

PEMANFAATAN MINYAK JELANTAH MENJADI BIODIESEL DENGAN KATALIS ZnO PRESIPITAN ZINC KARBONAT : PENGARUH WAKTU REAKSI DAN JUMLAH KATALIS

Hamsyah Adhari¹, Yusnimar², Syelvia Putri Utami³

Laboratorium Teknologi Produk Teknik Kimia

Jurusan Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

Email : Hamsyahadhari93@gmail.com

ABSTRACT

Biodiesel is a highly potential material to replace diesel fuel. Renewable and environmentally friendly. Waste cooking oil can be used as raw material for making biodiesel. Free fatty acid levels are high in waste cooking oil requiring pretreatment (esterification) in the process of making biodiesel. In this study transesterification reaction conducted by catalyst synthesized ZnO of ZnCO₃. This study aims to determine the effect of variations in reaction time and variations the amount of catalyst to yield biodiesel produced. After esterification of free fatty acid levels in the oil can be lowered from 6.09% to 1.02%. The transesterification reaction was held at temperatures 65°C; The mole ratio of oil and methanol is 1:18; ZnO catalyst amount is 0,5%, 0,6% and 0,7%; reaction time is 50, 75, and 100 minutes. The highest biodiesel yield obtained was 94.31% on the amount of catalyst 0.7% w / w of cooking oil with a reaction time of 100 minutes. Characteristics of biodiesel produced, namely: density and viscosity at a temperature of 40°C is 866,50 kg/m³ and 5,74 mm²/s, The flash point is 190°C, acid value 0,60 mg-KOH/g-biodiesel and the content of alkyl ester 98,42%.

Keywords: Biodiesel, Waste Cooking Oil, Esterification, Transesterification, ZnO

1. Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk di dunia dengan beragam jenis kebutuhannya mengakibatkan kebutuhan akan energi semakin meningkat. Sementara persediaan energi khususnya energi yang tidak dapat diperbaharui semakin berkurang kuantitasnya. Bahan bakar minyak bumi adalah salah satu sumber energi utama yang banyak digunakan berbagai negara di dunia pada saat ini. Kebutuhan bahan bakar ini akan selalu meningkat seiring dengan penggunaannya di bidang industri maupun transportasi [Handoyo, 2007].

Berkembangnya industri di Indonesia akan mengakibatkan peningkatan konsumsi bahan bakar. Menurunnya produksi minyak dalam negeri dan meningkatnya kebutuhan bahan bakar minyak bumi menyebabkan ketergantungan Indonesia terhadap bahan

bakar impor minyak bumi meningkat. Pada periode tahun 2011-2030 diperkirakan kebutuhan minyak dalam negeri akan meningkat hampir 2 kali lipat dari 327 juta barel pada tahun 2011 menjadi 578 juta barel pada tahun 2030, tetapi tidak demikian dengan produksi minyak. Produksi minyak bumi selama periode tersebut menurun dari 329 juta barel menjadi 124 juta barel yaitu menurun sekitar 62% [Sugiyono dkk. 2013].

Biodiesel merupakan salah satu jenis bahan bakar diesel alternatif yang ramah lingkungan yang berasal dari minyak tumbuhan atau lemak hewan yang dihasilkan melalui proses reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Selain itu, sebagai sumber pembuatan biodiesel yang murah dan banyak terdapat di sekitar masyarakat

yaitu minyak jelantah merupakan limbah yang banyak mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik. Mengingat hal tersebut maka biodiesel dapat saja dibuat dari minyak nabati yang tidak harus baru, seperti minyak jelantah [Setiawati dan Fatmir, 2012].

Biodiesel mempunyai keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar diesel dari minyak bumi. Bahan bakar biodiesel dapat diperbaharui. Selain itu, juga dapat memperkuat perekonomian negara dan menciptakan lapangan kerja. Biodiesel merupakan bahan bakar ideal untuk industri transportasi karena dapat digunakan pada berbagai mesin diesel, termasuk mesin pertanian [Sudradjat, 2008]. Selain itu Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar memiliki banyak keuntungan antara lain bersifat terbarukan dan ramah lingkungan (mengurangi emisi kendaraan), mampu melumasi mesin sekaligus sebagai bahan bakar sehingga dapat meningkatkan umur kendaraan, aman untuk disimpan dan ditransportasikan karena bahan bakar ini bersifat *nontoxic* dan *biodegreable* dan dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil [Balat dan Balat, 2010].

Minyak jelantah adalah minyak goreng yang telah digunakan beberapa kali penggorengan. Minyak jelantah merupakan salah satu bahan baku biodiesel yang potensial untuk dimanfaatkan di Indonesia. Hal ini dapat dilihat dari produksi minyak jelantah di Indonesia yang dapat mencapai 4.000.000 ton/tahun. Berdasarkan hasil evaluasi kelayakan biodiesel jenis minyak nabati yang paling layak digunakan sebagai bahan baku biodiesel adalah minyak jelantah, sebab mengingat banyaknya minyak jelantah yang belum dimanfaatkan secara maksimal [Rahkadima dan Putri, 2011].

Minyak jelantah apabila tetap dikonsumsi dapat menyebabkan berbagai penyakit diantaranya tekanan darah tinggi, kanker dan kecerdasan [Rukmini, 2007]. Menurut Ketaren [2005], Penggunaan minyak jelantah juga dapat menyebabkan rasa gatal pada tenggorokan pada saat mengkonsumsi makanan yang digoreng menggunakan minyak jelantah.

Minyak jelantah dapat bermanfaat jika dapat diolah dengan tepat. Salah satu proses penanganan terhadap minyak jelantah adalah mengolahnya menjadi biodiesel [Satriana dkk, 2012]. Hal ini dapat dilakukan karena minyak jelantah juga merupakan minyak nabati.

Menurut Siswani dkk [2012] Pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan bakar motor diesel merupakan suatu cara pengurangan limbah (minyak jelantah) yang menghasilkan nilai ekonomis serta menciptakan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar solar.

Minyak jelantah memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan menjadi bahan bakar biodiesel karena memiliki asam lemak yang tinggi. Komposisi asam lemak minyak jelantah dari minyak goreng sawit ditunjukkan pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Komposisi Asam Lemak Minyak Jelantah

Kriteria	Satuan	Nilai
Asam Palmitat	wt%	21,47
Asam Stearat	wt%	13
Asam Oleat	wt%	28,64
Asam Linoleat	wt%	13,58
Asam Linoleneat	wt%	1,59
Asam Miristat	wt%	3,21
Asam laurat	wt%	1,1
Lain-lain	wt%	9,34

(Sumber : Taufiqurrahmi dkk. 2011)

NB: Minyak Jelantah dari Minyak Goreng Sawit

Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah ini menggunakan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi seperti pembuatan

biodiesel pada umumnya, Singh dan Fernando [2007] menjelaskan Persoalan utama yang dihadapi dalam pembuatan biodiesel menggunakan katalis homogen adalah sulitnya proses pemisahan dan pemurnian biodiesel dari produk. selain itu, katalis homogen tidak dapat digunakan kembali dan dapat mencemari lingkungan. Berdasarkan dari permasalahan tersebut, maka perlu dikembangkan penelitian pembuatan biodiesel menggunakan katalis heterogen. Katalis heterogen mempunyai aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang ringan, biaya relatif murah, tidak korosif, ramah lingkungan, menghasilkan sedikit masalah pembuangan, dan dapat dipisahkan dari produk sehingga bisa digunakan kembali [Subagjo, 2012]

ZnO merupakan Katalis Heterogen karena memiliki fasa yang berbeda antara reaktan dan produk. katalis heterogen cenderung lebih mudah untuk dipisahkan karena fasa yang digunakan berbeda dengan produk reaksinya. Seng Oksida (ZnO) merupakan salah satu persenyawaan dari logam Zn yang tergolong senyawa oksida. Secara umum, ZnO dapat dibuat dengan mereaksikan logam Zn dan oksigen pada temperatur tinggi. Keunggulan utama dari katalis ZnO adalah karena sifatnya yang tidak korosif dan lebih ramah lingkungan. Katalis ini juga mengurangi pembentukan sabun bahkan dengan penggunaan minyak kualitas rendah. Selain itu, ZnO bisa diproduksi dalam ukuran nano partikel. Katalis ini mendapatkan banyak perhatian karena efek ukuran partikel dan bentuknya pada sifat fisika dan kimianya. Sifat kimia dan fisika ini berhubungan dengan muka, tepi, dan sudut kristal dan persen dispersi sebagai ukuran fraksi atom yang tersedia pada permukaan masuknya reaktan [Pakpahan, 2009].

Pada penelitian ini akan dilakukan pemanfaatan minyak jelantah menjadi biodiesel dengan katalis ZnO presipitan Zinc Karbonat. Jumlah katalis ZnO yang

digunakan yaitu 0,5%; 0,6%; dan 0,7% terhadap minyak, sedangkan waktu reaksi yang digunakan yaitu 50 menit, 75 menit, dan 100 menit.

2. Metode Penelitian

2.1.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Produk, Fakultas Teknik Universitas Riau Jalan Bina Widya Km.12,5 Panam. Waktu penelitian dimulai bulan Oktober 2015 sampai januari 2016.

2.1.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah labu leher tiga, kondenser, termometer, neraca analitik, *muffle furnace*, *tube furnace*, oven, piknometer, *viscometer oswald*. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini yaitu minyak jelantah yang diperoleh dari pedagang gorengan di jalan Merpati Sakti, Panam, Pekanbaru. Bahan kimia yang digunakan adalah metanol sebagai pereaksi, H₂SO₄ 98% sebagai katalis pada reaksi esterifikasi, ZnSO₄·7H₂O dan Na₂CO₃ teknis sebagai bahan baku untuk sintesis ZnO. Bahan kimia untuk analisa biodiesel yaitu asam oksalat, asam klorida, KOH, indikator PP, dan etanol 96%.

2.1.3 Sintesis Katalis ZnO

Proses sintesis ZnO yaitu 100 mL larutan ZnSO₄ 1 M ditambahkan dengan 100 mL larutan Na₂CO₃ 1 M secara perlahan-lahan sambil diaduk pada temperatur 50 °C. Setelah penambahan Na₂CO₃ selesai, padatan ZnCO₃ yang terbentuk didiamkan hingga mengendap sempurna kemudian dipisahkan antara padatan dan cairannya. Padatan ZnCO₃ yang didapat dikalsinasi pada temperatur 400 °C selama 5 jam di dalam *muffle furnace* untuk mendapatkan ZnO [Helianty, 2001]. Sebelum digunakan sebagai katalis, ZnO terlebih dahulu diaktivasi. Proses aktivasi dilakukan di dalam *tube furnace* dengan dialirkan gas nitrogen pada

temperatur 400 °C selama 5 jam [Mukenga dkk, 2012]. Katalis ZnO yang diperoleh dikarakterisasi dengan metode FTIR dan hasilnya dibandingkan dengan hasil FTIR ZnO komersil (Merck).

2.1.4 Pembuatan Biodiesel

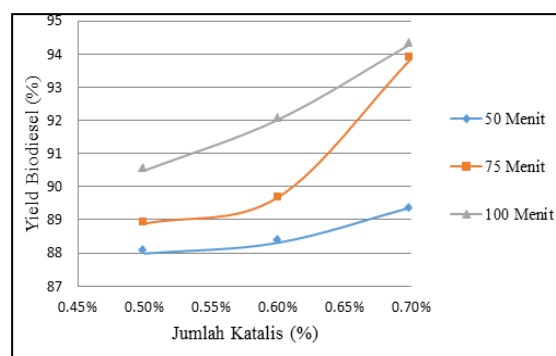
Proses esterifikasi dilakukan karena minyak jelantah mempunyai kadar ALB lebih dari 2%. Minyak jelantah diambil sebanyak 100 ml dan dimasukkan kedalam reaktor esterifikasi. Proses dilakukan pada reaktor berpengaduk secara batch dan ditempatkan diatas hot plate sebagai pemanas untuk menaikkan suhu reaksi. Setelah suhu reaksi tercapai 65°C, kemudian dimasukkan pereaksi metanol dan katalis H₂SO₄ 98% sebanyak 1%-b. Pengaduk mulai dijalankan dan reaksi berlangsung selama 1 jam. Kemudian campuran dipisahkan dengan corong pisah. Lapisan atas berupa katalis H₂SO₄ dan metanol sisa dipisahkan dari lapisan bawah yang akan dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi [Ulfayana dkk, 2014]. Setelah reaksi esterifikasi selesai dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi dengan kondisi operasi pada temperatur 65°C, kecepatan pengadukan 350 rpm. kemudian ditambahkan katalis ZnO (0,5%, 0,6% dan 0,7%) ke dalam reaktor. Waktu awal reaksi mulai dihitung setelah katalis diumpankan ke dalam reaktor. Reaksi transesterifikasi berlangsung selama 50 menit, 75 menit, dan 100 menit. Setelah proses selesai, campuran dalam reaktor dipisahkan menggunakan corong pisah.

Biodiesel yang dihasilkan kemudian dilakukan pemurnian. Pemurnian biodiesel bertujuan untuk memisahkan biodiesel dari gliserol, katalis, dan sisa reaktan. Biodiesel kemudian ditimbang untuk menentukan perolehan biodiesel yang dihasilkan dan selanjutnya dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya meliputi viskositas dan densitas pada temperature 40 °C, titik nyala, angka asam, angka penyabunan, dan kadar alkil ester [Budiawan dkk, 2013].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Jumlah Katalis Terhadap Yield Biodiesel

Pada penelitian ini dilakukan perlakuan variasi jumlah katalis ZnO sebanyak 0,5%, 0,6%, dan 0,7% b/b minyak pada reaksi transesterifikasi untuk menentukan pengaruh jumlah katalis ZnO yang digunakan terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan. Temperatur reaksi adalah 65 °C. Pengaruh jumlah katalis terhadap *yield* crude biodiesel ditampilkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Pengaruh Variasi Jumlah Katalis terhadap *Yield* Biodiesel

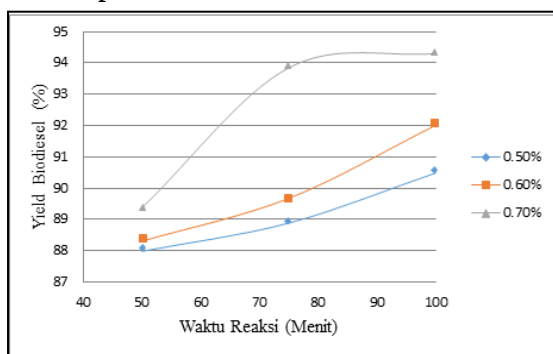
Pada Gambar 3.1 dapat dilihat variasi jumlah katalis berpengaruh terhadap *yield* biodiesel. Meningkatnya jumlah katalis yang digunakan maka *yield* yang dihasilkan juga semakin meningkat. Dapat dilihat dari Gambar 3.1, pada penggunaan katalis sebanyak 0,5% b/b menghasilkan *yield* sebesar 90,48% dengan waktu reaksi selama 100 menit, Kemudian pada penggunaan katalis sebanyak 0,6% b/b minyak dengan kondisi operasi yang sama, *yield* yang dihasilkan meningkat menjadi 92,01%. Pada penggunaan katalis sebanyak 0,7% b/b minyak juga pada kondisi operasi yang sama *yield* yang diperoleh adalah 94,31%.

Berdasarkan hasil tersebut diatas, dapat disimpulkan bahwa katalis ZnO sangat berperan dalam proses transesterifikasi. Semakin besar jumlah katalis yang digunakan maka *yield* yang dihasilkan maksimal yaitu 94,31% pada jumlah katalis ZnO 0,7%. Hal tersebut terjadi karena jumlah katalis sesuai dengan

jumlah minyak dan metanol yang direaksikan. Tetapi, jika jumlah katalis terlalu besar tidak akan meningkatkan yield produk karena akan membuat viskositas campuran dalam reaktor menjadi tinggi. Hal tersebut menyebabkan proses pengadukan menjadi tidak sempurna dan akan meningkatkan biaya produksi [Lee dkk., 2009].

3.2 Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel

Waktu reaksi merupakan waktu yang dibutuhkan reaktan untuk bereaksi membentuk sebuah produk. Waktu reaksi berbanding lurus dengan konversi yaitu semakin lama reaksi berlangsung maka kemungkinan kontak antar zat akan semakin banyak sehingga konversi semakin tinggi [Helwani dkk., 2009]. Sehingga pada penelitian ini dilakukan perlakuan variasi waktu reaksi pada reaksi transesterifikasi selama 50 menit 75 menit dan 100 menit. Adapun pengaruh waktu reaksi pada reaksi transesterifikasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Pengaruh Variasi Waktu Reaksi terhadap Yield Biodiesel

Pada Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa waktu reaksi berpengaruh terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan. Pada saat reaksi transesterifikasi berlangsung selama 50 menit dengan jumlah katalis 0,7 % , *yield* biodiesel yang dihasilkan adalah 89,37%, sementara saat reaksi transesterifikasi berlangsung selama 75 menit dengan jumlah katalis yang sama mengalami peningkatan *yield* yaitu 93,85%. Selanjutnya untuk waktu reaksi selama 100

menit juga mengalami peningkatan yaitu 94,31%.

Dari data hasil tersebut, bahwa waktu reaksi mempengaruhi *yield* biodiesel yang dihasilkan. Semakin lama waktu reaksi transesterifikasi berlangsung, maka *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin meningkat, hal ini disebabkan semakin lama reaksi maka kemungkinan kontak antar zat akan semakin banyak sehingga konversi semakin tinggi. Kondisi hanya berlaku hingga tercapai kesetimbangan dan setelah itu waktu reaksi tidak akan mempengaruhi konversi reaksi tetapi hanya akan meningkatkan biaya produksi [Highina dkk, 2011].

3.3 Karakterisasi Biodiesel

Karakterisasi biodiesel dibutuhkan untuk mengetahui apakah biodiesel yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar mutu biodiesel Indonesia sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhannya. Parameter yang dianalisis diantaranya adalah densitas dan viskositas pada suhu 40 °C, titik nyala, angka asam, angka penyabunan, dan kadar alkil ester. kemudian dibandingkan dengan karakteristik biodiesel berdasarkan SNI, ditampilkan pada Tabel 3.1

Tabel 4.3 Hasil Karakterisasi Biodiesel

No	Karakteristik	Satuan	Hasil Penelitian	Standar SNI
1	Densitas (40°C)	kg/m ³	866,50	850 - 890
2	Viskositas (40°C)	mm ² /s	5,74	2,3 - 6,0
3	Titik nyala	°C	190	Min. 100
4	Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,60	Maks. 0,8
5	Kadar alkil ester	%-massa	98,42	Min 96,5

Densitas biodiesel yang dihasilkan yaitu 866,50 kg/m³ sudah sesuai dengan standar SNI. Menurut Budiawan dkk [2013], nilai densitas dalam batas SNI dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna. Biodiesel dengan densitas yang melebihi standar akan menyebabkan reaksi pembakaran tidak sempurna sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan mesin.

Viskositas mempunyai peranan yang sangat penting dalam proses penginjeksian bahan bakar. Viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar dan kalau terlalu tinggi dapat mempengaruhi kerja cepat alat injeksi dan mempersulit pengabutan bahan bakar. Viskositas biodiesel yang didapat adalah 5,74 mm²/s, sementara SNI viskositas biodiesel adalah 2,3-6,0 mm²/s sehingga dapat disimpulkan bahwa viskositas biodiesel pada penelitian ini memenuhi SNI [Hardjono, 2000].

Titik nyala biodiesel pada penelitian ini yaitu 190°C. Titik nyala akan mempengaruhi penyimpanan biodiesel. Hasil ini telah sesuai dengan standar SNI yaitu >100°C yang menandakan biodiesel aman dalam proses penyimpanan. Sementara itu angka asam biodiesel pada penelitian ini adalah 0,60 mg-KOH/g-biodiesel. Angka asam tersebut sesuai dengan SNI yang berada dibawah standar yaitu maksimal 0,8 mg-KOH/g-biodiesel. Angka asam tersebut menunjukkan biodiesel tidak bersifat korosif sehingga tidak akan menyebabkan kerusakan pada injektor mesin [Budiawan dkk, 2013].

Angka penyabunan diperlukan untuk mengetahui kadar alkil ester dalam sampel biodiesel. Crude biodiesel dari penelitian ini memiliki angka penyabunan sebesar 38,19 mg-KOH/g-biodiesel. Berdasarkan angka asam dan angka penyabunan dapat ditentukan kadar alkil ester yang terkandung dalam biodiesel yaitu sebesar 98,42% dan telah memenuhi standar kadar alkil ester minimal yaitu 96,5%.

4. Kesimpulan

1. Semakin meningkat jumlah katalis dan waktu reaksi yang digunakan maka semakin besar *yield* biodiesel yang dihasilkan.
2. *Yield* biodiesel tertinggi didapat sebanyak 94,31% pada jumlah katalis ZnO sebanyak 0,7% b/b minyak jelantah dengan waktu reaksi selama 100 menit.

3. Karakteristik Biodiesel yang dihasilkan yaitu densitas dan viskositas pada suhu 40°C sebesar 866,50 kg/m³ dan 5,74 mm²/s, angka asam 0,60 mg-KOH/g-biodiesel, angka penyabunan 38,19 mg-KOH/g-biodiesel, dan kadar alkil ester 98,42%

Daftar Pustaka

- Balat, M. Dan Balat, H. 2010. Progres in Biodiesel Processing. *Journal of Applied Energy*. 87 : 1815 – 1835.
- BP. 2015. *Statistical review of world energy* june 2015. BP p.l.c. UK.
- Budiawan, R., Zulfansyah., Fatra, W., dan Helwani, Z. 2013. *Off-grade Palm Oil as a Renewable Raw Material for Biodiesel Production By Two-Step Processes*. ChESA Conference. Januari. Banda Aceh. *Chemical Engineering on Science and Application*. 7 : 40 – 50.
- Handoyo, R., Ananta, A. A., Anwar, S. 2007. Biodiesel dari Minyak Biji Kapok. Fakultas Teknologi Pertanian. UGM
- Helianty, S. 2001. *Penyiapan dan Pengujian Absorben Berbasis ZnO*. Tesis. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Highina, B. K., Bugaje, I. M., dan Umar, B. 2011. *Biodiesel production from Jatropha caucous oil in a batch reactor using zinc oxide as catalyst*. *Journal. University of Maiduguri. Nigeria*.
- Ketaren, S. 2005. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Kumar, H. Dan Rani R. 2013. *Structural and Optical Characterization of ZnO Nanoparticles synthesized by microemulsion Route*. *International Letter of Chemistry, Physics and Astronomy (ISSN 2299-3843)*. 14 : 26 – 36.

- Mukenga, M. 2012. *Biodiesel Production Over Supported Zinc Okside Nanoparticles. Thesis Submitted to the Faculty Of Engineering and The Built Environment.* University Johannesburg
- Pakpahan, A. 2001. *Palm Biodiesel Its Potency, technology, Business Prospect and Environmental Implication in Indonesia. Proceeding of the International Biodiesel Workshop, Enhancing Biodiesel Development an Use. Ministry of Agriculture RI Jakarta.*
- Rahkadima, Y., dan Purwati, P. A. 2011. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Melalui Proses Transesterifikasi Dengan Menggunakan CaO Sebagai Katalis.
- Rukmini, A. 2007. Regenerasi Minyak Goreng Bekas dengan Arang Sekam Menekan Kerusakan Organ Tubuh. Diakses tanggal 10 Februari 2015
- Satriana., Elhusna, N., Desrina., Supardan, D. 2012. Karakteristik Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Jelantah Menggunakan Teknik Kavitasi Hidrodinamik. Jurnal Jurusan Teknik Kimia. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh
- Setiawati, E., Edwar, F. 2012. Teknologi Pengolahan Biodiesel Dari Minyak Goreng Dengan Teknik Mikrofiltrasi dan transesterifikasi Sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. Balai Riset dan standarisasi Industri Banjarbaru
- Siswani, E D., Susila Kristianingrum., Suwardi. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Jelantah Pada Berbagai Waktu dan Suhu. Jurnal FMIPA. UNY
- Soerawidjaja, T H. 2005. Minyak-lemak dan produk-produk kimia lain dari kelapa, Handout kuliah Proses Industri Kimia, Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung.
- Sudradjat. 2006. Memproduksi Biodiesel Jarak Pagar. Penerbit Swadaya : Jakarta
- Sugiyono, A., Permana, A. D., Boedoyo, M. S., dan Adiarso. 2013. Pengembangan energi dalam mendukung sektor transportasi dan industri pengolahan mineral. Outlook Energy Indonesia. BPPT.
- Sumiarso, L. 2006. Standard dan Mutu Bahan Bakar Nabati jenis Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Lain.
- Stuart, B. H. 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications.* Wiley. New Jersey.
- Taufiqurrahmi, N., Mohamed, A. R., Bhatia, S. 2011. *Production Of Biofuel From Waste Cooking Palm Oil Using Nanocrystallin Zeolite as Catalyst : Process Optimization Studies.* University Sains Malaysia
- Ulfayana, S., Bahri, S., dan Helwani, Z. 2014. *Pemanfaatan Zeolit Alam Sebagai Katalis Pada Tahap Transesterifikasi Pembuatan Biodiesel Dari Sawit Off Grade.* Jurnal. Program Sarjana Teknik Kimia. Universitas Riau. Pekanbaru.