

## PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK GORENG BEKAS DENGAN KATALIS KOMPOSIT BERMOTOR GANDA

**Bambang Poedjojono**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas WR. Supratman  
*bpoedjojono@gmail.com*

### Abstract

*Sintesa biodiesel merupakan langkah yang strategis dalam mengatasi kelangkaan energi dan penurunan kualitas lingkungan. Namun, biodiesel selama ini diproduksi dengan metode konvensional menggunakan katalis homogen basa /asam yang mempunyai banyak kelemahan. Kendala utama adalah pemisahan hasil dengan katalis, yang membutuhkan bahan kimia tambahan dan peralatan yang cukup kompleks sehingga mengakibatkan biaya produksi menjadi mahal. Kendala lain yang tidak kalah penting adalah bahan baku yang digunakan selama ini adalah minyak sawit yang harganya relatif mahal karena berkompetisi dengan bahan pangan. Pemanfaatan minyak goreng bekas dan penggunaan katalis komposit berpromotor ganda merupakan salah satu cara yang efektif dan efisien untuk menurunkan biaya produksi. Penelitian tentang penggunaan katalis padat dalam pembuatan biodiesel sudah ada namun masih terbatas pada proses batch yang belum bisa diaplikasikan dalam skala industri.*

*Penelitian ini berhasil melakukan sintesis katalis dengan komposisi 30% loading CaO dan 30% loading KI terhadap  $\gamma$ - $Al_2O_3$  dan kalsinasi katalis dilakukan pada 650°C selama 4,5 jam. Hasil karakteristik katalis BET (luas permukaan menjadi 16,508 m<sup>2</sup>/g, diameter pori 77,904 Angstrom dan volume pori 0,049 cm<sup>3</sup>/g); SEM (bentuk tak beraturan dan ukuran meso partikel, yaitu 2 – 50 nm). Pada tahap penelitian ini juga didapatkan treatment terbaik untuk menurunkan kadar FFA adalah treatment menggunakan sabut kelapa 7,5% terhadap berat minyak kemudian dicuci, dengan kadar FFA 0,22%*

**Kata kunci:** *biodiesel, katalis komposit, minyak goreng bekas, sabut kelapa*

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya populasi dan perkembangan teknologi. Saat ini kebutuhan energi dunia sangat bergantung pada minyak bumi (crude fossil oil) (Asri dkk., 2013; Yacob dkk., 2009). Namun cadangan minyak fosil semakin menipis karena sifatnya yang tidak terbarukan (Russo, dkk., 2012). Disamping itu penggunaan minyak fosil secara terus menerus menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan seperti meningkatnya pemanasan global (*global warming*), polusi dan masalah-masalah lingkungan lainnya (Yacob dkk., 2009; Zabeti dkk., 2010; Kouzu dkk., 2012). Pada sektor transportasi, hampir 44 % dari kebutuhan bahan bakar minyak adalah bahan bakar diesel/solar, dan Indonesia telah mengimpor bahan bakar tersebut dalam jumlah yang cukup besar (Dewan energi Nasional, 2010). Oleh karena itu pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan perlu digalakkan. Biodiesel merupakan salah satu energi alternatif yang sangat strategis untuk dikembangkan sebagai substitusi minyak diesel.

Sementara itu kebutuhan minyak goreng di Indonesia, hingga tahun 2012 diperkirakan mencapai lebih dari 4,7 juta ton (Departemen Perindustrian, 2010). Setelah digunakan, minyak goreng tersebut menjadi minyak goreng bekas (minyak jelantah) yang mengalami perubahan komposisi kimia dan mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik. Perubahan sifat ini menjadikan minyak goreng tersebut tidak layak lagi digunakan sebagai bahan makanan. Oleh karena itu minyak goreng yang telah dipakai atau minyak jelantah (*waste cooking oil*) menjadi barang buangan atau limbah dari industri makanan.

Untuk mengantisipasi defisit minyak diesel (solar) dan semakin melimpahnya limbah minyak goreng, maka alternatif pembuatan biodiesel dari minyak goreng bekas, merupakan pilihan yang tepat. Selain memanfaatkan limbah juga menghasilkan produk biodiesel yang ramah lingkungan dan dengan biaya produksi yang kompetitif dibanding minyak diesel.

Pada penelitian ini digunakan bahan baku minyak goreng bekas yang berasal dari restoran siap saji KFC melalui proses transesterifikasi menggunakan katalis dari oksida logam-logam alkali CaO dan K<sub>2</sub>O dengan penyangga  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CaO/ K<sub>2</sub>O /  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebagai katalis heterogen/padat, yang dilakukan dalam reaktor *batch* maupun dalam reaktor *fixed bed* kontinyu. Katalis heterogen ini mempunyai banyak kelebihan diantaranya: ramah lingkungan dan mudah dipisahkan tanpa peralatan yang rumit sehingga kebutuhan energi untuk pemurnianpun dapat direduksi (Asri, dkk., 2010; Zabeti dkk, 2010; Kouzu dkk., 2012). Disamping itu katalis dapat digunakan kembali, hal ini berdampak pada menurunkan biaya produksi, sehingga pada akhirnya harga biodiesel dapat berkompetisi dengan minyak solar.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian Pembuatan Biodiesel dari bahan baku limbah minyak goreng dengan katalis heterogen berpromotor ganda (CaO/KI/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) bertujuan untuk pemanfaatan limbah menjadi produk lain yang lebih bermanfaat tanpa menimbulkan kembali bahan pencemar lingkungan.

Penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimental, dimana peneliti akan melakukan percobaan dilaboratorium dengan menggunakan minyak goreng bekas dari tempat makan siap saji KFC sebagai bahan penelitian. Minyak goreng bekas akan dikonversikan menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi dengan beberapa macam perlakuan.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu: 1) Tahap preparasi katalis komposit berpromotor ganda, 2) Tahap pemurnian minyak goreng bekas, 3) tahap uji katalis dalam reaktor *batch* dengan metanol kondisi reflux, 4) tahap proses transesterifikasi dalam reaktor *fixed bed* kontinyu,

### 2.1. Bahan Penelitian, Variabel Penelitian dan Definisi Operasional

Bahan yang digunakan adalah : karbon aktif, CaO, metanol *grade* komersial dan asam asetat teknis diperoleh dari Brataco-Chem. Sedangkan untuk  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diperoleh dari Merck. Minyak goreng bekas didapat dari restoran siap saji KFC (Kentucky Fried Chicken).

Variabel penelitian meliputi:

Untuk uji aktivitas katalis variabel dalam reaktor *batch* yang digunakan meliputi:

1. Perbandingan Molar Minyak – Metanol : 1:9; 1:12; 1:15; 1:24

2. Jumlah katalis (% berat terhadap minyak) : 4; 6; 8
3. Suhu Transesterifikasi ( ° C) : 45; 55; 65; 75
4. Waktu Reaksi (jam) : 1;2; 3; 4; 5; 6;

## 2.2. Tahapan Penelitian

### 2.2.1 Preparasi Katalis CaO/K<sub>2</sub>O/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Katalis yang dipersiapkan CaO/K<sub>2</sub>O/ γ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pada pembuatan katalis CaO/K<sub>2</sub>O/ γ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> peneliti menggabungkan metode pembuatan CaO/ γ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari Zabetti dkk (2006) dan metode pembuatan γ- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari Xie dan Li (2006).

Prosedur preparasi katalis CaO/K<sub>2</sub>O/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

CaO dengan berat sesuai perhitungan (30% loading CaO) dilarutkan dalam 100 ml aquades dan diaduk selama 30 menit. Menambahkan asam asetat sesuai perhitungan stokiometri, sehingga terjadi perubahan warna campuran menjadi bening. Menambahkan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan mengaduk selama 3 jam. Setelah campuran menjadi viskus (kental), dipindahkan ke dalam cawan porselin dan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 110°C selama 12 jam. Katalis yang didapat digerus sampai halus, kemudia di kalsinasi pada suhu 65°C selama 5 jam.

### 2.2.2. Proses pemurnian minyak jelantah dari pengotor dan *water content*

Tujuan : mengurangi kandungan pengotor dan air di dalam minyak goreng bekas.

Prosedur Pemurnian Minyak Goreng Bekas

Pemurnian minyak goreng dilakukan dengan jalan memanaskan minyak goreng bekas sampai temperatur mencapai 100°C. Mencampurkan karbon aktif ke dalam minyak goreng bekas dengan perbandingan 1:50.

Kemudian diaduk dengan kecepatan 10 rpm selama 60 menit, dilanjutkan dengan pemisahan (filtrasi). Menganalisa komposisi minyak goreng setelah mengalami proses pemurnian, kemudian ditreatment dengan penambahan sabut kelapa dengan kadar 7,5 % terhadap berat minyak.

### 2.2.3. Uji Katalis CaO/K<sub>2</sub>O/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam reaktor batch

Minyak goreng bekas dan metanol dengan ratio molar 1:12 dimasukkan kedalam labu leher tiga yang berkapasitas 500 ml. Menambahkan katalis CaO/ γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan jumlah 4% (% berat terhadap minyak). Labu dipanaskan diatas penangas air (*waterbath*) sambil diaduk menggunakan *hotplate stirrer* sampai suhu 55° C. Setelah reaksi berjalan 3 jam maka reaksi dihentikan, campuran dalam labu leher tiga didinginkan dan dikeluarkan kemudian disaring untuk dipisahkan katalisnya. Filtrat yang telah dipisahkan dari katalis CaO/K<sub>2</sub>O/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, selanjutnya dimasukkan ke dalam corong pemisah kapasitas 250 mL, dikocok beberapa saat, kemudian didiamkan selama 1 malam. Cairan dalam corong pisah yang membentuk dua lapisan selanjutnya dipisahkan. Lapisan bawah adalah gliserol dan lapisan atas lapisan metil ester, kemudian dilakukan analisa dengan metode GC/GC MS.

Minyak dan metanol dimasukkan kedalam tangki feed dengan ratio 1:12. Katalis padat yang sudah dipeletisasi dengan jumlah tertentu dimasukkan ke dalam reaktor. Heater dinyalakan untuk memanasi reaktor sampai suhu yang dikehendaki konstan, Minyak dan metanol dalam tangki feed diaduk sampai homogen, kemudian dengan bantuan pompa feed campuran dialirkan kedalam reaktor dengan kecepatan alir tertentu sesuai variabel yang diatur melalui rotameter. Metanol dalam reaktor akan menguap kemudian kontak dengan katalis dan akhirnya bereaksi dengan minyak menghasilkan metil ester (biodiesel) dan gliserol. Produk ditampung dalam cooling zone, kemudian dilakukan pengambilan sampel. Sample dimasukkan dalam corong pemisah (suction flash) dikocok, didiamkan sampai terjadi dua lapisan. Lapisan atas adalah biodiesel dan lapisan bawah gliserol yang merupakan produk samping. Produk dianalisa dengan metode GC/GCMS.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **3.1. Karakteristik Minyak Goreng Bekas**

Minyak goreng bekas yang digunakan dari Rumah Makan siap saji. Minyak goreng bekas telah digunakan dalam jumlah banyak, karena produk makanan rumah makan saji tersebut perlu untuk tercelup dalam minyak dengan temperature lebih dari 180°C. Sedangkan pada temperatur tinggi minyak mengalami perubahan baik secara fisik maupun kimia berdampak bagi kualitas makanan dan minyak.

Minyak goreng bekas secara normal berwarna hitam pekat dan jumlah padatan terkumpul pada bagian dasar minyak.

##### **3.1.2. Karakteristik Minyak Goreng Bekas Sebelum Treatment**

Sebelum dilakukan transesterifikasi, minyak goreng bekas dilakukan beberapa analisa untuk memastikan bahwa minyak goreng tersebut memenuhi syarat untuk dilakukan transesterifikasi.

Minyak goreng bekas dianalisa FFA dengan menggunakan NaOH dengan konsentrasi 0,01 N. Hasil perhitungan FFA didapatkan bahwa kadar FFA untuk minyak goreng bekas sebelum dilakukan treatment adalah 2,82%. Penelitian ini mengembangkan studi penelitian yang dilakukan untuk menurunkan kadar FFA.

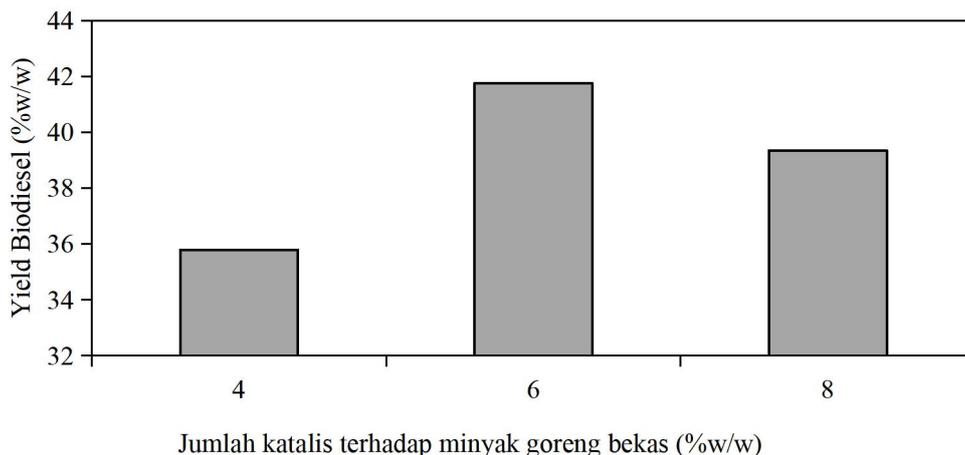
##### **3.1.3. Minyak Goreng Bekas Setelah Treatment**

Minyak goreng bekas dilakukan dengan berbagai treatment dengan tujuan untuk menurunkan kadar FFA minyak goreng bekas, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan transesterifikasi untuk membuat biodiesel.

Untuk meningkatkan penurunan FFA, dilakukan treatment dengan mengkombinasikan karbon aktif 10% terhadap minyak goreng bekas dan 7,5% sabut kelapa terhadap minyak goreng bekas yang menghasilkan penurunan kadar FFA menjadi 0,22%.

#### **3.2. Pengaruh Penambahan Jumlah Katalis Terhadap (%) Yield Biodiesel**

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah katalis heterogen basa dengan promotor ganda dari oksida logam yaitu CaO dan K<sub>2</sub>O serta Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai penyangga. Katalis tersebut memiliki kelebihan mudah dipisahkan dari produk tetapi juga memiliki kelemahan yaitu, jika penambahan katalis terlalu banyak justru akan membuat campuran reaktan menjadi viscous sehingga menjadi penghambat pembentukan produk. Penambahan jumlah katalis harus disesuaikan dengan kebutuhan supaya aktivitas katalis sebagai pendorong reaksi berfungsi sebagaimana mestinya. Penelitian ini mempelajari pengaruh penambahan katalis terhadap reaksi dengan bervariasi % berat katalis terhadap minyak yaitu 4, 6 dan 8%.



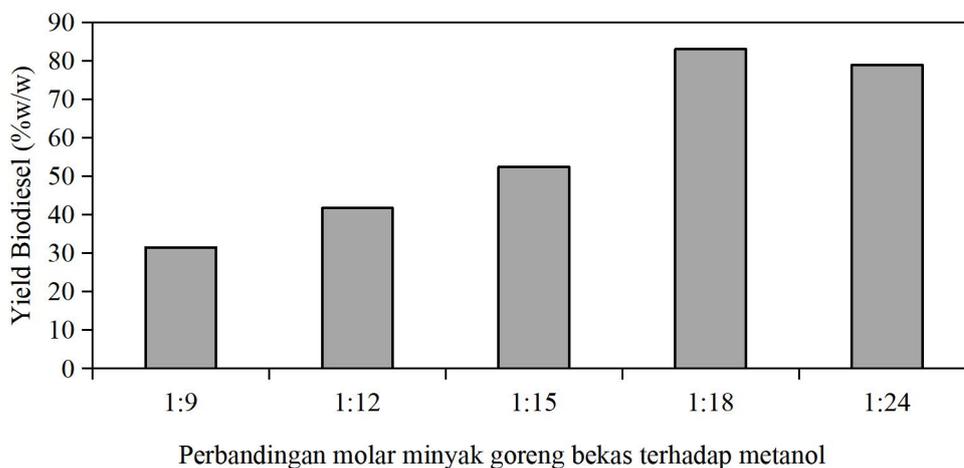
Gambar 1. Pengaruh penambahan jumlah katalis CaO/KI/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap yield biodiesel. Kondisi proses : perbandingan molar minyak goreng bekas – metanol 1:12; temperatur reaksi 65°C dan waktu reaksi 5 jam

Gambar 1. menunjukkan pengaruh jumlah katalis terhadap *yield* biodiesel. Gambar 1 menunjukkan bahwa *yield* biodiesel naik secara signifikan dengan bertambahnya berat katalis dari 4 ke 6%, yaitu dari 35,79% menjadi 41,76%. Hal ini membuktikan bahwa kehadiran katalis sangat berpengaruh terhadap kecepatan reaksi, karena katalis dapat menurunkan energi aktivasi (Levenspiel, 1999). Katalis tersebut berfungsi menurunkan energi aktivasi reaksi dan berdampak sebaliknya yaitu naiknya konstanta kecepatan reaksi. Naiknya konstanta kecepatan reaksi berakibat meningkatnya kecepatan reaksi karena konstanta kecepatan reaksi berbanding lurus terhadap kecepatan reaksi. Kondisi sebaliknya terjadi ketika % berat katalis dinaikkan menjadi 8%. Yield biodiesel mengalami penurunan yield biodiesel dari 41,76% menjadi 39,35%. Hal ini disebabkan campuran antara reaktan (minyak dan metanol) dan katalis menjadi terlalu *viscous*. Hal ini menimbulkan masalah pada pencampuran (*mixing*) dan dapat menghambat kecepatan reaksi. Pada kondisi ini pengaruh perpindahan massa menjadi lebih penting dibanding menambah jumlah katalis (Liu, dkk., 2008). Apabila jumlah katalis terlalu berlebih (> 6%) produk akan terserap oleh katalis sehingga *yield* akan mengalami penurunan (Huaping dkk., 2008). Demikian sebaliknya, apabila jumlah katalis yang ditambahkan tidak mencukupi, maka *yield* maupun konversi maksimum tidak bisa dicapai. Untuk mengatasi masalah tersebut maka ditentukan jumlah katalis yang terbaik.

Peneliti terdahulu ( Xie dan Li, 2006, Ilgen dan Akin, 2006; Huaping dkk., 2006; Kim dkk., 2004; Kouzu dkk., 2010 ) juga mendapatkan performa yang sama, namun jumlah katalis terbaik pada masing-masing peneliti berbeda, hal ini dimungkinkan karena masing-masing peneliti menggunakan minyak dan katalis dengan penyangga dan promotor yang berbeda.

### 3.3. Pengaruh Perbandingan Molar Ratio Minyak dengan Metanol Terhadap (%) Yield Biodiesel

Persamaan reaksi transesterifikasi berdasarkan stoikiometri reaksi transesterifikasi, satu mol trigliserida bereaksi dengan tiga mol metanol membentuk tiga mol metil ester dan satu mol gliserol. Salah satu reaktan reaksi bergeser kekanan. Penelitian ini untuk menentukan *excess* metanol yang terbaik dilakukan dengan memvariasikan perbandingan molar minyak goreng bekas terhadap metanol mulai 1:9; 1:12; 1:15; 1:18 dan 1:24, menggunakan 6% berat katalis terhadap goreng bekas, temperatur reaksi 65°C selama 5 jam.



Gambar 2. Pengaruh perbandingan molar minyak goreng bekas – metanol terhadap yield biodiesel. Kondisi proses : perbandingan molar minyak goreng bekas – metanol 1:12; temperatur reaksi 65°C dan waktu reaksi 5 jam

Gambar 2. menunjukkan bahwa kenaikan perbandingan molar mulai dari 1: 9 sampai dengan 1:18 diikuti dengan kenaikan *yield* biodiesel. Tetapi sebaliknya ketika perbandingan molar diatas 1:24 , *yield* biodiesel mengalami penurunan. Hal ini disebabkan ketika perbandingan molar terlalu kecil membuat reaksi transesterifikasi tidak optimum karena pengaruh *excess* metanol belum mampu mendorong reaksi kearah produk, dan akibatnya *yield* yang dihasilkan kecil. Demikian sebaliknya jika perbandingan molar terlalu besar, maka akan menimbulkan kendala untuk *me-recycle* metanol dan juga menurunkan kemurnian produk (biodiesel), oleh karena metanol mampu melarutkan gliserol sehingga membuat gliserol menjadi satu fase dengan minyak yang tidak bereaksi dan biodiesel yang terbentuk dan memberikan dampak terhadap penurunan kadar biodiesel di dalam produk. Encinar, dkk menyatakan bahwa keberadaan 1,75 metanol menghalangi pemisahan gliserol secara gravitasi. Huaping, dkk (2006) menyatakan bahwa berlebihnya

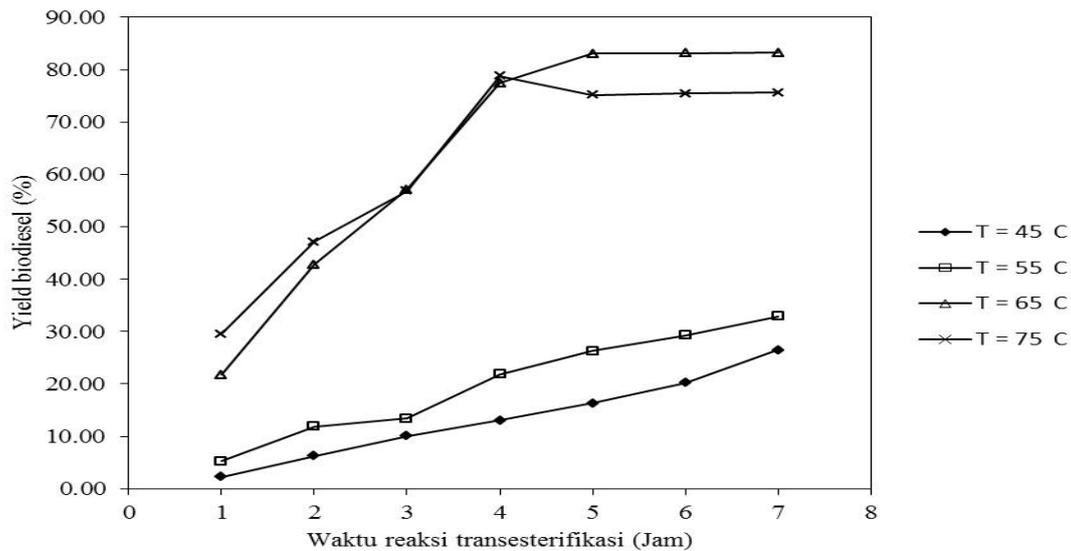
metanol dalam transesterifikasi *jatropha curcas oil* menyebabkan sulitnya pemurnian produk sintesis biodiesel. Kondisi ini membutuhkan energi yang besar untuk *me-recovery* metanol yang tidak bereaksi. Perbedaan perbandingan molar terbaik dipengaruhi oleh tipe katalis. Katalis basa membutuhkan metanol lebih sedikit untuk transesterifikasi trigliseride apabila dibandingkan dengan katalis asam. (Ma dan Hanna, 1999; Leung, dkk., 2010).

### 3.3. Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel

Temperatur dan waktu reaksi menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi yield biodiesel pada reaktor batch, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Reaksi dilakukan pada temperatur reaksi 45, 55, 65 dan 75°C, dan waktu reaksi dari 0 jam sampai dengan 7 jam dengan jeda waktu masing-masing satu jam. Kondisi proses yang lain dipertahankan konstan yaitu 6% berat katalis dan perbandingan molar minyak-metanol 1:18.

Pada umumnya *yield* biodiesel naik dengan bertambahnya waktu reaksi dengan berbagai kondisi temperatur, seperti pada terlihat pada Gambar 3. Kenaikan *yield* biodiesel secara tajam terjadi setelah 4 jam bereaksi, dan setelah 6 jam kenaikan *yield* biodiesel tidak terlalu signifikan. Demikian juga dengan kenaikan temperatur reaksi, mulai dari 45 sampai dengan 75°C berpengaruh terhadap kenaikan *yield* biodiesel. Pada temperatur reaksi 45 dan 55°C *yield* terjadi kenaikan tetapi tidak terlalu signifikan. Puncak kenaikan biodiesel terjadi pada temperatur reaksi 65°C sedangkan pada temperatur 75°C terjadi kenaikan sangat kecil apabila dibandingkan dengan temperatur reaksi 65°C. Hal ini disebabkan pada temperatur 65°C mendekati titik didih metanol yaitu 68°C sehingga memungkinkan sebagian metanol berdifusi ke dalam minyak dalam fase gas. Sedangkan pada temperatur 75°C melewati titik didih metanol sehingga hampir semua metanol dalam fase gas. Ketika metanol dalam fase gas dikondensasi dan kembali dalam fase liquid, tetapi karena temperatur reaktor diatas titik didihnya maka metanol akan teruapkan lagi. Hal ini menyebabkan waktu kontak metanol dan minyak menjadi lebih pendek sehingga minyak yang terkonversi biodiesel tidak memberikan perbedaan yang signifikan bila dibandingkan dengan temperatur reaksi 65°C.

*Yield* biodiesel tertinggi pada reaktor *batch* dengan metanol refluk dicapai pada kondisi proses 65°C selama 5 jam dengan perbandingan molar 1:18 yaitu 83,08%.



Gambar 3. Pengaruh temperatur dan waktu reaksi terhadap yield biodiesel  
Kondisi proses : perbandingan molar minyak goreng bekas – metanol 1:18;  
6% berat katalis

#### 4. KESIMPULAN

1. Kadar FFA minyak goreng bekas sebelum treatment 2,82.
2. Metode terbaik untuk menurunkan FFA minyak goreng bekas adalah treatment menggunakan sabut kelapa 7,5% terhadap berat minyak kemudian dicuci, dan didapatkan kadar FFA 0,22%.
3. Komposisi katalis dengan aktivitas terbaik adalah 30% loading CaO terhadap  $\gamma$ - $Al_2O_3$  menghasilkan *yield* biodiesel tertinggi yaitu 41,76%, dengan kondisi proses perbandingan molar minyak-metanol 1:12 dan 6% berat katalis terhadap minyak sawit pada reaktor *batch* dengan temperatur reaksi 65°C selama 5 jam.
4. Kalsinasi katalis CaO/KI/ $\gamma$ - $Al_2O_3$  pada 650°C selama 4,5 jam, kemudian hasil analisa karakteristik katalis BET (luas permukaan menjadi 16,508 m<sup>2</sup>/g, diameter pori 77,904 Angstrom dan volume pori 0,049 cm<sup>3</sup>/g); SEM (bentuk tak beraturan dan ukuran meso partikel, yaitu 2 – 50 nm).
5. Kondisi terbaik transesterifikasi minyak goreng bekas dengan katalis CaO/KI/ $Al_2O_3$  adalah perbandingan molar 1:18, 6% berat katalis, pada 65°C selama 5 jam dengan *yield* biodiesel yaitu 83,08%.

#### DAFTAR PUSTAKA

Anshary, M.I. dan Damayanti, O. (2012), *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Katalis Padat Berpromotor Ganda Dalam Reaktor Fixed Bed*, Skripsi Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Asri, N. P., Rizki, F., Anisa, A., Savitri, S.D., Roesyadi, A., Budikarjono, K., Suprpto, Gunardi, I. (2012), "Biodiesel Production from Palm Oil Using CaO / $\gamma$ - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a Solid Base Catalyst, *Jurnal Industri*, terakreditasi (*Accepted*, Agustus 2012).
- Asri, N.P, Machmudah, S., Wahyudiono, Suprpto, Budikarjono, K., Roesyadi, A., Goto, M. (2013), "Non catalytic transesterification of vegetables oil to biodiesel in sub- and supercritical methanol: A kinetic sttudy", *J BCREC*, volume 7, issue 3 year 2013, Accepted Desember 2012.
- Asri, N.P., Anisa, A., Rizqi, F., Roesyadi, A., Budikarjono, K., Suprpto., Gunardi, I. (2010),"Biodiesel production fron palm oil using CaO/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a solid base catalyzed", *Proceeding International of Fundamental and application of chemical engineering (ISFACHE)*, Kuta, Denpasar-Bali.
- Dewan Energi Nasional (2010), Naskah kebijakan Energi Nasional
- Diasakov, M., Loulodi, A., Papayannakos, N. (1998), "Kinetics of The Non-Catalytic Transesterification of Soybean Oil", *Fuel*, Vol. 77, hal. 1297–302.
- Huaping, Z., Zongbin, W., Shjie, C.Y.D., Xiaohua, L., Zongqiang, M. (2006), "Preparation of Biodiesel Catalyzed by Solid Super Base Of Calcium Oxide and its Refining Process", *Chinese Journal Of Catalyses*, Vol. 27(5), hal. 391-396.
- Ilgen, O., Akin, A.N. (2008), "Development of alumina supported alkaline catalyst used for biodiesel production", *J Turkey*, 33, 281-287.
- Kim, H.J., Kang, B.S., Park Y.M., Kim, D.K., Lee, Y.S., Lee, K.Y. (2004), "Transesterification of Vegetable Oil to Biodiesel Using Heterogeneous Base Catalyst, *Catal. Today*, Vol. 95, hal. 315-320.
- Kouzu, M., Hidaka, J.S. (2012), "Transesterification of vegetable oil into biodiesel catalyzed by CaO: A review", *Fuel*, 93, 1-12.
- Kusdiana, D., Saka, S. (2001), "Kinetics of Transesterification in Rapeseed Oil to Biodiesel Fuel as Treated in Supercritical Methanol", *Fuel*, Vol. 80, hal. 693-698.
- Leung, D.Y.C., Wu, X. dan Leung, M.K.H. (2010). "A review on biodiesel production using catalyzed transesterification", *Applied Energy*, Vol. 87, 4, hal. 1083-1095.
- Levenspiel, O. (1999), *Chemical Reaction Engineering*, 3<sup>rd</sup> edition, Wiley International edition, John Wiley and Sons, Inc, Canada.
- Ma, F. dan Hanna, M.A. (1999). "Biodiesel production: a review", *Bioresource Technology*, Vol. 70, hal. 1, 1- 15.
- Man, W.H., Ramli, Z., Nur, H. (2005), "Effect of Loaded Alkali Metals on the Structural, Basicity and Catalytic Activity of Zeolite Beta", *Jurnal Teknologi*, Vol. 42, hal. 43-55.
- Nippon Shokubai (2008), News release development of a solid catalyst process for manufacture of biodiesel fuel.

- Russoa, D., Dassisti, M., Lawlorb, V., Olabib, A.G. (2012), “State of the art of biofuels from pure plant oil”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4056–4070.
- Saputra. (2001), “Rencana pabrik CPO biodiesel”. [www.ganeshenergy.blogspot.com](http://www.ganeshenergy.blogspot.com).  
[www.opec.org](http://www.opec.org), 2013. diakses tanggal 18 Januari  
[www.worldoil.com](http://www.worldoil.com), 1994. Di akses tanggal 5 september
- Xie, W., Huang, X. (2006), “Synthesis of biodiesel from soybean using heterogeneous KF/ZnO catalyst”, *Catalyst letters*, 107, 53-59.
- Xie, W., Li, H. (2006), “Alumina-Supported Potassium Iodide as a Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production from Soybean Oil”, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, Vol. 255, hal. 1-9.
- Xie, W., Li Haitao. (2006), “Alumina supported potassium iodide as a heterogeneous catalyst for biodiesel production from soybean oil”, *J Molecular Catalysis A: Chemical*, 255, 1-9.
- Yacob, A.R., Mustajab, M.K.A., Samadi, N.S. (2009). “Calcination temperature of nano MgO effect on base transesterification of palm oil”. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 56: 408-412.
- Zabeti, M., Daud, W.H.A.W., Aroua, M.K. (2010), “Biodiesel production using alumina supported calcium oxide: An optimization study”, *Fuel Processing Technology*, 91, 243-248.