

ESTERIFIKASI PFAD (*PALM FATTY ACID DISTILLATE*) MENJADI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS H-ZEOLIT DENGAN VARIABEL WAKTU REAKSI DAN KECEPATAN PENGADUKAN

James Silitonga, Ida Zahrina, Yelmida
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau
*)Email : silitongaj@yahoo.co.id
081371376381

ABSTRACT

Requirement of petroleum for future always increase suitable with development that happened in Indonesia. But, if we realize, in the reality not enough existing petroleum reserve to fulfill requirement in the future. Therefore, from this time important to think of alternative energy that able to be developed as substitution. Petroleum is fossil fuel which can not to be innovated. PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) is raw material that have big potency to making biodiesel. Biodiesel is one of the alternative source substitution to made diesel oil that use reaction of vegetation oil esterification. Esterification is reaction of free fat acid with alcohol to form ester and water. Esterification PFAD use H-Zeolit that preparation of natural zeolites, alcohol which used for esterification reaction is methanol. Esterification PFAD variable is time reaction (30 minute, 60 minute and 90 minute), the mixer speed (100 rpm, 200 rpm, 300 rpm), ratio of molar PFAD : methanol of 1:5 and heavy ratio H-Zeolit catalyst is 15 % (basic PFAD). Biodiesel which result will be analyse viscosity kinematic, density, cloud point, flash point, and cetane number. This research got highest reaction conversion when reaction of 60 minute and mixer speed is 300 rpm that is 39,26 %.

Keyword : PFAD (Palm Fatty Acid Distillate); biodiesel; esterification; time of reaction; mixer speed; H-Zeolit katalis.

Pendahuluan

Kebutuhan akan minyak bumi dari waktu ke waktu terus mengalami peningkatan sejalan dengan pembangunan yang terjadi di Indonesia. Dengan semakin menipisnya persediaan bahan bakar petroleum diperlukan bahan bakar pengganti yang bersifat terbarui. Oleh karena itu banyak negara terutama Indonesia mengalami masalah kekurangan bahan bakar minyak. Salah satu upaya yang dilakukan pemerintah melalui Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional yang berprinsip pada kebijakan harga, diversifikasi, dan konversi energi. Diversifikasi energi adalah pemanfaatan energi alternatif, salah satunya adalah bahan bakar nabati (BBN), yang merupakan energi alternatif yang mudah diperoleh di Indonesia. Instruksi Presiden No. 1/2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (Biofuel) sebagai bahan bakar lain, merupakan suatu instruksi yang menegaskan pentingnya pengembangan Bahan Bakar Nabati (Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2006).

Minyak nabati yang berpotensi digunakan sebagai bahan alternatif adalah minyak kelapa sawit atau Crude Palm Oil (CPO). Karena banyaknya penggunaan CPO, maka sejak beberapa

tahun ini Indonesia mulai menambah luas areal perkebunan kelapa sawit yang berada diseluruh provinsi, termasuk provinsi Riau. Dari data Dinas Perkebunan Riau, luas area perkebunan sawit Riau hingga akhir 2010 mencapai 2.103.176 hektar.

Harga biodiesel saat ini masih relatif tinggi karena harga bahan baku yang cukup tinggi. Untuk memproduksi biodiesel yang kompetitif diperlukan bahan baku yang harganya murah dan pemakaiannya tidak bersaing dengan kebutuhan pokok manusia yang salah satunya adalah PFAD. Proses pembuatan minyak sawit menghasilkan 73% olein, 21% stearin, 5-6% PFAD, dan 0,5-1% CPO Parit. Namun PFAD tidak diizinkan untuk dibuat menjadi minyak goreng karena beracun. Penggunaan PFAD sebagai bahan baku biodiesel dilakukan pada proses esterifikasi dengan bantuan katalis asam. Selain ditinjau dari harga PFAD, cara lain yang dapat dilakukan adalah dengan menekan harga produksi melalui pemilihan katalis yang mudah dipisahkan dari produknya. Komposisi asam lemak dalam PFAD ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuh dalam PFAD.

Asam Lemak	Rumus Molekul	Komposisi (%) Berat	Jenis Asam Lemak
Asam Miristat	C14H28O2	0,9 – 1,5	Jenuh
Asam Palmitat	C16H32O2	42,9 – 51,0	Jenuh
Asam Stearat	C18H36O2	4,1 – 4,9	Jenuh
Asam Oleat	C18H38O2	32,8 – 39,8	Tak Jenuh
Asam Linoleat	C18H32O2	8,6 – 11,3	Tak Jenuh

Sumber: Hambali, 2007.

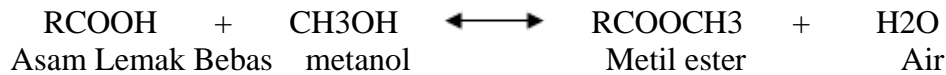
Tujuan penelitian ini adalah membuat biodiesel dari produk samping pabrik minyak goreng (*PFAD = Palm Fatty Acid Distillate*) dengan proses esterifikasi, mempelajari pengaruh suhu reaksi dan kecepatan pengadukan pada proses esterifikasi PFAD untuk menghasilkan biodiesel. membandingkan karakteristik viskositas kinematik, densitas, titik kabut (*cloud point*), titik nyala (*flash point*), dan angka setana (*cetane number*) yang diperoleh dengan standar bahan bakar biodiesel nasional (SNI) EB 020551.

Landasan Teori

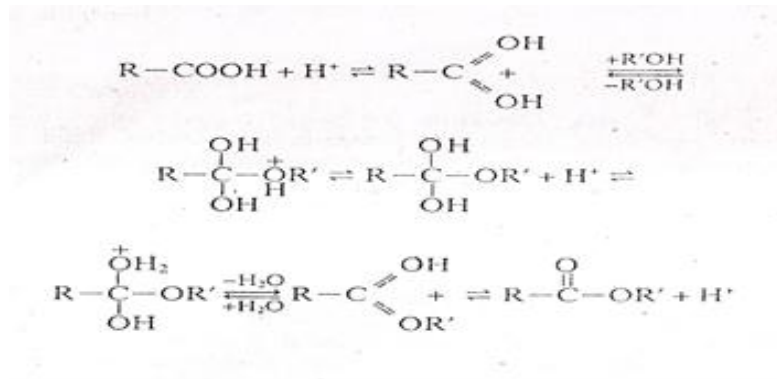
Kelapa sawit (*Elaeis guinensis jacq*) adalah salah satu dari beberapa palma yang menghasilkan minyak untuk tujuan komersil. Minyak sawit selain digunakan sebagai minyak makanan margarine, dapat juga digunakan untuk industri sabun, lilin dan dalam pembuatan lembaran-lembaran timah, industri kosmetik, minyak industri, maupun bahan bakar (biofuel). Indonesia adalah penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia.

Biodiesel adalah bioenergi atau bahan bakar nabati yang dibuat dari minyak nabati yang baru maupun dari minyak nabati bekas penggorengan melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, maupun proses esterifikasi-transesterifikasi. Biodiesel merupakan bioenergi atau bahan bakar nabati yang bahan bakunya berasal dari tumbuh-tumbuhan melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi-transesterifikasi.

Reaksi Esterifikasi :



Mekanisme reaksi esterifikasi dengan katalis asam adalah :



(Mc Ketta, 1978)

Biodiesel adalah bioenergi atau bahan bakar nabati yang dibuat dari minyak nabati yang baru maupun dari minyak nabati bekas penggorengan melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, maupun proses esterifikasi-transesterifikasi. Biodiesel merupakan bioenergi atau bahan bakar nabati yang bahan bakunya berasal dari tumbuh-tumbuhan melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi-transesterifikasi.

Faktor-faktor yang berpengaruh pada reaksi esterifikasi antara lain :

a. Waktu reaksi

Semakin lama waktu reaksi maka kemungkinan kontak antar zat semakin besar sehingga akan menghasilkan konversi yang besar. Jika kesetimbangan reaksi sudah tercapai maka dengan bertambahnya waktu reaksi tidak akan menguntungkan karena tidak memperbesar hasil.

b. Pengadukan

Pengadukan akan menambah frekuensi tumbukan antara molekul zat pereaksi dengan zat yang bereaksi makin baik sehingga mempercepat reaksi dan reaksi terjadi sempurna. Sesuai dengan persamaan Archenius :

$$k = A \times e^{(-E_a/RT)}$$

dimana :

- T = Suhu absolut (K)
- R = Konstanta gas umum (cal/gmol K)
- E_a = Tenaga aktivasi (cal/gmol)
- A = Faktor tumbukan (t-1)
- k = Konstanta kecepatan reaksi (t-1)

c. Katalisator

Katalisator berfungsi untuk mengurangi tenaga aktivasi pada suatu reaksi sehingga pada suhu tertentu harga konstanta kecepatan reaksi semakin besar. Secara kinetika konsentrasi katalis yang semakin besar akan semakin menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi berjalan lebih cepat.

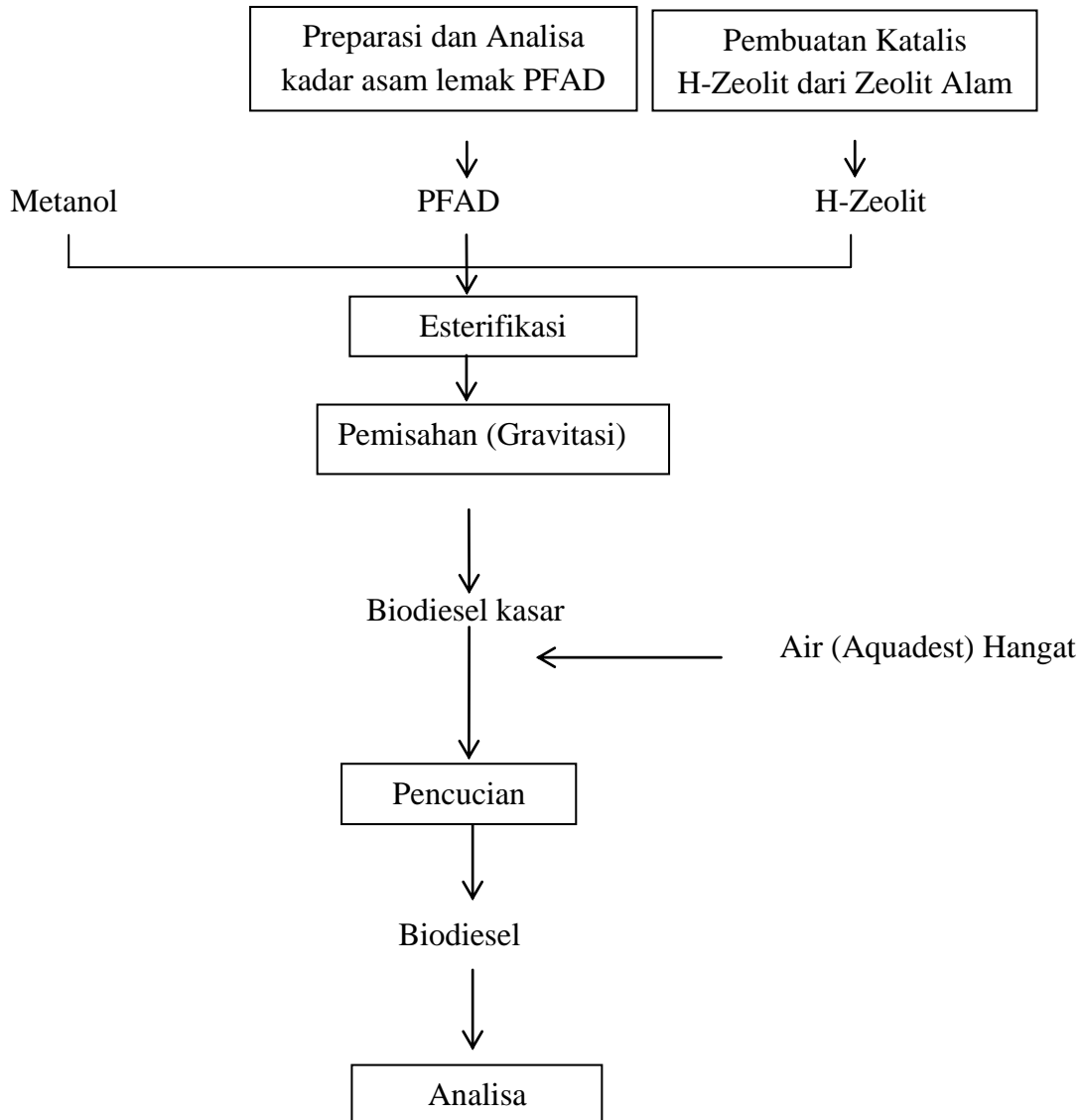
d. Suhu Reaksi

Semakin tinggi suhu yang dioperasikan maka semakin banyak konversi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius. Bila suhu naik maka harga k semakin besar sehingga reaksi berjalan cepat dan hasil konversi makin besar.

Metodologi Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah PFAD (*Palm Fatty Acid Destilate*, Metanol (99,9%), Etanol (95%), Kalaium Hidroksida (KOH) 0,1 N, Indikator pp, Zeolit alam, Ammonium Clorida (NH₄Cl) 1 N dan Aquadest. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Ketel dan pengaduk magnetic, Piknometer, Mantel pemanas, Kondensor, Corong pisah, Beaker glass, Erlenmeyer, Buret dan statif, Gelas ukur, Termometer, kertas saring, Viskometer Oswald dan alumunium foil.

Secara garis besar metodologi penelitian yang digunakan meliputi tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir Pembuatan Biodiesel

Prosedur Penelitian

1. Pembuatan Katalis H-Zeolit

Katalis H-zeolit dipreparasi dari zeolit alam melalui tahapan yang telah dikembangkan oleh Nasikin (2004) Yaitu:

- 350 gram Zeolit Alam dimasukkan ke dalam labu leher tiga, lalu dicampurkan dengan NH_4Cl 1 N ke dalam labu yang telah berisi zeolit alam.
- Setelah kedua zat tersebut dimasukkan ke dalam labu, pengadukan dilakukan selama 50 jam dengan kecepatan pengadukan 500 rpm untuk menghasilkan NH_4 -zeolit. Proses pengadukan ini akan berjalan per 6 jam hingga mencapai 50 jam untuk menjaga kinerja mesin pengaduk tersebut.
- Setelah terjadi pengadukan selama 50 jam, zat yang ada didalam labu disaring dengan memakai kertas saring. Kemudian zat dicuci dengan aquades sampai pH mencapai 7 (untuk memisahkan unsur / senyawa pengotor yang ada di dalam zeolit).
- Setelah disaring, zeolit dimasukkan ke dalam furnace dan dibakar pada suhu 600°C selama 6 jam (untuk mengaktifasikan zeolit alam menjadi H-Zeolit) Proses ini dinamakan proses kalsinasi.

2. Persiapan Bahan Baku

Dalam persiapan bahan baku, PFAD yang akan digunakan dicairkan dalam bejana dengan suhunya mencapai 70°C . Selanjutnya dilakukan penyaringan untuk memisahkan kotoran yang terdapat didalam PFAD tersebut berupa benda-benda padat yang tercampur selama proses pengambilan bahan baku dari sumber bahan baku.

3. Pembuatan Biodiesel dengan menggunakan reaksi esterifikasi

Esterifikasi adalah reaksi asam lemak bebas dengan metanol membentuk ester dan air. pada penelitian ini kita akan mereaksikan PFAD sebagai bahan baku dengan metanol, proses ini menggunakan katalis H-Zeolit. Waktu dan kecepatan pengadukan merupakan variabel pada penelitian ini. Sedangkan nisbah molar PFAD/metanol adalah 1:5, suhu reaksi yang digunakan 70°C dan konsentrasi katalis adalah 15% (basis PFAD).

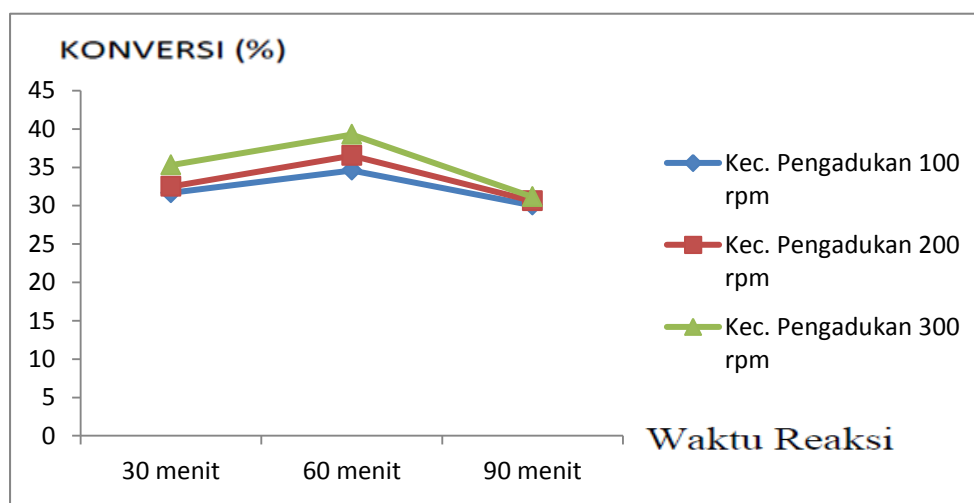
- Diambil 25 gram PFAD dan dimasukkan ke dalam labu yang dilengkapi dengan pengaduk magnetik lalu dipanaskan di dalam ketel pemanas dengan suhu 70°C .
- Kemudian ditambahkan metanol 99.9%, dengan perbandingan mol PFAD : metanol yaitu 1 : 5 dan konsentrasi katalis H-zeolit 15 % dari sampel, sambil diaduk dengan pengaduk magnetik dengan kecepatan pengadukan 100 rpm.
- Suhu dijaga tetap 70°C selama 30 menit dan campuran yang telah di reaksikan dituangkan dalam corong pisah.
- Campuran dipisahkan dengan didiamkan selama 12 jam (settling) sehingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas terdiri dari biodiesel kasar (biodiesel, PFAD, methanol sisa). Serta lapisan bawah terdiri dari air, metanol dan katalis. Setelah dilakukan pemisahan selama 12 jam selanjutnya buka valve corong pisah untuk mengeluarkan air, metanol dan katalis.
- Kemudian diambil lapisan biodiesel kasar yang diperoleh, lalu dicuci dengan menggunakan aquades hangat, lalu biodiesel dipisahkan (gunanya untuk memisahkan biodiesel yang diperoleh dengan methanol dan PFAD sisa).
- Kemudian diambil 5 gram biodiesel untuk dianalisa kadar ALB dan karakteristiknya.
- Pengulangan dilakukan untuk masing-masing variasi waktu (60 menit dan 90 menit) dan kecepatan pengadukan (200 rpm dan 300 rpm).

- Analisa yang akan dilakukan adalah analisa asam lemak bebas yang terdapat didalam biodiesel. Kemudian membandingkan karakteristik viskositas kinemetik, densitas, titik kabut (*cloud point*), titik nyala (*flash point*) dan angka setana (*cetana number*) dari biodiesel yang diperoleh.

Hasil dan Pembahasan

- Pengaruh perubahan waktu reaksi terhadap konversi pada masing-masing kecepatan pengadukan.

Dari hasil penelitian, konversi tertinggi terjadi pada waktu 60 menit dengan kecepatan pengadukan 300 rpm sebesar 39,26%. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mawardi (2011) yaitu konversi reaksi dipengaruhi oleh waktu reaksi. Semakin lama waktu reaksi maka kemungkinan kontak antar zat semakin besar sehingga akan menghasilkan konversi yang besar. Konversi dari waktu reaksi 30 menit ke 60 menit hasilnya masih meningkat, namun saat waktu reaksi ditambah ke 90 menit hasil konversi semakin menurun. Hal ini disebabkan, apabila kesetimbangan reaksi sudah tercapai maka dengan bertambahnya waktu reaksi tidak akan memperbesar konversi. Karena reaksi yang terjadi dalam proses esterifikasi adalah reversible (bolak-balik), maka apabila sudah terjadi kesetimbangan, reaksi akan bergeser ke kiri dan akan memperkecil produk yang diperoleh. Pengaruh perubahan waktu reaksi terhadap konversi pada masing-masing kecepatan pengadukan dapat dilihat pada Gambar 2.

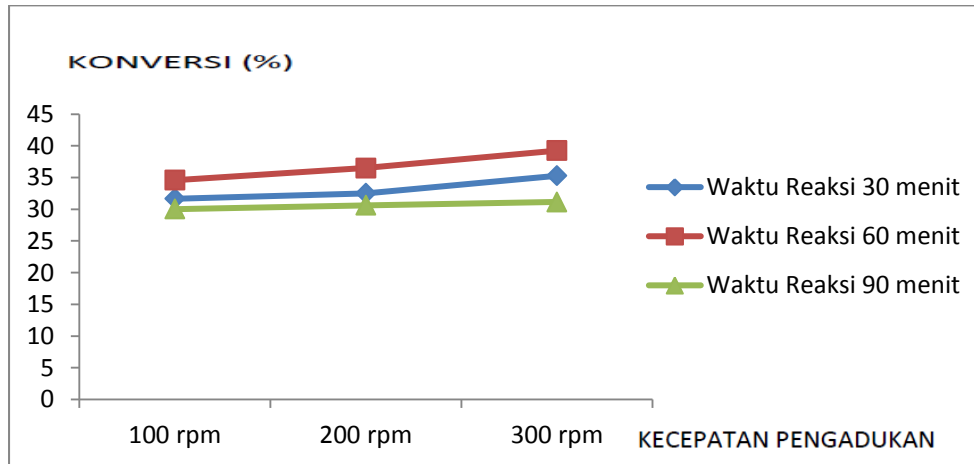


Gambar 2. Pengaruh perubahan waktu reaksi terhadap konversi pada masing-masing kecepatan pengadukan.

- Pengaruh perubahan kecepatan pengadukan terhadap konversi pada masing-masing waktu reaksi

Dari hasil penelitian diketahui bahwa konversi tertinggi terjadi pada kecepatan pengadukan 300 rpm dan waktu reaksi 60 menit yaitu 39,26%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap konversi reaksi. Hal ini sesuai dengan persamaan Archenius yaitu semakin tinggi kecepatan pengadukan maka konversi reaksi akan semakin meningkat (pada waktu reaksi yang sama), karena dengan adanya pengadukan akan menambah frekuensi tumbukan antara molekul zat pereaksi dengan zat yang bereaksi makin baik sehingga mempercepat reaksi dan reaksi terjadi sempurna. Pengaruh perubahan

kecepatan pengadukan terhadap konversi pada masing-masing waktu reaksi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh perubahan kecepatan pengadukan terhadap konversi pada masing-masing waktu reaksi

Hasil Karakteristik Biodiesel

Biodiesel yang diperoleh dari PFAD ini kemudian dianalisa sifat kimianya diantaranya Viskositas kinematik, massa jenis (*densitas*), titik kabut (*Cloud point*), titik nyala (*flash point*) dan angka setana (*cetane number*). Kemudian Hasil yang diperoleh ini dibandingkan dengan standar SNI biodiesel dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Biodiesel Yang Didapatkan

Parameter	30 menit			60 menit			90 menit			Standar Biodiesel
	100 rpm	200 rpm	300 rpm	100 rpm	200 rpm	300 rpm	100 rpm	200 rpm	300 rpm	
Viskositas kinematik	5,047 mm ² /s	4,905 mm ² /s	4,560 mm ² /s	4,687 mm ² /s	4,513 mm ² /s	4,342 mm ² /s	5,344 mm ² /s	5,234 mm ² /s	5,125 mm ² /s	2,3 – 6,0 mm ² /s
Densitas	0,87 g/ml	0,87 g/ml	0,86 g/ml	0,86 g/ml	0,86 g/ml	0,85 g/ml	0,89 g/ml	0,89 g/ml	0,88 g/ml	0,85 – 0,89 g/ml
Titik kabut	16,8 °C	16,5 °C	15,8 °C	16,0 °C	15,7 °C	15,5 °C	17,1 °C	17,0 °C	16,9 °C	Maks.18 °C
Flash point	200 °C	199 °C	196 °C	197 °C	194 °C	192 °C	210 °C	206 °C	201 °C	Min.100 °C
Cetane Number	64	63	60	61	59	57	67	66	65	Min. 51

1. Viskositas kinematik

Pada table 2 terlihat bahwa viskositas kinematik biodiesel tertinggi pada waktu 90 menit dan kecepatan pengadukan 100 rpm yakni sebesar 5,344 mm²/s, sedangkan viskositas kinematik

biodiesel terendah pada waktu 60 menit dan kecepatan pengadukan 300 rpm yakni sebesar 4,342 mm²/s. Nilai diatas berada dalam range SNI yaitu 2,3 – 6,0 m²/s. Semakin tinggi konversi biodiesel maka viskositas kinematik yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini disebabkan semakin sedikit kadar asam lemak bebas yang masih berada pada biodiesel yang dihasilkan tersebut. Viskositas kinematik akan semakin turun ketika terjadi peningkatan nilai ketidakjenuhan dari biodiesel (Mittelbach dan Remschmidt, 2004).

2. Massa Jenis (*Densitas*)

Pada table 2 terlihat densitas biodiesel yang tertinggi terjadi pada waktu 90 menit dan kecepatan pengadukan 100 rpm yaitu sebesar 0,89 g/ml, sedangkan densitas biodiesel yang paling rendah terjadi pada waktu 60 menit dan kecepatan pengadukan 300 rpm yaitu sebesar 0,85 g/ml. Nilai diatas berada dalam range standar mutu biodiesel Indonesia yaitu 0,85-0,89 g/ml. Semakin tinggi konversi biodiesel maka densitas akan semakin rendah karena rantai karbon semakin pendek dan ikatan rangkap semakin sedikit. Nilai densitas biodiesel sangat ditentukan oleh kemurnian komponen metil ester dalam biodiesel (Mittelbach dan Remschmidt, 2004).

Menurut Prihandana dkk (2006), biodiesel yang menghasilkan massa jenis melebihi ketentuan akan menghasilkan reaksi pembakaran yang tidak sempurna. Sehingga akan meningkatkan emisi dan keausan mesin. dengan nilai viskositas 3,691 – 4,757 m²/s dan densitas 0,85 – 0,89 g/ml dapat dikatakan biodiesel ini mampu meningkatkan injektor mesin diesel dan atomisasi bahan bakar dengan baik.

3. Titik Kabut (*Cloud Point*)

Pada tabel 2 terlihat bahwa titik kabut biodiesel yang paling tinggi terjadi pada waktu 90 menit dan kecepatan pengadukan 100 rpm yaitu sebesar 17,1 °C, sedangkan titik kabut biodiesel yang paling rendah terjadi pada waktu 60 menit dan kecepatan pengadukan 300 rpm yaitu sebesar 15,5 °C. Nilai ini tidak melebihi standar mutu biodiesel Indonesia yaitu maksimal 18 °C. Semakin tinggi konversi biodiesel maka titik kabut biodiesel akan semakin rendah karena ikatan karbonnya semakin pendek dan ikatannya tidak jenuh (Mittelbach dan Remschmidt, 2004).

4. Titik Nyala (*Flash Point*)

Pada table 2 terlihat bahwa titik nyala (*flash point*) biodiesel tertinggi terjadi pada waktu 90 menit dan kecepatan pengadukan 100 rpm yaitu sebesar 210 °C, sedangkan titik nyala biodiesel yang paling rendah terjadi pada waktu 60 menit dan kecepatan pengadukan 300 rpm yaitu sebesar 192 °C. Nilai ini sesuai dengan standar mutu biodiesel Indonesia yaitu minimal 100 °C. Semakin tinggi konversi biodiesel maka titik nyala biodiesel akan semakin rendah karena kandungan fraksi ringan (residu alkohol) semakin tinggi, sehingga semakin rendah temperatur yang dibutuhkan untuk biodiesel bisa menyala (Mittelbach dan Remschmidt, 2004).

5. Angka Setana (*Cetane Number*)

Pada table 2 terlihat bahwa angka setana biodiesel tertinggi terjadi pada waktu 90 menit dan kecepatan pengadukan 100 rpm yaitu sebesar 67, sedangkan angka setana biodiesel yang paling rendah terjadi pada waktu 60 menit dan kecepatan pengadukan 300 rpm yaitu sebesar 57. Nilai ini sesuai dengan standar mutu biodiesel Indonesia yaitu minimal 51. Semakin rendah komposisi kadar asam lemak bebas maka angka setana biodiesel akan semakin rendah karena ikatan rantai karbon semakin pendek dan ikatannya semakin tidak jenuh (Mittelbach dan Remschmidt, 2006).

Kesimpulan

1. Biodiesel dapat dibuat dari PFAD (*Palm Fatty Acid Distillate*) dengan menggunakan proses esterifikasi.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan waktu reaksi berpengaruh terhadap konversi reaksi. Semakin lama waktu reaksi maka kemungkinan kontak antar zat semakin besar sehingga akan menghasilkan konversi yang besar. Namun, apabila kesetimbangan reaksi sudah tercapai maka dengan bertambahnya waktu reaksi tidak akan memperbesar hasil. Dan karena reaksi yang terjadi dalam proses esterifikasi adalah reversible (bolak-balik), maka apabila sudah terjadi kesetimbangan, reaksi akan bergeser ke kiri dan akan memperkecil produk yang diperoleh.
3. Perubahan kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap konversi reaksi. Semakin dinaikkan kecepatan pengadukan maka konversi reaksi akan semakin meningkat.
4. Konversi biodiesel yang dihasilkan menunjukkan bahwa karakteristik Viskositas kinematik, Densitas, titik kabut (*cloud point*), titik nyala (*flash point*) dan *cetane number* sesuai dengan standart SNI EB 020551 Biodiesel.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan kondisi optimum pembuatan biodiesel dari asam lemak sawit distilat.
2. Sebaiknya dilakukan analisis/perhitungan terhadap parameter-parameter yang lainnya untuk mengukur nilai bakar biodiesel, agar diketahui karakteristik biodiesel secara lengkap.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Azam, M., Waris, M., Nahar, N. (2005), "Prospect and potential Of Fatty Acid Metgyl Ester Of Some Non-traditional Seed Oils For Use As Biodiesel In India", *Biomass dan Bioenergy* 29:293-302.
- Bell, R. G. (2001), What Are Zeolites? URL : <http://www.bza.org/zeolites.html>.
- Debora, P., Zahrina, I.,Yeni, E. (2008), "Konversi Asam Lemak Sawit Distilat Menjadi Biodiesel dengan menggunakan Zeolit sintesis Si/Al7", Prosiding SNTK TOPI, Pekanbaru.
- Fogler, H., Scott. (1991), "Elements of Chemical Reaction Engineering", University of Michigan, USA.
- Fogler, H., Scott. (1999), "Elements of Chemical Reaction Engineering", Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Series, 3rd edition.
- Handoko, D.S.P. (2002), "Preparasi Katalis Cr/Zeolit Melalui Modifikasi Zeolit Alam", *Jurnal Ilmu Alam*, Vol. 3 No. 1, 15-23.
- <http://id.wikipedia.org/wiki/katalis> (20 April 2008).
- <http://www.bza.org/zeolites.html>
- <http://tfugm.wordpress.com>, (2002), "Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral".
- Hui,Y. H. (1996), "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", Industrial and Consumer Non edible products from Oils and Fats, vol 5, 5th ed , John Wiley & Sons , New York.

- Ketaren, S. (2005), "Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan", Penerbit UI Press, Jakarta.
- Ketta, MC. (1978), "Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Vol.1, Marcel Dekker, New York.
- Laz. (2005), "Potensi Zeolit Untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif", Pusat Pengembangan Pengolahan Limbah Radioaktif, Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Mawardi. (2011), "Konversi PFAD (*Palm Fatty Acid Distillate*) Menjadi Biodiesel Dengan Menggunakan Katalis H-Zeolit", Universitas Riau, Pekanbaru.
- Mittlebach, M., Remschmidt. (2004), "Biodiesel The Comprehensive Handbook", Boersedruck Ges m.b.H, Vienna, Austria.
- Muhammed, F. (2009) "Biodiesel dari lemak ayam dengan menggunakan katalis H-Zeolit", US Patent 20090038209.
- Mustahin. (1997), "Konversi Zeolit Alam Menjadi ZSM-5", *master theses from JBPTITBPP*, ITB, Bandung.
- Nasikin, M, Wahid, A. (2005), "Perengkahan Metil Ester menjadi Biogasoline dengan Katalis Zeolite Alam", Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan aplikasi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Nasikin, M, Wahid, A., Iswara, G. (2006), "Perengkahan Katalitik Fasa Cair Minyak Sawit Menjadi Biogasoline", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, Palembang.
- Prihandana, R. Hendroko, R., dan Nuraimin. (2006), "Menghasilkan Biodiesel Murah, Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM", Agromedia, Jakarta.
- Ramadhan, W., dkk (2010), "Konversi PFAD (*Palm Fatty Acid Distillate*) Menjadi Biodiesel", Universitas Riau, Pekanbaru.
- Saputra, E., Utama, P.S., Martin, A., Supranto., (2006), "Pembuatan Silica Presipati (Industri Grade Silica) Dari Fly Ash Sawit Limbah Padat Industri Minyak Sawit", Laporan Hibah, Pekanbaru.
- S. Chongkhong, C., Tongurai, P., Chetpattanandh, C., Bunyakan. (2007), "Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate", Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, HatYai, Songkhla 90112, Thailand.
- Soerawidjaja, T.H., Tahar U.W., Prakoso, T., Reksowardojo, I.K., Permana, K.S., (2005), "Studi Kebijakan Penggunaan Biodiesel di Indonesia, Kajian Kebijakan & Kumpulan Artikel Penelitian Biodiesel", Menristik, MAKSI, SEAFast Center, IPB.
- Sujarwadi. (1997), "Sekilas tentang Zeolit", Pusat Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung.
- Twaiq, F.A., Zabidi, N.A.M., Bhatia, S., (1999), "Catalytic Conversion Palm Oil to Hydrocarbons: Performance of Various Zeolite Catalysts", *Ind. Eng.Chem. Res.* 38 pp 3230-3237.
- Widayat., Buchori, L., (2005), "Pembuatan Bahan Bakar Biodiesel dengan Proses Perengkahan Berkatalis Zeolit dan Bahan Baku Minyak Goreng Berbahan Dasar Crude Palm Oil", Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Zahrina, I., Saputra, E., dan Evelyn. (2006), "Sintesis ZSM-5 Tanpa Templat Menggunakan Abu Sawit Sebagai Sumber Silika", HEDS Seminar On Science and Technology, Jakarta.