

PEMANFAATAN CPO ASAM LEMAK BEBAS TINGGI SEBAGAI BAHAN BAKAR

Utilization of Crude Palm Oil High Free Fatty Acid as Fuel

Zulaicha Dwi Hastuti, Dwi Husodo Prasetyo, dan Erlan Rosyadi
Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE)
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung 230 Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang 15314
Email: zulaicha.dh@bppt.go.id

Diterima: 11 Mei 2015; Diperiksa: 20 Mei 2015; Revisi: 25 Mei 2015; Disetujui: 5 Juni 2015

Abstract

Free fatty acids of palm oil is one of the quality parameters of CPO. The free fatty acids can be triggered from harvesting and storage factors. The high free fatty acids of CPO brings down the prices. It has been known that Crude Palm Oil (CPO) is one of the renewable energy sources which are pure plant oil (PPO) and biodiesel. But the main problem of CPO as feedstock for PPO and biodiesel is the free fatty acids. The free fatty acids in palm oil that can be used for PPO and biodiesel should not be more than 1%. Therefore, in this study, the attempts to reduce free fatty acid of palm oil for fuel was done. The method is esterification method. The free fatty acids are converted into methyl esters. A mixture of methyl ester with triglycerides can be used for substituting diesel. The optimal conditions for esterification process are as follow: 65°C temperature, time of reaction 360 minutes, the catalyst was 0.25%, and the mole ratio of methanol 8: 1. The free fatty acids can be reduced to 2.76% (89.39% conversion). Under the same conditions with the catalyst increased to 0.5%, the free fatty acids can be reduced to 1.86% (92.85% conversion). Under the same conditions with the catalyst increased to 1%, the free fatty acids can be reduced to 1.75% (93.28% conversion).

Keywords: free fatty acids, crude palm oil, esterification, PPO, biodiesel

Abstrak

Asam lemak bebas (alb) dalam Crude Palm Oil (CPO) merupakan salah satu parameter kualitas CPO. Munculnya asam lemak bebas ini dapat berasal dari faktor pemanenan dan penyimpanan. Asam lemak bebas yang tinggi dalam CPO dapat menurunkan harga CPO. Minyak mentah sawit ini merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang diolah, antara lain, menjadi pure plant oil (PPO) dan biodiesel. Namun, masalah utama CPO sebagai bahan baku PPO dan biodiesel adalah asam lemak bebas. Asam lemak bebas dalam CPO yang dapat digunakan untuk PPO dan biodiesel tidak boleh lebih dari 1%. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan usaha untuk menurunkan asam lemak bebas dalam CPO sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Metoda yang digunakan adalah esterifikasi. Asam lemak bebas dikonversi menjadi metil ester. Campuran metil ester dengan trigliserida ini merupakan bahan bakar yang dapat digunakan untuk pengganti BBM. Kondisi yang optimal untuk proses esterifikasi CPO alb tinggi adalah sebagai berikut : suhu 65°C, waktu 360 menit, katalis 0,25%, dan perbandingan mol metanol 8:1. Dengan proses ini, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 2,76% (konversi 89,39%). Pada kondisi yang sama dengan katalis yang ditingkatkan menjadi 0,5%, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 1,86% (konversi 92,85%). Pada kondisi yang sama, dengan katalis yang ditingkatkan menjadi 1%, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 1,75% (konversi 93,28%).

Kata kunci: asam lemak bebas, CPO, esterifikasi, PPO, biodiesel

1. PENDAHULUAN

Crude Palm Oil (CPO) merupakan hasil olahan daging buah kelapa sawit melalui proses sterilisasi, pengepresan dan klarifikasi. Minyak ini merupakan produk tingkat pertama yang dapat memberikan nilai tambah sekitar 30% dari nilai tandan buah segar. CPO dapat digunakan sebagai bahan baku industri minyak goreng, industri sabun, industri margarin dan bahan bakar. Dilihat dari pemanfaatannya, industri yang selama ini menyerap CPO paling besar adalah industri

minyak goreng (79%), industri oleokimia (14%), industri sabun (4%), dan sisanya industri margarin (3%).

Komposisi yang terdapat dalam CPO terdiri dari trigliserida asam lemak (mempunyai kandungan terbanyak dalam minyak nabati, mencapai sekitar 95% berat), asam lemak bebas (ALB), mono- dan digliserida, serta beberapa komponen-komponen lain seperti *phosphoglycerides*, vitamin, mineral, atau sulfur dalam jumlah sedikit. Trigliserida adalah triester dari gliserol

dengan asam-asam lemak, yaitu asam-asam karboksilat berat atom karbon 6 s/d 30. Sedangkan asam lemak bebas adalah asam lemak yang terpisahkan dari trigliserida, digliserida, monogliserida, dan gliserin bebas. Hal ini dapat disebabkan oleh pemanasan dan terdapatnya air sehingga terjadi proses hidrolisis. Oksidasi juga dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas dalam minyak nabati.

Asam lemak bebas (alb) merupakan salah satu parameter kualitas minyak kelapa sawit. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan peningkatan kadar ALB yang relatif tinggi dalam minyak sawit antara lain, pemanenan buah sawit yang tidak tepat waktu, keterlambatan dalam pengumpulan dan pengangkutan buah, penumpukan buah yang terlalu lama, proses hidrolisa selama di pabrik. ALB konsentrasi tinggi dalam minyak sawit sangat merugikan. Tingginya ALB ini mengakibatkan rendemen minyak turun sehingga mutu minyak menjadi menurun. Apabila kadar ALB pada CPO meningkat melebihi standar mutu yang telah ditetapkan maka CPO tersebut tidak dapat dijual. Hal ini menyebabkan kerugian pada perusahaan penghasil CPO.

Oleh karena itu muncul gagasan untuk mengolah CPO ALB tinggi menjadi bahan bakar nabati yang dapat digunakan untuk mengganti bahan bakar solar yang dapat digunakan untuk

mensuplai listrik pada pabrik pengolahan CPO.

Sebagaimana telah diketahui bahwa CPO dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti diesel, baik dalam bentuk minyak nabati murni atau yang telah dikonversi menjadi metil ester. Minyak nabati murni yang dapat digunakan sebagai bahan bakar tanpa mengubah struktur kimia minyak tersebut atau yang disebut dengan Pure Plant Oil (PPO) (Lawlor dan Olabi, 2015). PPO ini harus memiliki asam lemak bebas kurang dari 1%.

Sedangkan CPO yang telah dikonversi menjadi metil ester atau yang lebih dikenal sebagai biodiesel. Salah satu cara yang paling umum untuk memproduksi biodiesel adalah melalui reaksi esterifikasi atau transesterifikasi, dimana minyak nabati dan alkohol direaksikan dengan bantuan katalis menghasilkan alkil ester dari asam lemak (Berrios dkk, 2010). Keuntungan dari biodiesel ini adalah dapat terurai secara alami, tidak berbahaya terhadap lingkungan dan emisi rendah, terutama sulfur (Jeenpadipha dan Tungasmita, 2014) dapat digunakan sebagai bahan bakar langsung tanpa memodifikasi mesin (Johari dkk, 2015).

Kedua bahan tersebut, baik PPO maupun biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar, meskipun keduanya tersebut sedikit berbeda. Berikut beberapa hal yang membedakan antara PPO dengan biodiesel.

Tabel 1. Perbedaan PPO dan Biodiesel

Keterangan	PPO	Biodiesel
Angka setana		Ø 51
Iodine number	120	100 – 200
Densitas	900 – 930 kg/m ³	890 – 920 kg/m ³
Flash point	220 °C	120 °C
Carbon residu	0,4 % (massa)	0,3 % (massa)
Viskositas kinematis pada 40 °C	38 mm ² /s	3,5 - 5 mm ² /s
Kandungan sulfur	20 mg/kg	10 mg/kg
Kontaminasi	20 mg/kg	24 mg/kg
Bilangan asam	2 mg KOH/g	0,5 mg KOH/g
Stabilitas oksidasi	6 jam pada 110 °C	5 jam pada 110 °C
Kandungan posphor	15 mg/kg	15 mg/kg
Abu	0,01 % (massa)	0,0-2 % (massa)
Air	500 mg/kg	750 mg/kg
Nilai kalor	35.000 kJ/kg	35.000 kJ/kg

Sumber : Lawlor, 2015

Keuntungan menggunakan PPO dan biodiesel dibanding dengan bahan bakar solar ini adalah sedikit kandungan sulfur dan aromatik, flash point yang lebih tinggi dan kemampuan pelumasan. Sedangkan kelemahan dari PPO ini adalah viskositas dan pour point yang tinggi, angka setana, nilai kalor dan volatilitas yang rendah (Rakopoulos dkk, 2015).

Pembakaran biodiesel dapat mengurangi 90% dari total hidrokarbon tidak terbakar dan senyawa aromatis siklis. Kerugian dari biodiesel adalah biaya bahan baku tinggi yang mengakibatkan harga produk akhir yang mahal pula dibandingkan dengan bahan bakar fosil.

Untuk mencapai konversi minyak nabati menjadi metil ester yang baik melalui reaksi transesterifikasi, maka asam lemak bebas dalam minyak nabati tidak boleh melebihi dari 1%. Hal ini dikarenakan asam lemak bebas bereaksi dengan alkali menghasilkan sabun (Prateepchaikul dkk, 2009). Namun sebaliknya, esterifikasi yang dikatalisis oleh asam dapat digunakan untuk menghasilkan ester dari minyak yang memiliki asal lemak bebas tinggi. Metode ini dapat digunakan untuk menurunkan asam lemak bebas pada CPO dengan kandungan asam lemak bebas yang tinggi. Asam lemak bebas dikonversi menjadi metil ester. Campuran metil ester dengan trigliserid ini dapat merupakan bahan bakar yang dapat digunakan untuk pengganti BBM. Dan ini merupakan salah penanganan CPO asam lemak bebas melalui proses pembuatan bahan bakar nabati, dimana bahan bakar nabati tersebut mengandung biodiesel. Pretreatment dengan proses esterifikasi ini telah dilakukan oleh beberapa penelitian untuk mengurangi kandungan asam lemak bebas dalam minyak (Canackci dkk, 2001; Naik dkk, 2001; Hayyan dkk, 2008).

Pada kegiatan ini akan dikembangkan suatu proses untuk mengolah bahan baku CPO asam lemak bebas tinggi dengan menggunakan katalis asam yang tidak menghasilkan sabun. Selain itu, pada saat asam lemak bebas bereaksi dengan methanol akan terbentuk ester dan air. Air tersebut perlu dipisahkan dari produk karena air tersebut dapat menghambat reaksi selanjutnya.

2. BAHAN DAN METODE

CPO dengan kandungan asam lemak bebas tinggi, kurang lebih 20-60% diperoleh dari PTPN VI Jambi. Metanol dan asam sulfat digunakan sebagai katalis.

Metode yang digunakan untuk menurunkan kandungan asam lemak bebas dalam CPO adalah reaksi esterifikasi. Reaksi ini dilakukan dengan memasukkan 200 gram CPO dalam 1000 ml labu leher tiga. Kemudian metanol dan asam sulfat sebagai katalis ditambahkan ke dalam labu yang berisi CPO dan diaduk pada kecepatan pengadukan 620 rpm. Labu dihubungkan dengan kondensor untuk meminimalisasi penguapan metanol. Suhu reaksi dijaga dengan *water bath*.

Setelah reaksi selesai, produk dicuci dengan air hangat beberapa kali sampai bersih.

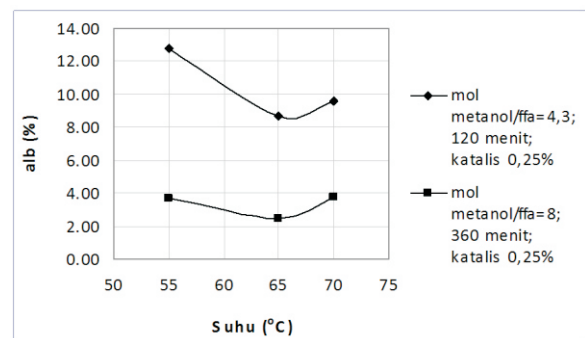
Uji coba dilakukan dengan menggunakan variabel tetap yaitu kecepatan pengadukan 620 rpm, sedangkan variabel berubah yaitu perbandingan mol metanol terhadap asam lemak bebas antara 3 – 10, waktu antara 2 – 6 jam, suhu 55-95°C, Molar rasio minyak dan metanol sebesar 1: 3 sampai dengan 1:8. dan katalis antara 0,25% - 1%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Suhu

Baik asam lemak bebas dan trigliserid memerlukan energi aktivasi melalui protonasi (pada kondisi asam) untuk memulai reaksi. Rantai yang lebih panjang dari trigliserid dapat mempengaruhi dengan aktivasi gugus karbonil sehingga trigliserid menjadi lebih sulit diaktivasi dibandingkan dengan asam lemak bebas. Supaya metanol dapat menyerang trigliserid, maka diperlukan suhu yang lebih tinggi supaya gugus karbonil teraktivasi.

Grafik 4.1 menunjukkan hubungan antara suhu esterifikasi terhadap asam lemak bebas dalam produk BBN. Untuk bahan baku CPO asam lemak bebas 26%, dengan kondisi suhu reaksi 55°C, waktu 120 menit, katalis 0,25% dan perbandingan mol metanol terhadap asam lemak bebas CPO 4,3:1, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 12,8% (konversi 50,77%). Pada suhu yang ditingkatkan menjadi 65°C dengan kondisi yang sama, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 8,65% (konversi 66,72%). Dan pada suhu yang ditingkatkan menjadi 70°C dengan kondisi yang sama, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 9,57% (konversi 63,18%).



Grafik 4.1. Pengaruh Suhu terhadap Reaksi Esterifikasi

Sedangkan untuk suhu reaksi 55°C, waktu 360 menit, katalis 0,25% dan perbandingan mol metanol terhadap asam lemak bebas CPO 8:1, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 3,66% (konversi 85,92%). Pada suhu yang ditingkatkan menjadi 65°C dengan kondisi yang sama, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 2,45% (konversi 90,58%). Dan pada suhu

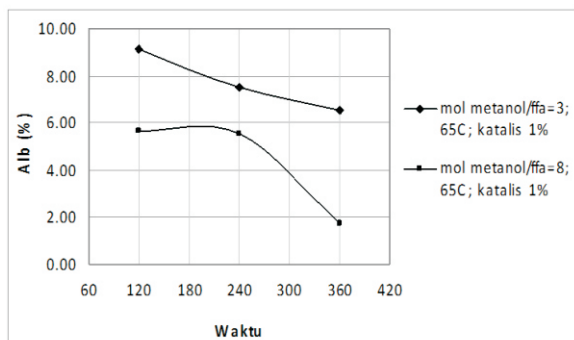
yang ditingkatkan menjadi 70°C dengan kondisi yang sama, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 3,76% (konversi 85,53%).

Dengan demikian, kondisi suhu paling optimal adalah 65°C, dimana asam lemak bebas dalam produk sebesar 8,65% dan 2,45%. Pada suhu di bawah 65°C, reaksi esterifikasi kurang sempurna yang mengakibatkan konversi asam lemak bebas menjadi metil ester berkurang. Sedangkan pada suhu di atas 65°C, metanol sudah menguap karena titik didih metanol 64,8°C dan keluar dari reaktor sehingga metanol yang bereaksi dengan asam lemak bebas menjadi berkurang dan konversinya turun. Reaksi esterifikasi ini merupakan reaksi endotermis, dimana ketika suhu dinaikkan maka konversi akan meningkat atau asam lemak bebas dalam produk rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Marchetti dan Errazu (2008).

3.2 Pengaruh Waktu

Grafik 4.2 menunjukkan hubungan antara waktu reaksi esterifikasi dengan asam lemak bebas dalam produk BBN. Untuk bahan baku CPO asam lemak bebas 26%, dengan kondisi suhu reaksi 65°C, waktu 120 menit, katalis 1% dan perbandingan mol metanol terhadap asam lemak bebas CPO 3:1, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 9,12% (konversi 64,92%). Pada kondisi yang sama dengan waktu reaksi yang ditingkatkan menjadi 240 menit, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 7,54% (konversi 71%). Dan pada kondisi yang sama dengan waktu reaksi yang ditingkatkan menjadi 360 menit, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 6,52% (konversi 74,92%).

Sedangkan pada suhu 65°C, waktu 120 menit, katalis 1% dan perbandingan mol metanol terhadap asam lemak bebas CPO 8:1, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 5,65% (konversi 78,27%). Pada kondisi yang sama dengan waktu reaksi yang ditingkatkan menjadi 240 menit, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 5,55% (konversi 78,66%).



Grafik 4.2. Pengaruh Waktu terhadap Reaksi Esterifikasi.

Dan pada kondisi yang sama dengan waktu reaksi yang ditingkatkan menjadi 360 menit, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 1,75%

(konversi 93,28%). Oleh karena itu, semakin lama waktu esterifikasi maka konversi yang diperoleh semakin besar, karena reaksi esterifikasi ini bersifat reversibel dan berlangsung lambat.

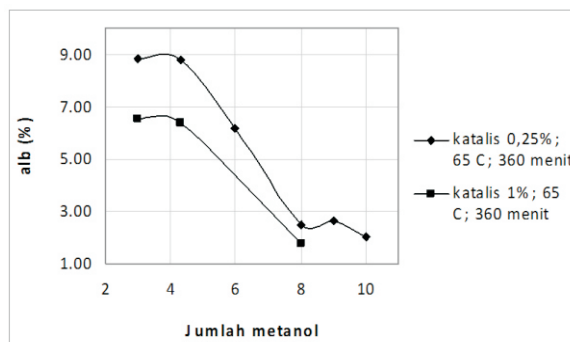
3.3 Pengaruh Jumlah Metanol

Untuk pengurangan asam lemak bebas, minyak diesterifikasi dengan metanol dalam kondisi asam (dari asam sulfat sebagai katalis). Asam lemak bebas direaksikan dengan metanol untuk membentuk metil ester sebagaimana reaksi di bawah ini:



Reaksi tersebut merupakan reaksi *reversible* dan memerlukan jumlah metanol yang banyak untuk mencapai kesetimbangan ke kanan (produk ester) (Nakpong dan Wootthikanokkhan, 2010).

Grafik 4.3 menunjukkan hubungan antara jumlah metanol terhadap asam lemak bebas dalam produk BBN. Untuk bahan baku CPO asam lemak bebas 26%, pada kondisi suhu reaksi 65°C, waktu 360 menit, katalis 0,25%, dan perbandingan mol metanol terhadap asam lemak bebas dalam CPO masing-masing 3:1; 4,3:1; 6:1; 8:1; 9:1 dan 10:1, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 8,81%; 8,79%; 6,14%; 2,46%; 2,61% dan 2,05% (konversinya 66,13%; 66,21%; 76,37%; 90,55%; 89,96% dan 92,12%). Sedangkan pada kondisi suhu dan waktu yang sama, katalis 1%, dan perbandingan mol metanol terhadap asam lemak bebas dalam CPO 3:1; 4,3:1 dan 8:1, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 6,52%; 6,39% dan 1,75% (konversinya 74,92%; 75,41% dan 93,28%).



Grafik 4.3. Pengaruh Metanol terhadap Reaksi Esterifikasi

Semakin besar jumlah metanol yang digunakan dalam reaksi esterifikasi maka konversi asam lemak bebas menjadi metil ester semakin besar pula. Dari Grafik 4.3 terlihat jelas adanya perbedaan asam lemak bebas dalam produk BBN yang cukup signifikan pada perbandingan mol metanol terhadap asam lemak bebas CPO 4,3:1 pada penggunaan katalis 0,25% dengan 1%. Pada penggunaan alkohol yang tinggi, efek pencampuran alkohol melebihi reaksi campuran

yang terjadi dengan pengaruh yang lebih kuat dibanding dengan kinetiknya sehingga kecepatan reaksinya lebih kecil, dan konversi yang lebih besar (Marchetti dan Errazu, 2008).

Pada uji coba selanjutnya, pada perbandingan metanol terhadap asam lemak bebas 8:1; 9:1 dan 10:1 tidak ada perbedaan konversi yang cukup signifikan. Konversi paling tinggi dicapai pada kondisi esterifikasi suhu 65°C, perbandingan mol metanol terhadap asam lemak bebas CPO 8:1, katalis 1% dan waktu 360 menit, dimana pada kondisi ini, CPO asam lemak bebas 26% dapat diturunkan menjadi 1,75%. Akan tetapi kondisi ini memerlukan penggunaan metanol yang cukup banyak. Di sisi lain, penggunaan metanol yang banyak ini dihindari karena harga metanol yang cukup mahal. Selain itu dengan banyaknya jumlah metanol yang digunakan, maka perlu ada tambahan alat proses untuk merecovery sisa metanol yang tidak bereaksi. Alat recovery metanol ini dapat berupa kolom distilasi. Sementara pengoperasian kolom distilasi ini cukup kompleks dan metanol yang terecovery pun tidak lebih dari 50% sehingga penggunaan kolom distilasi ini tidak disarankan. Kondisi ini cocok digunakan apabila produk bahan bakar nabati digunakan sebagai bahan bakar alat transportasi karena mesin pada alat transportasi mensyaratkan bilangan asam kurang dari 1%. Untuk lebih mendalami permasalahan keekonomian proses dengan metanol recovery diperlukan studi lebih lanjut.

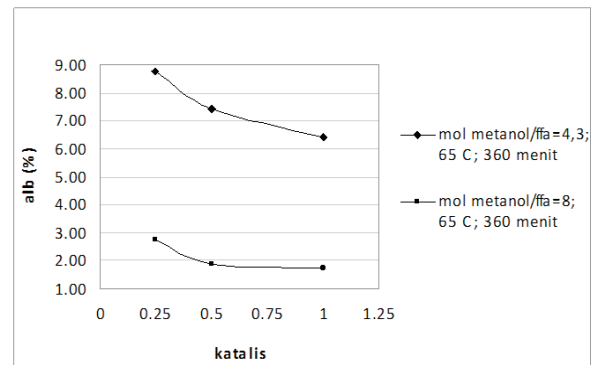
Apabila bahan bakar nabati akan digunakan sebagai bahan bakar mesin Genset, maka sebaiknya proses pembuatan BBN menggunakan perbandingan metanol terhadap asam lemak bebas CPO 4,3:1, dimana asam lemak bebas dalam produk esterifikasi sebesar 6,39% (konversi 75,41%). Hal ini dikarenakan, pada kondisi ini metanol yang digunakan relatif sedikit dan hanya memerlukan satu tahap proses saja. Selanjutnya untuk kelayakan mesin, produk ini diblending dengan 70% solar, sehingga asam lemak bebas dalam BBN menjadi kurang dari 2% dan relatif aman digunakan dalam mesin. Selain itu blending metil ester dalam solar yang lebih banyak tidak disarankan untuk pembakaran mesin karena dapat merusak seal-seal mesin.

3.4 Pengaruh Katalis

Asam sulfat (H_2SO_4) merupakan katalis yang umum digunakan untuk esterifikasi karena murah dan ketersediaan yang mudah (Hayyan dkk, 2011). Dan katalis asam homogen memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan katalis padat (Shu, 2010). Selain itu, katalis asam homogen tidak dipengaruhi oleh kehadiran asam lemak bebas dalam bahan baku sehingga dapat mengkonversi metil ester dari bahan baku dengan kandungan asam lemak bebas tinggi (Loterio dkk, 2005).

Penggunaan katalis berkisar antara 0,25 – 2%. Hasil menunjukkan bahwa asam sulfat merupakan katalis yang efektif dalam proses esterifikasi.

Grafik 4.4 menunjukkan hubungan antara jumlah katalis terhadap kandungan asam lemak bebas dalam BBN. Untuk bahan CPO asam lemak bebas 26%, pada kondisi suhu reaksi 65°C, waktu 360 menit, katalis 0,25% dan perbandingan mol metanol 4,3:1, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 8,79% (konversi 66,21%). Pada kondisi yang sama dengan katalis yang ditingkatkan menjadi 0,5%, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 7,43% (konversi 71,42%). Dan pada kondisi yang sama dengan katalis yang ditingkatkan menjadi 1%, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 6,39% (konversi 75,41%).



Grafik 4.4. Pengaruh Katalis terhadap Reaksi Esterifikasi

Sedangkan pada kondisi suhu 65°C, waktu 360 menit, katalis 0,25%, dan perbandingan mol metanol 8:1, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 2,76% (konversi 89,39%). Pada kondisi yang sama dengan katalis yang ditingkatkan menjadi 0,5%, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 1,86% (konversi 92,85%). Dan pada kondisi yang sama dengan katalis yang ditingkatkan menjadi 1%, asam lemak bebas dapat diturunkan menjadi 1,75% (konversi 93,28%). Tidak ada peningkatan konversi asam lemak bebas pada penggunaan katalis 0,5% - 1%. Walaupun penggunaan katalis yang lebih besar, kecepatan reaksi lebih cepat. Namun akan mencapai konversi yang sama (Marchetti dkk, 2007). Dengan demikian, penggunaan katalis yang optimal adalah 0,5%. Dengan semakin banyaknya jumlah katalis yang digunakan ini berarti semakin banyak ion H^+ , dimana ion H^+ ini dapat mempercepat reaksi. Hasil ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Naik dkk (2008) dimana penggunaan katalis yang optimal sebesar 0,5% asam sulfat dengan penurunan asam lemak bebas dari 10% menjadi kurang dari 2%. Sementara, Hayyan dkk (2011) melaporkan bahwa penggunaan katalis asam paling optimal 0,75%, dimana konversi asam lemak bebas menjadi metil ester sebesar 90,9%.

Pada akhir reaksi, katalis ini harus diambil karena katalis yang digunakan dalam reaksi esterifikasi ini berupa H_2SO_4 . Katalis ini diambil

dengan cara mencuci produk esterifikasi dengan air panas. Pencucian dilakukan beberapa kali pencucian sampai PH nya netral. Dengan semakin banyak jumlah katalis yang digunakan, maka pengambilan katalis setelah reaksi esterifikasi akan semakin sulit dan semakin banyak jumlah air yang digunakan.

4. KESIMPULAN

Kondisi operasi proses paling optimal untuk asam lemak bebas 26% adalah perbandingan mol metanol terhadap asam lemak bebas 4,3:1 (14% berat CPO), katalis 1% berat, waktu reaksi 360 menit pada suhu 65°C, kecepatan pengadukan 620 rpm, dimana dapat menurunkan asam lemak bebas sebesar 75,45% (alib produk 6,39%).

DAFTAR PUSTAKA

- Hayyan, A., Alam, M.Z., Mirghani, M.E.S., Kabbashi, N.A., Hakimi, N.I.N.M., Siran, M.Y., Tahiruddin, S., (2011). *Reduction of High Content of Free Fatty Acid in Sludge Palm Oil Via Acid Catalyst For Biodiesel Production*. Fuel Processing Technology 92 920–924.
- A. Hayyan, M.Z. Alam, N.A. Kabbashi, M.E.S. Mirghani, N.I.N.M. Hakimi, Y.M. Siran, (2008). *Pretreatment of Sludge Palm Oil for Biodiesel Production by Esterification*. Proc. Symposium of Malaysian Chemical Engineers, 2–3 December, Kuala Lumpur Malaysia, 2, pp. 485–490.
- Berrios, M., Martin, M.A., Chica, A.F., Martin A., (2010). *Study of Esterification and Transesterification in Biodiesel Production from Used Frying Oils in a Closed System*. Chemical Engineering Journal 160 473–479.
- Jeenpadiphat, A., Tungasmita, D.N., (2014). *Esterification of Oleic Acid and High Acid Content Palm Oil over an Acid-Activated Bentonite Catalyst*. Applied Clay Science 87 272–277
- Johari, A., Nyakuma, B.B., Nor, S.H.M., Mat, R., Hashim, H., Ahmad, A., Zakaria, Z.Y., Abdullah, T.A.T., (2015). *The Challenges and Prospects of Palm Oil Based Biodiesel in Malaysia*. Energy 81 255e261.
- Lawlor, V., Olabi, A.G., (2015). *Review of Scientific Research Regarding PPO*. Tallow and RVO as Diesel Engine Fuel, Fuel 145 25–38.
- Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D.E., Suwannakarn, K., Bruce, D.A., Goodwin, J.G., (2005). *Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis*. Ind. Eng. Chem. Res., 44, 5353–5363.
- M. Canackci, J.V. Gerpen, (2001). *Biodiesel Production from Oils and Fats with High Free Fatty Acids*. Trans. ASAE 44 1429–1436.
- M. Naik, L.C. Meher, S.N. Naik, L.M. Das, (2008). *Production of Biodiesel from High Free Fatty Acid Karanja (Pongamia Pinnata) Oil*. Biomass Bioenerg. 32 354–357.
- Marchetti, J.M., Errazu, A.F., (2008). *Esterification of Free Fatty Acids using Sulfuric Acid as Catalyst in The Presence of Triglycerides*. BIOMASS AND BIOENERGY 32 892–895.
- Marchetti, J.M., Miguel, V.U., Errazu, A.F., (2007). *Heterogeneous Esterification of Oil With High Amount of Free Fatty Acids*. Fuel 86 906–910.
- Nakpong, P., Wootthikkanokkhan, S., (2010). *High Free Fatty Acid Coconut Oil as A Potential Feedstock for Biodiesel Production in Thailand*. Renewable Energy 35 1682–1687.
- Prateepchaikul, G., Somnuk, K., Allen, M., (2009). *Design and Testing of Continuous Acid-Catalyzed Esterification Reactor for High Free Fatty Acid Mixed Crude Palm Oil*. Fuel Processing Technology 90 784–789.
- Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis, E.G., (2015). *Impact of Properties of Vegetable Oil, Biodiesel, Ethanol and n-butanol on the Combustion and Emissions of Turbocharged HDDI Diesel Engine Operating Under Steady and Transient Conditions*. Fuel 156 1–19.
- Shu, Q., Gao, J., Nawaz, Z., Liao, Y., Wang, D., Wang, F., (2010). *Synthesis of Biodiesel from Waste Vegetable Oil with Large Amounts of Free Fatty Acids Using A Carbon-Based Solid Acid Catalyst*. Applied Energy 87 2589–2596.