengetahui kualitas biodiesel hasil sintesis, yaitu densitas, titik kabut, dan titik didih. Keberhasilan sintesis biodiesel ditunjukkan dari hasil pengukuran parameter tersebut di atas dan dibandingkan dengan nilai dari masing-masing parameter menurut Standar Nasional Indonesia (SNI).

Tabel 2 Hasil pengukuran densitas, titik kabut, titik didih, metil ester minyak bintangur

No	Rasio Katalis-minyak	Densitas (g/mL)		Titik Kabut ($^{\circ}\text{C}$)		Titik Didih ($^{\circ}\text{C}$)
		Hasil penelitian	SNI	Hasil penelitian	SNI	
1	1%	0,87	0,85 - 0,89	11	Maks	180
2	10%	0,89		11	.18	264
3	15%	0,89		13		230

Pengujian terhadap densitas metil ester dari minyak bintangur dilakukan metode gravimetri. Hasil perhitungan berat jenis metil ester minyak bintangur ditunjukkan pada tabel 2. Hasil pengukuran densitas metil ester minyak bintangur yang diperoleh berada pada skala nilai densitas biodiesel menurut SNI.

Hasil pengukuran titik kabut metil ester dari transesterifikasi minyak bintangur disajikan pada tabel 2. Nilai titik kabut metil ester minyak bintangur di bawah nilai SNI. Ditinjau dari hal tersebut, maka metil ester dari minyak bintangur memenuhi syarat sebagai biodiesel. Titik kabut ditentukan dengan

megukur suhu pada saat pertama kali metil ester membentuk kristal kabut ketika suhu diturunkan. Nilai titik kabut berguna untuk mengetahui suhu suatu biodiesel membeku bila berada pada suhu yang rendah, karena bila biodiesel telah membeku maka tidak dapat digunakan untuk menjalankan mesin.

Hasil pengukuran titik didih metil ester minyak bintangur masih berada dalam skala titik didih dari solar yaitu 180 sampai 360^oC. Metil ester dari minyak bintangur memiliki sifat seperti solar ditinjau dari titik didihnya sehingga dapat dikatakan sebagai biodiesel yang memiliki sifat menyerupai solar. Karakterisasi tiga parameter yaitu densitas, titik kabut, dan titik didih menunjukkan bahwa hasil konversi minyakbintangur merupakan metil ester yang potensial sebagai bahan bakar nabati yang potensial.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa minyak biji buah bintangur potensial sebagai sumber biodiesel melalui proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis zeolit alam terembani NaN₃. Konversi minyak bintangur menjadi biodiesel dengan menggunakan katalis zeolit alam terembani NaN₃ dengan variasi berat katalis 1%, 10% ,dan 15% terhadap berat minyak berturut-turut adalah 54,31%, 53,41%, dan 56,63%. Karakteristik metil ester berdasarkan tiga parameter yang diuji menunjukkan kesesuaian dengan biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Penelitian dan Pengembangan Tanaman Kehutanan Bogor. 2006. *Nyamplung Sumber Energi Biofuel yang Potensial*. <http://www.prapanca21.wordpress.com>. Diakses tanggal 14 Januari 2009

Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., Hendroko, R.. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta : Agro Media Pustaka

Handoko, D. S. P. 2002. *Preparasi Katalis Cr/Zeolit Melalui Modifikasi Zeolit Alam*. Jurnal Ilmu Dasar Vol.3 No.1, 2002:15-23

Hart, H., Craine, L. E. dan Hart, D. J. 2003. *Kimia Organik : Suatu Kuliah Singkat*. Jakarta : Erlangga

Hendayana, S., Kadarohman, A., Sumarna, AA., Supriatna, A. 1994. *Kimia Analitik Instrumen*. Semarang : IKIP Semarang Press

Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta : UI-Press

KPH Banyumas Barat. 2007. *Tanaman Nyamplung ±1000 ha di Tahun 2008*. <http://www.google.co.id/index.php.htm>. Diakses tanggal 14 Januari 2009

Masyhud. 2008. *Tanaman Nyamplung Berpotensi sebagai Sumber Energi Biofuel*.

Oxtoby, D. W., Gillis, H.P. dan Nachtrieb⁺, N. H. 2003. *Prinsip-Prinsip Kimia Modern Edisi Keempat Jilid II*. Jakarta : Erlangga.

Poedjiadi, A. 1984. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta : UI-Press

Prihandana, R. dan Hendroko, R. 2007. *Energi Hijau*. Jakarta : Penebar Swadaya

Sukandarrumidi. 2004. *Bahan Galian Industri*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press

Susilo, B. 2006. *Biodiesel*. Surabaya : Trubus Agrisarana

Sutarti, M. dan Rachmawati, M. 1994. *Zeolit : Tinjauan Literatur*. Jakarta : Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah

Syah, A. N. A. 2006. *Biodiesel Jarak Pagar : Bahan Bakar Alternatif yang Ramah Lingkungan*. Jakarta : Agro Media Pustaka

Las, T. 2008. *Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif*. <http://www.batan.go.id/ptlr/08id/?q=node/14>. Diakses tanggal 31 Mei 2009

Triyono. 1996. *Kimia Fisika : Dasar-Dasar Kinetika dan Katalisis*. Yogyakarta : Departemen Pendidikan dan Pengajaran Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Proyek Pendidikan Tenaga Guru