

Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit RBD dengan Menggunakan Katalis Berpromotor Ganda Berpenyangga γ -Alumina ($\text{CaO/MgO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) dalam Reaktor *Fluidized Bed*

Niar Kurnia Julianti, Tantri Kusuma Wardani, Ignatius Gunardi dan Achmad Roesyadi
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: ignatius@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Biodiesel merupakan salah satu energi alternatif pengganti bahan bakar fosil dari hasil reaksi transesterifikasi minyak nabati dengan metanol. Proses pembuatan biodiesel selama ini menggunakan katalis homogen NaOH atau KOH yang memiliki kelemahan terbentuknya produk samping berupa sabun dan rumitnya pemisahan produk biodiesel dengan katalis. Maka dari itu, mulai dikembangkan katalis heterogen. Penelitian ini mengembangkan katalis berpromotor ganda berpenyangga γ -alumina ($\text{CaO/MgO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) dalam reaktor fluidized bed. Pembuatan katalis melalui metode presipitasi CaO dan MgO pada $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ serta asam asetat sebagai larutan precursor. Kemudian, katalis dioven selama 12 jam pada suhu 110C dan dikalsinasi pada suhu 700 C selama 5 jam. Katalis yang diperoleh digunakan untuk proses transesterifikasi dengan ratio molar minyak metanol 1:36; variabel massa katalis 4, 7, 10, 13, 16 gram; laju alir reaktan 4, 7, 10, 13, 16 ml/menit; dan suhu 125, 150, 175, 200, 225 C. Dimana yield dan % konversi terbaik dari penelitian diperoleh sebesar 0,642 gr biodiesel/gr minyak dan 63,975% pada massa katalis 16 gram, suhu 225 C dan laju alir reaktan 4 ml/menit.

Kata Kunci— *biodiesel, katalis heterogen, minyak kelapa sawit, transesterifikasi.*

I. PENDAHULUAN

Pertambahan populasi penduduk dan peningkatan kebutuhan manusia seiring dengan berkembangnya zaman, mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan energi yang tidak dapat diperbarui. Selama ini sebagian besar sumber energi menggunakan bahan bakar fosil yang jumlahnya semakin menipis. Hal ini mendorong kita mencari berbagai cara untuk menghemat penggunaan minyak bumi serta menciptakan energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil [1].

Minyak nabati dapat dijadikan *feedstock* untuk produksi biodiesel karena merupakan sumber energi yang dapat diperbarui, dapat diproduksi skala besar dan ramah lingkungan. Minyak nabati terdiri dari *edible oil* dan *non-edible oil*. Lebih dari 95% bahan baku untuk produksi biodiesel berasal dari *edible oil* yang diproduksi secara besar di beberapa wilayah. Sifat dari biodiesel yang dihasilkan oleh *edible oil* ini lebih cocok digunakan sebagai bahan bakar pengganti minyak diesel. Akan tetapi, hal ini menyebabkan

beberapa permasalahan seperti meningkatnya kompetisi di pasar *edible oil*, sehingga menyebabkan meningkatnya harga *edible oil* dan meningkatnya biaya produksi biodiesel. Selain itu, hal ini menyebabkan pembukaan hutan untuk dijadikan lahan penanaman biodiesel. Kekurangan ini mendorong beberapa penelitian pembuatan biodiesel yang berbasis *non-edible oil* [2].

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang dihasilkan oleh reaksi kimia antara minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek, misalnya metanol, etanol, atau butanol dengan dibantu katalis, proses ini disebut transesterifikasi. Dari sudut pandang lingkungan, penggunaan biodiesel memiliki beberapa keuntungan misalnya dapat mereduksi emisi karbonmonoksida dan karbondioksida, *nontoxic* dan *biodegradable*. Diharapkan biodiesel dapat mereduksi penggunaan bahan bakar fosil [3].

Minyak kelapa sawit adalah suatu sumber energi yang potensial. Sebagai negara yang tanahnya subur, Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk berperan dalam industri kelapa sawit. Terlebih lagi pada 2007 Indonesia tercatat sebagai penghasil dan pengeksportir minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Sampai dengan 2010, luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 7,8 juta hektar. Dalam kurun waktu sekira 15 tahun terakhir produksi minyak kelapa sawit meningkat hampir lima kali lipat, dari 4,8 juta ton minyak sawit mentah (CPO) pada 1996 menjadi 19,8 juta ton pada 2010 [4].

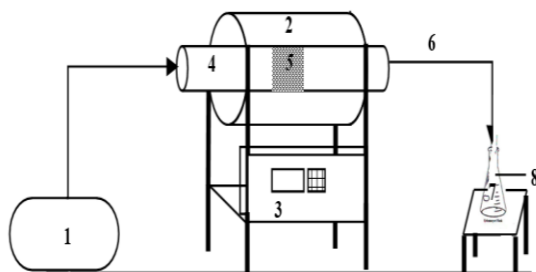
Proses pembuatan biodiesel secara konvensional pada umumnya menggunakan proses transesterifikasi minyak tumbuhan dengan alkohol rantai pendek, menggunakan katalis homogen asam atau basa, misalnya H_2SO_4 , NaOH, dan KOH [5]. Proses pembuatan biodiesel secara konvensional memiliki beberapa kelemahan, yaitu sensitif terhadap kandungan *free fatty acid* (FFA) yang terdapat dalam minyak, terbentuknya produk samping berupa sabun, rumitnya pemisahan produk biodiesel yang dihasilkan dengan katalis, serta adanya limbah alkali yang memerlukan proses lanjutan yang cukup kompleks serta membutuhkan energi yang cukup tinggi dan pada akhirnya menaikkan ongkos produksi. Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan penggunaan katalis heterogen (padat). Katalis heterogen yang sering digunakan pada penelitian sebelumnya yaitu ZnO, SiO, $\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$ dan sebagainya [6]. Kelebihan penggunaan katalis heterogen antara lain proses

pemisahan produk biodiesel dengan katalis cukup mudah, katalis dapat diregenerasi dan digunakan kembali. Sehingga biaya produksi biodiesel menjadi lebih ekonomis.

II. METODE PENELITIAN

A. Preparasi Katalis

Preparasi katalis dibuat dengan cara menambahkan CaO dan MgO dengan aquadest dan mengaduk selama 30 menit. Setelah itu larutan dicampur dengan asam asetat sesuai dengan stokiometri menggunakan pengaduk selama 5 menit. kemudian larutan ditambahkan penyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sambil tetap mengaduk selama 3 jam. Memanaskan dan mengaduk larutan pada suhu 80 C hingga menjadi pasta. Katalis yang menjadi pasta dioven pada suhu 110 C selama 12 jam setelah itu ukuran katalis diseragamkan. Kemudian katalis dikalsinasi pada suhu 700 C selama 5 jam. Katalis yang telah dikalsinasi lalu dianalisa dengan *X-ray Diffraction* dan XRD. Peralatan proses kalsinasi dapat dilihat pada gambar berikut.



Keterangan Gambar :

1. Kompresor
2. Furnace
3. Panel kontrol suhu
4. Reaktor
5. Katalis
6. Tube gas outlet
7. Erlenmeyer
8. Air

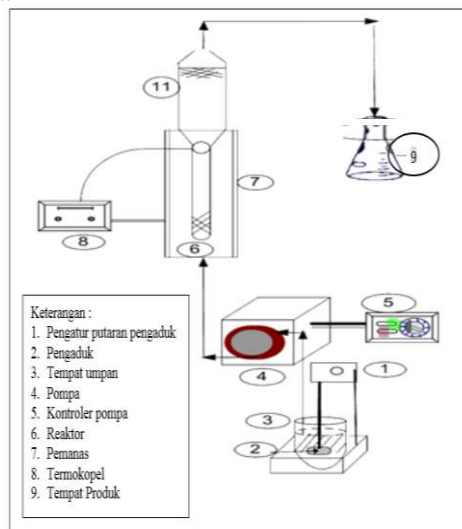
Gambar 1. Peralatan kalsinasi

B. Proses Transterifikasi

Proses Transterifikasi dilakukan dalam sebuah reaktor fluidized bed yang dilapisi dengan elemen pemanas. Katalis yang telah aktif dimasukkan ke dalam reaktor yang sebelumnya dibagian bawah dan atas reaktor dipasang glass wool agar katalis tidak kembali ke umpan reaktan atau terikut bersama produk. Setelah itu mengaduk umpan yang berisi minyak kelapa sawit RBD dan metanol dengan molar rasio 1:36 hingga homogen. Kemudian mensetting suhu reaktor pada 175 C dan laju alir 10 ml/menit. Jika suhu reaktor sudah sesuai dan umpan telah homogen, maka umpan siap dialirkan melalui bagian bawah reaktor. Setelah didapat variabel massa katalis terbaik untuk variabel katalis 4, 7, 10, 13, 16 gram kemudian proses transterifikasi divariabelkan ke laju alir

reaktan dan suhu reaktor. Variabel Laju alir reaktan adalah 4, 7, 10, 13, 16 ml/menit dan suhu reaktor 125 C, 150 C, 175 C, 200 C, 225 C.

Hasil biodiesel, metanol sisa, minyak sisa, dan gliserol kemudian dihitung untuk didapatkan yield dan konversi. Kadar biodiesel dianalisa dengan metode gas kromatografi. Rangkaian proses transterifikasi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Rangkaian proses transterifikasi dalam reaktor fluidized bed

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Analisa GCMS pada Bahan Baku

Analisa *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GCMS) bertujuan untuk mengetahui komponen asam lemak yang terdapat dalam minyak kelapa sawit merk Bimoli.

Berdasarkan hasil analisa GCMS, diketahui bahwa komposisi asam lemak minyak kelapa sawit merk Bimoli didominasi oleh *palmitic acid* dan *oleic acid* masing-masing sebesar 38,201% dan 45,962%. Hasil ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa asam lemak yang dominan dalam minyak kelapa sawit adalah asam palmitat sebesar 38% - 46% dan asam oleat sebesar 30% - 45% [7].

Dengan diketahuinya komponen asam lemak, maka berat molekul dari minyak kelapa sawit dapat dihitung. Dari hasil perhitungan didapatkan berat molekul minyak kelapa sawit sebesar 850,32 g/gmol. Berat molekul dari perhitungan ini telah mendekati berat molekul minyak kelapa sawit yang didapatkan dari literature yaitu 849,5 g/gmol [8].

B. Hasil Analisa XRD Katalis CaO/MgO/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

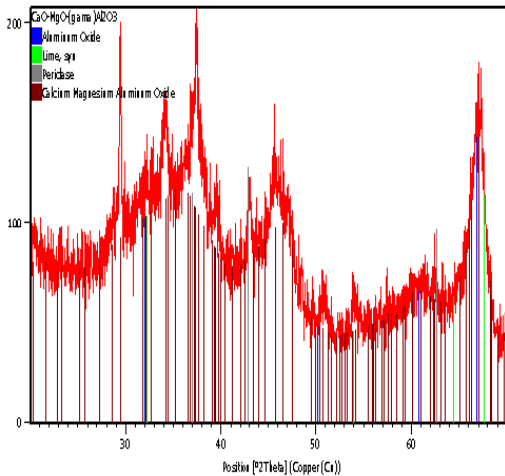
Karakteristik dari katalis menggunakan beberapa teknik analisa. Brunauer Emmet Teller (BET) digunakan untuk mengukur luas permukaan (surface area). Sedangkan difraksi sinar X (XRD) digunakan untuk mengetahui jenis dan struktur katalis.

Berdasarkan hasil analisa BET diperoleh luas permukaan katalis CaO/MgO/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebesar 42,342 m²/g. Sedangkan

luas permukaan *pure analytic grade* (PA) γ - Al_2O_3 dari *Merck* adalah 120 – 190 m^2/g . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa promotor (CaO/MgO) menempel pada support (γ - Al_2O_3).

Hasil analisa XRD pada gambar 3 adalah pola difraktogram XRD CaO/MgO/ γ - Al_2O_3 . Puncak senyawa CaO muncul pada 2θ $32,4^\circ$ $37,6^\circ$ $54,2^\circ$ $64,6^\circ$ dan $67,9^\circ$. Puncak senyawa MgO muncul pada 2θ $37,1^\circ$ 43° dan $62,8^\circ$. Sedangkan puncak senyawa γ - Al_2O_3 $31,9^\circ$ 37° 39° 45° 50° 56° dan 60° . hal ini sesuai dengan literatur [7].

kemudian pada hasil XRD dideteksi senyawa campuran yang terbentuk yaitu senyawa Calcium Magnesium Aluminium Oksida ($\text{Al}_{16}\text{Ca}_{0,965}\text{Mg}_2\text{O}_{27}$) muncul pada 2θ $1,8$ $31,6^\circ$ 32 37° 39 49° 51 54° 54 60° 61 64° 65 67°



Gambar 3. Pola difraktogram XRD CaO/MgO/ γ - Al_2O_3

C. Analisa Hasil Proses Transesterifikasi

C.1. Pengaruh Massa Katalis Terhadap Yield dan % Konversi Biodiesel

Kondisi proses yang digunakan untuk mempelajari pengaruh massa katalis terhadap *yield* dan % konversi biodiesel meliputi perbandingan molar minyak – metanol 1:36, laju alir reaktan (minyak dan metanol) 10 ml/menit dan temperatur reaksi 175°C. Berikut ini merupakan tabel dan grafik hubungan antara massa katalis vs *yield* biodiesel dan massa katalis vs konversi (%).

Adapun definisi *yield* dan konversi sebagai berikut:

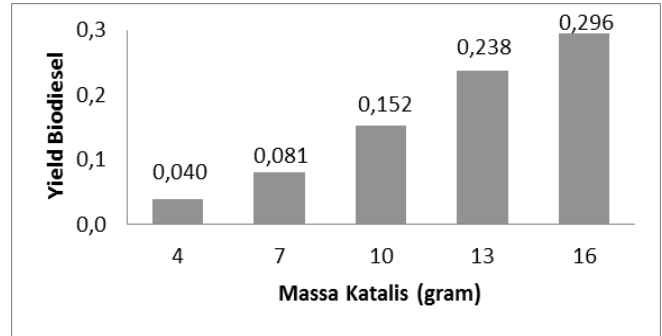
$$\text{Yield Biodiesel} = \frac{P}{B}$$

$$\text{Konversi Biodiesel} = \frac{\text{Mol minyak yang terpakai}}{\text{Mol minyak awal}}$$

Dimana :

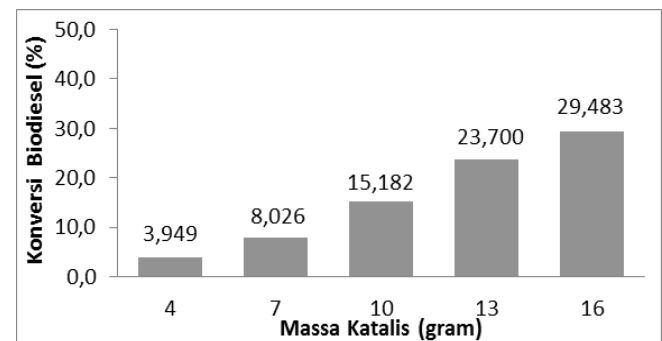
P = Mass Rate Produk Biodiesel (gr/menit)

B = Mass Rate Minyak Kelapa Sawit (gr/menit)



Gambar 4. Pengaruh *yield* biodiesel terhadap Massa katalis

Pada gambar 4 dan gambar 5 terlihat bahwa semakin banyak

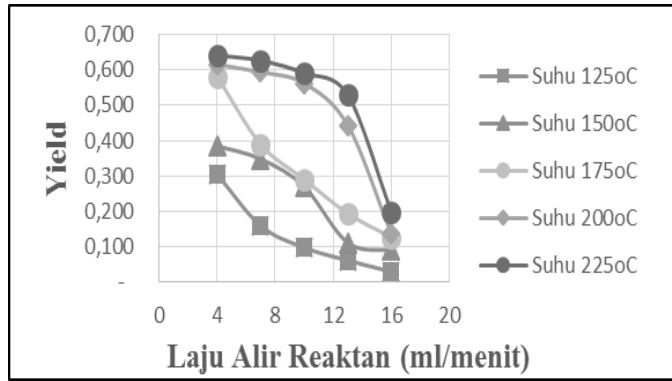


Gambar 5. Pengaruh Konversi Biodiesel (%) terhadap Massa katalis

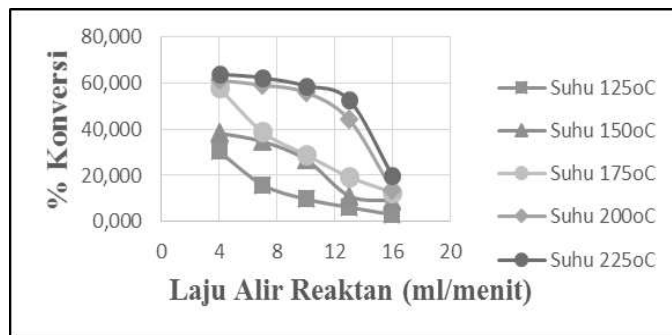
katalis yang ditambahkan maka *yield* dan konversi (%) biodiesel semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin banyak katalis yang digunakan dalam reaktor *fluidized bed* maka semakin banyak pula reaktan yang berkontak dengan katalis yang terfluidisasi didalam reaktor. Dengan demikian, reaktan yang terkonversi menjadi biodiesel semakin meningkat sehingga *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin banyak pula. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa apabila jumlah katalis ditingkatkan maka jumlah molekul yang bertumbuk akan bertambah dan kecepatan reaksi juga akan meningkat.

C.2. Pengaruh Yield dan % Konversi Biodiesel terhadap laju alir reaktan

Pengaruh laju alir reaktan vs *yield* dan laju alir reaktan vs konversi (%) biodiesel pada berbagai kondisi suhu ($^\circ\text{C}$) dengan massa katalis 16 gram dan rasio molar minyak – metanol sebesar 1 : 36.



Gambar 6. Pengaruh yield biodiesel terhadap laju alir reaktan



Gambar 7. Pengaruh Konversi Biodiesel terhadap Laju Alir Reaktan

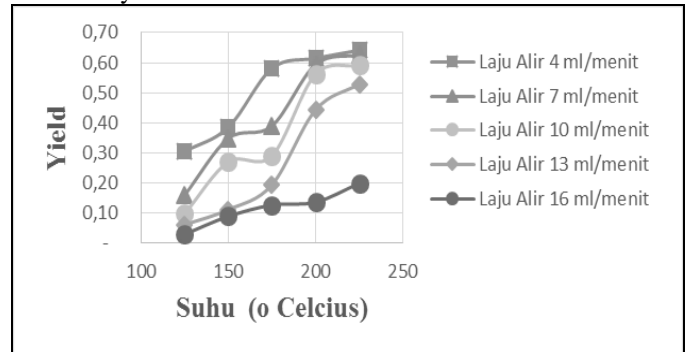
Reaksi transesterifikasi pada reaktor kontinyu *fluidized bed* untuk variabel laju reaktan dioperasikan pada laju 4, 7, 10, 13 dan 16 ml/menit pada suhu 125, 150, 175, 200, dan 225°C dengan rasio mol minyak metanol 1:36. Dari gambar 4 dan gambar 5 dapat terlihat bahwa pada reaktor kontinyu, laju alir reaktan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya *yield* dan % konversi dalam proses transesterifikasi minyak.

Semakin besar laju reaktan yang dialirkan maka *yield* dan % konversi yang di hasilkan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya laju alir, maka waktu tinggal reaktan akan semakin berkurang sehingga kontak antara reaktan dengan katalis di dalam reaktor *fluidized bed* semakin cepat pula dan mengakibatkan turunnya kadar FAME yang dihasilkan.

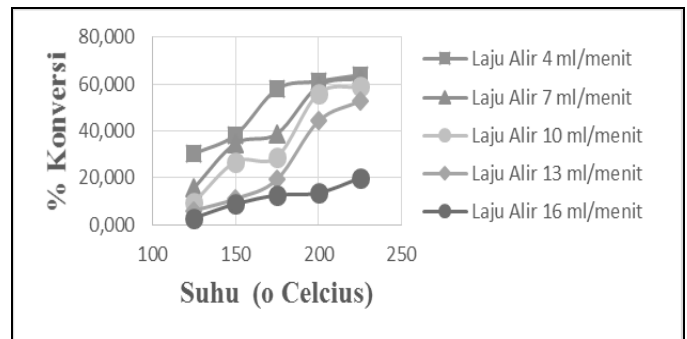
Hal ini sesuai pula dengan literatur yang menyebutkan bahwa semakin besar laju reaktan yang diberikan maka waktu tinggal reaktan di dalam reaktor semakin cepat, sehingga % *yield* dan % konversi yang dihasilkan pun akan semakin kecil [9].

C.3. Pengaruh Yield dan % Konversi Biodiesel terhadap suhu

Berikut ini merupakan grafik hubungan antara suhu reaksi vs *yield* dan suhu reaksi vs konversi (%) biodiesel yang dilakukan pada berbagai kondisi laju alir reaktan (ml/menit) dengan massa katalis sebanyak 16 gram dan rasio molar minyak – metanol sebesar 1 : 36.



Gambar 8. Pengaruh Yield Biodiesel terhadap suhu



Gambar 9. Pengaruh Konversi Biodiesel (%) terhadap suhu

Reaksi transesterifikasi pada reaktor kontinyu *fluidized bed* dioperasikan pada variabel suhu 125°C, 150°C, 175°C, 200°C dan 225°C dengan massa katalis 16 gram dan rasio mol minyak metanol 1:36. Dari gambar 6 dan gambar 7 dapat terlihat bahwa suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya *yield* dan % konversi dalam proses transesterifikasi minyak. *yield* dan % konversi biodiesel naik seiring dengan naiknya suhu operasi transesterifikasi, karena secara kinetika, kecepatan reaksi akan naik seiring dengan kenaikan suhu operasi. Hal ini dapat dibuktikan dengan persamaan *Arrhenius* sebagai berikut :

$$k = k_0 \cdot e^{-E/RT}$$

dimana, nilai suhu (T) berbanding lurus dengan nilai k (konstanta kecepatan reaksi). Pada suhu yang tinggi, tumbukan antar partikel reaktan menjadi besar sehingga mudah menghasilkan energi aktivasi (E) yang dibutuhkan untuk bereaksi [10].

Hasil penelitian juga telah sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi transesterifikasi maka semakin besar konversi yang dihasilkan [11].

D. Karakteristik Produk Biodiesel

Dari hasil yang telah didapatkan, karakteristik biodiesel yaitu densitas dan viskositas dari minyak kelapa sawit RBD dengan standart Biodiesel menurut SNI. Berikut ini adalah tabel analisa karakteristik biodiesel yaitu densitas dan viskositas pada suhu 175°C dengan laju alir 10ml/menit untuk menentukan massa katalis yang terbaik.

Tabel 1. Spesifikasi Biodiesel dan Viskositas Dengan Variabel Masaa Katalis

Massa Katalis (gram)	Densitas (gr/ml)	Viskositas (mm ² /s)
4	0,854	5,038
7	0,851	4,947
10	0,868	5,025
13	0,877	5,106
16	0,883	5,126

Tabel 1 memperlihatkan nilai densitas dan viskositas biodiesel terhadap variasi masaa katalis. Terlihat bahwa penambahan massa katalis mempengaruhi densitas biodiesel. Viskositas yang tinggi akan memberikan kerapatan molekul persatuan volume yang tinggi dan sebaliknya untuk nilai viskositas yang rendah akan memberikan kerapatan molekul persatuan volume kecil.

Tabel 2. Spesifikasi Biodiesel dan Viskositas Dengan Variabel Suhu dan Laju Alir

Suhu (°C)	Laju Alir Reaktan (ml/menit)	Densitas (gr/ml)	Viskositas (mm ² /s)
125	4	0,864	5,014
	7	0,868	5,074
	10	0,862	5,007
	13	0,867	5,133
	16	0,869	5,148
150	4	0,861	5,036
	7	0,864	5,103
	10	0,862	5,014
	13	0,865	5,148
	16	0,868	5,140
175	4	0,854	5,036
	7	0,851	4,947
	10	0,855	5,022
	13	0,865	5,148
	16	0,868	5,140
200	4	0,833	4,947
	7	0,852	4,925
	10	0,851	4,992
	13	0,855	5,088
	16	0,853	5,118
225	4	0,851	4,880
	7	0,852	4,925
	10	0,851	4,955
	13	0,855	4,947
	16	0,853	4,984

Tabel 3. Standar Spesifikasi Biodiesel

Spesifikasi SNI Biodiesel	
Densitas	850-890 kg/m ³
Viskositas	2,3-6 cSt (mm ² /s)

Tabel 2 memperlihatkan nilai densitas dan viskositas biodiesel terhadap variasi suhu dan laju alir. Terlihat bahwa kenaikan suhu mempengaruhi viskositas biodiesel. Hal ini karena ketika suhu meningkat, molekul pada zat cair akan bergerak cepat diakibatkan oleh tumbukan antar molekul, akibatnya molekul dalam zat cair akan meregang dan massa jenis akan semakin kecil. Selain itu dapat pula diketahui bahwa semakin tinggi suhu larutan, maka koefisien viskositas semakin menurun. Hal ini karena pada suhu tinggi, gerakan partikel dalam larutan lebih cepat sehingga viskositasnya menurun. Molekul semakin rapat sehingga molekul-molekul pada tiap bahan berkumpul dan menyebabkan massa memadat karena suhu yang digunakan kecil. Dari hasil diatas didapatkan bahwa densitas dan viskositas dari biodiesel yang diperoleh sudah memenuhi Standar Nasional Indonesia untuk biodiesel.

Dari hasil yang telah didapatkan, berikut ini merupakan perbandingan biodiesel dari minyak kelapa sawit RBD dengan kadar FAME tertinggi yang telah diuji karakteristiknya dengan Standar Biodiesel menurut SNI. Berikut ini adalah grafik hasil analisa dengan metode GC untuk produk katalis terbaik, yaitu pada suhu 225°C, laju alir reaktan 4 ml/menit dan massa katalis 16 gram. Berdasarkan hasil analisa didapatkan kadar FAME dalam produk sebesar 63,975%.

E. Perbandingan Spesifikasi Biodiesel Terbaik

Tabel 4.

Perbandingan Spesifikasi Biodiesel Terbaik		
Parameter	Standar SNI	Biodiesel Minyak Sawit RBD
Titik nyala	100 °C (min)	140 °C
Pour point	18 °C (mak)	3 °C
Densitas	850-890 kg/m ³	0,851 g/ml
Viskositas	2,3-6 cSt (mm ² /s)	4,880 mm ² /s

Apabila dibandingkan dengan standar SNI, biodiesel dari minyak kelapa sawit telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan untuk parameter *flash point*, *pour point*, densitas dan viskositas.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Biodiesel dapat diproduksi melalui reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit RBD dengan menggunakan katalis CaO/MgO/γ-Al₂O₃ dalam reaktor *fluidized bed*.
2. Massa katalis yang digunakan dalam penelitian 4, 7, 10, 13 dan 16 gram. Dimana, yield dan % konversi terbaik sebesar 0,296 gr biodiesel/gr minyak dan 29,483 % diperoleh pada massa katalis 16 gram.

3. Laju alir reaktan yang digunakan dalam penelitian 4, 7, 10, 13 dan 16 ml/menit. Dan Suhu yang digunakan dalam penelitian 125, 150, 175, 200 dan 225 °C. Dimana, yield dan % konversi terbaik sebesar 0,642 gr biodiesel/gr minyak dan 63,975 % diperoleh pada suhu 225°C dan laju alir reaktan 4 ml/menit.
4. Yield biodiesel terbaik dari penelitian ini yaitu 0,642 gr biodiesel/gr minyak dan konversi terbaik sebesar 63,975 % pada suhu 225oC dan laju alir umpan 4 ml/menit dengan menggunakan massa katalis 16 gram dan rasio molar 1 : 36.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis N.K.J dan T.K.W mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Reaksi Kimia Jurusan Teknik Kimia-FTI ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasan, M.H., Mahlia, T.M.I., Nur, H. (2012). "A Review on Energy Scenario and Sustainable Energy in Indonesia", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, hal. 2316 – 2328.
- [2] Leung, D.Y.C., Wu, X., Leung, M.K.H. (2010). "A Review on Biodiesel Production Using Catalyzed Transesterification", *Applied Energy*, 87, hal. 1083 – 1095.
- [3] Maceiras,R., Rodriguez, M., Cancela, A., Urrejola, S., Sanchez, A. (2011). "Macroalgae: Raw Material for Biodiesel Production", *Applied Energy*, 88, hal. 3318–3323.
- [4] *Departemen Agribisnis, 2013, Produksi Kelapa Sawit di Indonesia*, Tanggal akses 3 Maret 2014
- [5] Lam, M. K., Lee, K. T., Mohamed, A.R. (2010). "Homogeneous, Heterogeneous and Enzymatic Catalysis for Transesterification of High Free Fatty Acid Oil (Waste Cooking Oil) to Biodiesel: A Review", *Biotechnology Advances*, 28, hal. 500–518.
- [6] Furuta, S., Hiromi, M., Kazushi, R. (2006), "Green Diesel Fuel Production with Solid Amorphous-Zirconia Catalyst in Fixed Bed Reactor", *J Biomass And Bioenergy*, Vol. 30, hal. 870-873.
- [7] Albuquerque, M.C.G., Azevedo, D.C.S., Cavalcante Jr., C.L., González, J.S., Mérida-Robles, J.M., Moreno-Tost, R., Rodríguez-Castellón, E., Jiménez-López, A., Maireles-Torres, P. (2009). "Transesterification of Ethyl Butyrate with Methanol Using MgO/CaO Catalysts", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 300, hal. 19–24.
- [8] Leevijit, T., Wisutmethangoon, W., Prateepchaikul, G., Tongurai, C., Allen, M. (2004). "Transesterification of Palm Oil in Series of Continuous Stirred Tank Reactors", *The Joint Internasional Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)*
- [9] G.B.Shinde, V.S.Sapkal, R.S.Sapkal and N.B.Raut. 2011. *Transesterification by Reactive Distillation for Synthesis and Characterization of Biodiesel*. India.
- [10] Sivakumar, P., Sindhanaiselvan, S., Gandhi, N.N., Devi, S.S., Renganatan, S. (2012). "Optimization and kinetic studies on biodiesel production from underutilized Ceiba Pentandra oil", *Elsevier Journal*.
- [11] Amish P. Vyas, Jaswant L. Verma, dan Nandula Subrahmanyam. 2011. "Effects of Molar Ratio, Alkali Catalyst Concentration and Temperature on Transesterification of Jatropha Oil with Methanol under Ultrasonic Irradiation". *Advances in Chemical Engineering and Science*, 1, pp 45-50. Ahmedabad, India.