

OPTIMASI PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DENGAN KATALISATOR KALKSIUM OKSIDA (CaO) DENGAN PROSES METANOLISIS (Variabel Suhu Reaksi)

Sulistianingsih, Dewi Wahyuningtyas

Jurusan Teknik Kimia, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
email : sulissulis.ss@gmail.com

INTISARI

Salah satu sumber bahan baku biodiesel yang prospektif adalah minyak jelantah, konsumsi minyak goreng di Indonesia tahun 2008 sekitar 5 juta kL per tahun, sehingga apabila penggunaan minyak goreng mencapai 80%, maka terdapat potensi minyak jelantah yang mencapai 1 juta kL. Minyak jelantah dapat diproses menjadi biodiesel dengan proses metanolisis menggunakan katalisator batu gamping.

Proses metanolisis dengan katalisator kalsium oksida (CaO) dilakukan dalam reaktor *batch* yang dilengkapi pemanas, termometer, dan pendingin balik. Reaktor diisi dengan minyak jelantah terhadap metanol dengan perbandingan mol 1:15 serta berat katalis terhadap minyak sebanyak 4% dan dijalankan selama 2 jam pada berbagai suhu. Produk yang dihasilkan kemudian dipisahkan antara ester dan produk sampingnya. Ester ditimbang agar diketahui *yield* dari reaksi tersebut. Variabel yang dipelajari adalah suhu mulai dari 50°C, 60°C, 70°C, dan 80°C. Metil ester yang telah terpisah kemudian dihitung nilai *yield*nya dan dianalisis nilai densitas, viskositas, titik nyala, dan titik tuang. Hasil analisis dibandingkan dengan mutu biodiesel sesuai standar SNI.

Kondisi optimum dicapai pada suhu 60°C dengan perbandingan minyak terhadap metanol 1:15, berat katalis terhadap minyak 4%, kecepatan pengadukan 500 rpm, dan waktu proses selama 2 jam didapat nilai *yield* sebesar 65,58%.

Kata kunci : minyak jelantah, metanolisis, metil ester, batu gamping

PENDAHULUAN

Salah satu sumber bahan baku biodiesel yang prospektif adalah minyak jelantah, konsumsi minyak goreng di Indonesia tahun 2008 sekitar 5 juta kL per tahun, sehingga apabila penggunaan minyak goreng mencapai 80%, maka terdapat potensi minyak jelantah yang mencapai 1 juta kL. Jadi, setiap penggunaan minyak goreng sebanyak 80% maka dihasilkan minyak jelantah sebesar 20%. Sampai saat ini, minyak jelantah belum dimanfaatkan dengan baik dan hanya dibuang sebagai limbah rumah tangga ataupun industri. Meningkatnya produksi dan konsumsi nasional minyak goreng, akan berkorelasi dengan ketersediaan minyak jelantah yang semakin meningkat pula. Oleh karena itu, pemanfaatan minyak goreng bekas sebagai bahan baku biodiesel akan memberikan nilai tambah bagi minyak jelantah (Hambali, 2007).

Biodiesel merupakan salah satu sumber energi alternatif pengganti bahan bakar mesin diesel yang bersifat *non-toxic*, *renewable*, *biodegradable*, tidak mengemisikan karbon terhadap atmosfer serta mempunyai beberapa keunggulan dari segi lingkungan apabila dibandingkan dengan petroleum diesel.

Baru-baru ini, biodiesel diproduksi melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati seperti kacang kedelai dan minyak sawit. Minyak

jelantah merupakan salah satu alternatif bahan baku pembuatan biodiesel yang lebih hemat dan murah (Lam, dkk, 2010). Metode yang paling umum digunakan untuk sintesis biodiesel adalah transesterifikasi minyak nabati dan lemak hewan dengan metanol atau etanol.

Cara efektif untuk menurunkan biaya produksi biodiesel adalah menggunakan bahan baku minyak nabati murah dan tidak dimakan seperti lemak hewan dan minyak limbah. Namun bahan limbah biasanya berisi jumlah asam lemak bebas (FFA) yang signifikan, menimbulkan penipisan katalis, meningkatkan biaya pemurnian, dan hasil transesterifikasi alkali lebih rendah dikatalisis (Zhang, 2010).

Pada penelitian ini akan dipelajari kondisi optimum reaksi metanolisis trigliserida pada sintesa biodiesel dari minyak jelantah secara *batch* dengan katalis CaO.

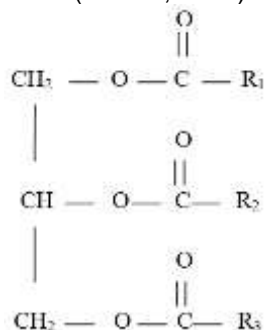
TINJAUAN PUSTAKA

1. Minyak Jelantah

Minyak goreng bekas atau sering disebut dengan minyak jelantah merupakan minyak yang berasal dari sisa minyak penggorengan bahan makanan. Perbedaan minyak goreng bekas dengan minyak nabati yang baru terletak pada komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuhnya. Minyak goreng bekas memiliki kandungan asam lemak jenuh lebih

besar dari minyak nabati yang baru. Hal ini disebabkan pada proses penggorengan terjadi perubahan rantai tak jenuh menjadi rantai jenuh pada senyawa penyusunnya.

Senyawa yang terkandung dalam minyak goreng adalah trigliserida atau triasilgliserida, yaitu senyawa ester yang tersusun atas senyawa-senyawa asam lemak rantai panjang (R) dan gliserol. Struktur dari senyawa trigliserida secara umum dapat dilihat pada Gambar 1 (Dewati, 2013).



Gambar 1. Struktur Molekul Trigliserida

2. Biodiesel

Biodiesel berasal dari kata bio dan diesel. Kata “bio” merepresentasikan sumber bahan baku yang bersifat *renewable* dan berasal dari makhluk hidup yang bertolak belakang dengan bahan bakar diesel konvensional yang berasal dari minyak bumi, sedangkan “diesel” mengacu pada penggunaan mesin diesel. *The American Society for Testing and Materials (ASTM)* mendefinisikan biodiesel sebagai ester monoalkil dari rantai panjang asam lemak yang diturunkan dari bahan baku lipid yang bersifat *renewable*, seperti minyak nabati atau lemak hewan (Zhang, dkk, 2003; Yakoob, dkk., 2013).

Encinar, dkk (2007), menyebutkan bahwa penggunaan biodiesel memberikan beberapa keuntungan, diantaranya adalah :

- Merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan dengan gas buangan lebih rendah dibandingkan petrodiesel.
- Bilangan cetan yang lebih tinggi daripada petrodiesel.
- Sumber Energi terbarukan.
- Tidak memerlukan modifikasi mesin dalam penggunaannya.

Selain itu, menurut Lotero, dkk (2005), kelebihan lain biodiesel adalah mampu memberikan daya lumas (*lubricity*) yang lebih tinggi terhadap mesin sehingga mengurangi frekuensi penggantian bagian-bagian mesin.

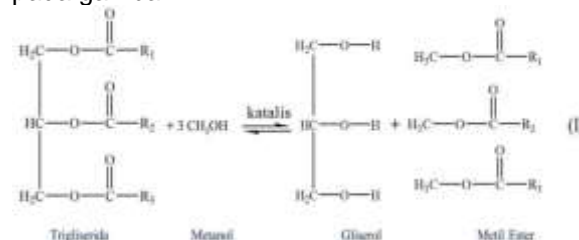
Selama ini penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar mesin diesel terkendala oleh viskositasnya yang tinggi, yaitu mencapai 10-20 kali lipat dari viskositas petrodiesel. Nilai viskositas yang tinggi akan menyulitkan pemompaan bahan bakar dari tangki ke ruang

bahan bakar mesin dan menyebabkan atomisasi lebih sukar terjadi sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna.

3. Reaksi Transesterifikasi Metanolisis

Reaksi transesterifikasi adalah reaksi berantai. Proses pertama yang terjadi adalah reduksi senyawa trigliserida menjadi digliserida, selanjutnya gugus senyawa digliserida tersebut tereduksi lagi menjadi gugus senyawa monogliserida dan pada akhirnya gugus senyawa gliserida tersebut tereduksi menjadi ester dan gliserol (Encinar, dkk, 2007; Ma dan Hanna, 1999).

Minyak jelantah memiliki kandungan asam lemak yang berbeda-beda tergantung dari bahan baku, suhu dan lama penggunaan (Dewati, 2013). Untuk minyak jelantah dengan kandungan asam lemak bebas kurang dari 5% dapat langsung dilakukan proses transesterifikasi tanpa harus melalui proses esterifikasi terlebih dahulu (Berchmans dan Hirata, 2008). Reaksi transesterifikasi ditunjukkan pada gambar 2 :



Gambar 2. Reaksi transesterifikasi

Pada penelitian ini jenis alkohol yang digunakan adalah metanol karena 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, dkk, 2006). Sehingga reaksi untuk menghasilkan biodiesel disebut dengan reaksi metanolisis.

4. Faktor yang Mempengaruhi Reaksi Transesterifikasi

Parameter yang mempengaruhi yield ester yang dihasilkan pada reaksi transesterifikasi adalah perbandingan reaktan, katalisator, waktu reaksi, suhu reaksi serta kecepatan pengadukan. Kandungan air serta *free fatty acid* (FFA) juga berpengaruh dalam reaksi.

- Perbandingan reaktan

Pada reaksi transesterifikasi dibutuhkan 1 mol trigliserida dan 3 mol alkohol untuk mendapatkan 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi *reversible*. Untuk membuat agar reaksi bergeser ke arah produk, maka digunakan

alkohol berlebih (Vicente, dkk, 2006). Penggunaan alkohol yang berlebih juga akan meningkatkan frekuensi tumbukan sehingga kecepatan reaksi juga akan meningkat (Fogler, 1999).

b. Katalisator

Katalisator berfungsi untuk mengaktifkan zat-zat pereaksi, sehingga tumbukan antara zat-zat pereaksi semakin besar. Selain itu, katalisator berfungsi menurunkan energi aktivasi, sehingga reaksi berlangsung lebih cepat. Keberadaan katalis akan mempercepat terjadinya keseimbangan reaksi (Ma dan Hanna., 1999). Dalam reaksi transesterifikasi, penggunaan katalis basa lebih tepat daripada katalis asam. Penggunaan katalisator basa kurang cocok untuk bahan baku dengan kandungan asam lemak bebas yang tinggi karena menyebabkan pembentukan beberapa produk samping terutama sabun dan garam yang harus dipisahkan.

c. Waku reaksi

Semakin panjang waktu reaksi maka kesempatan zat-zat untuk bereaksi semakin banyak sehingga konversi semakin besar. Pada saat keseimbangan reaksi tercapai, bertambahnya waktu reaksi tidak akan meningkatkan konversi. Yield akan meningkat pada awal reaksi sampai mencapai kondisi maksimum, kemudian menurun secara perlahan (Dewati, 2013).

d. Suhu reaksi

Menurut Smith (1981), laju reaksi semakin meningkat dengan kenaikan suhu karena terjadinya tumbukan antar molekul reaktan semakin besar. Pengaruh suhu terhadap konstanta laju reaksi dinyatakan dengan persamaan Arrhenius

$$k = Ae^{-\frac{E}{RT}}$$

Keterangan :

- k : Konstanta kecepatan reaksi
- A : Konstanta Arrhenius
- E : Energi Aktivasi (kJ/mol)
- R : Tetapan gas ideal (8,314 J/mol K)
- T : Suhu (K)

e. Kecepatan pengadukan

Pengadukan dapat menurunkan tahanan transfer massa dan mempercepat difusi zat yang bereaksi (Fogler, 1999). Kecepatan pengadukan 600 rpm digunakan untuk memperkecil hambatan transfer massa (Marjanovic, dkk, 2010).

f. Kandungan air

Kemurnian dari bahan baku akan mempengaruhi hasil dari reaksi. Bahan baku minyak dan alkohol seharusnya memiliki ketiadaan air yang sangat tinggi. Ketiadaan air dalam proses transesterifikasi sangatlah

penting karena air akan menghidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas.

g. Kandungan asam lemak bebas / *Free Fatty Acid* (FFA)

Batas keberadaan asam lemak bebas yang masih dapat diijinkan untuk dilakukan reaksi transesterifikasi adalah pada kisaran 5%. Diatas nilai tersebut, sabun yang terbentuk dapat menyebabkan terbentuknya gel yang menghambat reaksi. Adanya sabun dapat menghambat reaksi serta mempersulit pemisahan gliserol dengan produk (Gerper dan Knothe, 2005).

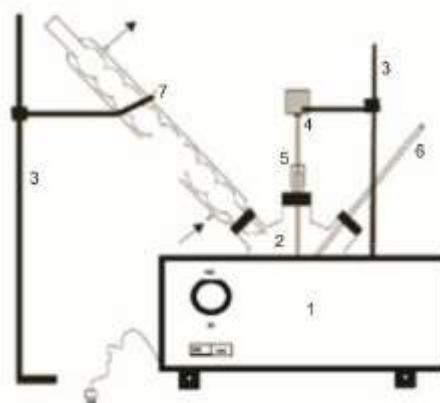
METODE PENELITIAN

1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah minyak jelantah, metanol dan batu gamping

2. Alat Penelitian

Alat yang digunakan adalah labu leher tiga, pengaduk merkuri, pendingin balik, termometer, *water bath*, labu distilasi, corong pisah, gelas ukur, erlenmeyer, neraca digital.



Gambar 3. Rangkaian Alat Transesterifikasi

Keterangan:

- 1. *Water bath*
- 2. Labu leher tiga
- 3. Statif dan klem
- 4. Motor pengaduk
- 5. Pengaduk
- 6. *Termometer*
- 7. Pendingin balik

3. Variabel yang diteliti

Variabel yang diambil pada penelitian ini adalah suhu reaksi dari 50, 60, 70, sampai 80°C.

4. Prosedur Penelitian

Penelitian ini meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Pembuatan Katalis

Memperkecil batu gamping hingga mencapai butiran sebesar 120 mesh. Masukkan butiran batu gamping tersebut ke dalam krus porselen kemudian dikalsinasi pada suhu 850°C selama 2 jam.

b. Preparasi bahan

Minyak goreng dicampur dan dihomogenkan. Setelah itu, mempersiapkan katalis dari batu gamping serta metanol 96%.

c. Proses transesterifikasi metanolisis

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang sebelumnya dilakukan oleh Ainiya (2016). Dari penelitian tersebut didapatkan hasil perbandingan mol reaktan maksimal sebesar 1:15 dan berat katalis batu gamping (CaO) sebesar 4%. Selanjutnya minyak jelantah sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam labu leher tiga, ditambah dengan katalis batu gamping (CaO) 4% berat, metanol 96% sebanyak 224,56 mL. Ketiga bahan campuran tadi dilakukan proses transesterifikasi selama 2 jam dengan variasi suhu yang telah ditentukan dan tekanan 1 atm. Pengadukan diatur dengan kecepatan konstan 500 rpm.

d. Pemurnian metil ester

Campuran produk yang akan dimurnikan, dimasukkan kedalam corong pisah kemudian didiamkan selama 24 jam agar terpisah secara sempurna. Lapisan atas mengandung biodiesel dan metanol sedangkan lapisan bawah adalah gliserol dan sisa katalis.

Lapisan bagian atas yang kaya akan biodiesel (metil ester) diambil. Selanjutnya lapisan atas yang telah terambil tersebut, didistilasi agar sisa metanol dalam hasil menguap dan menghasilkan biodiesel yang lebih murni. Distilasi dilakukan pada titik didih metanol yaitu suhu 65°C sampai tidak ada distilat yang menetes lagi. Residu yang terbentuk dituang ke dalam botol kemudian disimpan.

e. Perhitungan *yield* metil ester

Metil ester yang diperoleh selanjutnya ditimbang untuk mengetahui berat yang diperoleh, sehingga dapat dihitung jumlah *yield* yang didapatkan dalam setiap sampel.

$$\text{Yield} = \frac{\text{berat metil ester terambil}}{\text{berat bahan baku}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Analisis Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak jelantah, metanol 96%, dan katalis kalsium oksida (CaO). Analisis bahan baku yang dilakukan meliputi analisis kadar air, *Free Fatty Acid* (FFA), kemurnian kalsium oksida (CaO) dan luas permukaan aktif pada katalis kalsium oksida (CaO). Hasil analisis kadar air minyak jelantah diperoleh sebesar 1,04% dan FFA minyak jelantah diperoleh sebesar 3,74%. Kemurnian katalis kalsium

oksida (CaO) dalam batu gamping mencapai 94,5945% dan memiliki luas permukaan aktif sebesar 12,219 m²/g.

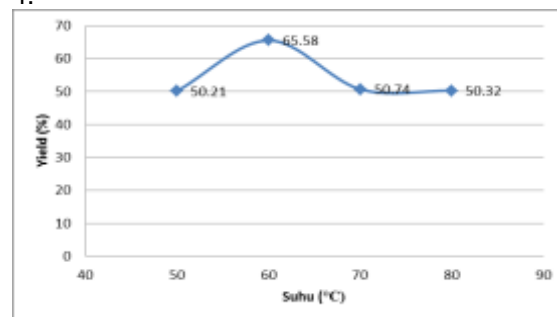
2. Hasil Analisis Biodiesel dengan Variasi Suhu Reaksi

Pada prosedur penelitian ini menggunakan perbandingan mol minyak jelantah dan metanol sebesar 1:15. Volume minyak jelantah sebesar 100 mL dan volume metanol sebesar 224,56 mL. Reaksi transesterifikasi diatur konstan pada kecepatan pengadukan 500 rpm dan waktu reaksi 120 menit pada suhu yang bervariasi. Hasil *yield* bioiesel (metil ester) pada variasi suhu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Yield* Biodiesel (Metil Ester) pada Variasi Suhu

Variasi Suhu (°C)	Berat Metil Ester (gram)	<i>Yield</i> Metil Ester (%)
50	47,7	50,21
60	62,3	65,58
70	48,2	50,74
80	47,8	50,32

Untuk melihat pengaruh variasi suhu operasi terhadap *yield* biodiesel (metil ester) dapat digambarkan dengan grafik pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Variasi Suhu (°C) terhadap *Yield* Biodiesel (Metil Ester)

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa terdapat kenaikan *yield* biodiesel (metil ester) yang signifikan dari suhu 50°C ke suhu 60°C. Kenaikan *yield* biodiesel sebanyak 15,37% yaitu dari 50,21% menjadi 65,58%. *Yield* biodiesel (metil ester) mengalami penurunan yang signifikan dari suhu 60°C ke suhu 70°C. Penurunan terjadi sebanyak 14,84% yaitu dari 65,58% menjadi 50,74%. Sedangkan dari suhu 70°C ke suhu 80°C *yield* biodiesel (metil ester) terlihat konstan dari 50,74% menjadi 50,32%.

Saat proses transesterifikasi pada suhu 50°C, suhu belum mencapai titik didih metanol sehingga reaksi belum berjalan secara sempurna. Pada suhu 70°C terjadi penurunan

jumlah *yield* biodiesel (metil ester), ini disebabkan tidak sempurnanya proses pembuatan biodiesel karena titik didih metanol adalah 64,7°C maka metanol akan cepat menguap jika bereaksi melebihi titik didihnya sendiri sebelum terjadinya proses biodiesel yang sempurna karena, biodiesel memiliki perbandingan rasio mol yang sudah ditetapkan agar hasil biodiesel sesuai dengan standar. Campuran antara biodiesel dan metanol yang bersuhu tinggi menyebabkan metanol cepat menguap.

3. Perbandingan Produk Biodiesel dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian biodiesel sebelumnya juga telah dilakukan dengan bahan baku minyak goreng bekas/minyak jelantah. Penelitian tersebut mengenai pengaruh suhu reaksi terhadap biodiesel yang dihasilkan. Perbandingan hasil produk biodiesel dengan penelitian sebelumnya dapat terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Produk Biodiesel dengan Penelitian Sebelumnya

No.	Produk Biodiesel	Suhu Reaksi (°C)	Yield (%)
1	Biodiesel dengan katalis batu gamping (CaO) kalsinasi 850°C	50-80	50,21-65,58
2	Biodiesel dengan katalis cangkang kerang darah (CaO) kalsinasi 900°C (Setiowati, dkk, 2014)	50-70	65-81
3	Biodiesel dengan katalis NaOH (Wahyuni, dkk, 2015)	40-80	45-76
4	Biodiesel dengan katalis NaOH (Utami, dkk, 2007)	55-70	11-12,5

Produksi biodiesel menggunakan katalis batu gamping (CaO) dengan suhu kalsinasi 850°C dilakukan dengan memvariasikan suhu reaksi pada 50, 60, 70, 80°C dengan katalis 4% berat, perbandingan mol reaktan adalah 1:15 direaksikan selama 2 jam dengan kecepatan putar konstan 500 rpm. Dari kondisi operasi tersebut didapatkan kondisi optimal pada suhu

60°C dengan *yield* biodiesel sebanyak 65,58%.

Menurut penelitian Setiowati, dkk (2014), produksi biodiesel menggunakan katalis cangkang kerang darah dengan suhu kalsinasi 900°C dilakukan dengan memvariasikan suhu reaksi pada 50, 55, 60, 65 dan 70°C dengan variabel tetap berat katalis 3%, rasio mol minyak dan metanol 1:15 dan waktu reaksi 3 jam. Hasil biodiesel meningkat ketika suhu reaksi mencapai 60°C, karena pada awal reaksi reaktan langsung bereaksi dengan katalis. Hasil biodiesel menurun ketika suhu reaksi mencapai 65°C, karena metanol menguap (titik didih metanol 64,5°C) sehingga reaktan menjadi berkurang dalam media reaksi. Dari kondisi operasi tersebut didapatkan hasil optimal pada suhu 60°C dengan *yield* biodiesel sebanyak 81%.

Menurut penelitian Wahyuni, dkk (2015), produksi biodiesel menggunakan katalis NaOH dengan memvariasikan suhu reaksi pada 40, 50, 60, 70, dan 80°C dengan variabel tetap katalis 15 gram. Sempurnanya sebuah reaksi transesterifikasi tergantung pada suhu proses, dimana perbedaan suhu menunjukkan persentase rendemen yang berbeda-beda pula. Perbedaan rendemen tersebut disebabkan oleh beberapa hal yaitu, suhu dan ketelitian dalam menghomogenisasikan campuran antara bahan baku katalis dan metanol. Saat suhu proses 50°C bahan baku dari minyak jelantah sudah menerima panas yang maksimal untuk bereaksi dibanding dengan suhu lainnya. *Yield* yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi ini sebanyak 76% pada suhu 50°C.

Menurut penelitian Utami, dkk (2007), produksi biodiesel menggunakan katalis NaOH dengan memvariasikan suhu reaksi pada 55, 60, 65, dan 70°C dengan variabel tetap berat katalis 1%, perbandingan reaktan adalah 6:1 dan kecepatan putar konstan 195 rpm selama 90 menit. Reaksi transesterifikasi tersebut dijalankan dalam reaktor *batch*. Kondisi optimum pada reaksi transesterifikasi ini didapat pada suhu 70°C dengan perolehan *yield* biodiesel sebanyak 12,5%.

Hasil penelitian pembuatan biodiesel dengan katalis batu gamping (CaO) lebih baik jika dibandingkan dengan Wahyuni, dkk (2015) dan Utami, dkk, (2007) karena memiliki nilai *yield* yang lebih besar. Akan tetapi jika dibandingkan dengan penelitian Setiowati, dkk (2014) mempunyai nilai *yield* yang lebih kecil. Hal ini mungkin disebabkan karena kondisi operasi yang berbeda seperti suhu reaksi, perbandingan reaktan, katalis, dan kecepatan pengadukan. Dari perbandingan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa produk biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis CaO berpotensi untuk produk skala industri karena menghasilkan *yield* sebesar 50,21%-65,58% yang artinya lebih

besar nilai *yield*nya jika dibanding dengan hasil penelitian Wahyuni, dkk (2015) dan Utami, dkk (2007) dengan nilai *yield* sebesar 45%-76% dan 11%-12,5%.

4. Hasil Analisis Biodiesel Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI)

Hasil proses metanolisis dianalisis sesuai dengan standar mutu biodiesel. Analisis biodiesel yang dilakukan meliputi massa jenis, viskositas kinematis produk pada suhu 40°C, titik nyala (*flash point*) dan titik tuang (*pour point*). Perbandingan hasil analisis biodiesel dengan SNI dapat dilihat pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisis Biodiesel dengan SNI

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Hasil Analisis	SNI Biodiesel
1.	Massa Jenis	kg/m ³	890	850-890
2.	Viscosity Kinematic at 40°C	mm ² /s	0,929	2,3-6,0
3.	Flash Point PM.cc	°C	21,5	Min. 100
4.	Pour Point	°C	-3	Max. 18

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Reaksi transesterifikasi pada pembuatan biodiesel dari minyak jelantah mencapai kondisi optimum pada suhu 60°C.
2. Kondisi optimum proses pembuatan biodiesel secara metanolisis dengan perbandingan mol minyak jelantah dan metanol 1:15, katalis CaO 4% berat, dan pengadukan konstan 500 rpm diperoleh pada suhu 60°C dengan *yield* biodiesel (metil ester) 65,58%
3. Karakteristik biodiesel dari minyak jelantah yang dihasilkan dalam penelitian ini belum semuanya memenuhi standar yang telah ditentukan. Densitas dan titik tuang sudah memenuhi standar yang telah ditentukan, sedangkan untuk titik nyala dan viskositas kinematis masih dibawah standar.

DAFTAR PUSTAKA

Ainiya, C., 2017, Evaluasi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dan Katalisator Batu Gamping dengan Proses Metanolisis, *Laporan Penelitian*, Jurusan Teknik Kimia, Institut Sains dan Teknologi Akprind, Yogyakarta

Badan Standarisasi Nasional, 2015, *Standar Nasional Biodiesel*, Nomor 7182.

Dewati, P. R., 2013, *Optimasi Proses dan Studi Kinetika Reaksi Pada Sintesa Biodiesel Dari Used Cooking Oil (CPO) Dengan Reaksi Etanolisis*, Tesis diajukan pada Fakultas Pascasarjana UGM, Yogyakarta.

Encinar, J. M, Gonzales, J.F., dan Reinares, R., 2007, *Ethanolysis of Used Frying Oil. Biodiesel Preparation and Characterization Fuel Process, Technol.*, 88: 513-522.

Fogler, H.S., 1999, *Element of Chemical Reaction Engineering*, Prentice-Hall inc., New York.

Freedman, B., R.O. Butterfield, dan E.H. Pryde, 1986, *Transesterification Kinetics of Soyben Oil*, JAOCS, 63: 1375 –1380.

Gerper, J.V. and Knothe, G., 2005, *The Biodiesel Handbook*, AOCS Press.

Hambali, E., S. Mujdalipah, A.H. Tambunan, A.W. Pattiwiri, dan R. Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. PT. Agromedia Pustaka, Jakarta.

Ketaren, S., 1986, *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, Edisi 1. Universitas Indonesia pers, Jakarta

Lam, M.K., Lee, K.T., dan Mohammed, A.R., 2010, *Homogeneous, Heterogeneous, and Enzymatic Catalysis for Transesterification of High Free Fatty Acid Oil (Waste Cooking Oil) to Biodiesel, A review*, Biotechnol. Adv., 28: 500-518.

Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D.E., Suwannakarn, K., vruce, D.A., dan Goodwin, J.G., 2005, *Synthesis of Biodiesel Acid Catalysis*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44: 5353 – 5363.

Ma, F. & Hanna, M.A. 1999. *Biodiesel Production: a Review Bioresource Technology*, 70(1): 1-15.

Marjanovic, A.V., Stamenkovic, O.S., Todorovic, Z.B., Lazic, M.L., dan Veljkovic, V.B., 2010, *Kinetic of Base-Catalyzed Sunflower Oil Ethanolysis*, *Fuel*, 89: 665-671.

Marwan, dkk., (2006), *Etanolisis Minyak Sawit Dengan Katalis CaCO Untuk Produksi Biodiesel*, Jurusan Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.

Prihandana R., Hendroko R. dan Nuramin M., 2006, *Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*, Jakarta: PT. Agromedia Pustaka.

Setyowati, R., Nurhayati, dan Amilia Linggawati, 2014, *Produksi Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Menggunakan Katalis CaO Cangkang Kerang Darah Kalsinasi 900°C*, Pekanbaru: Jurnal JOM FMIPA Vol. 1 No. 2.

- Smith, J.M., 1981, *Chemical Engineering Kinetics*, 3rd ed., Mc Graw Hill, Singapore
- Utami, T. S., Rita Arbianti, dan Doddy Nurhasman, 2007, *Kinetika Reaksi Transesterifikasi CPO terhadap Produk Metil Palmitat dalam Reaktor Tumpak*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia : ISSN 1410: 5667
- Van Gerpen, J. 2005. Biodiesel Processing and Production, *Fuel Processing Technology*, 86(10): 1097-1107.
- Vicente, G., Martinez, M., Aracil, J., 2006, A comparative study of vegetable oils for biodiesel production in Spain, *Energi & Fuels*, 20: 394-398.
- Wahyuni, S., Ramli, dan Mahrizal, 2015, Pengaruh Suhu Proses dan Lama Pengendapan Terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah, *PILLAR of PHYSYCS*, Univeristas Negeri Padang, 6: 33-40.
- Yaakob, Z., Mohammad M., Alherbawi, M., Alam, Z., dan Sopian, K., 2013, Overview of the Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 18: 184-193.
- Zhang, Y., Dubé, M.A., McLean, D.D., dan Kates, M.. 2003. Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: 1. Process Design and Technological Assessment. *Bioresource Technology*, 89: 1-16.