

Karakterisasi Katalis CaO dan Uji Aktivitas pada Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Kedelai

Setiarto Pratigto*, Istadi Istadi dan Dyah Hesti Wardhani

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
Email: setiartoprartigto30@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini akan mengkaji kinetika reaksi transesterifikasi minyak kedelai dengan metanol menggunakan katalis CaO dengan parameter rasio mol reaktan terhadap konversi metil ester yang digunakan untuk menentukan persamaan kecepatan reaksi. Katalis CaO digunakan untuk reaksi transesterifikasi karena memiliki kekuatan basa yang tinggi, ramah lingkungan, kelarutan yang rendah dalam metanol. Kinetika reaksi untuk reaktor batch dihitung saat reaksi berlangsung berdasarkan rejim surface area limited yang menentukan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui bentuk persamaan kecepatan reaksi transesterifikasi minyak kedelai dan metanol menggunakan katalis CaO menurut metode differential reactor. Penelitian dilakukan dengan reaksi transesterifikasi minyak kedelai dan metanol dengan katalis CaO dengan variabel bebas perbandingan mol reaktan. Hasil penelitian mengemukakan metanol teradsorpsi di permukaan katalis dan trigliserida tidak teradsorpsi di permukaan katalis menunjukkan mekanisme reaksi katalitik Eley-Rideal. Persamaan kecepatan reaksi dapat digunakan dalam perancangan reaktor, sehingga hubungan antara konversi trigliserida menjadi biodiesel dengan kebutuhan berat katalis dan volume reaktor yang diperlukan dapat diprediksi.

Kata kunci: CaO, batch, karakterisasi, kinetika, transesterifikasi

Abstract

Characterization of CaO Catalyst and Activity Test In The Kinetic of Soybean Oil Transesterification Reactions

This study will examine the kinetics of the transesterification reaction of soybean oil with methanol using a CaO catalyst with the parameters of the mole ratio of reactants to the conversion of methyl esters used to determine the reaction velocity equation. CaO catalyst is used for transesterification reaction because it has high base strength, environmentally friendly, low solubility in methanol. The reaction kinetics for a batch reactor are calculated when the reaction takes place based on a decisive surface area limited regime. The purpose of this study was to determine the shape of the speed equation for the transesterification of soybean oil and methanol using a CaO catalyst according to the differential reactor method. The research was carried out with the transesterification reaction of soybean oil and methanol with a CaO catalyst with a free variable ratio of reactant moles. The results of the study revealed that methanol adsorbed on the surface of the catalyst and triglycerides not adsorbed on the surface of the catalyst showed an Eley-Rideal catalytic reaction mechanism. The reaction speed equation can be used in reactor design, so the relationship between the conversion of triglycerides to biodiesel with the required catalyst weight and the reactor volume required can be predicted.

Keywords : CaO; batch, characterization, kinetics, transesterification

PENDAHULUAN

Biodiesel adalah senyawa ester asam lemak yang dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak (trigliserida) maupun esterifikasi asam lemak yang berasal dari minyak nabati atau hewani dengan alkohol rantai pendek. Kandungan asam lemak bebas atau free fatty acid (FFA) bahan baku merupakan salah satu faktor penentu jenis proses pembuatan biodiesel. Minyak murni (refined vegetable oil) pada umumnya, memiliki kadar FFA rendah (<2%) sehingga dapat langsung diproses dengan metode transesterifikasi. Jika kadar FFA minyak tersebut masih tinggi (>2%), sebelumnya perlu dilakukan proses esterifikasi. Berdasarkan kondisi tersebut, proses produksi biodiesel perlu dilakukan analisis kadar FFA terlebih dahulu. Bahan baku dalam pembuatan biodiesel misalnya minyak goreng bekas (Tran *et al.*, 2016), minyak jarak (Sanchez *et al.*, 2015), minyak kacang tanah (Jazie *et al.*, 2013), minyak sawit (Wong *et al.*, 2015), minyak kelapa, minyak kedelai (Kouzu *et al.*, 2008; Lu *et al.*, 2015; Palacios-Nereo *et al.*, 2016), minyak biji kapuk, minyak biji karet, minyak kemiri sunan, minyak rapeseed (Wang *et al.*, 2013) dan minyak bunga matahari (Kostic *et al.*, 2016).

Penggunaan katalis homogen memiliki kekurangan sebab katalis terlarut sempurna dalam gliserol dan larut sebagian dalam biodiesel sehingga sulit dipisahkan dan sulit dalam pemurnian produk, katalis tersebut tidak dapat digunakan kembali dan perlu treatment khusus agar tidak mencemari lingkungan (Gerpen *et al.*, 2004), sehingga digantikan oleh katalis heterogen. Katalis heterogen lebih mudah dalam pemurnian produk biodiesel yang dapat mengurangi biaya produksi biodiesel, dapat digunakan kembali, eco-friendly dan ramah lingkungan (Sanchez *et al.*, 2015). Kalsium oksida (CaO) banyak digunakan untuk reaksi transesterifikasi karena memiliki kekuatan basa yang relatif tinggi, ramah lingkungan, kelarutan yang rendah dalam metanol dan dapat disintesis dari sumber yang murah seperti batu kapur, kalsium hidroksida, batu gamping, dan yang lainnya yang mengandung kalsium karbonat (CaCO₃; mineral kalsit) (Zabeti *et al.*, 2009). CaO dapat digunakan pada reaksi transesterifikasi karena sifat dasarnya (Boey *et al.*, 2011; Kouzu *et al.*, 2008). CaO dapat dihasilkan

dari dekomposisi CaCO₃ pada temperatur tinggi (Kouzu & Hidaka, 2012). Penelitian ini akan dikaji kinetika transesterifikasi minyak kedelai dengan metanol menggunakan katalis kalsium oksida dengan parameter temperatur reaksi, rasio mol reaktan, waktu reaksi dan konsentrasi katalis terhadap konversi metil ester. Data eksperimen diperoleh lebih valid dan tidak asumsi lagi dalam mengamati *surface reaction* katalis, adsorpsi dan desorpsi dalam reaksi yang terjadi. Hasil analisis akan menentukan mekanisme reaksi katalis yang sesuai sehingga dapat menentukan model bentuk persamaan kecepatan reaksi transesterifikasi dengan menggunakan metode *differential reactor*. Model tersebut divalidasi dengan data eksperimen dan dari penurunan persamaan kinetika dapat diperoleh model desain reaktor yang cocok dalam mengoptimasi metil ester yang diperoleh, dalam hal ini reaktor batch. Perancangan ini untuk mengetahui jumlah reaktan dan produk yang besar. Algoritma penelitian ini yaitu mengembangkan persamaan kecepatan reaksi yang konsisten dengan observasi eksperimen, menganalisis kecepatan reaksi sehingga parameter-parameter kecepatan (k, K_A) dapat diekstraksi dari eksperimen, menemukan mekanisme dan tahap reaksi yang menentukan, konsisten dengan data eksperimen, dan merancang reaktor katalitik batch untuk mencapai konversi tertentu. sehingga pada penelitian ini akan dipelajari dan dibandingkan berbagai macam model persamaan kinetika reaksi dengan menggunakan katalis CaO dalam reaksi transesterifikasi minyak kedelai yang merupakan keunikan dari penelitian ini daripada penelitian lainnya, maka permasalahan yang diteliti adalah (1) bagaimana bentuk persamaan kecepatan reaksi transesterifikasi minyak kedelai dan metanol menggunakan katalis CaO, dan (2) bagaimana persamaan kecepatan reaksi tersebut digunakan untuk pemodelan reaktor menurut metode *differential reactor*.

METODOLOGI

Proses sintesis CaO merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Kouzu *et al* (2008) dengan cara kalsinasi padatan CaCO₃ dalam furnace pada suhu 900^oC selama 2 jam. Setelah dikalsinasi selama 2 jam, padatan CaO dibiarkan mencapai

suhu kamar 27°C dan dimasukkan ke dalam desikator untuk mencegah terjadinya kontak antara permukaan katalis dengan uap air di dalam ruangan, yang mengakibatkan menurunnya kekuatan basa katalis

Transesterifikasi dilakukan pada rangkaian reaktor batch dengan labu reaksi leher tiga dengan kapasitas 500 ml. Kemudian menempatkan minyak kedelai, metanol dengan rasio volume minyak : metanol, menambahkan CaO sebanyak 3%(%b/v) berat trigliserida dalam labu leher tiga lalu direaksikan pada suhu 60°C selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan reaksi transesterifikasi sebesar 450 rpm. Perbandingan rasio mol minyak kedelai dan metanol divariasikan, agar dapat diamati ketergantungan kecepatan reaksi terhadap masing-masing reaktan.

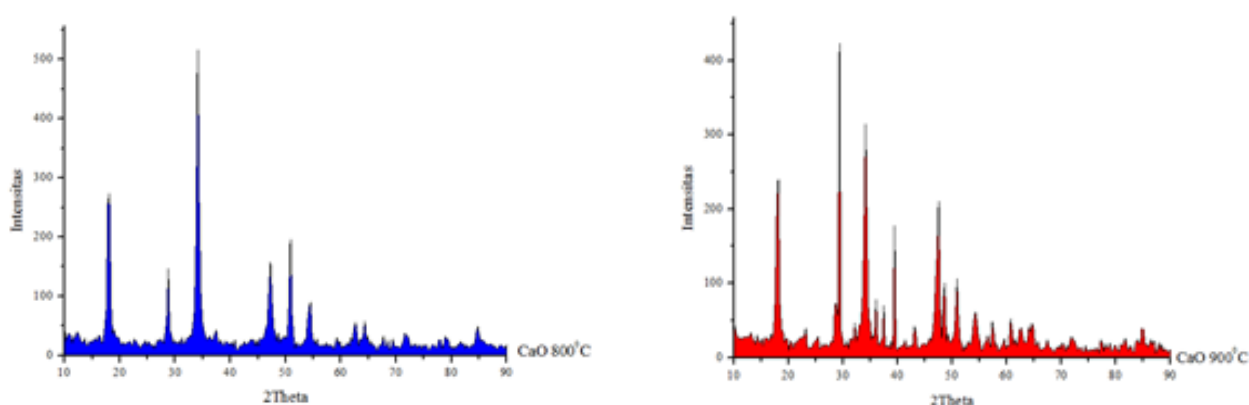
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis fasa mineral pada katalis CaO dengan XRD, analisis ini digunakan untuk menentukan fasa kristalinitas struktur kristal katalis CaO. Difraktogram dari katalis CaO dengan temperatur kalsinasi 900°C dibandingkan dengan CaO temperatur kalsinasi 800°C disajikan pada Gambar 1.

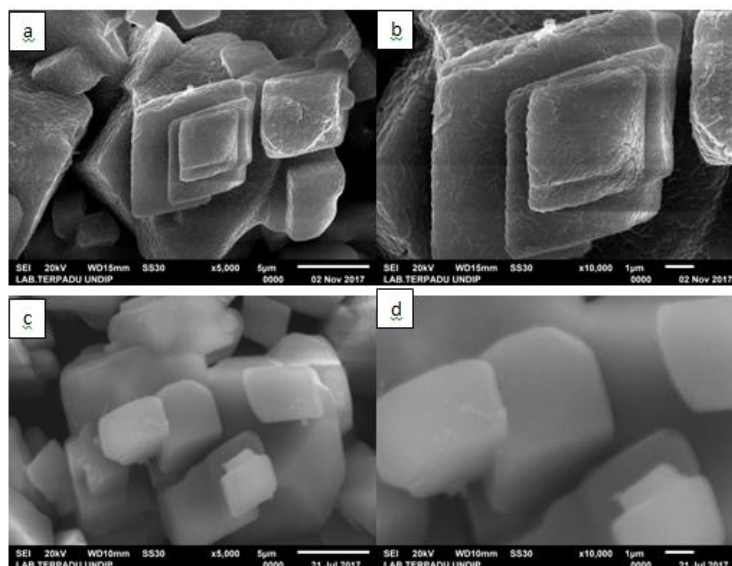
Gambar 1 menunjukkan bahwa senyawa CaO kalsinasi 900°C memiliki intensitas puncak yang cukup tajam yaitu $2\theta = 29,42410$, $34,07880$, dan $47,50810$. Sedangkan CaO pembandingan dengan kalsinasi 800°C memiliki intensitas puncak yaitu $2\theta = 18,03680$, $34,11610$, dan $50,80320$. Jika

mengacu dengan data CaO standar menurut JCPDS Nomor 01-077-2376 pada $2\theta = 32,2210$, $37,2010$, dan $53,8900$ maka intensitas puncak CaO kalsinasi 900°C hasilnya cukup baik dan tajam. Tingkat intensitas menunjukkan tingkat kekristalannya, sehingga semakin tinggi intensitas maka kekristalannya semakin baik. Kenaikan temperatur kalsinasi pada 900°C memberikan difraktogram dengan puncak-puncak yang tajam dengan intensitas yang tinggi. Hal ini menandakan bahwa sampel telah berbentuk kristal dengan tingkat kristalinitas yang tinggi. Hasil karakterisasi menggunakan XRD selain untuk mengetahui fasa kristal juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal. Katalis CaO hasil temperatur kalsinasi 800°C selama 2 jam memiliki kristalinitas sebesar 71,8449% sedangkan CaO temperatur kalsinasi 900°C selama 2 jam memiliki kristalinitas sebesar 81,0367%, sehingga CaO hasil temperatur kalsinasi 900°C memiliki kristalinitas yang lebih baik dan digunakan untuk reaksi transesterifikasi minyak kedelai pada tahap selanjutnya.

Analisis morfologi partikel pada katalis CaO dilakukan dengan instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Analisis ini digunakan untuk melihat struktur permukaan sampel katalis CaO hasil temperatur kalsinasi 900°C . Hasil foto SEM katalis CaO hasil temperatur kalsinasi 900°C dibandingkan dengan katalis CaO hasil temperatur kalsinasi 800°C pada perbesaran 5.000 kali dan 10.000 kali disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Difraktogram katalis CaO temperatur kalsinasi 900°C dengan pembandingan CaO temperatur kalsinasi 800°C

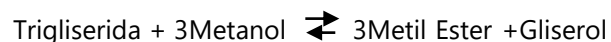


Gambar 2. Foto SEM perbesaran 5.000 kali dan 10.000 kali pada CaO hasil temperatur kalsinasi 900^oC gambar (c) dan (d) dibandingkan dengan CaO hasil temperatur kalsinasi 800^oC gambar (a) dan (b)

Gambar 2 menunjukkan morfologi partikel pada katalis CaO hasil temperatur kalsinasi 900^oC berbentuk lebih teratur dan rata daripada katalis CaO hasil temperatur kalsinasi 800^oC. Semakin tinggi temperatur kalsinasi menyebabkan ukuran partikel menjadi lebih besar dan teratur, ukuran partikel teratur dibuktikan dengan hasil foto SEM pada CaO hasil temperatur kalsinasi 900^oC. pengaruh kalsinasi pada temperatur tinggi menyebabkan konversi CaCO₃ menjadi CaO membuat ukuran partikel menjadi besar, teratur dan distribusi partikel lebih seragam. Madhu *et al.* (2014) menjelaskan bahwa efek kalsinasi dari temperatur 800^oC sampai 1000^oC tidak hanya menghilangkan lemak dan protein sehingga warna katalis menjadi putih tetapi juga membuat struktur porositas katalis semakin bertambah. Sehingga katalis CaO hasil kalsinasi 900^oC yang digunakan untuk tahap selanjutnya.

Analisis luas permukaan pada katalis CaO hasil sintesis dilakukan dengan instrumen *Surface Area Analyzer type Quantachrome NovaWin 1200e*. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui luas permukaan, volume dan rerata jari-jari pori katalis dapat ditentukan pula dengan menggunakan metode BET. Metode BET didasarkan pada fenomena adsorpsi gas lapis tunggal yang berlangsung pada temperatur tetap. Pada analisis ini digunakan gas nitrogen sebagai adsorbat pada

permukaan katalis. Dari hasil karakterisasi dengan XRD dan SEM diperoleh hasil katalis CaO hasil kalsinasi 900^oC selama 2 jam yang memiliki hasil baik, maka hanya katalis CaO 900^oC yang dikarakterisasi dengan SAA. Hasil pengukuran katalis CaO hasil kalsinasi 900^oC dengan metode teori BET diperoleh luas permukaan sebesar 23,604 m²/g, energi adsorpsi senilai 5,376 kJ/mol, luas permukaan mikropori sebesar 19,957 m²/g, dan volume mikropori senilai 0,007 cc/g. Penelitian ini mengkaji kinetika reaksi transesterifikasi pada reaktor batch. Konsentrasi produk dipantau untuk kondisi umpan yang berbeda pada saat operasi *steady-state*. Reaktan minyak kedelai (Trigliserida) dan metanol bereaksi melewati katalis padat CaO menghasilkan biodiesel (metil ester) dan gliserol menurut persamaan reaksi berikut:



Kondisi pengujian reaktor batch dengan katalis 3% CaO yang digunakan pada penelitian ini adalah suhu reaksi 60^oC dan waktu reaksi 1 jam. Model kinetika reaksi diperkirakan dengan menggunakan data percobaan dengan mengikuti metode yang dituliskan di Fogler (2006). Data

percobaan digunakan untuk menentukan reaktan yang teradsorpsi pada permukaan katalis. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan perbandingan mol minyak dengan metanol. Untuk menentukan apakah metanol teradsorpsi pada permukaan katalis, perbandingan mol minyak dengan metanol divariasikan pada konsentrasi metanol sampai dengan kesesnya. Variasi perbandingan mol minyak dan metanol dipilih untuk mengetahui kecenderungan hasil yang diperoleh. Hasilnya yaitu berupa kecepatan reaksi dievaluasi apakah mempunyai kecenderungan yang sama dengan variasi yang ditentukan.

Perlakuan yang sama dilakukan terhadap minyak kedelai (trigliserida). Variasi perbandingan mol trigliserida dan metanol dilakukan pada konsentrasi trigliserida sampai berlebih. Evaluasi yang sama dilakukan untuk mengetahui kecenderungan hasil yang diperoleh. Tabel 2 run nomor 5, 6, dan 7, konsentrasi trigliserida meningkat tetapi kecepatan reaksi menurun.

Kecenderungan yang berkebalikan ini menunjukkan bahwa trigliserida tidak teradsorpsi pada permukaan katalis sebagaimana pernyataan oleh Fogler (2004).

Pada Tabel 2 percobaan 5, 6, dan 7, konsentrasi trigliserida meningkat tetapi kecepatan reaksi menurun. Hal ini menunjukkan ketidaksesuaian antara konsentrasi trigliserida dengan kecepatan reaksi produk yang diperoleh sehingga dapat dinyatakan bahwa trigliserida tidak teradsorpsi pada permukaan katalis.

Hasil evaluasi di atas (metanol teradsorpsi di permukaan katalis dan trigliserida tidak teradsorpsi di permukaan katalis) menunjukkan bahwa mekanisme reaksi katalitik yang terjadi adalah mekanisme Eley-Rideal dimana salah satu reaktan teradsorpsi pada permukaan katalis. Reaksi yang terjadi adalah metanol (B) teradsorpsi pada permukaan katalis bereaksi dengan trigliserida (A) pada fase cairnya menghasilkan metil ester (C) dan gliserol (D).

Tabel 1. Data ketergantungan kecepatan reaksi ($-r_A$) terhadap konsentrasi reaktan metanol (C_B) (A: trigliserida; B: metanol; C_A : konsentrasi trigliserida; C_B : konsentrasi metanol)

Run	Rasio molar		C_A	C_B	$-r_A \text{ exp, } \left(\frac{\text{mol}}{\text{gcat.s}}\right)$
	A	B			
1	1	20	1,70	34,06	$2,99 \times 10^{-5}$
2	1	15	1,91	28,68	$2,95 \times 10^{-5}$
3	1	10	2,20	21,95	$2,90 \times 10^{-5}$
4	1	8	2,32	18,59	$2,88 \times 10^{-5}$
5	1	6	2,48	14,87	$2,85 \times 10^{-5}$
6	1	3	2,74	8,23	$2,79 \times 10^{-5}$
7	1	2	2,85	5,69	$2,73 \times 10^{-5}$

Tabel 2. Data ketergantungan kecepatan reaksi ($-r_A$) terhadap konsentrasi reaktan trigliserida (C_A) (A: trigliserida; B: metanol; C_A : konsentrasi trigliserida; C_B : konsentrasi metanol)

Run	Rasio molar		C_A	C_B	$-r_A \text{ exp, } \left(\frac{\text{mol}}{\text{gcat.s}}\right)$
	A	B			
1	0,3	6	1,70	34,06	$2,99 \times 10^{-5}$
2	0,4	6	1,91	28,68	$2,95 \times 10^{-5}$
3	0,6	6	2,20	21,95	$2,90 \times 10^{-5}$
4	0,75	6	2,32	18,59	$2,88 \times 10^{-5}$
5	1	6	2,48	14,87	$2,85 \times 10^{-5}$
6	2	6	2,74	8,23	$2,79 \times 10^{-5}$
7	3	6	2,85	5,69	$2,73 \times 10^{-5}$

Mekanisme reaksi permukaan yang mungkin terjadi adalah:

-A fase cair + B teradsorpsi \rightleftharpoons C teradsorpsi + D fase cair (tipe 1)

-A fase cair + B teradsorpsi \rightleftharpoons C fase cair + D teradsorpsi (tipe 2)

Model kinetika reaksi katalitiknya dapat disusun sebagai berikut:

1. Reaksi tipe 1: $A + B \cdot S \rightleftharpoons C \cdot S + D$

a. Adsorpsi B

$$-r_A = \frac{k_B \left(C_B - \frac{C_C C_D}{K_B K_C K_S C_A} \right)}{\frac{C_C C_D}{K_C K_S C_A} + \frac{C_C}{K_C} + 1}$$

b. Reaksi permukaan

$$-r_A = \frac{k_S \left(K_B C_A C_B - \frac{C_C C_D}{K_C K_S} \right)}{K_B C_B + \frac{C_C}{K_C} + 1}$$

c. Desorpsi C

$$-r_A = \frac{k_C \left(\frac{K_B K_S C_A C_B}{C_D} - \frac{C_C}{K_C} \right)}{K_B C_B + \frac{K_B K_S C_A C_B}{C_D} + 1}$$

2. Reaksi tipe 2: $A + B \cdot S \rightleftharpoons C + D \cdot S$

a. Adsorpsi B

$$-r_A = \frac{k_B \left(C_B - \frac{C_C C_D}{K_B K_D K_S C_A} \right)}{\frac{C_C C_D}{K_D K_S C_A} + \frac{C_D}{K_D} + 1}$$

b. Reaksi permukaan

$$-r_A = \frac{k_S \left(K_B C_A C_B - \frac{C_C C_D}{K_D K_S} \right)}{K_B C_B + \frac{C_D}{K_D} + 1}$$

c. Desorpsi C

$$-r_A = \frac{k_D \left(\frac{K_B K_S C_A C_B}{C_C} - \frac{C_D}{K_D} \right)}{K_B C_B + \frac{K_B K_S C_A C_B}{C_C} + 1}$$

Analisis kesesuaian antara fitting model kecepatan reaksi ke data eksperimen untuk menentukan parameter-parameter model kecepatan reaksi adalah: (1) *dependent variable*: $-r_A$; (2) *independent variable*: C_A , C_B , C_C , C_D , dan (3) *parameter model*: k_B , k_S , k_C , k_D , K_B , K_S , K_C , K_D ; dilanjutkan oleh proses *fitting* menggunakan

Polymath. Hasilnya adalah persamaan kecepatan reaksi yang ditunjukkan pada Persamaan (11). Analisis ketergantungan terhadap reaktan sehingga prediksi persamaan kecepatan reaksi $-r_A$ yang paling mungkin terjadi pada reaksi transesterifikasi ini adalah:

$$-r_A = \frac{k_C \left(\frac{K_B K_S C_A C_B}{C_D} - \frac{C_C}{K_C} \right)}{K_B C_B + \frac{K_B K_S C_A C_B}{C_D} + 1}$$

untuk katalis CaO, pada tahap reaksi desorpsi biodiesel, menggunakan reaktor batch.

Berdasarkan analisis kesesuaian antara data penelitian dengan model kecepatan reaksi yang diprediksi, maka dapat disimpulkan bahwa persamaan kecepatan reaksi $-r_A$ adalah:

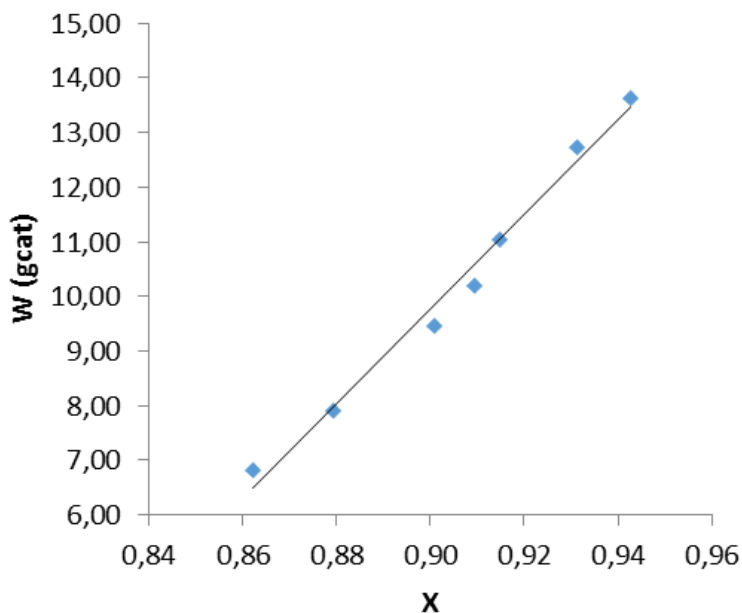
$$-r_A = \frac{2,3210 \left(0,8146 \frac{C_A C_B}{C_D} - \frac{C_C}{1,1360} \right)}{0,0130 C_B + 0,8146 \frac{C_A C_B}{C_D} + 1}$$

dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,9871 untuk katalis CaO 3% pada reaksi transesterifikasi trigliserida dan metanol menghasilkan biodiesel pada reaktor batch. Persamaan kecepatan reaksi yang dihasilkan tersebut Persamaan (12) dapat digunakan untuk perhitungan berat katalis yang dibutuhkan pada reaktor batch untuk mencapai konversi tertentu, mengikuti persamaan desain yang dinyatakan oleh Fogler (2005).

Reaktor batch ini hampir mirip seperti reaktor *fluidized* CSTR menggunakan fluida yang dialirkan melalui katalis padatan (biasanya berbentuk butiran kecil) dengan kecepatan yang cukup sehingga katalis akan terolak sedemikian rupa dianalogikan sebagai fluida juga. Perhitungan berat katalis *fluidized* CSTR yang diperlukan untuk mencapai konversi tertentu, mengikuti persamaan desain: (Fogler, 2016)

Tabel 3. Data Konversi Trigliserida Menjadi Biodiesel (X) Sebagai Fungsi Berat Katalis (W)

Run	Rasio molar		$-r_A \text{ exp}$ $\left(\frac{\text{mol}}{\text{gcat. s}} \right)$	X	W (gcat)
	A	B			
1	0,3	6	$2,73 \times 10^{-5}$	0,94	13,64
2	0,4	6	$2,79 \times 10^{-5}$	0,93	12,73
3	0,6	6	$2,85 \times 10^{-5}$	0,91	11,03
4	0,75	6	$2,88 \times 10^{-5}$	0,91	10,19
5	1	6	$2,90 \times 10^{-5}$	0,90	9,47
6	2	6	$2,95 \times 10^{-5}$	0,88	7,92
7	3	6	$2,99 \times 10^{-5}$	0,86	6,83



Gambar 3. Data Konversi Trigliserida Menjadi Biodiesel (X) Sebagai Fungsi Berat Katalis (W)

Tabel 4. Data Volume Reaktor *Fluidized CSTR*

Rasio molar		X	W (gcat)	V reaktor (mL)
A	B			
0,3	6	0,94	13,64	27,28
0,4	6	0,93	12,73	25,46
0,6	6	0,91	11,03	22,06
0,75	6	0,91	10,19	20,38
1	6	0,90	9,47	18,94
2	6	0,88	7,92	15,84
3	6	0,86	6,83	13,66

In – Out + Generation = Accumulation(13)

$$F_{T0} - F_T + r_T \cdot W = 0 \quad (\text{Steady})$$

$$W = \frac{F_{T0} - F_T}{-r_T}$$

$$W = \frac{F_{T0} \cdot X}{-r_T}$$

Dari persamaan tersebut didapat hubungan berat katalis (W) sebagai fungsi dari konversi trigliserida yang berubah menjadi biodiesel (X). Data tersaji pada Tabel 3 dan Gambar 3.

Sebagai contoh perhitungan desain reaktor. Jika diambil asumsi *bulk density* dalam reaktor *fluidized CSTR* adalah 0,5 g/mL, maka perhitungan volume reaktor yang dibutuhkan jika berat katalis (W) 13,64 g untuk memperoleh konversi 93% adalah 27,28 mL. Lebih lengkap perhitungan berat katalis dan volume reaktor yang diperlukan ditunjukkan pada Tabel 4.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa katalis CaO temperatur kalsinasi 900°C memiliki kristalinitas sebesar 81,0367%, sehingga CaO hasil temperatur kalsinasi 900°C memiliki kristalinitas yang lebih baik. Hasil foto SEM menunjukkan ukuran partikel menjadi besar, teratur dan distribusi partikel lebih seragam. Hasil pengukuran BET diperoleh luas permukaan sebesar 23,604 m²/g. Hasil penelitian menunjukkan metanol teradsorpsi di permukaan katalis dan trigliserida tidak teradsorpsi di permukaan katalis sehingga mekanisme reaksi katalitik yang terjadi adalah mekanisme Eley-Rideal dimana salah satu reaktan teradsorpsi pada permukaan katalis. Bentuk persamaan kecepatan reaksi transesterifikasi minyak kedelai dan

metanol menggunakan katalis CaO ditunjukkan pada Persamaan 12. Persamaan tersebut dapat digunakan dalam perancangan reaktor, sehingga hubungan antara konversi trigliserida menjadi biodiesel dengan kebutuhan berat katalis dan volume reaktor yang diperlukan dapat diprediksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Boey, P.L., Maniam, G.P., & Hamid, S.A. 2011. Performance of calcium oxide as a heterogeneous catalyst in biodiesel production: A review. *Chemical Engineering Journal*, 168:15-22.
- Fogler, H.S. 2004. *Elements of Chemical Reaction Engineering* (3rd ed.). New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited.
- Fogler, H.S. 2005. *Elements of Chemical Reaction Engineering Fourth Edition*. (N. R. Amundso, Ed.) Houston: Prentice Hall Professional Technical Reference In The Physical And Chemical Engineering Sciences.
- Fogler, H.S. 2016. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. 5th Ed. Houston: Prentice Hall Ptr
- Gerpen, J. V., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., & Knothe, G. 2004. *Biodiesel Production Technology*. (Golden, Ed.) Colorado: National Renewable Energy Laboratory 1617 Cole Boulevard.
- Jazie, A. A., Pramanik, H., & Sinha, A. S. 2013. Transesterification of Peanut and Rapessed Oils Using Waste of Animal Bone as Cost Effective Catalyst. *Journal Mater Renew Sustain Energy*, 2(2):11
- Knothe, G., Gerpen, J. H. I & Krahl, J. 2005. *The Biodiesel Handbook* (3rd-ed.) Illinois: Champaign AOCS Press.
- Kostic, M.D., Bazargan, A., Stamenkovic, O.S., Veljkovic, V. B., & McKay, G. 2016. Optimization and Kinetics Of Sunflower Oil Methanolysis Catalyzed By Calcium Oxide-Based Catalyst Derived From Palm Kernel Shell Biochar. *Fuel*, 163:304-313.
- Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika, M., Sugimoto, Y., Yamanaka, S., & Hidaka, J. 2008. Calcium Oxide As A Solid Base Catalyst For Transesterification Of Soybean Oil And Its Application To Biodiesel Production. *Fuel*, 87: 2798-2806.
- Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika, M., Yamanaka, S., & Hidaka, J. 2008. Active Phase Of Calcium Oxide Used As Solid Base Catalyst For Transesterification Of Soybean Oil With Refluxing Methanol. *Applied Catalysis A: General*, 334(1-2):357-365.
- Kouzu, M., & Hidaka, J. S. 2012. Transesterification of vegetable oil into biodiesel catalyzed by CaO: A review. *Fuel*, 93:1-12.
- Lu, Y., Zhang, Z., Xu, Y., Liu, Q., & Qian, G. 2015. CaFeAl mixed oxide derived heterogeneous catalysts for transesterification of soybean oil to biodiesel. *Bioresource Technology*, 190: 438-441.
- Palacios-Nereo, F. J., Olivares-Carrillo, P., Ríos, A. P., & Quesada-Medina, J. 2016. High-Yield Non-Catalytic Supercritical Transesterification Of Soybean Oil To Biodiesel Induced By Gradual Heating In A Batch Reactor. *Journal of Supercritical Fluids*, 111:135-142.
- Sánchez, M., Marchetti, J. M., Boulifi, N. E., Aracil, J., & Martínez, M. 2015. Kinetics of Jojoba Oil Methanolysis Using A Waste From Fish Industry As Catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 262:640-647.
- Sánchez, N., Sánchez, R., Encinar, J. M., González, J. F., & Martínez, G. 2015. Complete Analysis Of Castor Oil Methanolysis To Obtain Biodiesel. *Fuel*, 147:95-99.
- Tran, T. T., Kaiprommarat, S., Kongparakul, S., Reubroycharoen, P., Guan, G., Nguyen, M. H., 2016. Green Biodiesel Production From Waste Cooking Oil Using An Environmentally Benign Acid Catalyst. *Waste Management*, 52: 367-374.
- Wang, B., Li, S., Tian, S., Feng, R., & Meng, Y. 2013. A New Solid Base Catalyst For The Transesterification Of Rapeseed Oil To Biodiesel With Methanol. *Fuel*, 104:698-703.
- Wong, Y.C., Tan, T.P., Taufiq-Yap, Y.H., Ramli, I., & Tee, H. 2015. Biodiesel Production Via Transesterification Of Palm Oil By Using CaO-CeO₂ Mixed Oxide Catalysts. *Fuel*, 162:288-293.
- Zabeti, M., Daud, W.M., & Aroua, M.K. 2009. Activity of solid catalysts for biodiesel production: A review. *Fuel Processing Technology*, 90:770-777.