PENGARUH KECEPATAN ROTOR DAN KONSENTRASI KATALIS PADA PEMBUATAN BIODIESEL DARI CPO DENGAN REAKSI ESTERIFIKASI MENGGUNAKAN SENTRIFUGAL KONTAKTOR

Gery Azhari Putera[1)], Idral Amri[2)], dan Silvia Reni Yenti[2)]

[1)]Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, [2)]Dosen Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru Kode Pos 28293

email: gery.azhari@gmail.com

ABSTRACT

Fuel needed for diesel engines in Indonesia each year increased along with the number of industrial machinery and the amount of diesel vehicles engine. With limited oil reserves, it is necessary to look for alternative sources of energy. Centrifugal contactor technology is one of the alternative technology of biodiesel production is very likely to be developed. Therfore, we need a study of biodiesel production using palm oil feedstock and methanol as reagent and sulfuric acid as a catalyst by using the esterification reaction. And this study used centrifugal contractors as the main equipment, which is equipped with a heater, raw material tank, product tank and pumps. Fixed variables selected in this study is the reaction time of 120 minutes, the molar ratio of feed is 9:1, and 60 ° C operating temperature. While the manipulated variable is rotor speed (1200, 1800 and 2400 rpm), the concentration of sulfuric acid catalyst (5%, 10% and 15% v/v methanol). The results of the research that has been done is the characteristics of biodiesel produced in this study, the kinematic viscosity values from 2,41 to 2,51 mm^2/s, density 858-863 kg/m^3, and acid number 6,30 to 6,66 mg-KOH/g. The composition of the methyl ester obtained is 0,33% behenic metyl ester, 48,87% palmitic methyl ester and 50,80% oleic methyl ester. The best conversion is 56,03% at the optimum operating conditions with a catalyst concentration of sulfuric acid 10% v/v methanol and the rotor speed of 2400 rpm. Correlation of rotor speed on reaction rate constant is $k = 0{,}0002Re^{0{,}1928}$. *And the relationship of the catalyst concentration the reaction rate constant is* $k = 0{,}0055[Q]^{0{,}089}$.

Keywords: CPO, Centrifugal Contactors, Biodiesel, Esterification Reaction

Pendahuluan

Kebutuhan bahan bakar untuk mesin diesel di Indonesia tiap tahunnya semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah mesin industri dan jumlah kendaraan bermesin diesel. Dengan semakin terbatasnya cadangan minyak bumi, maka perlu dicari alternatif sumber energi baru (Utami dkk., 2007). Kemudian dengan adanya keinginan untuk mendirikan kemandirian energi, maka diperlukan untuk mengembangkan alternatif sumber daya bahan bakar fosil yang terbatas. Pengembangan ini telah menghasilkan teknologi bahan bakar yang didasarkan pada penggunaan bahan berbasis pertanian terbarukan sebagai bahan baku (Haas dkk., 2005).

Sementara itu, cadangan energi fosil Indonesia sudah sangat terbatas, cadangan minyak hanya cukup untuk 18 tahun, gas untuk 60 tahun dan batu bara untuk 150 tahun (Prihandana, 2007). Berdasarkan data dari Sekretariat Panitia Teknis Sumber Energi (2006), distribusi penggunaan sumber energi nasional untuk Bahan Bakar Minyak (BBM) sebesar 60%, gas 16%, batubara 12%, listrik 10% dan LPG 1% dari total 606,13 juta SBM (setara bahan bakar minyak). Keadaan ini memacu Indonesia untuk mencari dan

memanfaatkan potensi sumber-sumber energi alternatif.

Indonesia sebagai salah satu Negara beriklim tropis yang memiliki sumber daya alam yang sangat potensial. Usaha pertanian merupakan usaha yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia karena Indonesia memiliki potensi sumber daya lahan agroklimat dan sumber daya manusia yang memadai. Kondisi iklim tropis dan curah hujan yang cukup, ketersediaan lahan yang masih luas serta telah berkembangnya teknologi optimalisasi produksi dapat mendukung kelayakan pengembangan usaha agribisnis (Chumaidi, 2008)

Ketersedian bahan baku yang melimpah di Indonesia memberikan kesempatan untuk pengembangan energi alternatif terbarukan berbasis produk agrikultur. Salah satu yang baik untuk dikembangkan adalah produksi Biodiesel. Potensi pengembangan biodiesel Indonesia cukup besar karena disamping sebagai penghasil CPO (*Crude Palm Oil*) terbesar pertama di dunia, Indonesia juga memiliki banyak spesies tanaman yang minyaknya dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel (Soerawidjaja, dkk. 2005).

Metode yang paling sederhana untuk membuat biodiesel adalah dengan menggunakan reaktor tangki berpengaduk secara *batch*, kemudian diikuti dengan pemisahan ester dari campurannya dengan alkohol, air dan hasil samping. Untuk proses secara kontinu umum digunakan reaktor Plug Flow (PFR) dengan waktu tinggal 6-10 menit. Dilanjutkan dengan pemurnian ester dari campurannya (Van Gerpen, dkk. 2004).

Berdasarkan kepada kebutuhan energi alternatif pengganti bahan bakar mesin diesel. Maka perlu dilakukan suatu penelitian untuk meningkatkan teknologi produksi biodiesel sekaligus pemanfaatan produk turunan pertanian khususnya CPO (*Crude Palm Oil*) yang banyak dihasilkan di Indonesia. Proses pembuatan biodiesel pada saat sekarang ini menggunakan beberapa tahapan seperti mereaksikan dan pemisahan. Dilihat dari tantangan untuk menyumbang suatu inovasi pembuatan biodiesel, maka penulis tertarik untuk mengembangkan teknologi pembuatan biodiesel dengan menggunakan sentrifugal kontaktor, dimana tahapan proses bisa lebih sederhana karena menggabungkan reaktor dan pemisah di dalam satu alat proses.

Bahan dan Metodologi Penelitian

Bahan dan Alat

Pembuatan biodiesel ini menggunakan CPO dan metanol sebagai bahan baku. CPO diperoleh dari pabrik CPO PTPN V. Bahan-bahan lainnya yang digunakan meliputi H_2SO_4 sebagai katalis, KOH, metanol, asam oksalat dan indikator pp.

Penelitian pembuatan biodiesel dilakukan dalam satu peralatan produksi biodiesel Sentrifugal Kontaktor. Peralatan ini terdiri dari 2 tangki penyimpanan bahan baku, 2 tangki pemanas, 1 sentrifugal kontaktor, dan 2 tangki penyimpanan produk. Alat-alat pendukung penelitian adalah gelas ukur, stopwatch, termometer, neraca digital, *hot plate*, pipet tetes, statip, corong pisah, erlenmeyer, piknometer, viskometer, buret, oven dan seperangkat alat GC-MS.

Persiapan Bahan Baku

Dalam persiapan bahan baku, dilakukan analisis bahan baku yaitu, analisis asam lemak bebas, untuk mengetahui kesempurnaan reaksi. Analisis asam lemak bebas dilakukan berdasarkan kepada metode titirimetri. Bahan baku CPO diambil kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer, ditambahkan pelarut alkohol panas atau heksana kemudian dititrasi menggunakan basa.

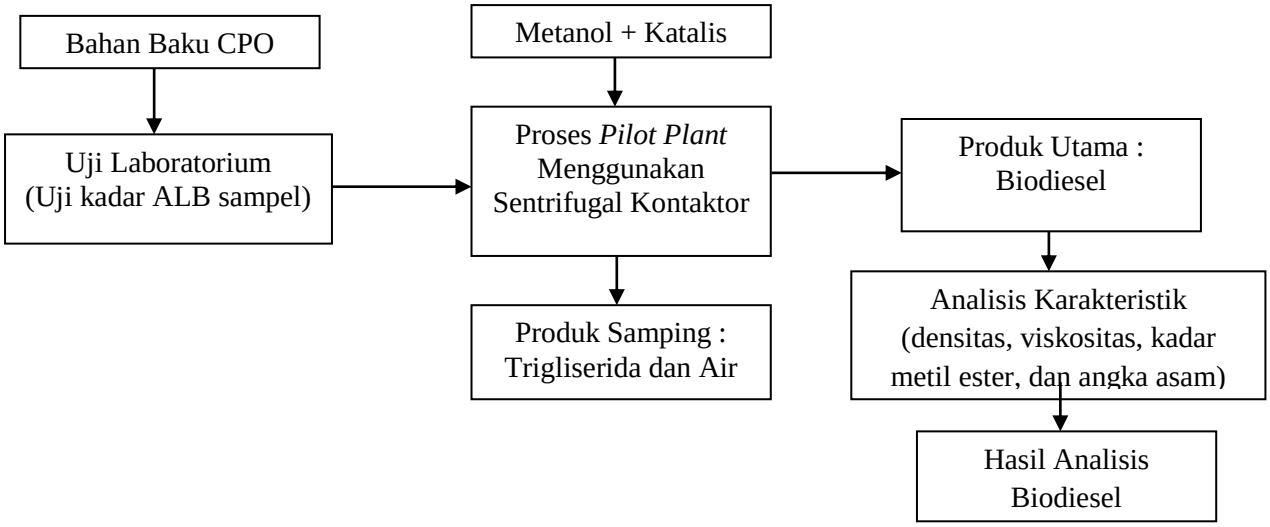
Bahan baku CPO yang akan digunakan dipanaskan terlebih dahulu dalam bejana hingga suhunya mencapai 60^oC, ini bertujuan supaya CPO mencair, dan juga untuk menyesuaikan dengan kondisi temperatur didalam reaktor. Pada tahap ini dilakukan dengan komposisi molar metanol 9:1 dan waktu reaksi 2 jam. Variasi katalis yaitu H_2SO_4 5, 10 dan 15 % dan kecepatan pengadukan 1200, 1800 dan 2400 rpm.

Pembuatan Biodiesel

Pelaksanaan pembuatan biodiesel dari CPO dilakukan dengan tinjauan variabel pengadukan, konsentrasi katalisator, temperatur, waktu reaksi, dan rasio molar

umpan. Hasil yang ingin diperoleh dari percobaan pembuatan biodiesel dari CPO adalah konversi biodiesel yang terbentuk.

Tahap-tahap percobaan pembuatan biodiesel dapat dilihat pada Gambar 3.1.

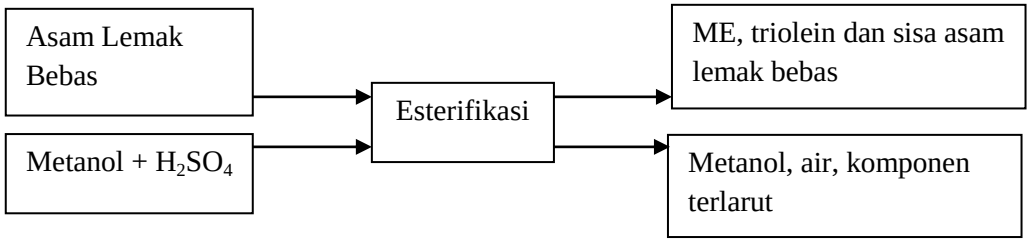


Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Biodiesel

Bahan baku biodiesel dipanaskan dalam suatu ruang pemanasan dengan bantuan heater hingga tercapai suhu 60^{o}C. Metanol-katalis dimasukkan ke tempat umpan dengan komposisi katalis 5%, 10% dan 15% v/v metanol. Kemudian dialirkan ke dalam reaktor dengan rasio molar metanol 9 : 1. Reaksi dibiarkan berlangsung selama 120 menit hingga diperoleh produk. Produk berupa ester, air, sisa metanol dan trigliserida.

Proses Esterifikasi

Esterifikasi adalah reaksi di mana bahan yang mengandung asam lemak bebas direaksikan dengan alkohol membentuk ester dan air. Esterifikasi hanya dapat dilakukan jika umpan yang direaksikan dengan alkohol mengandung asam lemak bebas tinggi. Selain itu, tidak diperlukan adanya tahap ekstraksi dalam proses ini karena pada esterifikasi in situ, alkohol berfungsi sebagai solven pengekstrak sekaligus sebagai reaktan.



Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Esterifikasi Pembuatan Biodisel

Pemisahan Trigliserida

Pemisahan trigliserida dapat dilakukan melalui pengendapan dan bantuan sentrifus. Pada penelitian ini trigliserida dapat dipisahkan menggunakan *sentrifuges separation* yang terdapat pada reaktor. Pemisahan ini berdasarkan kepada perbedaan densitas atau berat jenis dari kedua cairan yang tercampur.

Analisis Biodiesel

Angka Asam

Angka asam yaitu banyaknya (mg) KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan asam-asam lemak bebas di dalam satu (1) gram sampel biodiesel (SNI 04-7182-2006). Larutan biodiesel yang dihasilkan akan menyisakan asam lemak bebas yang tidak terkonversi secara sempurna pada proses reaksi esterifikasi. Asam lemak bebas ini akan mempengaruhi angka asam yang diperoleh dari analisis ini.

Analisis Kromatografi Gas – Spektrometri Massa (GC-MS)

Metoda kromatografi yaitu suatu metoda yang berdasarkan kepada kelarutan komponen larutan uji dengan suatu larutan pelarut (fasa pembawa) yang dilewatkan melalui suatu medium sebagai fasa diam.

Perbedaan sifat kimia antara molekul-molekul yang berbeda dalam suatu campuran dipisahkan dari molekul dengan melewatkan sampel sepanjang kolom. Molekul-molekul memerlukan jumlah waktu yang berbeda (disebut waktu retensi) untuk keluar dari kromatografi gas, dan ini memungkinkan spektrometer massa untuk menangkap, ionisasi, mempercepat, membelokkan, dan mendeteksi molekul terionisasi secara terpisah. Spektrometer massa melakukan hal ini dengan memecah masing-masing molekul menjadi terionisasi mendeteksi fragmen menggunakan massa untuk mengisi rasio (Hites, 2007).

Hasil dan Pembahasan

Densitas

Setelah dilakukan penelitian pembuatan biodiesel menggunakan sentrifugal kontaktor, didapatkan biodiesel mempunyai densitas dengan rentang 859-863 kg/m^3. Densitas merupakan hasil pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi densitas suatu benda maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Terdapat kecenderungan penurunan densitas terhadap peningkatan suhu. Penurunan densitas disebabkan terjadinya peningkatan volume dengan massa yang konstan pada suhu yang tinggi (Renny, 2011). Densitas berkaitan dengan pembakaran diruang bakar mesin diesel. Semakin tinggi densitas suatu zat, maka semakin tinggi titik didih zat tersebut, dan semakin sulit menjadi uap. Tentunya menjadi semakin sulit bereaksi dengan oksigen.

Hasil pengukuran densitas menunjukkan biodiesel yang diperoleh telah memenuhi standar nasional Indonesia, dimana standar densitas mempunyai rentang 840-890 kg/m^3. Jika biodiesel yang dihasilkan memiliki densitas yang lebih besar maka akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna di ruang bakar mesin diesel. Biodiesel dengan densitas yang lebih besar tidak dapat digunakan untuk mesin diesel karena akan menyebabkan emisi karena pembakaran yang kurang sempurna, dan kerusakan lain pada mesin.

Viskositas

Viskositas biodiesel yang dihasilkan berkisar antara 2,41-2,51 mm^2/s. Dimana standar nasional untuk biodiesel adalah 2,3-6,0 mm^2/s. Sehingga viskositas yang didapatkan pada penelitian telah memenuhi standar.

Viskositas adalah pengukuran dari ketahanan fluida yang diubah baik dengan tekanan maupun tegangan. Viskositas berperan pada peninjeksian bahan bakar ke ruang bakar mesin. Viskositas yang tinggi dapat menyebabkan kerja pompa bahan bakar lebih besar sehingga peninjeksian bahan bakar tidak sempurna. Oleh karena spesifikasi pompa bahan bakar yan digunakan.

Viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar, dan jika terlalu tinggi dapat mempengaruhi kerja cepat alat injeksi dan mempersulit pengabutan bahan bakar (Hardjono, 2001).

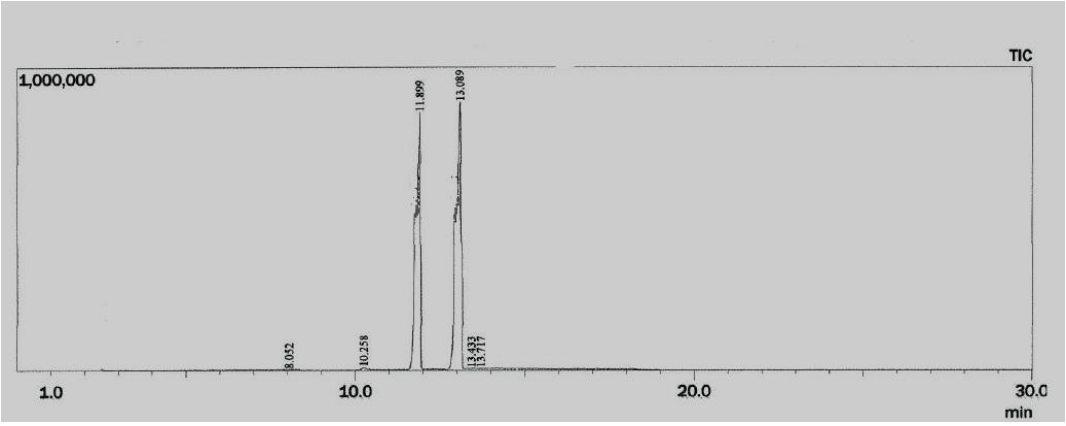
Angka Asam

Angka asam yang diperoleh adalah berkisar antara 6,30-6,66 mg-KOH/g. Standar untuk angka asam adalah < 0,8 mg-KOH/g. Sehingga biodiesel yang dihasilkan dapat bersifat korosif terhadap pompa bahan bakar dan mesin diesel. Tingginya angka asam ini dapat mengindikasikan bahwa masih banyaknya asam lemak bebas di dalam hasil biodiesel yang tidak terkonversi dan adanya sisa katalis asam.

Angka Asam merupakan jumlah milligram KOH yang digunakan untuk menetralkan asam lemak bebas yang terdapat dalam 1 gram minyak atau lemak. Angka asam yang tinggi bersifat korosif dan dapat merusak injektor bahan bakar mesin diesel.

Analisis Kandungan Metil Ester

Setelah dianalisis menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) didapatkan data seperti gambar dan tabel berikut :



Gambar 4.1 Hasil Analisis GC-MS

Tabel 4.4 Hasil Analisis GC-MS

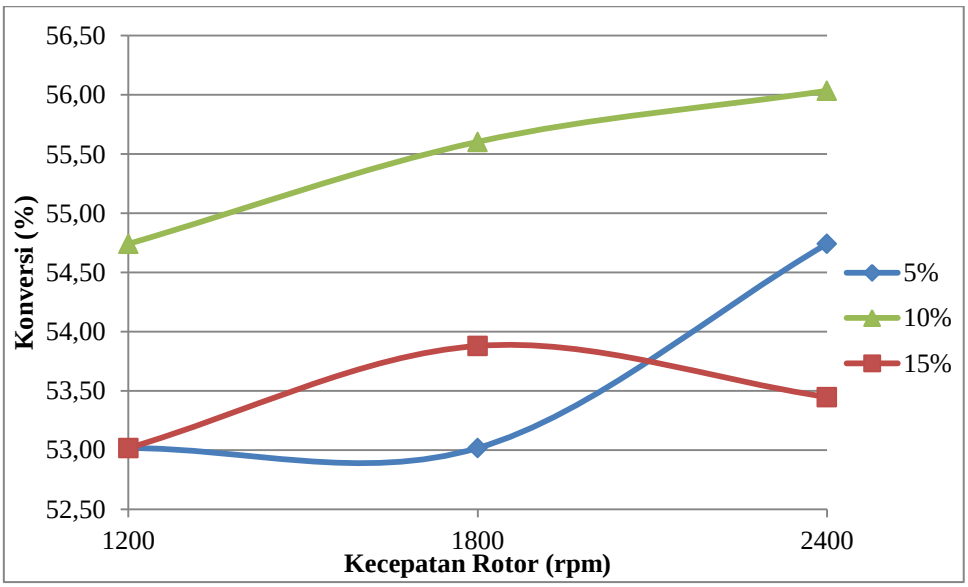
No.	Nama	Rumus Struktur	Waktu Retensi	Tinggi	% Tinggi
1	Metil Ester Behenate	$CH_3(CH_2)_{20}C(O)OCH_3$	10,258	5790	0,33
2	Metil Ester Palmitat	$CH_3(CH_2)_{14}C(O)OCH_3$	11,899	848757	48,87
3	Metil Ester Oleat	$CH_3OC(O)(CH_2)_7CH{:}CH(CH_2)_7CH_3$	13,089	882273	50,80

Analisis metil ester ini menggunakan alat GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*). Metode GC-MS adalah metode yang mengombinasikan kromatografi gas dan spektrometer massa untuk mengidentifikasi senyawa yang berbeda dalam analisis sampel (Hites, 2001).

Hasil analisis GC-MS senyawa ester, pada penelitian ini diperoleh produk berupa metil ester behenat 0,33 %, metil ester palmitat 48,87 % dan metil ester oleat 50,80 %. Hasil ini didapatkan dari sampel ester pada tangki produk hasil pemisahan sentrifugal. Dari hasil analisis didapatkan bahwa produk yang dari proses esterifikasi CPO ini adalah Metil Ester Oleat dan Metil Ester Palmitat.

Pengaruh Kecepatan Rotor Terhadap Konversi Biodiesel dan Konstanta Kecepatan Reaksi

Perputaran rotor pada pembuatan biodiesel menggunakan sentrifugal kontaktor yang bertujuan untuk menyempurnakan reaksi yang terjadi dan memisahkan hasil reaksi yang berupa biodiesel, air, metanol sisa dan CPO sisa. Kecepatan rotor dapat memperbaiki pencampuran yang kurang sempurna di reaktor kolom.



Gambar 4.2 Pengaruh Kecepatan Rotor terhadap Konversi Reaksi

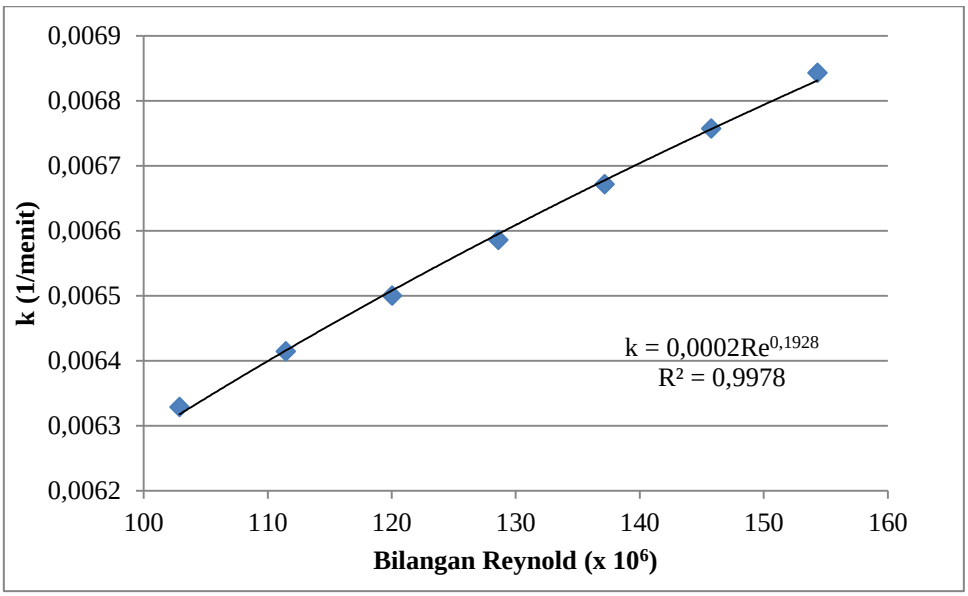
Kecepatan rotor dapat membantu memperbaiki pencampuran yang kurang sempurna di *outer shell* dari sentrifugal kontaktor. Dengan meningkatnya kecepatan rotor maka pencampuran yang terjadi lebih sempurna sehingga dapat meningkatkan luas kontak antar bahan baku reaksi esterifikasi ini.

Pada gambar di atas menunjukkan kenaikan kecepatan rotor dari 1200 rpm menjadi 1800 rpm dan 2400 rpm akan menaikkan konversi reaksi. Pada konsentrasi katalis 5% didapatkan bahwa konversi meningkat seiring meningkatnya keceptan rotor. Pada konsentrasi katalis 10% juga terjadi fenomena yang serupa yaitu meningkatnya konversi reaksi seiring peningkatan kecepatanrotor. Namun pada konsentrasi katalis 15% tidak terjadi peningkatan konversi, ini terjadi karena pada konsentrasi katalis 15% reaksi samping berupa air meningkat sehingga konsentrasi metanol mengalami penurunan dan mengurangi penurunan keaktifan. Penurunan keaktifan tersebut menyebabkan reaksi yang terjadi menurunkan konversi.

Kenaikan kecepatan rotor akan meningkatkan frekuensi tumbukan antar molekul reaktan. Sehingga kenaikkan kecepatan rotor memberikan peningkatan nilai konversi reaksi. Frekuensi tumbukan memperluas area permukaan kontak yang aktif hingga tercapai kondisi maksimum.

Semakin besar tumbukan maka semakin besar pula harga konstanta kecepatan reaksi. Sehingga dalam hal ini pengadukan sangat penting mengingat larutan minyak-katalis metanol merupakan larutan yang *immiscible* (Hikmah dan Zuliyana, 2010).

Kemudian dilakukan perhitungan nilai konstanta kecepatan reaksi pada saat kenaikan kecepatan rotor. Dimana diketahui bahwa kecepatan rotor akan mempengaruhi bilangan Reynold. Menurut Setyadji (2006), reaksi esterifikasi pembuatan biodiesel merupakan reaksi dengan orde reaksi 1. Sehingga didapatkan gambar hubungan antara nilai konstanta kecepatan reaksi dengan bilangan Reynold seperti di bawah ini.



Gambar 4.3 Hubungan Konstanta Kecepatan Reaksi terhadap Bilangan Reynold

Pengadukan akan menambah frekuensi tumbukan antara molekul-molekul zat pereaksi, sehingga nilai A pada persamaan Arheinnius akan semakin besar. Semakin besar harga A akan memperbesar pula harga k, yang menyebabkan reaksi semakin cepat.

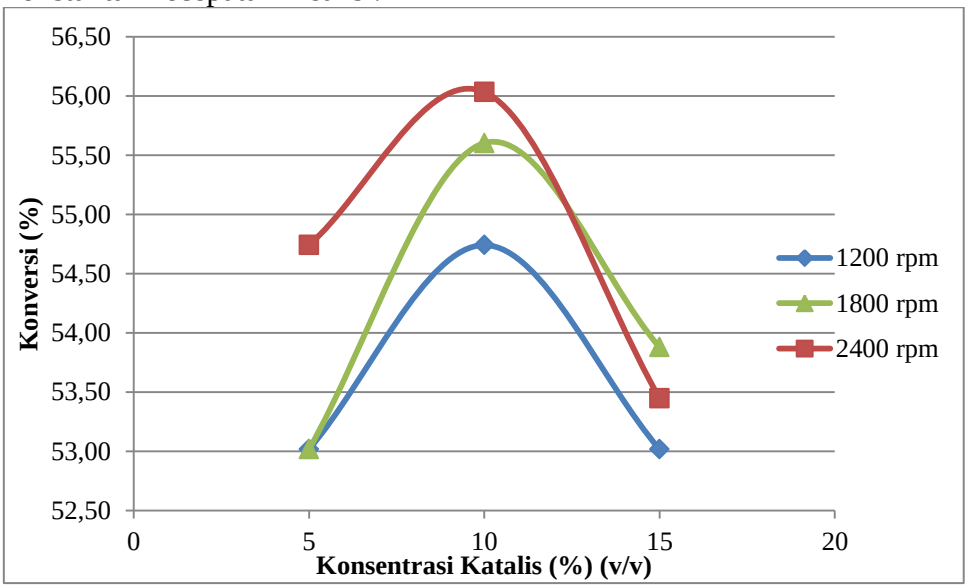
Dari hasil pengolahan data didapatkan bahwa hubungan antara konstanta kecepatan reaksi terhadap bilangan Reynold :

$$k = 0{,}0002Re^{0{,}1928}$$

Pada gambar 4.3 diketahui bahwa setiap kenaikan bilangan Reynold akan menaikkan konstanta kecepatan reaksi. Ini membuktikan bahwa adanya penambahan frekuensi tumbukan antara molekul-molekul zat pereaksi. Pada penelitian Setyadji (2006) juga didapatkan hasil berupa kenaikan kecepatan pengadukkan akan menaikkan konstanta kecepatan reaksi.

Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Konversi Biodiesel dan Konstanta Kecepatan Reaksi

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan gambar hubungan konsentrasi katalis dengan konversi biodiesel sebagai berikut :



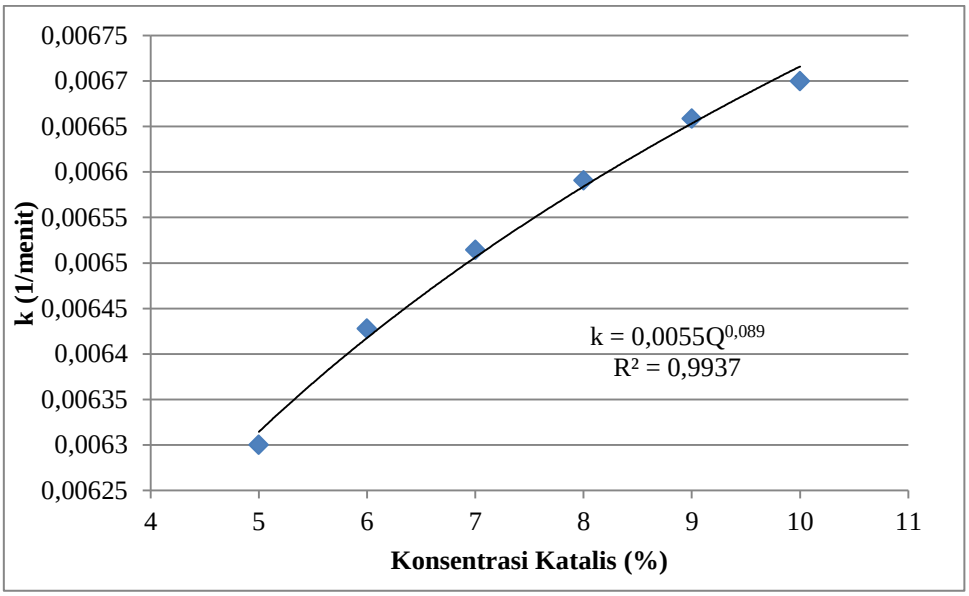
Gambar 4.3 Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap Konversi Reaksi

Pada kecepatan rotor 1200 rpm dan konsentrasi katalis 10% didapatkan hasil maksimum dengan nilai konversi adalah 54,74 %. Kecepatan rotor 1800 rpm dengan

konsentrasi katalis 10% didapatkan hasil maksimum dengan nilai konversi 55,60 %, dan pada kecepatan rotor 2400 rpm dengan konsentrasi katalis 10% didapatkan hasil maksimum 56,03%. Dari grafik didapatkan bahwa terjadi peningkatan nilai konversi pada konsentrasi katalis 10%. Penambahan katalisator akan mengaktifkan zat-zat pereaksi sehingga energi aktivasi (Ea) semakin kecil. Jika energi aktivasi kecil maka konstanta kecepatan reaksi semakin besar. Ketika konsentrasi asam sulfat dinaikkan dari 5% menjadi 10% terjadi kenaikan konversi asam lemak bebas menjadi metil ester. Menurut Rasyid (2009), konsentrasi katalis pada reaksi esterifikasi akan meningkat dengan cara adanya penurunan energi aktifasi.

Ketika katalis asam sulfat dinaikkan kembali menjadi 15% terjadi penurunan kereaktifitasan katalis tersebut ditandai dengan penurunan konversi (gambar 4.3). Hal ini, disebabkan karena reaksi esterifikasi mempunyai hasil samping yang tidak dikehendaki yaitu air. Air akan melarutkan metanol sehingga mengurangi konsentrasi dan keaktifan metanol. Ketika konsentrasi reaktan diturunkan maka reaksi akan bergeser ke kiri (Setyadji., dkk., 2006).

Kemudian dilakukan analisis hubungan antara konsentrasi katalis (Q) yang digunakan dengan konstanta kecepatan reaksi (k). Dimana didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 4.3 Hubungan Konstanta Kecepatan Reaksi terhadap Konsentrasi Katalis

Gambar di atas merupakan grafik hubungan konstanta kecepatan reaksi terhadap konsentrasi katalis. Menurut grafik yang didapatkan, kenaikan konsentrasi katalis dari 5% hingga 10% akan menaikkan konstanta kecepatan reaksi. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$k = 0{,}0055Q^{0{,}089}$$

Kenaikan kecepatan reaksi adalah akibat dari penurunan Penurunan konstanta reaksi pada konsentrasi katalis 15% disebabkan oleh reaksi esterifikasi mempunyai hasil samping yang tidak dikehendaki yaitu air. Air akan melarutkan metanol sehingga mengurangi konsentrasi dan keaktifan metanol. Ketika konsentrasi reaktan diturunkan maka reaksi akan bergeser ke kiri (Setyadji., dkk., 2006).

Pemisahan Metil Ester dari Campuran CPO, Asam Lemak Bebas Sisa, Metanol Sisa, Katalis dan Air

Pemisahan terjadi dengan baik dilihat dari kandungan hasil pemisahan dari hasil analisis GC-MS. Dimana hasil ini memberikan informasi kandungan metil ester produk adalah metil ester palmitat 48,87 % dan metil ester oleat 50,80 %. Menurut

Wulandari (2010), hasil esterifikasi asam lemak pada CPO adalah metil palmitat 15,49%, metil linoleat 45,44 %, dan metil oleat 32,78 %. Sementara itu Hambali (2007) memaparkan bahwa CPO mempunyai komposisi asam lemak paling banyak berupa asam palmitat 41,1- 47,0 % dan asam oleat 38,2 – 43,6 %.

Dalam ruang *spinning rotor* atau sentrifugal terjadi suatu pemisahan yang melibatkan gaya pendorong berupa gaya gravitasi yang ditimbulkan oleh sentrifugasi. Sentrifugasi ini memisahkan berdasarkan densitas umpan yang masuk. Parameter yang dapat mempengaruhi kemampuan alat adalah perbedaan densitas, kecepatan rotor, rasio umpan masuk, laju alir umpan, dan waktu tinggal (Meikrantz, 2005).

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa asam lemak bebas yang terkandung didalam Crude Palm Oil dapat dikonversi menjadi biodiesel dengan menggunakan sentrifugal kontaktor melalui reaksi esterifikasi dengan katalis asam sulfat, karakteristik biodiesel yang dihasilkan pada penelitian ini adalah :

1. Nilai viskositas kinematik 2,41-2,51 mm^2/s, densitas 859-863 kg/m^3, dan 6,30-6,66 mg-KOH/g.
2. Komposisi metil ester yang didapatkan adalah metil ester behenat 0,33%, metil ester palmitat 48,87 % dan metil ester oleat 50,80 %.
3. Konversi mengalami peningkatan ketika kecepatan rotor dinaikan dari 1200 rpm ke 1800 rpm dan 2400 rpm.
4. Konversi juga mengalami peningkatan ketika konsentrasi katalis asam sulfat dinaikkan dari 5 % menjadi 10 %.
5. Konversi terbaik adalah 56,03% pada kondisi optimum operasi dengan konsentrasi katalis asam sulfat 10 % v/v didalam metanol dan kecepatan rotor 2400 rpm.
6. Hubungan kecepatan rotor terhadap konstanta kecepatan reaksi adalah $k = 0{,}0002Re^{0{,}1928}$.
7. Dan hubungan konsentrasi katalis terhadap konstanta kecepatan reaksi adalah $k = 0{,}0055Q^{0{,}089}$.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi temperatur dan pada selang waktu tertentu.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen-dosen atas bimbingannya. Orang tua atas dukungannya baik secara moril dan materil. Terima kasih juga kepada teman-teman seperjuangan yang telah banyak membantu penelitian ini.

Daftar Pustaka

Canakci, M dan Van Gerpen J. 2003. "*A Pilot Plant to Reduce Biodiesel From High Free Fatty Acid Feedstocks*". Trans. ASAE 46, 945-954.

Canakci, M. dan Van Gerpen J. 2001. "*Biodiesel From Oils and Fats With High Free Fatty Acids*". Trans. ASAE 44, 1429-1436.

Darnoko, Herawan T. dan Guritno P. 2001. "Teknologi Produksi Biodiesel dan Prospek Pengembangan di Indonesia". Warta PPKS 9(1): 17-27

Destiana, M. 2007. "Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel". Laporan lomba karya ilmiah mahasiswa Institut Teknologi Bandung. 62 halaman

Ernawati., Susila W. R., dan Sastrawianto H. 2008. "*Analisis Dampak Pengembangan Bio-Diesel Kelapa Sawit Terhadap Industri Kelapa Sawit dan Kemiskinan*". Universitas Wijaya Kusuma Surabaya bekerjasama dengan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

Fessenden, R.J., dan Fessenden, J.S. 1986. "Kimia Organik**,** Edisi Ketiga". Erlangga. Jakarta.

Freedman, B., Pyryde, E. H., dan Mounts T.H. 1984. "*Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils*". JAOCS, 61:1638-1643.

Hambali E. 2007. "Teknologi Bio Energi". Jakarta : Penerbit Agromedia.

Hikmah M.N. dan Zuliyana. 2010. "*Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan*

Transesterifikasi". Universitas Diponegoro. Semarang.

Hites, R. 1997. "Handbook of Instrumental Technique for Analytical Chemistry: Gas Chromatography Mass Spectrometry". School of Public and Enviromental Affairs and Departement of Chemistry. Indiana University

Kartika, I. K. 2010. "*Transesterifikasi In Situ Biji Jarak Pagar: Pengaruh Jenis Pereaksi, Kecepatan Pengadukan dan Suhu Reaksi Terhadap Rendemen dan Kualitas Biodiesel*". Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor

Ketaren. 1986. "Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan". UI Press. Jakarta.

Luthfiyati, A., Yoeswono, Wijaya, K., dan Tahir, Q. 2008. "*Kajian Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Konversi Biodiesel dari Minyak Sawit Menggunakan Abu Tandan Kosong Sawit Sebagai Katalis*". Laboratorium Kimia Fisika, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta

Ma, F., Clements, L.D., dan Hanna, M.A. 1999. "*The Effect of Mixing on Transesterification of Beef Tallow*". Bioresource Technology 69, 289± 293.

Meikrantz, D. H. 2005. "*Design Attributes and Scale Up Testing of Annular Centrifugal Contractors*". Idaho National Laboratory, Idaho Fall.

Mittelbach, M. dan Remschmidt, C. 2004. "Biodiesel: The Comprehensive Handbook". Martin Mittelbach Publisher. Austria.

Pakpahan, A. 2001. "Palm Biodiesel: Its Potency, Technology, Business Prospect, and Environmental Implication In Indonesia". Proceedings of the International Biodiesel Workshop, Enhancing Biodiesel Development and Use Medan Oktober 2-4, 2001. Ministry of Agriculture RI. Jakarta.

Prihandana, R., dkk.. 2006. "Menghasilkan Biodiesel Murah". PT Agromedia Pustaka. Jakarta.

Rahayu, M. 2005. "Teknologi Proses Biodiesel (Prospek Pengembangan Bio-fuel Sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak".

Rasyid R. 2009. "*Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Katalis pada Proses Esterifikasi Distilat Asam Lemak Minyak Sawit (DALMS) Menjadi Biodiesel*". Jurusan Teknik Kimia, Universitas Muslim Indonesia. Makassar

Sahirman. 2009. "*Perancangan Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung (Calophyllum inophyllum L.)*". IPB. Bogor.

Setyadji, Moch., Susiantini, E., dan Murniasih, S. 2006. "Pengaruh Jumlah Katalisator dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Konstanta Kecepatan Reaksi dan Hasil Esterifikasi Minyak Jarak Pagar". Prosiding PPI - PDIPTN 2006 Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN. ISSN 0216 – 3128. Yogyakarta

Soerawidjaja, T. H. dan Tahar, H. 2003. "Menggagas Kebijakan Pengembangan Biodiesel di Indonesia". Prosiding Seminar Peluang Bisnis Industri Hilir Kelapa Sawit. Serpong.

Soerawidjaja, T. H. 2005. "*Minyak-Lemak dan Produk-Produk Kimia Lain dari Kelapa*". Proses Industri Kimia, Program Studi Teknik Kimia, ITB. Bandung.

Susila, W. R., Ernawati, H., dan Sastrawianto. 2008. "*Analisis Dampak Pengembangan Bio-Diesel Kelapa Sawit Terhadap Industri Kelapa Sawit dan Kemiskinan*". Universitas Wijaya Kusuma Surabaya bekerjasama dengan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

Syarfi, Nazaruddin, dan Zahrina, I. 2010. "*Pembuatan Biodisel dari CPO Parit dengan Menggunakan Reaktor*

Membran". Universitas Riau. Pekanbaru.

Van Gerpen, Shanks, dan Pruzko. 2004. "Biodiesel Analytical Methods". NREL/SR-510-36420.