



SINTESIS BIODISEL DARI MINYAK BIJI KARET DENGAN VARIASI SUHU DAN KONSENTRASI KOH UNTUK TAHAPAN TRANSESTERIFIKASI

Ratna Dewi Kusumaningtyas dan Achmad Bachtiar

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

ABSTRAK

Bahan bakar yang paling banyak digunakan adalah bahan bakar diesel atau fatty acid methyl ester (FAME). Biodiesel berasal dari minyak nabati yang dapat diperbaharui, dapat dihasilkan secara periodik, dan mudah diperoleh. Pada penelitian ini digunakan minyak biji karet untuk sintesis FAME. Proses utama dalam pembuatan FAME adalah transesterifikasi. Penelitian ini mengkaji hasil optimum dari variasi konsentrasi katalis KOH dan suhu reaksi pada reaksi transesterifikasi. Preparasi minyak biji karet dengan menggunakan arang aktif granular diikuti dengan degumming. Reaksi esterifikasi dilaksanakan pada kondisi operasi 500 C selama 1 jam, katalis asam sulfat (98%) sebesar 0,5% volume minyak, dan metanol sebesar 20% volume minyak. Reaksi transesterifikasi dilaksanakan selama 1 jam, serta perbandingan volume minyak dan metanol sebesar 4:1. Analisis kadar metil ester yang terbentuk, jumlah komponen, dan komposisinya yang terdapat pada senyawa hasil dilakukan dengan menggunakan alat GC. Kondisi operasi terbaik pada transesterifikasi minyak biji karet menjadi metil ester adalah pada katalis KOH 1% dan suhu 60 0C. Berdasarkan uji sifat-sifat fisis, metil ester yang dihasilkan belum semua memenuhi mutu sifat fisis biodiesel yang disyaratkan.

Kata kunci: *biodiesel, minyak biji karet, transesterifikasi, metil ester*

ABSTRACT

The most widely used fuel is diesel fuel or fatty acid methyl ester (FAME). Biodiesel is derived from vegetable oil that can be renewed, can be produced periodically, and easy to obtain. In this research, the rubber seed was used for synthesizing the FAME. The main process in the production of FAME is transesterification. This study examined the optimum result from variations of the concentration of KOH catalyst and the reaction temperature on the transesterification reaction. Preparation of the rubber seed oil using granular activated charcoal was followed by degumming. Esterification reaction was carried out at 50 oC for 1 h with the sulfuric acid catalyst of 0.5% by volume of oil and methanol of 20% by the volume of oil. Transesterification reaction was carried out for 1 hour with the oil and methanol volume ratio of 4:1. The concentration of methyl ester, the number of components, and the composition of the contained compounds in the resulted products were analyzed using a GC. The best operating conditions on the transesterification of rubber seed oil into methyl ester was by using 1% KOH catalyst at temperature of 60 0C. Based on the analysis of the physical properties, the resulted methyl esters need to be improved further to meet the quality requirements of the

physical properties of biodiesel.

Keywords: *biodiesel, rubber seed oil, transesterification, methyl ester*

PENDAHULUAN

Kebutuhan minyak bumi yang semakin besar merupakan tantangan yang perlu diantisipasi dengan pencarian alternatif sumber energi yang lain. Minyak bumi merupakan sumber energi yang tak terbarukan, butuh waktu jutaan bahkan ratusan juta tahun untuk mengkonversi bahan baku minyak bumi menjadi minyak bumi. Peningkatan jumlah konsumsi minyak bumi menyebabkan menipisnya jumlah minyak bumi. Berbagai produk olahan minyak bumi yang digunakan sebagai bahan bakar, yang paling banyak digunakan adalah bahan bakar diesel, karena kebanyakan alat transportasi, alat pertanian, peralatan berat dan penggerak generator pembangkit listrik menggunakan bahan bakar tersebut.

Salah satu jenis bahan bakar pengganti yang sangat potensial untuk dikembangkan adalah *fatty acid methyl ester* (FAME) atau dikenal dengan nama biodiesel, yaitu bahan bakar alternatif pada mesin diesel. Biodiesel berasal dari minyak nabati yang dapat diperbaharui, dapat dihasilkan secara periodik, dan mudah diperoleh. Selain itu, penggunaan biodiesel memberikan banyak keunggulan, yaitu (Tickell 2000:2):

1. Tidak memerlukan modifikasi mesin diesel yang telah ada.
2. Ramah lingkungan karena bersifat *bio-degradable* dan tidak beracun.
3. Emisi polutan berupa hidrokarbon yang tidak terbakar, CO, CO₂, SO₂, dan jelaga hasil pembakaran biodiesel lebih rendah dari pada solar.
4. Tidak memperparah efek rumah kaca karena siklus karbon yang terlibat pendek.
5. Kandungan energi yang hampir sama dengan kandungan energi petroleum diesel (80% dari kandungan petroleum diesel).
6. Angka setana lebih tinggi dari pada petroleum diesel (solar).
7. Penyimpanan mudah karena titik nyala yang rendah.

Zaher (dalam Schuchardt *et al.* 1998:207) menyatakan bahwa minyak nabati merupakan sumber energi terbarukan dan memiliki kadar energi yang mirip dengan minyak diesel. Penggunaan minyak nabati secara langsung dapat menimbulkan masalah pada mesin. Hal ini disebabkan viskositas yang dimiliki minyak nabati yang tinggi (sekitar 11-17 kali lebih tinggi dari pada bahan bakar diesel) dan volatilitas yang rendah. Viskositas yang tinggi dari minyak nabati disebabkan adanya percabangan pada rantai karbonnya yang cenderung panjang. Viskositas ini dapat dikurangi dengan mereaksikan minyak nabati dan alkohol rantai pendek menghasilkan ester dan gliserol.

Berbagai jenis minyak nabati dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pem-

buatan FAME, misalnya adalah minyak kelapa, CPO, minyak jelantah, minyak jarak, minyak kacang tanah, minyak bunga matahari, minyak kelapa sawit, dan minyak biji kapuk. Pada penelitian ini akan digunakan minyak biji karet untuk sintesis FAME. Minyak biji karet dipilih sebagai bahan baku karena tanaman karet banyak tumbuh di Indonesia, akan tetapi hingga saat ini biji karet belum dimanfaatkan secara optimal. Sumber daya alam Indonesia yang melimpah tersebut dapat diolah menjadi *valuable product* yang memiliki nilai ekonomis tinggi, salah satunya sebagai bahan baku pembuatan FAME. Minyak biji karet yang digunakan untuk pembuatan bahan baku FAME merupakan hasil pengepresan dari biji tanaman karet.

Minyak biji karet ataupun minyak nabati pada umumnya memiliki kekentalan yang relatif tinggi dibandingkan dengan minyak solar dari fraksi minyak bumi. Kekentalan ini dapat dikurangi dengan memutus percabangan rantai karbon tersebut melalui proses transesterifikasi menggunakan alkohol rantai pendek, misalnya metanol atau etanol (Setyawardhani 2003). Metanol lebih disukai karena memiliki reaktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan etanol. Hasil yang sama dapat dihasilkan apabila jumlah etanol yang dibutuhkan sebanyak 1,4 kali jumlah metanol (www.journeytoforever.org. 2003).

Reaksi transesterifikasi berjalan lambat, maka diperlukan katalis untuk menurunkan energi aktivasi dan mempercepat reaksi. Katalis dapat berupa asam,

basa, atau enzim (Groggins 1958:1; Ming *et al.* 1999:83; Kose dan Tuter 2002:1). Katalis basa memiliki keunggulan dibandingkan dengan katalis asam dari segi kecepatan, kesempurnaan reaksi, dan tidak memerlukan suhu operasi yang tinggi untuk menjalankan reaksi. Suhu operasi yang relatif rendah memberikan keuntungan berupa kebutuhan energi untuk proses yang rendah pula sehingga akan menurunkan biaya operasi (Swern 1982:1). Pada penelitian ini dipilih katalis basa berupa KOH dengan pertimbangan bahwa katalis ini bersifat stabil dan menghasilkan FAME dengan karakteristik yang baik (Ardiyanti dkk. 2003:2).

Pembuatan biodiesel dari berbagai jenis minyak nabati telah dikaji oleh beberapa peneliti. Akan tetapi, sejauh penelusuran pustaka, penelitian mengenai sintesis FAME dengan menggunakan katalis KOH dan uji kinetika dari minyak biji karet belum pernah dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan kajian mengenai sintesis FAME dari minyak biji karet, dilanjutkan dengan uji kinetika reaksi dan sifat fisis biodiesel yang dihasilkan. Adapun beberapa penelitian mengenai pembuatan FAME yang pernah dilakukan disajikan dalam Tabel 1.

Hasil penelitian sintesis biodiesel dari minyak biji karet ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan manfaat bagi pembangunan negara, yaitu memberikan alternatif pemecahan masalah krisis energi di Indonesia, dengan jalan mengembangkan bahan bakar alternatif pengganti solar

Tabel 1. Penelitian Tentang Pembuatan Biodiesel yang Pernah Dilakukan

| Peneliti | Jenis Minyak | Alkohol | Katalis |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------|---------------|
| Yoeswono (2006) | Minyak kelapa sawit | metanol | Basa |
| Ramadhas <i>et al.</i> (2005) | Minyak Biji Karet | metanol | Asam dan Basa |
| Azis (2005) | Minyak Jelantah | metanol | KOH |
| Ju <i>et al.</i> (2003) | Minyak Katul (<i>rice bran oil</i>) | metanol | Lipase |
| Prakoso <i>et al.</i> (2003) | CPO | metanol | Asam sulfat |
| Purwono <i>et al.</i> (2003) | Minyak Kelapa | etanol | KOH |
| Setyawardhani (2003) | Kacang Tanah | metanol | KOH |
| Purnavita (2003) | Kelapa Sawit | etanol | KOH |
| Kusmiyati (1999) | Minyak Biji Kapuk | metanol | Zeolite Aktif |
| Sofiyah (1995) | Minyak Biji Kapuk | etanol | KOH |

berupa FAME dari minyak biji karet, yang bersifat terbarukan dan ramah lingkungan. Selain itu, dalam bidang pertanian dan perkebunan, penelitian ini diharapkan dapat mendorong pengembangan sumber daya alam hayati di Indonesia, yang berupa minyak dari biji karet yang selama ini belum termanfaatkan secara optimal untuk diolah menjadi produk bernilai komersial (FAME).

Adapun bagi dunia ilmu pengetahuan dan teknologi, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi berupa informasi mengenai kondisi operasi optimum pada reaksi sintesis FAME dari minyak biji karet melalui proses transesterifikasi menggunakan katalis KOH, sehingga dapat dimanfaatkan untuk perancangan proses dalam industri. Kontribusi yang diharapkan ini tertuang di dalam tujuan penelitian, yaitu mendapatkan kondisi operasi yang optimal untuk mengolah minyak biji karet menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) melalui proses transesterifikasi menggunakan katalis KOH sehingga di-

peroleh *yield* yang tinggi, mendapatkan nilai *k* dari reaksi optimum transesterifikasi minyak biji karet, dan mengetahui kualitas FAME dari minyak biji karet.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain biji karet, KOH, H₂SO₄ dan metanol. Alat yang digunakan labu leher tiga, *water bath*, kondensor, mixer dan oven. Preparasi minyak biji karet dengan menggunakan arang aktif granular sebesar 20% berat minyak. Kemudian dilakukan proses *degumming* menggunakan asam fosfat 20% sebesar 0,2% volume minyak. Reaksi esterifikasi, dilaksanakan pada kondisi operasi 50^o C selama 1 jam, katalis asam sulfat (98%) sebesar 0,5% volume minyak, dan metanol sebesar 20% volume minyak. Reaksi transesterifikasi dilaksanakan pada kondisi operasi variasi katalis KOH 0,5% - 1,5% dan suhu 30^o C – 70^o C selama 1 jam, serta perbandingan volume minyak dan metanol sebesar 4:1. Analisis kadar metil ester yang

terbentuk, jumlah komponen, dan komposisinya yang terdapat pada senyawa hasil dengan menggunakan alat GC.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan pertama mengenai tentang pengaruh konsentrasi katalis dan suhu reaksi terhadap konversi metil ester. Pembahasan kedua mengenai tingkat kualitas biodiesel dari minyak biji karet.

Transesterifikasi dengan Variasi Katalis KOH

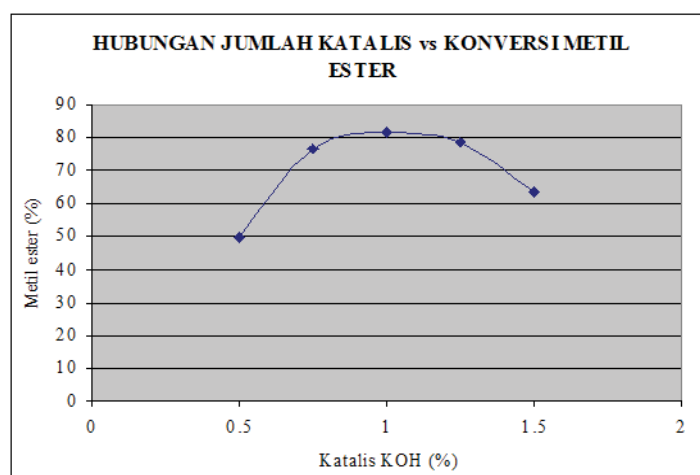
Optimasi reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel dari minyak biji karet dilakukan dengan mereaksikan antara minyak biji keret dan metanol dengan ban-

tuhan katalis KOH. Dalam operasi reaksi, digunakan variasi optimasi katalis yaitu pada 0,5% - 1,5% KOH sedangkan suhunya dibuat tetap pada 60^o C. Pemeriksaan konversi metil ester dilakukan menggunakan alat GC. Kondisi kerja alat GC ini dilakukan menggunakan jenis detektor FID, jenis kolom yang digunakan adalah HP5, suhu detektor 300^o C, suhu injektor 280^o C, gas pembawanya adalah Helium, serta jumlah sampel yang diinjeksikan adalah 0,2 mikro liter.

Penambahan katalis KOH berfungsi untuk mempercepat reaksi, hal ini dapat dilihat dalam Tabel 2. Secara umum, kenaikan konsentrasi katalis akan menu-

Tabel 2. Hasil Optimasi pada Variasi Katalis

| No | Volume Metanol:minyak | Suhu | Jumlah Katalis KOH | Konsentrasi metil Ester (%) |
|----|-----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|
| 1 | 1:4 | 60 ^o C | 0,5% | 63,4943 |
| 2 | 1:4 | 60 ^o C | 0,75% | 78,4799 |
| 3 | 1:4 | 60 ^o C | 1,00% | 81,6982 |
| 4 | 1:4 | 60 ^o C | 1,25% | 76,4372 |
| 5 | 1:4 | 60 ^o C | 1,50% | 49,9122 |



Gambar 1. Grafik Hubungan Jumlah Katalis dengan Konsentrasi Metil Ester

runkan energi aktivasi untuk reaksi kimia, sehingga meningkatkan jumlah molekul yang teraktifkan dan bereaksi membentuk metil ester (Setyawardhani 2005). Pada penelitian yang dilakukan Azis (2005:33-35) terhadap transesterifikasi minyak jelantah dengan menggunakan katalis KOH didapatkan hasil konversi metil ester optimum pada konsentrasi katalis 1% dengan suhu reaksi 60⁰ C.

Pada penelitian yang telah dilakukan dengan variasi katalis dan suhu dibuat tetap 60⁰ C, didapatkan konversi metil ester optimum pada konsentrasi katalis 1% berat minyak. Pada konsentrasi dari 1% menuju 1,25% dan 1,5%, terjadi penurunan konsentrasi konversi metil ester. Hal ini disebabkan terjadi reaksi samping antara katalis KOH dengan minyak yang dikenal dengan saponifikasi yang menyebabkan hasil penyabunan berupa surfaktan menghalangi kontak antara minyak dan metanol, akibatnya kecepatan reaksi dan konversi metil ester yang dihasilkan menurun.

Reaksi Transesterifikasi dengan Variasi Suhu

Operasi reaksi dalam variasi suhu digunakan suhu antara 30⁰ C – 70⁰ C, sedangkan katalisnya dibuat tetap dari hasil optimasi katalis di atas yaitu konsentrasi KOH sebesar 1%.

Kenaikan suhu reaksi juga menaikkan konversi metil ester pada proses transesterifikasi minyak biji karet. Kenaikan konversi metil ester sangat terlihat jelas pada 30⁰ C sampai 60⁰ C. Ini disebabkan

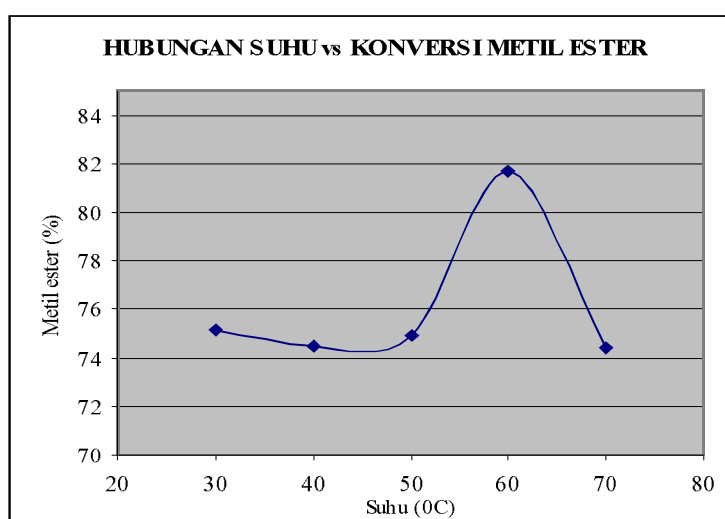
karena semakin tinggi suhu menyebabkan gerakan molekul semakin cepat atau energi kinetik yang dimiliki molekul-molekul pereaksi semakin besar sehingga tumbukan antara molekul pereaksi juga meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius yang menyatakan bahwa dengan naiknya suhu maka kecepatan reaksi juga akan meningkat. Menurut Darnoko dan Cheryan (2000: 165) bahwa laju reaksi terus bertambah seiring peningkatan suhu sampai mencapai 60⁰ C. Suhu yang lebih tinggi tidak mempengaruhi waktu reaksi untuk menghasilkan konversi yang maksimal. Sehingga suhu operasi maksimum harus pada titik didih metanol pada keadaan normal (68⁰ C) yaitu dibawah titik didih metanol, karena jika dilakukan diatas titik didih metanol maka metanol akan mengalami perubahan fasa dari cair menjadi gas, sehingga jumlah metanol dalam fasa cair berkurang. Kurangnya jumlah metanol dalam fasa cair menyebabkan jumlah tumbukan antara molekul pereaksi berkurang sehingga kecepatan reaksi juga menurun. Hasil optimasi dengan variasi suhu ini dapat dilihat pada Tabel 3 dengan perolehan data optimum pada suhu 60⁰ C dengan konversi metil ester sebesar 55,0894%.

Sifat-Sifat Fisis FAME

Hasil reaksi transesterifikasi yang terbaik, yaitu pada operasi reaksi menggunakan katalis KOH 1% dan suhu 60⁰ C diujikan sifat-sifat fisisnya untuk dibandingkan dengan sifat fisis biodiesel. Tabel 4 berikut menunjukkan hasil uji fisis.

Tabel 3. Hasil Optimasi pada Variasi Suhu

| No | Volume Metanol:minyak | Suhu | Jumlah Katalis KOH | Konsentrasi metil Ester(%) |
|----|-----------------------|-------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 1:4 | 30 ^o C | 1,00% | 75,1643 |
| 2 | 1:4 | 40 ^o C | 1,00% | 74,5009 |
| 3 | 1:4 | 50 ^o C | 1,00% | 74,9215 |
| 4 | 1:4 | 60 ^o C | 1,00% | 81,6982 |
| 5 | 1:4 | 70 ^o C | 1,00% | 74,4298 |



Gambar 2. Grafik Hubungan Suhu dengan Konversi Metil Ester

Specific Gravity

Specific gravity ini diukur dengan menggunakan metode pemeriksaan ASTM D 1298 dan memberikan hasil 9200 kg/m³, sehingga *density*nya dapat diketahui sebesar 9195 kg/m³. Nilai *specific gravity* yang lebih besar dibandingkan dengan biodiesel dari minyak jarak dikarenakan sisa minyak dalam biodiesel minyak biji karet masih besar, sehingga mempengaruhi *specific gravity*. Nilai *density* ini belum memenuhi syarat mutu biodiesel SNI yang memberikan rentang 850 – 890 kg/m³, hal ini dimungkinkan adanya rantai karbon yang masih panjang.

Korosi Lempeng Tembaga

Korosi lempeng tembaga diukur dengan metode analisa ASTM D 130 memberikan hasil 1b. Hal ini sudah memenuhi standart biodiesel ASTM D 6751 sebesar 3. Korosi lempeng tembaga merupakan ukuran tingkat korositas bahan bakar terhadap komponen-komponen dalam sistem bahan bakar yang terbuat dari tembaga atau kuningan.

Residu Karbon

Sisa karbon diukur dengan metode analisa ASTM D 189 memberikan hasil sebesar 2,7192 %. Sisa karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan biodiesel

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Fisis Biodiesel

| NO | METODA UJI | | Biodiesel | | | Standar ⁴ |
|----|------------------------|--------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------|
| | UJI | ASTM | Biji Karet ¹ | Jarak Pagar ² | Bunga Matahari ³ | |
| 1 | SG | D-1298 | 9200 | 8963 | - | - |
| 2 | <i>Density</i> | D-1250 | 9195 | - | - | 850 - 890 |
| 3 | Korosi Lempeng Tembaga | D-130 | 1b | - | 1 | 3 |
| 4 | CCR | D-189 | 2,72% | 1,114 | - | 0,05 |
| 5 | Kadar Air | D-95 | 1,40% | - | - | 0,05 |
| 6 | Viskositas | D-445 | 30,85 | 11,44 | 4,10 | 2,6-6,0 |
| 7 | Titik Kabut | D-97 | 24 | 2 | - | maks. 18 |
| 8 | Flash Point PMCC | D-93 | 66 | 115 | 180 | min. 100 |

Keterangan :1) Lusiana. W, 2) R. Sarin, 3) Standart Uji

dari minyak bunga matahari dan belum memenuhi standar mutu biodiesel sebesar 0,05 % maks berat, kemungkinan diakibatkan adanya senyawa yang memiliki jumlah rantai karbon 18, selain itu juga dapat disebabkan oleh sisa-sisa gliserol dan partikulat lain yang masih tersisa dalam biodiesel saat pencucian. Kandungan sisa karbon yang tinggi akan menghambat pengoperasian mesin dan merusak semua bagian pada pita injeksi dan bahan bakar.

Kadar Air

Kadar air diukur dengan metode analisa ASTM D 95 memberikan hasil sebesar 1,4%. Kadar air ini belum memenuhi standar mutu biodiesel sebesar 0,05 % maks berat. Kadar air yang masih begitu tinggi diakibatkan oleh proses penguapan pada pemurnian biodiesel yang kurang sempurna.

Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik diukur dengan metode analisa ASTM D 445 memberikan hasil 30,8506 cSt. Viskositas biodiesel minyak biji karet yang sangat tinggi dibandingkan biodiesel dari minyak jarak dan minyak bunga matahari, sehingga belum memenuhi standart biodiesel SNI sebesar 2,6 – 6,0 cSt. Ini dimungkinkan karena masih panjangnya rantai karbon metil ester.

Titik Kabut

Titik kabut diukur dengan metode analisa D 97 dan memberikan hasil -24⁰ C yaitu akan membeku pada suhu 24⁰ C. Titik kabut ini masih sangat tinggi dibandingkan dengan biodiesel dari minyak jarak dan belum memenuhi standar mutu sifat fisis biodiesel ASAE EPX 552 sebesar 18⁰ C maks. Titik kabut perlu menda-

patkan perhatian karena menyangkut sifat alir bahan bakar pada kondisi temperatur rendah.

Flash Point PMCC (Pensky-Martens Closed Cup Tester)

Flash Point PMCC diukur dengan metode analisa D 93 dan memberikan hasil 66 °C yaitu akan mulai menyala pada suhu 66 °C. Flash point ini lebih rendah dibandingkan dengan minyak jarak dan minyak bunga matahari, serta belum memenuhi standar mutu sifat fisis biodiesel SNI D 93 sebesar 100 °C min. Hal ini disebabkan sisa metanol dalam reaksi transesterifikasi yang belum hilang semuanya saat proses pemurnian biodiesel.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Hasil terbaik dalam variasi katalis KOH dan suhu pada reaksi transesterifikasi minyak biji karet menjadi metil ester adalah pada katalis KOH 1% dan suhu 60 °C.

Uji sifat-sifat fisis metil ester memberikan hasil belum semua memenuhi mutu sifat fisis biodiesel yang disyaratkan.

DAFTAR PUSTAKA

Ardiyanti, A. R., Utomo, J., Chandra, G., dan Koharudin., (2003), *Pengaruh Kejenuhan Minyak, Jenis dan Jumlah Katalis Basa NaOH, KOH, K₂CO₃, serta Jenis dan Jumlah Alkohol (Metanol dan Etanol) pada Produksi Biodiesel,*

Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 16-17 September 2003, Yogyakarta.

Azis, I., (2005), *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk dan Uji Performance Biodiesel pada Mesin Diesel*, Tesis diajukan kepada Sekolah Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.

Darnoko, D. and Cheryan., (2000), *Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor*, J.Am. OilChem.Soc., 77, 1263-1267.

Groggins, P. H., (1958), *Unit Processes in Organic Synthesis*, pp. 694-749, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.

Ju, Y. H., Vali, S. K., Jeng, H., Lei, C. C., Widjaja, A., Tjondronegoro, I., Musfil, A. S., and Rachmaniah, O. (2003). *Biodiesel dari Minyak Kelapa*. Yogyakarta: Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 16-17 September 2003.

Kusmiyati. (1999), *Kinetika Pembuatan Metil Ester Pengganti Minyak Diesel dengan Proses Metanolisis Tekanan Lebih dari 1 Atm*, Tesis diajukan kepada Fakultas Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.

Ming, L. O., Ghazali, H. M., and Let, C. (1999). *Use of Enzymatic Esterification Palm-Steari-Sunflower Oil Blends in the Preparation of Table Margarine Formulation*. FoodChemistry, 64, 83-88.

- Prakoso, T., Indra, B. K., dan Nugroho, R. H. *Esterifikasi Asam Lemak Bebas dalam CPO untuk Produksi Metil Ester*. Yogyakarta: Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 16-17 September 2003.
- Purnavita, S., (2003), *Etanolisis Minyak Sawit dengan Katalisator KOH dan Penambahan Urea dalam Sebuah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk Ditinjau dari Segi Kinetika*, Tesis diajukan kepada Fakultas Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- Purwono, S., Yulianto, N., dan Pasaribu, R., (2003), *Biodiesel dari Minyak Kelapa*, Yogyakarta: Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 16-17 September 2003.
- Ramadhas, A. S., Mulareedharan, C., Jayaraj, S., (2005), *Performance and emission evaluation of diesel engine fueled with methyls esters of rubber seed oil*, *Renewable Energy*, 30, 1789 – 1800.
- Setyawardhani. (2003). *Metanolisis Asam Lemak dari dari Minyak Kacang Tanah untuk Pembuatan Biodiesel*, Tesis diajukan kepada Fakultas Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- Sofiyah. (1995), *Kinetika Reaksi Etanolisis Minyak Biji Kapuk dengan Katalisator Natrium Hidroksid dan Penambahan Garam Anorganik*, Tesis diajukan kepada Fakultas Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- Standart Nasional Indonesia. (2006). “*Biodiesel*”. SNI 04-7182-2006.
- Swern, D., (1982), *Bailey’s Industrial Oil and Fat Products*. Vol. 2, 4-ed., John Wiley and Sons, New York.
- Tickell, J., (2000), *From the Fryer to the Fuel Tank*, 3rd ed., Tickell Energy Consulting USA.
- Ulf, Schuchardt., Ricardo Sercheli., and Rogerio Matheus Vargas. (1998). *Transesterification of Vegetable Oils: a Review*. *J. Braz Chem Soc.*, Vol.9, No.1, 199-210.
- Widyastuti, Lusiana., (2007), *Reaksi Metanolisis Minyak Biji Jarak Pagar menjadi Metil Ester sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel dengan Menggunakan Katalis KOH*. Semarang: Jurusan Kimia Fakultas MIPA UNNES
- Yoeswono, Johan Sibarani dan Syahrul Khairi. (2006), *Pemanfaatan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Katalis Basa pada Reaksi Transesterifikasi dalam Pembuatan Biodiesel*, Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.