

PENGARUH ABU PELEPAH PISANG SEBAGAI KATALISATOR BASA PADAT TERHADAP ANGKA ASAM PRODUK BIODIESEL

Primata Mardina^{*}), Aldipo Prayudi, Mirza Chumaidi

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

*E-mail: dhiena_deena@yahoo.com

Abstrak- Penggunaan minyak dedak padi mentah dengan kandungan asam lemak bebas yang tinggi akan menghasilkan biodiesel dengan kandungan impurities yang tinggi jika dibuat dengan reaksi transesterifikasi berkatalisator basa homogen. Untuk meminimalisasi kandungan impurities dalam produk biodiesel, maka digunakan katalisator basa padat yang berasal dari bahan alam yaitu abu pelepah pisang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi abu pelepah pisang sebagai katalisator basa padat terhadap banyaknya kandungan asam lemak bebas sebagai impurities dalam produk biodiesel. Biodiesel dibuat dengan cara mencampurkan minyak dedak padi mentah, metanol dan abu pelepah pisang dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan piringan pemanas, pengaduk magnet dan pendingin balik. Sistem dijaga suhunya pada 60°C dan molar rasio antara metanol dan minyak dedak mentah sebesar 6:1. Proses pembuatan biodiesel ini menggunakan konsentrasi katalisator sebesar 1%, 2% dan 3% w/w minyak dengan pengambilan waktu sampel 30, 60 dan 90 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi abu pelepah pisang menghasilkan kecenderungan yang positif terhadap kandungan asam lemak bebas dalam produk biodiesel, yang dinyatakan dengan semakin menurunnya nilai angka asam. Angka asam terkecil adalah 76,1885 mg KOH/gram sampel terjadi pada konsentrasi katalisator 3% w/w untuk waktu reaksi 90 menit.

Keywords: biodiesel, katalisator basa padat, angka asam

Abstract- The effect of ash from pseudo stem of banana as base solid catalyst on free fatty acid content in biodiesel product from crude rice bran oil was investigated. The base solid-catalyzed transesterification for synthesis of biodiesel from crude rice bran oil was carried out in a laboratory scale reactor. The reaction temperature and stirring speed were maintained constant at 60°C and 400 rpm for 30, 60 and 90 minutes. Molar ratio of metanol to crude rice bran oil was 6:1 and the concentration of catalyst was 1%, 2% and 3% based weight of oil. The results showed that the addition of concentration of solid base catalyst brought positive trend on free fatty acid content in biodiesel, which expressed by the declining of the acid value. The smallest acid value was 76.1885 mg KOH/gram at 3% w/w catalyst for 90 minutes of reaction time.

Keywords: biodiesel, solid base catalyst, acid value.

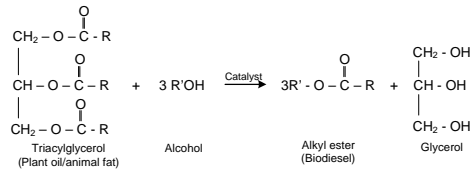
PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil digunakan lebih dari 80.3% sebagai energi utama di dunia, dan dari 75.7% dari jumlah tersebut digunakan pada sektor transportasi (International Energy Agency I, 2006). Menurut Kulkarni dan Dalai (2006), konsumsi terhadap bahan bakar fosil berupa diesel secara global telah mencapai 934 juta ton per tahun. Dengan demikian, Forum energi dunia memperkirakan bahwa bahan bakar fosil akan habis kurang dari 100 tahun lagi, jika bahan bakar baru tidak ditemukan (Sharma dan Singh, 2009). Alasan utama yang menyebabkan cepatnya pengurangan sumber energi yaitu populasi yang

semakin bertambah dan perkembangan industri global (Pimentel dan Pimentel, 2006).

Menurut *International Energy Agency* (2008), sumber energi yang mempunyai potensi tinggi untuk menggantikan bahan bakar fosil adalah yang berasal dari bahan yang dapat diperbaharui ataupun limbah pertanian dan rumah tangga. Salah satu contoh bahan bakar tersebut adalah biodiesel. Biodiesel adalah suatu bahan bakar diesel alternatif yang berasal dari minyak nabati dan lemak hewan (Vasudevan dan Briggs, 2008). Menurut Zhang et al. (2003), biodiesel dapat dibuat dengan proses transesterifikasi, yaitu reaksi antara trigliserida yang terkandung dalam

minyak nabati atau lemak dengan alkohol membentuk ester alkohol dan gliserol dengan bantuan katalisator asam atau basa baik bersifat homogen maupun heterogen. Ester alkohol hasil reaksi tersebut adalah biodiesel atau lebih dikenal *fatty acid alkyl ester*.



Gambar 1. Mekanisme reaksi transesterifikasi

Salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam pembuatan biodiesel adalah kandungan asam lemak bebas dalam minyak nabati sebagai bahan baku. Minyak nabati dikatakan berkualitas tinggi jika kandungan asam lemak bebas-nya sedikit. Kandungan asam lemak bebas yang tinggi dalam minyak nabati akan menyebabkan timbulnya reaksi saponifikasi atau penyabunan jika digunakan reaksi transesterifikasi berkatalisator basa homogen, dan biodiesel yang dihasilkan harus melalui proses pemurnian yang kompleks agar dihasilkan produk berkualitas tinggi. Minyak nabati yang mengandung asam lemak bebas yang tinggi sebaiknya menggunakan katalisator asam, namun kadar produk yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan produk yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi berkatalisator basa, dan memerlukan sistem reaksi yang tahan terhadap asam dan harus beroperasi pada suhu yang tinggi.

Minyak nabati berkualitas tinggi atau yang telah dimurnikan harganya relatif mahal sehingga banya peneliti berusaha menghasilkan biodiesel dari minyak nabati atau lemak kualitas rendah atau minyak nabati hasil daur ulang dari limbah. Ma et al (1998) menggunakan lemak sapi, Dorado et al (2004) menggunakan minyak jelantah, Zullaikah (2005) menggunakan minyak dedak padi mentah, Sinha (2008) menggunakan minyak dedak padi yang telah dimurnikan, dan Chung et al (2009) menggunakan lemak dari itik untuk membuat biodiesel. Berdasarkan jumlah ketersediaan dedak padi di Indonesia, khususnya di Kalimantan Selatan yang berlimpah, maka pada penelitian ini akan menggunakan dedak padi yang akan diekstrak minyak nabatinya.

Penggunaan minyak dedak padi mentah sebagai bahan baku akan menghasilkan biodiesel

kualitas rendah, dalam artian terdapat banyak impurities dalam produk biodiesel. Menurut Banga dan Varshney (2010), unjuk kerja dari biodiesel bergantung pada kemurnian produk akhir biodiesel dengan tidak adanya impurities yang terkandung. Impurities utama yang terdapat dalam produk biodiesel adalah gliserol, sisa katalisator, asam lemak yang tidak bereaksi, asam lemak bebas dan sabun. Impurities tersebut biasanya terbentuk jika minyak nabati mentah digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dengan menggunakan reaksi transesterifikasi berkatalisator basa homogen. Untuk meminimalisasi impurities dalam produk biodiesel dan efisiensi proses pembuatan, maka banyak yang telah mencoba menggunakan reaksi transesterifikasi berkatalisator basa padat. Pada tahun 2005, Karmee dan Chadha menggunakan ZnO sebagai katalisator padat untuk membuat biodiesel dari minyak nabati dari tanaman *Pongamia pinnata*, Kouzu pada tahun 2008 menggunakan CaO sebagai katalisator padat pada pembuatan biodiesel dari minyak kedelai, dan pada tahun 2011, Omar dan Amin membuat biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalisator basa padat berupa zirconia termodifikasi (ZrO₂).

Berdasarkan pertimbangan bahwa katalisator basa padat harganya relatif tinggi di pasaran, maka dicoba menggunakan katalisator dari bahan alam. Yuswono (2008), Guan (2009) serta Wei (2009) telah memanfaatkan limbah alam sebagai sumber katalisator padat. Yuswono (2008) dan Guan (2009) menggunakan abu tandan kosong kelapa sawit sebagai sumber katalisator basa, sedangkan Wei (2009) menggunakan cangkang telur sebagai katalisator padat.

Menurut Fernando et al (2007), pembuatan biodiesel dengan reaksi transesterifikasi berkatalisator padat menggunakan minyak nabati mentah sebagai bahan utama, diharapkan dapat memberikan konversi yang tinggi dari reaksi tersebut. Konversi yang tinggi dari minyak nabati menjadi ester membuat unjuk kerja dari bahan bakar menjadi lebih baik dan dapat memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan. Salah satu impurities yang mempengaruhi unjuk kerja biodiesel adalah kandungan asam lemak bebas. Asam lemak bebas yang tinggi dalam produk biodiesel mempengaruhi sifat lubrisitas dan kekentalannya (Demirbas, 2009). Kandungan asam lemak bebas dalam produk biodiesel dinyatakan dengan parameter angka asam. Semua

standar yang menyatakan tentang kualitas biodiesel mencantumkan harga maksimal dari angka asam tersebut, hal ini untuk menjamin bahwa produk biodiesel yang telah dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar yang baik.

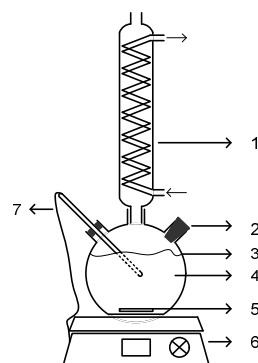
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi katalisator basa padat terhadap kandungan impurities pada produk biodiesel, yang difokuskan pada kandungan asam lemak bebas. Katalisator padat yang digunakan adalah abu pelepah pisang. Menurut Mohapatra et al (2010) dan Nugraha et al (2012), abu pelepah pisang mengandung kalium, yang dapat digunakan sebagai katalisator basa pada pembuatan biodiesel. Abu pelepah pisang yang telah direndam dalam metanol kemudian dicampur dengan minyak dedak padi mentah untuk menghasilkan biodiesel. Biodiesel yang dihasilkan kemudian dianalisis angka asamnya dan dibandingkan dengan standar yang ada. Informasi yang didapat dari penelitian ini bisa digunakan untuk mengetahui apakah biodiesel yang dihasilkan dari bahan limbah alam bisa digunakan sebagai bahan bakar dilihat dari kandungan impuritiesnya.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dedak padi yang didapat dari pabrik penggilingan padi daerah Gambut, kabupaten Banjar, n-heksana sebagai pelarut, metanol, abu pelepah pisang sebagai katalisator, dan aquadest. Dedak padi yang telah melalui proses pembersihan dan pengeringan dimasukkan ke dalam soxhlet untuk diekstraksi kandungan minyaknya, yang disebut minyak dedak padi mentah. Minyak dedak padi mentah tersebut kemudian dianalisis sifat fisika dan kimianya yang meliputi analisis angka asam, densitas dan viskositas.

Pembuatan biodiesel dari minyak dedak padi mentah dilakukan pada labu leher tiga 500 mL yang dilengkapi dengan pendingin balik, pengaduk magnetic, termometer, dan piring pemanas. Minyak dedak padi mentah sebanyak 50 gram dimasukkan ke dalam labu leher tiga, kemudian dipanaskan dan dijaga suhunya pada 60°C. Setelah itu, masukkan metanol dan abu pelepah pisang. Jumlah metanol yang dimasukkan yaitu 6:1 rasio mol metanol terhadap minyak dedak padi mentah. Sedangkan jumlah abu pelepah pisang sebagai katalisator yang dimasukkan adalah 1% w/w, 2% w/w dan 3% w/w

terhadap minyak dedak padi. Reaksi dimulai pada saat pengaduk magnetic dihidupkan dengan waktu operasi 30, 60 dan 90 menit. Setelah reaksi selesai, katalisator dipisahkan dari produk cair hasil reaksi, yang selanjutnya produk cair tersebut dimasukkan ke dalam corong pemisah dan didiamkan selama 24 jam untuk pemisahan biodiesel dengan gliserol. Metanol yang masih tersisa dalam produk biodiesel dihilangkan dengan cara didistilasi, kemudian setelah itu produk biodiesel dicuci dengan aquadest hangat untuk menghilangkan kotoran dan selanjutnya dimasukkan ke oven untuk menghilangkan kandungan air sisa pencucian. Pencucian dengan aquadest adalah proses pemurnian terakhir sebelum produksi biodiesel siap untuk dianalisis angka asam, densitas dan viskositasnya. Hasil analisis yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan kualitas standar biodiesel dari ASTM dan EN Standard.



Keterangan:

1. Reflux condenser
2. Pengambilan sampel
3. Labu leher tiga
4. Pengaduk magnet
5. Lempeng pemanas

Gambar 2. Reaktor pembuatan biodiesel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh katalisator basa padat terhadap kandungan asam lemak bebas pada produk biodiesel. Asam lemak bebas selain membawa pengaruh negatif terhadap kualitas bahan baku, juga membawa pengaruh negatif terhadap kualitas produk biodiesel. Sebelum dilakukan proses transesterifikasi maka dilakukan analisis terhadap minyak bahan baku.

Sifat fisika dan kimia dari minyak dedak padi mentah sebagai bahan baku ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisika dan kimia minyak dedak padi mentah

Parameter	Nilai
Angka asam (mg KOH/gram sampel)	942,5973
Angka sabun (mg KOH/gram sampel)	198,1687
Densitas (g/mL)	0,8912
Viskositas (cSt)	13,7

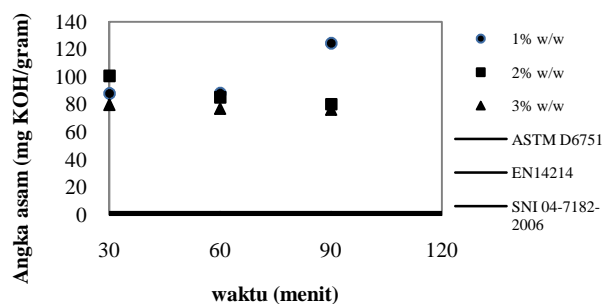
Semua data pada tabel 1 tersebut diambil langsung dari data penelitian di Laboratorium. Berdasarkan data tersebut angka asam dari minyak dedak padi mentah sebesar 942,5973 mg KOH/gram minyak. Angka asam minyak dedak padi mentah ini melebihi dari nilai yang dipersyaratkan untuk bahan baku biodiesel jika menggunakan reaksi transesterifikasi berkatalisator basa berfase homogen. Freedman and Pryde (1986), Liu (1994), dan Mittelbach et al. (1992) mengatakan bahwa minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel seharusnya tidak mengandung tidak lebih dari 1% asam lemak bebas untuk reaksi transesterifikasi, nilai ini sebanding dengan angka asam 2 mg KOH/gram minyak. Jika minyak bahan baku mempunyai angka asam melebihi persyaratan, maka penggunaan katalisator basa berfase homogen pada reaksi transesterifikasi menyebabkan reaksi akan berjalan lambat dan kemungkinan terjadinya reaksi saponifikasi sangat besar. Sabun yang terbentuk akan mengurangi yield produk dan menyebabkan proses pemurnian menjadi semakin kompleks dan kandungan impurities dalam produk biodiesel kemungkinan besar masih banyak yang tertinggal. Impurities yang ditinjau kali ini adalah kandungan asam lemak bebas. Untuk mengatasi kerumitan proses pemurnian produk biodiesel maka dicoba membuat biodiesel dengan menggunakan reaksi transesterifikasi berkatalis basa fase padat. Pada penelitian ini katalisator basa padat yang digunakan adalah abu pelepah pisang. Untuk mengetahui pengaruh katalisator basa padat terhadap kandungan asam lemak bebas pada produk biodiesel maka konsentrasi katalis padat tersebut divariasikan sebesar 1%, 2% dan 3% berdasarkan berat sampel.

Kandungan asam lemak bebas pada biodiesel ditunjukkan oleh angka asam dimana untuk biodiesel mempunyai standar angka asam yaitu 0,8 mg KOH/gram (ASTM D6751 dan SNI 04-7182-2006) dan 0,5 mg KOH/gram (EN14214). Angka asam pada produk biodiesel berdasarkan variasi konsentrasi katalisator dan waktu operasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Angka asam pada produk biodiesel

Waktu (menit)	Angka asam per konsentrasi katalisator (mg KOH/gram sampel)		
	1% w/w	2% w/w	3% w/w
30	87,9250	100,6552	79,7891
60	88,1706	85,1344	76,9548
90	124,3106	80,4656	76,1885

Angka asam pada produk biodiesel ini jauh lebih besar dari standar angka asam untuk produk biodiesel berdasarkan tiga standar baik ASTM, EN dan SNI. Pada gambar 3 dapat terlihat kecenderungan yang didapat menunjukkan respon yang positif dari penambahan konsentrasi katalisator padat terhadap nilai angka asam seiring dengan semakin lamanya waktu operasi. Namun pada penggunaan konsentrasi katalisator 1% w/w terjadi penyimpangan kondisi dimana semakin lama waktu akan menambah nilai angka asam. Hal ini berhubungan dengan reaksi permukaan dan transfer massa pada reaksi transesterifikasi berkatalis basa padat. Seperti yang dijelaskan Liu et al (2008) bahwa reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel berkatalis basa padat akan menghasilkan yield yang baik pada perbandingan berat katalisator tertentu sehingga dapat mengontrol reaksi permukaan. Nilai angka asam terkecil terjadi pada konsentrasi katalisator 3% w/w dengan waktu reaksi 90 menit.



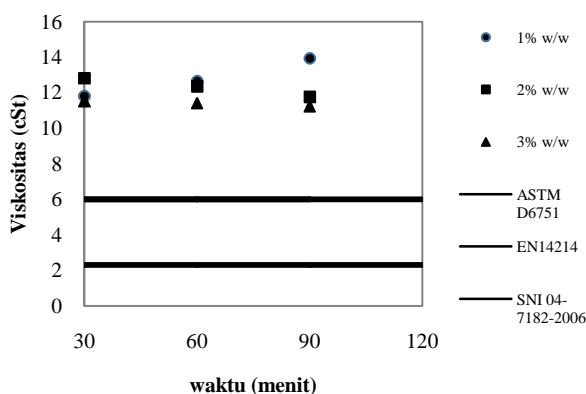
Gambar 3. Hubungan antara angka asam dengan konsentrasi katalisator pada berbagai waktu reaksi untuk suhu 60°C dan 6:1 untuk mol rasio metanol terhadap minyak dedak padi

Angka asam sangat mempengaruhi lubrisitas pada biodiesel. Jika angka asam sangat tinggi maka kandungan asam lemak bebas pada biodiesel juga tinggi yang dapat mengakibatkan kekentalan biodiesel bertambah. Menurut Dermibas (2009), semakin kental produk biodiesel yang dihasilkan maka kemampuannya untuk

dipompakan dan teratomisasi pada mesin semakin kecil sehingga akan mempengaruhi kinerja mesin. Selain itu, menurut Banga dan Varshney (2010) asam lemak bebas yang terkandung dalam produk biodiesel dapat menyebabkan korosi pada mesin, *thermal instability*, dan mengalami reaksi oksidasi dengan mudah sehingga membentuk senyawa aldehida, keton, epoksida dan alkohol.

Tabel 3. Viskositas kinematik produk biodiesel

Waktu (menit)	Viskositas per konsentrasi katalisator (cSt)		
	1% w/w	2% w/w	3% w/w
30	11,8160	12,8250	11,5250
60	12,6430	12,3520	11,4070
90	13,9430	11,7610	11,2340



Gambar 4. Hubungan antara viskositas dengan konsentrasi katalisator pada berbagai waktu reaksi untuk suhu 60°C dan 6:1 untuk mol rasio metanol terhadap minyak dedak padi

Berdasarkan penjelasan di atas bahwa tingginya angka asam pada produk biodiesel akan mempengaruhi kekentalan biodiesel, maka dicoba untuk menganalisis viskositas produk biodiesel. Hasil analisis terhadap viskositas biodiesel dapat dilihat pada tabel 3. Kecenderungan yang ditunjukkan gambar 4 memperlihatkan hasil yang sama dengan angka asam produk biodiesel terhadap berbagai konsentrasi katalisator dan waktu reaksi. Hal ini menunjukkan bahwa angka asam mempengaruhi kekentalan atau viskositas produk biodiesel. Menurut Dermibas (2009), tingginya viskositas akan mempengaruhi *fluidity* dari bahan bakar diesel. Viskositas berpengaruh secara langsung pada pola semburan di ruang pembakaran. Oleh karena itu, viskositas maksimum untuk produk biodiesel juga memiliki

nilai standar baik ASTM D6751 sebesar 6 cSt, EN14214 sebesar 2,3 cSt dan SNI 04-7182-2006 sebesar 6 cSt.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa minyak dedak padi mentah serta abu pelepah pisang berpotensi sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Penambahan konsentrasi abu pelepah pisang sebagai katalisator reaksi pembuatan biodiesel menunjukkan kecenderungan yang positif terhadap kandungan asam lemak bebas pada produk biodiesel, yang ditunjukkan oleh parameter angka asam. Hasil terbaik pada penelitian ini adalah pada waktu 90 menit dan konsentrasi katalisator abu pelepah pisang 3% w/w, dengan angka asam sebesar 76,1885 mg KOH/gram sampel.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Operasi Teknik Kimia yang telah memberikan fasilitas untuk kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bak, Y.C., Choi, J.H., Kim, S.B., dan Kang, D.W., 1996. Production of biodiesel fuels by transesterification of rice bran oil. *Korean J Chem Eng.* Vol.13, hal.242-245.

Banga, S. dan Varshney, P.K., 2010. Effect of impurities on performance of biodiesel: A review. *Journal of Science & Industrial Research.* Vol. 69, hal.575-579.

Canakci, M., dan Gerpen, J.V., 2001. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. *American Society of Agricultural Engineers.* Vol 44(6), hal.1429-1436.

Chin, L.H., Hameed, B.H., dan Ahmad, A.L., 2009. Process optimization for biodiesel production from waste cooking palm oil (*Elais Guineensis*) using response surface methodology. *Energy Fuels.* Vol.23, hal.1040-1044.

Chung, K.H., Kim, J. dan Lee, K.Y., 2009. Biodiesel production by transesterification of duck tallow with metanol on alkali catalysts. *Biomass and Bioenergy.* Vol. 33, hal. 155-158.

Dermibas, A., 2009. Process and recent trends in biodiesel fuels. *Sila Science.* Trabzon. Turkey.

- Dorado, M.P., Ballesteros, E., Mittelbach, M., dan Lopez, F.J., 2004. Kinetic parameters affecting the alkali-catalyzed transesterification process of used olive oil. *Energy & Fuels*. Vol. 18, hal. 1457-1462.
- Fernando, S., Karra, P., Hernandez, R., dan Jha, S.K., 2007. Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality. *Energy*. Vol. 32, hal. 844-851.
- Freedman, B., Butterfield, R. O., dan Pryde E. H., 1986. Transesterification kinetics of soybean oil. *JAACS*. Vol.63(10), hal.1375-1380.
- Goffman, F.D., Pinsosn, S., dan Bergman, C., 2003. Genetic diversity for lipid content and fatty acid profile in rice bran. *J. Am Oil Chem. Soc.* Vol. , hal 485-490.
- Gopinath, A., Puhan, S., dan Nagarajan, G., 2009. Theoretical modeling of iodine value and saponification value of biodiesel fuels from their fatty acid composition. *Renewable Energy*. Vol.34, hal.1806-1811.
- Guan, G., Kusakabe, K., dan Yamasaki, S., 2009. Tri-potassium phosphate as a solid catalyst for biodiesel production from waste cooking oil. *Fuel Processing Technology*. Vol. 90, hal. 520-524.
- Nugraha, M.I., dan Gunawan, A., 2012. Pengaruh suhu terhadap koefisien transfer massa pada ekstraksi kalium dari abu pelepah batang pisang. Laporan Penelitian Program Studi Teknik Kimia Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.
- Hu, J., Du, Z., Li, C., dan Min, E., 2005. Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers. *Fuel*. Vol.84, hal. 1601-1606.
- International Energy Agency, 2006. L Key World Energy Statistic.
- International Energy Agency, 2008. L Key World Energy Statistic.
- Ju, Y.H., dan Vali, S.R., 2005. Rice bran oil as a potential resources for biodiesel: A review. *Journal of Scientific and Industrial Research*. Vol. 64, hal. 866-882.
- Karmee, S.K., dan Chadha A., 2005. Preparation of biodiesel from crude oil of *Pongamia pinnata*. *Bioresources Technology*. Vol. 96, hal. 1425-1429.
- Knothe, G., Van Gerpen, J., dan Krahl, J., 2005. The biodiesel handbook. AOCS Press. Campaign. Illionis. USA.
- Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika, M., Sugimoto, Y., Yamanaka, S., dan Hidata, J., 2008. Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production. *Fuel*. Vol.87, hal. 2789-2806.
- Kulkarni, M.G., dan Dalai, A.K., 2006. Waste cooking oil-An economical source for biodiesel: A review. *Ind. Chem. Res.* Vol. 45, hal. 2901-2913.
- Liu, X., Piao,X., Wang, Y., Zhu, S., dan He, h., 2008. Calcium methoxide as a solid base catalyst for the transesterification of soybean to biodiesel with metanol. *Fuel*. Vol.87, hal.1076-1082.
- Ma, F., Clements, L.D., dan Hanna, M.A., 1998. The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. *American Society of Agricultural Engineers*. Vol. 41. No. 5, hal. 1261-1264.
- Mittelbach, M., Pokits, B., dan Silberholz, a., 1992. Production and fuel properties of fatty acid methyl esters from used frying oil. *American Society of Agricultural Engineers*. Hal. 74-78.
- Mohapatra, D., Mishra, s., dan Sutar, N., 2010. Banana and its by-product utilization: An overview. *Journal of Scientific and Industrial Research*. Vol.69, hal. 323-329.
- Omar, W.N.N.W., dan Amin, N.A.S., 2011. Biodiesel production from waste cooking oil over alkaline modified zirconia catalyst. *Fuel Processing Technology*. Vol. 92, hal. 2397-2405.
- Ozgul, Y., dan Turkay, S., 1993. In situ esterification of rice bran oil with metanol and ethanol. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Vol. , hal. 145-147.
- Pimentel, D., dan Pimentel, M., 2006. Global environmental resources versus world population growth. *Ecol Econ*. Vol.59, hal. 195-198.
- Sharma, Y.C., dan Singh, B., 2009. Development of biodiesel: Current scenario. *Renewable Sustainable Energy Rev.* Vol.13, hal.1646-1651.
- Sinha, S., Agarwal, A.K., dan Garg, S., 2008. Biodiesel development from rice bran oil: Tranesterification process optimization and fuel characterization. *Energy Conversion and Management*. Vol.49, hal. 1248-1257.
- Vasudevan, P.T., dan Briggs, M., 2008. Biodiesel production-current state of the art and

- challenges. *J ind Microbio Biotechnol.* Vol. 35, hal. 421-430.
- Wei, Z., Xu, X., dan Li, B., 2009. Application of waste eggshell as low-cost solid catalyst for biodiesel production. *Bioresources Technology.* Vol.100, hal.2883-2885.
- Yoeswono, M.I., Karna, Wijaya, L., dan Tahir, I., 2008. Ekstraksi kalium dari abu tandan kosong sawit sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi minyak sawit. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalyst.* Vol. 3, hal. 14-20.
- Zhang, Y., Dubel, M.A., McLean, D.D., dan Kates, M., 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: Process design and technology assessment. *Bioresour Technol.* Vol. 89, hal. 1-16.
- Zullaikah, S., Lai, C. C., Vali, S.R., dan ju, Y. H., 2008. A two-step acid catalyzed process for the production of biodiesel from rice bran oil. *Biores Technol.* Vol 96, hal. 1889-1896.