

METANOLISIS MINYAK KELAPA DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS PADAT (CaCO_3) UNTUK PRODUKSI COCODIESEL

Slamet Wahyuningsih*, Padil, Amir Awaluddin

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya
Jl. Raya Soebrantas Km 12,5, Pekanbaru
Email: swahyun_tk04@yahoo.com

ABSTRAK

Indonesia adalah negara tropis yang memiliki berbagai jenis tanaman yang dapat dikembangkan menjadi sumber energi alternatif. Salah satu sumber energi alternatif adalah biodiesel. Biodiesel dapat dibuat dari minyak kelapa sehingga disebut dengan cocodiesel. Penelitian ini mempelajari kondisi optimum dalam memproduksi cocodiesel melalui reaksi metanolisis antara minyak kelapa dan metanol dengan menggunakan bantuan katalis padat kalsium karbonat (CaCO_3) yang telah dipijarkan pada suhu 900°C selama 1,5 jam. Untuk memperoleh kondisi operasi optimum dalam memproduksi cocodiesel, dilakukan variasi waktu reaksi metanolisis (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 jam), suhu reaksi (40°C ; 50°C ; 60°C ; 70°C ; 80°C), konsentrasi katalis (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 %) dan rasio molar metanol/minyak kelapa (4:1; 6:1; 8:1; 10:1; 12:1). Dari hasil penelitian, diperoleh kondisi operasi optimum untuk memproduksi cocodiesel adalah waktu reaksi metanolisis selama 1,5 jam, suhu 60°C , konsentrasi katalis 2% dan rasio molar metanol/minyak kelapa 1:8 menghasilkan konversi tertinggi sebesar 75,02%. Densitas cocodiesel yang dihasilkan dari penelitian adalah 860 kg/m^3 , viskositas kinematik $2,44 \text{ mm}^2/\text{s}$, titik nyala 110°C , angka setana 65,94, kadar air 0,039%-v, angka asam 0,049 mg KOH/g dan angka iod 6,35 gr Iod/100 gr. Berdasarkan data analisis tersebut, maka cocodiesel yang dihasilkan dari penelitian memenuhi kualifikasi sebagai bahan bakar.

Kata Kunci: cocodiesel, metanolisis, katalis padat, dipijarkan.

I. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak (BBM) hingga saat ini masih merupakan sumber energi utama di Indonesia. BBM yang dipakai pada saat ini berasal dari fosil yang merupakan sumber daya alam tak terbarukan. Penggunaan BBM di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Solar merupakan jenis BBM yang paling banyak digunakan di antara BBM lainnya. Oleh sebab itu jika ingin menekan jumlah penggunaan BBM yang berasal dari fosil di Indonesia, maka caranya adalah mengurangi penggunaan solar dengan beralih ke biodiesel (Prihandana, *et. al*, 2006).

Indonesia sebagai negara tropis memiliki berbagai jenis tanaman yang dapat dikembangkan sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan (Sugiyono, 2005). Salah satu tanaman yang dapat digunakan adalah kelapa. Menurut Supranto (2002), minyak kelapa sangat berpotensi sebagai bahan baku biodiesel. Biodiesel dari minyak kelapa disebut dengan cocodiesel (Balai Besar Kimia dan Kemasan, 2006). Perkebunan kelapa di Indonesia merupakan yang terluas di dunia, yaitu sekitar 31,2% dari total luas areal kelapa dunia. Daerah sentral produksi kelapa di Indonesia adalah Propinsi Riau, Jawa Tengah, Jawa Timur, Sulawesi Utara dan Sulawesi Tengah. Persentase produksi masing-masing propinsi berturut-turut adalah 15,1%, 7,3%, 8,7%, 9,4% dan 6,3% dari total produksi nasional sebesar 3.098.539 ton (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2004).

Berdasarkan data dari Dinas Perkebunan Propinsi Riau (2006), kabupaten yang terluas areal perkebunan kelapanya di Riau adalah Indragiri Hilir yaitu 377.263 ha dengan jumlah produksi sebesar 402.950 ton atau 68,24% dari jumlah total keseluruhan produksi kelapa di Propinsi Riau tahun 2005.

Oleh sebab itu, Kabupaten Indragiri Hilir memiliki peluang yang cukup besar untuk daerah pengembangan biodiesel dari minyak kelapa. Selain untuk mengatasi cadangan minyak fosil yang semakin menipis, pengembangan biodiesel juga dapat menurunkan harga eceran BBM di daerah terpencil, sekaligus dapat mengangkat harga kopra di daerah tersebut hingga dua kali lipat (Allorerung, 2006).

Katalis yang sering digunakan dalam produksi biodiesel adalah katalis basa dalam fasa homogen (KOH, NaOH). Namun, penggunaan katalis tersebut memiliki kelemahan, yaitu pemisahan katalis dari produknya cukup rumit. Sisa katalis basa tersebut dapat mengganggu pengolahan lanjut biodiesel yang dihasilkan (Herman dan Zahrina, 2006). Selain itu, katalis basa tersebut dapat bereaksi dengan asam lemak bebas membentuk sabun sehingga akan mempersulit pemurnian, menurunkan *yield* biodiesel serta memperbanyak konsumsi katalis dalam reaksi metanolisis (Gozan *et. al.*, 2007; Nasikin *et. al.*, 2004).

Husin *et. al.* (2006), telah melakukan penelitian tentang etanolisis minyak sawit (*crude palm oil* dan *palm kernel oil*) dengan menggunakan berbagai jenis katalis padat yaitu kalsium karbonat (CaCO_3), zeolite alam, TiO_2 dan CaO . Katalis CaCO_3 menghasilkan *yield* tertinggi dibandingkan katalis padat lainnya. Wahyuni (2008) melakukan penelitian tentang pengaruh suhu dan waktu kalsinasi CaCO_3 terhadap konversi biodiesel dengan menggunakan bahan baku minyak sawit (CPO). Dari penelitiannya diperoleh konversi biodiesel maksimum sebesar 70,91% dengan menggunakan suhu kalsinasi 900°C selama 1,5 jam.

Dalam penelitian ini, digunakan katalis padat CaCO_3 yang telah dipijarkan sehingga dihasilkan senyawa CaO . Dimana CaO tersebut merupakan senyawa basa kuat. Pada penelitian ini juga dipilih metanol sebagai reaktan dalam reaksi alkoholisis minyak kelapa karena metanol merupakan turunan alkohol yang memiliki berat molekul paling rendah sehingga kebutuhannya untuk proses alkoholisis relatif sedikit, lebih murah dan lebih stabil. Selain itu, daya reaksinya lebih tinggi jika dibandingkan dengan etanol (Prihandana, *et. al.*, 2006).

Kondisi operasi optimum dalam memproduksi cocodiesel dapat dihasilkan dengan cara mempelajari hubungan antara beberapa variabel yang berpengaruh pada reaksi metanolisis, yaitu suhu, waktu reaksi, konsentrasi katalis dan perbandingan mol reaktan (metanol/minyak kelapa).

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu Tahap I dan Tahap II. Tahap I diawali dengan penentuan variabel proses, persiapan alat dan bahan, analisa sampel, analisa dan pengolahan data hasil penelitian. Sedangkan Tahap II dilakukan dengan menggunakan variabel dan kondisi proses yang optimum dari Tahap I serta dilakukan analisa karakteristik cocodiesel.

2.1 Persiapan Katalis

Sebelum digunakan, katalis kalsium karbonat (CaCO_3) dipijar terlebih dahulu pada temperatur 900°C selama 1,5 jam.

2.2 Reaksi Metanolisis

Reaksi metanolisis dilakukan dalam labu leher tiga yang dilengkapi pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*), termometer dan kondensor untuk mengkondensasikan uap metanol. Minyak kelapa sebanyak 50 g dipanaskan terlebih dahulu hingga diatas titik didih air $\pm 105^\circ\text{C}$ selama 1 jam. Didalam labu yang lain, dilakukan pencampuran metanol dan katalis dengan menggunakan pengaduk magnetik pada suhu kamar. Setelah 1 jam, suhu minyak diturunkan hingga sedikit diatas suhu reaksi lalu campuran metanol dan katalis serta pengaduk magnetik dimasukkan kedalamnya. Reaksi metanolisis dijaga pada suhu reaksi selama waktu tertentu. Setelah reaksi metanolisis selesai, hasil reaksi disaring dan filtrat ditampung didalam corong pisah kemudian didiamkan selama 24 jam untuk memisahkan *crude cocodiesel* dari gliserol. *Crude cocodiesel* kemudian dicuci dengan menggunakan air panas ($50-60^\circ\text{C}$) dengan perbandingan 1:1. Setelah dikocok selama ± 5 menit, lalu didiamkan selama 24 jam,

kemudian cocodiesel dipisahkan dari emulsi. Metanolisis dilakukan pada variasi waktu reaksi (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 jam), suhu reaksi (40°C; 50°C; 60°C; 70°C; 80°C), konsentrasi katalis (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0%) dan rasio molar metanol/minyak kelapa (4:1; 6:1; 8:1; 10:1; 12:1).

2.3 Analisa Karakteristik Cocodiesel

Karakteristik cocodiesel yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah densitas, viskositas kinematik, titik nyala, angka setana, kadar air, angka asam dan angka iod. Selanjutnya karakteristik tersebut dibandingkan dengan karakteristik biodiesel standar yang telah ditetapkan di dalam SNI 04-7182-2006.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak kelapa yang berasal dari salah satu industri rumah tangga di Bone Raya Parit Empat, Desa Sungai Raya, Kecamatan Batang Tuaka, Kabupaten Indragiri Hilir. Adapun hasil analisa minyak kelapa yang telah dilakukan dalam penelitian ini seperti terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil Analisa Minyak Kelapa sebagai Bahan Baku dalam Pembuatan Cocodiesel

NO	Parameter	Satuan	Nilai
1	Kandungan asam lemak bebas (ALB)	%	0,656
2	Kandungan air	%	0,152
3	Densitas	kg/m ³	923,4
4	Viskositas Kinematik	mm ² /s	10,419

Tabel 3.1 menunjukkan bahwa minyak kelapa yang digunakan merupakan bahan baku cocodiesel yang cukup baik karena memiliki kadar ALB rendah (<1 %). Dengan demikian tidak diperlukan perlakuan pendahuluan (netralisasi atau esterifikasi). Demikian juga dengan kadar air sebesar 0,152%, dapat dianggap bahwa kandungan air dalam minyak sangat kecil sehingga reaksi metanolisis dapat langsung dilakukan.

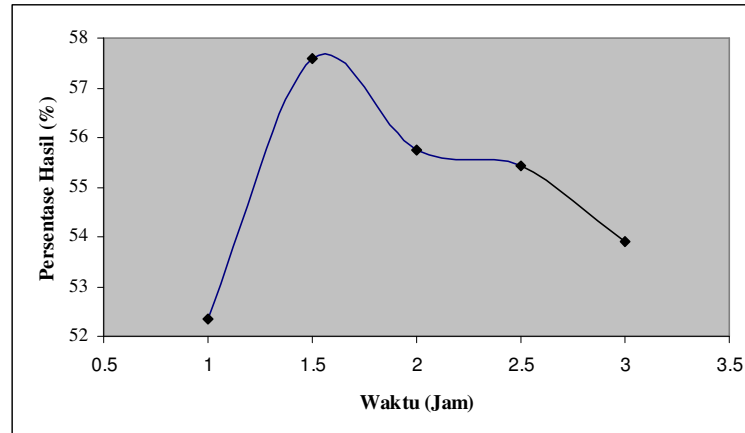
3.2 Pengaruh Variabel Penelitian terhadap Perolehan Cocodiesel

3.2.1 Pengaruh Waktu Reaksi Metanolisis terhadap Perolehan Cocodiesel

Pada penelitian ini, untuk mempelajari pengaruh waktu reaksi metanolisis digunakan variasi waktu 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 jam. Sedangkan suhu yang digunakan adalah 60°C, konsentrasi katalis 2% (berbasis minyak kelapa) dan rasio molar metanol/minyak 6:1. Katalis yang digunakan adalah CaCO₃ yang telah dipijarkan pada suhu 900°C selama 1,5 jam.

Dari Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa waktu reaksi metanolisis yang optimum adalah 1,5 jam dengan perolehan cocodiesel sebesar 57,58%. Oleh karena itu, selanjutnya metanolisis dilangsungkan selama 1,5 jam. Pada saat waktu reaksi dilangsungkan selama 2,0 – 3,0 jam, akan dihasilkan produk berupa gel putih dan perolehan cocodiesel menurun. Produk berupa gel putih tersebut dapat meningkatkan viskositas produk (cocodiesel) dan mempengaruhi proses pemurnian.

Reaksi metanolisis minyak nabati dilaporkan dapat berlangsung dalam range waktu antara 20 menit hingga di atas 1 jam (Gerpen, *et. al*, 2004). Lamanya waktu reaksi metanolisis tergantung dari mutu minyak. Minyak yang bermutu rendah membutuhkan waktu reaksi yang lebih lama dibandingkan minyak bermutu standar (Prihandana, *et. al*, 2006).

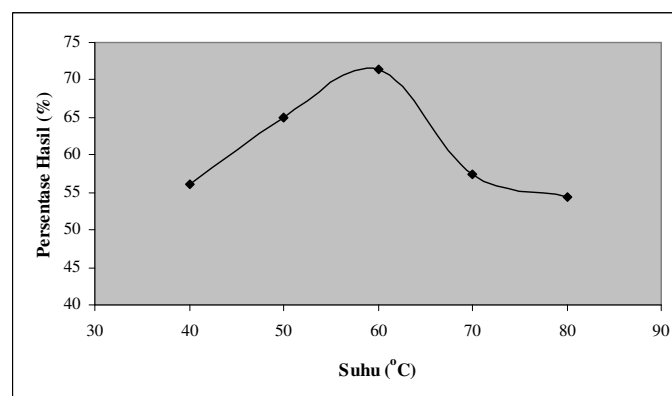


Gambar 3.1 Pengaruh Variasi Waktu Metanolisis terhadap Perolehan Cocodiesel

3.2.2 Pengaruh Suhu Reaksi Metanolisis terhadap Perolehan Cocodiesel

Metanolisis trigliserida yang dikatalisis oleh alkali biasanya dilakukan pada temperatur mendekati titik didih metanol ($64,6^{\circ}\text{C}$). Namun beberapa peneliti melaporkan bahwa metanolisis dapat dilakukan pada temperatur kamar (Zahrina, 2000). Pengaruh suhu reaksi metanolisis yang dipelajari dalam penelitian ini bervariasi, mulai dari 40°C ; 50°C ; 60°C ; 70°C ; 80°C . Sedangkan waktu reaksi yang digunakan adalah 1,5 jam, konsentrasi katalis sebesar 2% dan rasio molar metanol/minyak 6:1.

Dari Gambar 3.2 menunjukkan bahwa suhu reaksi metanolisis minyak kelapa yang optimum adalah 60°C dengan perolehan cocodiesel sebesar 71,40%. Dari gambar tersebut terlihat bahwa reaksi metanolisis yang dilangsungkan pada suhu di atas 60°C akan dihasilkan cocodiesel dengan jumlah yang semakin kecil. Pada suhu 70°C dan 80°C , masing-masing perolehan cocodiesel yang dicapai adalah sebesar 57,32% dan 54,44%. Hal ini disebabkan karena kedua temperatur tersebut berada di atas titik didih metanol, sehingga jumlah metanol yang digunakan untuk reaksi metanolisis semakin berkurang karena telah menguap. Sedangkan jika suhu reaksi berada di bawah 50°C , selain biodiesel yang dihasilkan sedikit dapat juga menyebabkan biodiesel tersebut memiliki viskositas yang tinggi (Kapilakarn, 2007).



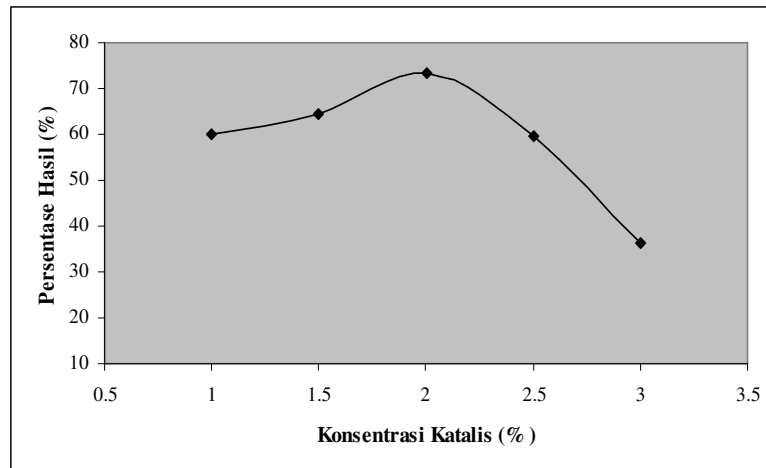
Gambar 3.2 Pengaruh Variasi Suhu Metanolisis terhadap Perolehan Cocodiesel

3.2.3 Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap Yield Cocodiesel

Metanolisis minyak nabati dengan menggunakan katalis basa disebut juga dengan reaksi transesterifikasi. Peran katalis basa dalam reaksi transesterifikasi tersebut adalah untuk menarik

elektron dari alkohol sehingga gugus menjadi reaktif (Prihandana, *et. al*, 2006). Beberapa peneliti melaporkan konsentrasi katalis basa (NaOH, KOH) yang digunakan dalam reaksi metanolisis berkisar antara 0,5 – 1,5 % berbasis minyak yang digunakan (Destiana, *et. al*, 2007). Namun dalam penelitian ini, konsentrasi katalis yang akan dipelajari adalah sebesar 1,0%; 1,5%; 2,0%; 2,5%; 3,0% berbasis minyak kelapa. Sedangkan waktu reaksi yang digunakan adalah 1,5 jam, suhu 60°C dan rasio molar metanol/minyak 6:1.

Dari Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa konsentrasi katalis yang optimum adalah 2% dengan perolehan cocodiesel sebesar 73,34%. Pada gambar tersebut terlihat bahwa penambahan jumlah katalis tidak mengakibatkan perolehan cocodiesel meningkat, justru akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena, bila konsentrasi katalis berlebih maka katalis tersebut akan mengkonsumsi produk untuk membentuk sabun (Meka, *et. al*, 2007 dalam Wahyuni, 2008).



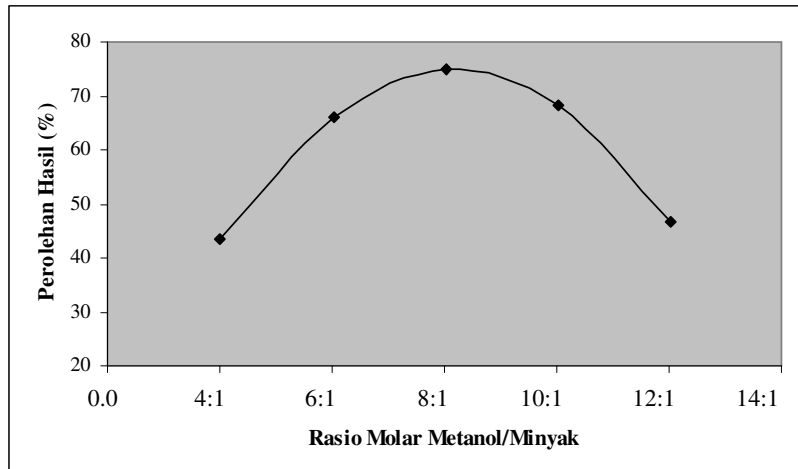
Gambar 3.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Katalis terhadap Perolehan Cocodiesel

3.2.4 Pengaruh Rasio Molar Metanol/Minyak terhadap Perolehan Cocodiesel

Reaksi transesterifikasi (metanolisis) merupakan reaksi kesetimbangan. Oleh karena itu berlaku hukum kesetimbangan kimia, jika reaktan yang berada di sebelah kiri panah reaksi ditambah jumlahnya, maka reaksi akan bergeser kearah kanan (produk) begitu juga sebaliknya. Secara stoikiometri dalam reaksi transesterifikasi, 1 mol alkohol bereaksi dengan 3 mol trigliserida. Namun untuk menggeser reaksi kearah produk, digunakan pereaksi yang berlebih, dalam hal ini alkohol (metanol) dibuat berlebih.

Rasio molar alkohol/trigliserida (minyak) yang umum digunakan untuk reaksi transesterifikasi adalah 6:1 (Gerpen, *et. al*, 2004). Dalam penelitian ini, rasio molar alkohol/trigliserida yang akan dipelajari adalah 4:1; 6:1; 8:1; 10:1; 12:1. Dengan demikian, jumlah metanol yang digunakan dalam reaksi metanolisis minyak kelapa pada variasi rasio molar tersebut seluruhnya dibuat berlebih.

Dari Gambar 3.4 dapat dilihat bahwa peningkatan rasio mol metanol diikuti dengan meningkatnya persentase cocodiesel yang dihasilkan hingga optimum pada rasio mol 8:1 dengan perolehan cocodiesel sebesar 75,02%. Kemudian terjadi penurunan persentase perolehan cocodiesel pada rasio molar 10:1 dan 12:1, masing-masing sebesar 68,38% dan 46,64%. Hal ini disebabkan karena metanol yang berlebihan akan meningkatkan pembentukan gliserol dan emulsi (Syah, 2006). Emulsi tersebut berada dalam campuran metil ester (cocodiesel), berwarna putih susu dan sulit untuk dipisahkan. Selain itu, metanol yang berlebih juga tidak mendukung dalam proses pemurnian cocodiesel yang dihasilkan. Hal ini karena akan dibutuhkan banyak energi untuk proses *recovery* metanol yang tidak bereaksi.



Gambar 3.4 Pengaruh Variasi Rasio Molar Metanol/Minyak Kelapa terhadap Perolehan Cocodiesel

3.3 Pengujian Karakteristik Cocodiesel

Untuk mengetahui kualitas cocodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini, maka dilakukan beberapa pengujian karakteristik dari cocodiesel tersebut. Selanjutnya, hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan karakteristik biodiesel yang telah ditetapkan dalam SNI 04-7182-2006 seperti terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Perbandingan Karakteristik Cocodiesel dengan Biodiesel Standar dalam SNI 04-7182-2006.

Parameter	Satuan	Cocodiesel	Standar Biodiesel
Massa jenis (40°C)	kg/m ³	860	850 - 890
Viskositas kinematik (40°C)	mm ² /s	2,44	2,3 – 6,0
Titik nyala	°C	110	min. 100
Kadar air	%-volum	0,039	Max. 0,05
Angka setana	-	65,94	Min. 51
Angka iod	gr Iod/100 gr	6,35	Max. 115
Angka asam	mg KOH/g	0,049	Max. 0,8

Dari Tabel 3.2 diatas terlihat bahwa cocodiesel yang dihasilkan dari penelitian merupakan energi alternatif yang sangat bagus. Sebagian besar karakteristik cocodiesel yang diuji sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Dengan angka setana yang tinggi (65,94), menunjukkan bahwa cocodiesel dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah sehingga akan mudah terbakar didalam silinder pembakaran mesin dan tidak terakumulasi (Prihandana, *et. al*, 2006). Angka iod cocodiesel juga sangat kecil, hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar cocodiesel disusun oleh asam lemak dengan rantai hidrokarbon jenuh. Menurut Diaz dan Galindo (2007), bahan bakar mesin diesel yang ideal adalah bahan bakar yang merupakan rantai hidrokarbon jenuh seluruhnya. Hal ini karena bahan bakar dengan rantai hidrokarbon lebih stabil, tidak mudah teroksidasi, korosi dan polimerisasi. Oleh sebab itu, menurut Diaz dan Galindo (2007) cocodiesel merupakan bahan bakar yang *perfect*.

IV. KESIMPULAN

Kalsium karbobat (CaCO_3) yang telah dipijarkan dapat digunakan sebagai katalis yang cukup memuaskan dalam reaksi metanolisis minyak kelapa untuk menghasilkan cocodiesel dengan *yield* cocodiesel sebesar 75,02%. Kondisi operasi optimum dalam produksi cocodiesel melalui metanolisis adalah dengan menggunakan suhu 60°C , waktu reaksi selama 1,5 jam, konsentrasi katalis 2% (berbasis minyak kelapa) dan rasio molar metanol/minyak kelapa sebesar 8:1. Karakteristik cocodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini adalah: densitas 860 kg/m^3 , viskositas kinematik $2,441 \text{ mm}^2/\text{s}$, titik nyala 110°C , angka setana 65,94, angka Iod 6,35 gr Iod/100 gr, angka asam 0,049 mg KOH/g dan kadar air 0,039%-v.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Allorerung, 2006, **Biodiesel dari Kelapa**, www.sinarharapan.co.id, 20 September 2007.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2004, **Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Kelapa**, <http://www.litbang.deptan.go.id>, 28 Nopember 2008.
- Balai Besar Kimia dan Kemasan, 2006, **Biodiesel Bahan Bakar Alternatif Pengganti Solar**, Balai Besar Kimia dan Kemasan, Jakarta.
- Destiana, M., Zandy, A., Nazef dan Puspasari, S., 2007, **Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel**, <http://pub.bhaktiganesha.or.id>, 18 November 2008.
- Diaz, R.S., dan Galindo, F.C., 2007, **Coco Metil Ester (CME) – The Perfect Diesel**, <http://moritz.botany.ut.ee>, 18 November 2008.
- Dinas Perkebunan Propinsi Riau, 2007, **Kelapa**, www.litbang.deptan.go.id, 20 September 2007.
- Gerpen, V. J., Shanks B., dan Pruszko R., 2004, **Biodiesel Production Technology**, National Renewable Energy Laboratory, United States.
- Gozan, M., Nasikin, M., Wijanarko, A., dan Hermansyah, H., 2007, **Riset Bahan Bakar Hayati (Bioethanol dan Biodiesel)**, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Herman, S., dan Zahrina, I., 2006, **Kinetika Reaksi Metanolisis Minyak Sawit Menggunakan Katalis Heterogen**, *Jurnal Sains dan Teknologi*, Volume 5, No. 2, ISSN: 1412-6257, Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.
- Husin, H., Marwan dan Ramli S., 2006, **Etanolisis Minyak Sawit dengan Katalis CaCO_3 untuk Produksi Biodiesel**, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 2006, Palembang.
- Kapilakarn, K and Peugtong, A., 2007, **A Comparison of Cost of Biodiesel Production from Transesterification**, *International Energy Journal*.
- Nasikin, M., Nurhayanti, W., dan Sukirno., 2004, **Penggunaan Metode Netralisasi dan Pre-esterifikasi untuk Mengurangi Asam Lemak Bebas pada CPO (Crude Palm Oil) dan Pengaruhnya terhadap Yield Metil Ester**, *Jurnal Teknologi*, No. 1, Tahun XVIII, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- Prihandana R., Hendroko R., dan Nuramin M., 2006, **Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM**, PT. Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Sugiyono, A., 2005, **Peluang Pemanfaatan Biodiesel dari Kelapa Sawit sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Solar di Indonesia**.
- Supranto, 2002, **The Methyl Ester Biodiesel Process Production from Vegetable Oils**, Proceeding Regional Symposium on Chemical Engineering, Kuala Lumpur.
- Syah, A., N., A., 2006, **Biodiesel Jarak Pagar Bahan Bakar Alternatif yang Ramah Lingkungan**, PT. Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Wahyuni, 2008, **Pengaruh Kalsinasi CaCO_3 pada Produksi Biodiesel dengan Bahan Baku Crude Palm Oil (CPO) dan Proses Pemurniannya**, Skripsi, Universitas Riau.
- Zahrina, I., 2000, **Studi Evaluasi Efektifitas Katalis Abu tandan Sawit pada Metanolisis Stearin**, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung.

