

# Peningkatan Sifat Alir dan Stabilitas Oksidasi Biodiesel dengan Proses Hidrogenasi Parsial. (Bagian II): Penggunaan Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Sebagai Katalis

## The Changing of Flow Property and Oxidation Stability of Biodiesel by Partial Hydrogenation Process. (Part: II): Influence of Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst

**Oberlin Sidjabat**

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"  
Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan  
Telepon: 62-21-7394422, Fax: 62-21-7246150  
E-mail: oberlin@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 26 Agustus 2013; Diterima setelah perbaikan tanggal 21 November 2013  
Disetujui terbit tanggal: 30 Desember 2013

### ABSTRAK

Perhatian terhadap Biodiesel sedang meningkat secara mendunia sebagai suatu bahan bakar pengganti minyak solar atau sebagai komponen pencampur di sektor transportasi. Biodiesel menjadi lebih menarik karena keuntungan terhadap lingkungan dan dibuat dari sumber-sumber yang dapat diperbaharui. Namun masih ada permasalahan dalam hal mutu seperti kestabilan oksidasi dan sifat alirnya yaitu titik tuang dan titik kabut yang sangat penting dalam penggunaannya secara komersial. Karakteristik tersebut sangat tergantung pada komponen bahan bakunya yang mengandung asam lemak tak-jenuh, yang mudah teroksidasi membentuk polimer-polimer serta pengaruh kondisi lingkungannya. Ketidak stabilan produk biodiesel tersebut dapat diatasi dengan menurunkan komponen-komponen tak jenuhnya melalui proses hidrogenasi parsial dengan bantuan katalis paladium (Pd) berpenyangga (*support*) alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Proses hidrogenasi parsial dilakukan dengan sistem reaktor *autoclave* berpengaduk dengan temperatur 80°C dan tekanan atmosfer. Karakteristik stabilitas oksidasi dapat meningkat untuk memenuhi spesifikasi yang ditentukan (>10 jam), juga sifat alir meningkat secara signifikan dengan penggunaan katalis tersebut.

**Kata kunci:** biodiesel, hidrogenasi parsial, katalis paladium, kestabilan oksidasi, titik kabut, titik tuang

### ABSTRACT

*Biodiesel is attracting increasing attention worldwide as a substituted petroleum diesel fuel or a blending component in transport sector. Biodiesel become more attractive because of its environmental benefits and it is made from renewable resources. However it has some problems for its fuel quality such as oxidation stability and flowing characteristics that is pour point and cloud point, which are very important in commercial utilization. Such characteristics depend on the components that contained in the feedstock such as unsaturated fatty acids which easier oxidised to form polymer and its environment conditions. The unstable biodiesel product can be solved by reducing of the unsaturated componets through the partial hydrogenation processing with Palladium (Pd) supported on alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) as catalyst. Partial hydrogenation processing conducted by autoclave stirred reactor with temperature 80°C and atmosperic*

*pressure. Characteristic of oxidation stability increase to meet the specification (>10 hours), also flowing characteristics increase significantly by using such catalyst.*

**Keywords:** *biodiesel, partial hydrogenation, palladium catalyst, oxidation stability, cloud point, pour point*

## I. PENDAHULUAN

Penelitian dan pengembangan energi yang terbarukan atau dapat diperbaharui untuk otomotif sangat mendapat perhatian. Diantara bahan bakar alternatif yang diteliti, biodiesel merupakan yang paling banyak diminati sebagai bahan bakar mesin diesel karena mempunyai beberapa kelebihan diantaranya merupakan bahan bakar atau energi yang dapat diperbaharui.

Biodiesel mempunyai keuntungan sebagai berikut: (a) mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi; (b) bahan bakar terbarukan, (c) mereduksi emisi gas rumah kaca, (d) dapat terurai atau terdegradasi secara biologi dan tidak toksis, (e) dalam penanganannya sangat aman (titik nyala lebih tinggi daripada bahan bakar minyak diesel)<sup>[1]</sup>. Biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar campuran dengan minyak solar dalam berbagai perbandingan dan/atau langsung digunakan tanpa memodifikasi mesin kendaraan.

Biodiesel, merupakan bahan bakar alternatif setara minyak solar, diproduksi dari sumber terbarukan seperti minyak nabati dan lemak hewani dengan proses sederhana yaitu transesterifikasi<sup>[2,3]</sup>.

Secara kimia, biodiesel adalah ester metil asam lemak dan hanya disebut biodiesel bila digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin diesel dan sistem pemanasan<sup>[1,4]</sup>. Biodiesel merupakan bahan bakar diesel/solar alternatif yang menjanjikan, namun dari beberapa penelitian dan literatur bahwa karakteristiknya, baik dalam penggunaan maupun dalam penyimpanan, masih ada permasalahan dalam hal mutu seperti kestabilan oksidasi dan sifat alirnya (titik tuang, titik kabut) yang sangat penting dalam penggunaannya secara komersial<sup>[5, 6]</sup>. Karakteristik tersebut sangat tergantung pada bahan bakunya untuk memproduksi biodiesel yaitu kandungan asam lemak tak-jenuh yang terdapat dalam bahan baku. Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa senyawa-senyawa tidak-jenuh (adanya ikatan rangkap) merupakan penyebab ketidak stabilan biodiesel karena mudah teroksidasi oleh udara (oksigen) membentuk polimer-polimer serta pengaruh faktor

lain seperti panas, logam dsb<sup>[5, 7]</sup>. Bila ester metil asam lemak atau biodiesel mengalami oksidasi secara termal akan terdekomposisi dan memproduksi asam-asam organik terutama asam formiat, asam asetat, asam propionat, dan asam kapronat. Logam-logam khususnya tembaga (Cu), amalgama tembaga, timbal (Pb), seng (Zn), dan timah putih (Sn) sangat mudah mengalami korosi (berkarat) dengan asam-asam organik tersebut.<sup>[8]</sup>

Mutu biodiesel merupakan hal yang penting dalam penggunaannya secara komersial. Bahan baku yang mengandung komponen asam lemak jenuh tinggi mempunyai stabilitas oksidasi yang lebih baik. Tetapi, apabila kandungan asam lemak jenuh nya tinggi dalam bahan baku akan memberikan sifat alir yang lebih rendah terutama pada suhu rendah (kondisi dingin). Metoda untuk meningkatkan mutu atau memperpanjang stabilitas oksidasi telah dieksplorasi dengan dua cara pendekatan, yaitu (a) dengan penambahan antioksidan; (b) merubah komposisi asam lemak dengan proses hidrogenasi dengan bantuan suatu katalis tertentu<sup>[9]</sup>.

Masalah utama dari pengaruh karakteristik stabilitas oksidasi adalah selain bahan bakar bisa rusak juga menyebabkan penyumbatan saringan mesin atau pompa mesin. Dalam hal penggunaan biodiesel maka diperlukan peningkatan mutunya untuk menghindari masalah yang timbul akibat mutu atau spesifikasi yang tidak sesuai. Secara khusus proses hidrogenasi adalah proses praktis karena proses ini juga sering digunakan di kilang pengolahan minyak untuk mereduksi kandungan aromatik. Prinsip hidrogenasi adalah menambahkan atom hidrogen ke asam lemak yang tidak jenuh untuk meningkatkan jumlah kejenuhan dan mengurangi ikatan rangkap. Telah banyak dilaporkan bahwa semakin bertambah ikatan rangkap maka laju oksidasi akan meningkat kira-kira 10 kali setiap tahap<sup>[5,10]</sup>. Katalis yang banyak digunakan untuk reaksi hidrogenasi ikatan rangkap adalah logam palladium (Pd) karena mempunyai selektifitas tinggi dan sangat aktif<sup>[11]</sup>.

Penelitian ini ditujukan untuk meningkatkan karakteristik biodiesel sebagai substitusi minyak solar

dan khususnya sifat stabilitas oksidasi yang sering menjadi masalah pada mesin kendaraan bermesin diesel, dan juga selama penyimpanan<sup>[12, 13]</sup>. Stabilitas oksidasi merupakan mata uji yang sangat penting dalam spesifikasi biodiesel yang sudah dicantumkan dalam SNI (Standar Nasional Indonesia) Biodiesel yang sudah direvisi (SNI 7182:2012).

## II. BAHAN DAN METODOLOGI

### A. Bahan-Bahan

Biodiesel yang digunakan dalam penelitian ini diproduksi dari minyak sawit sebagai bahan baku dengan proses transesterifikasi dan proses dilakukan di *pilot plant* biodiesel LEMIGAS dengan kapasitas 8 ton per hari. Biodiesel tersebut sudah memenuhi spesifikasi sesuai dengan SNI 04-7182-2006 atau ASTM D-6751.

Katalis yang digunakan untuk proses hidrogenasi parsial yaitu logam palladium (Pd) dengan penyangga alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Katalis dipreparasi dengan mengimpregnasikan logam tersebut ke dalam alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 1 jam.

### B. Proses Hidrogenasi

Reaksi hidrogenasi parsial dilakukan pada reaktor *autoclave* berpengaduk secara tumpak (*batch*) seperti disajikan pada Gambar 1. Biodiesel (200 ml) dan katalis (1 gram) dimasukkan dalam reaktor *autoclave* dengan pengadukan.

Gas N<sub>2</sub> dialirkan untuk mengusir oksigen dalam reaktor dan dipanaskan sampai temperatur reaktor dicapai 80°C (sekitar 0,5 jam). Kemudian hidrogenasi dilakukan dengan mengalirkan gas hidrogen 100 ml/menit dengan tekanan atmosfer, serta waktu reaksi yang divariasikan dari 0 sampai 1,5 jam.

### C. Uji Sifat Alir (Titik Tuang dan Titik Kabut)

Produk-produk biodiesel yang sudah dihidrogenasi di uji sifat alirnya (titik tuang dan titik kabut) dengan mengikuti prosedur metode uji ASTM D-97 dan ASTM D-2500 untuk masing-masing mata uji.

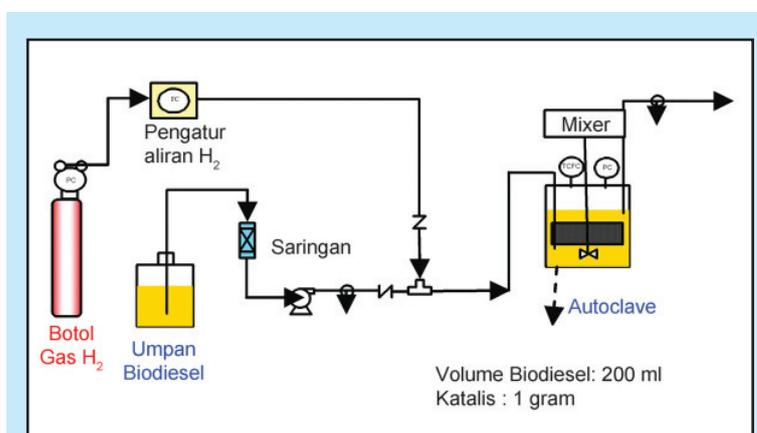
### D. Uji Stabilitas Oksidasi

Stabilitas oksidasi produk-produk biodiesel diuji dengan alat uji Rancimat Model 743, dengan diagram seperti disajikan pada Gambar 2 yang mengikuti prosedur metode uji EN 14112.

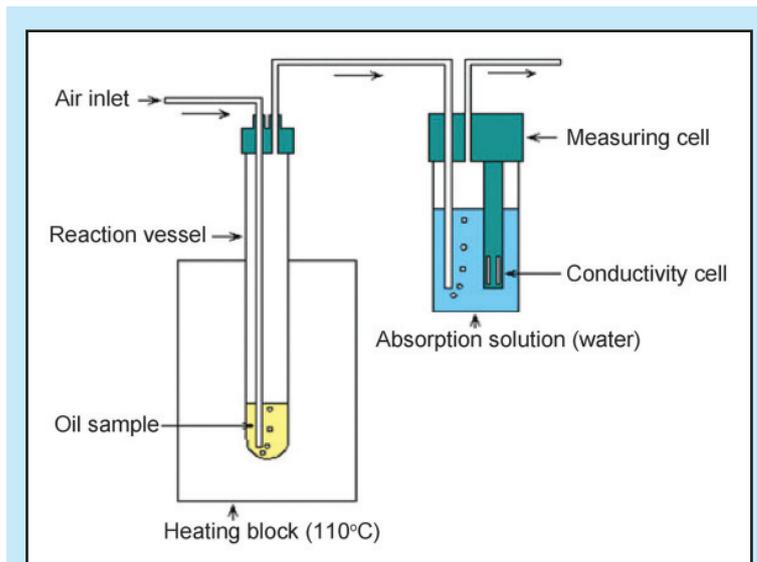
Sampel biodiesel sebanyak 3 gram dipanaskan pada temperatur 110°C dengan mengalirkan udara sejumlah 10 liter/jam. Konduktivitas dicatat secara kontinyu sampai pada 100mS/cm..

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodiesel yang digunakan pada penelitian ini dihasilkan dengan proses transesterifikasi dengan bahan baku minyak sawit (CPO, *crude palm oil*)



Gambar 1  
Diagram alir proses hidrogenasi biodiesel



Gambar 2  
Diagram alat uji Rancimat

dan metil alkohol (CH<sub>3</sub>OH), serta menggunakan katalis NaOH pada temperatur 60°C. Tipikal karakteristik dari biodiesel tersebut disajikan pada Tabel 1. Karakteristik biodiesel yang diperoleh dari hasil proses produksi biodiesel sudah memenuhi spesifikasi yang sudah ditentukan (SNI 04-7182-2006 atau ASTM D-6751). Dalam rangka perbaikan mutu suatu produk dapat dilakukan dengan perubahan karakteristik komposisi atau senyawa produk dengan suatu proses tertentu. Stabilitas oksidasi merupakan suatu kriteria penting untuk mengevaluasi kualitas atau mutu biodiesel. Uji ini dilakukan dengan istilah perioda induksi dengan alat Rancimat Model 743 yang mengikuti prosedur metode uji standard Eropa EN 14112.

Katalis yang digunakan dalam percobaan penelitian adalah logam paladium (Pd) dengan

pendukung alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), yaitu Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Proses hidrogenasi parsial biodiesel (metil ester asam lemak) bertujuan untuk meningkatkan kestabilan oksidasi dan tetap mempertahankan karakteristik biodiesel sebagai bahan bakar setara minyak solar, dalam bentuk cair.

Setelah proses hidrogenasi, karakteristik produk biodiesel yang dianalisis adalah titik tuang (*pour point*), titik kabut (*cloud point*) dan sifat stabilitas oksidasi. Hasil karakterisasi tersebut disajikan pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 untuk masing-masing titik tuang (*pour point*), titik kabut (*cloud point*), dan sifat stabilitas oksidasi (periode induksi), dengan menggunakan katalis Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Titik tuang produk biodiesel sebelum hidrogenasi adalah 12°C dan titik kabut adalah 13°C, dan sesudah mengalami proses hidrogenasi meningkat dengan

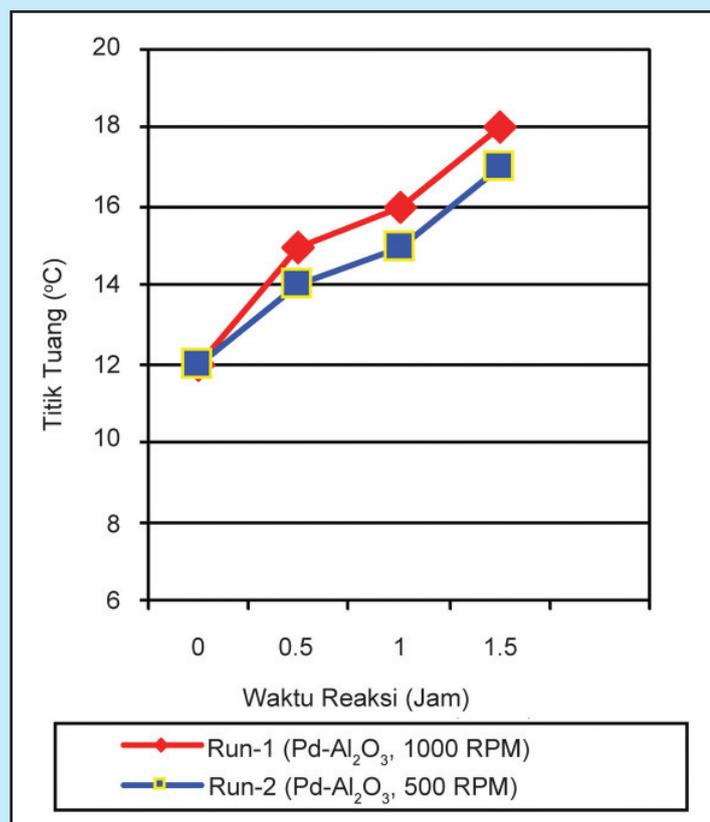
**Tabel 1**  
**Tipikal karakteristik produk biodiesel berbahan baku minyak sawit (POME) dan minyak solar**

No	KARAKTERISTIK	PRODUK		SPESIFIKASI MINYAK SOLAR		
		POME	SOLAR	MIN	MAKS	METODA ASTM
1	Spesifik Gravitasi, 60/60°F	0.865	0.858	0.820	0.870	D 1298
2	Kalkulasi Indeks Setana	58.3	54.3	48	-	D 976
3	Viskositas Kinematik, 40/40°C, cSt	5.72	4.19	2.0	5.0	D 445
4	Titik Tuang °C	12	3	-	18	D 97
5	Titik Kabut °C	13	5	-	18	D 2500
6	Residu Karbon Conradson, %-brt (pada 10% -vol bottom)	2.24	0.05	-	0.1	D 189
7	Kandungan sulphur, %-brt	0.01	0.37	-	0.5	D 1551
8	Korosi Bilah Tembaga, 100°C, 2 jam	1a	1a	-	No 1	D 130
9	Titik Nyala PMCC °F	370	180	150	-	D 93
10	Warna ASTM (ASTM Colour)	4.0	L3	-	3	D 1500
11	Nilai Netralisasi					
	- Strong Acid Number, mg KOH/gr	Nil	Nil	-	Nil	D 664
	- Total Acid Number, mg KOH/gr	12.31	0.06	-	0.6	
12	Distilasi					
	- IBP °C	303.0	202.5	-	-	D 86
	- EP °C	-	>371	-	-	
	- Rec. 300°C	17.45	50.50	40	-	
13	Nilai Kalor Btu/lb	17455	19250	-	-	D 240
14	Sedimen %-brt	Nil	Nil	-	0.01	D 473
15	Air dan Sedimen %-vol	Nil	Nil	-	-	D 1796
16	Kandungan Air %-vol	1.35	0.02	-	-	D 95
17	Stabilitas Oksidasi Jam	-	-	6	-	Rancimat – SNI 7182:2012

lamanya waktu pengadukan dan juga dipengaruhi jenis katalis yang digunakan. Kenaikan nilai titik tuang dan titik kabut tersebut mengindikasikan bahwa ikatan rangkap telah mengalami penjumlahan (*saturated*). Pada umumnya senyawa yang jenuh mempunyai titik tuang dan titik kabut yang lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa tidak jenuh[5, 14]. Hasil yang diperoleh dari proses hidrogenasi terhadap titik tuang menunjukkan bahwa pengaruh waktu reaksi, dan kecepatan pengadukan dengan katalis Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sangat berpengaruh terhadap kenaikan nilai titik tuang (Gambar 3). Secara keseluruhan bahwa nilai yang diperoleh masih memenuhi spesifikasi biodiesel atau minyak solar. Salah satu masalah utama terkait dengan penggunaan biodiesel khususnya di negara-negara yang beriklim dingin, adalah sifat alir kondisi dingin (*cold flow properties*) yaitu titik tuang dan titik kabut. Dalam hal kondisi dingin dengan nilai titik tuang dan titik kabut tinggi maka bahan bakar biodiesel mengalami pembentukan kristal-kristal dan padatan sehingga akan menyumbat saringan dan pipa saluran bahan bakar[5, 15]. Pada umumnya solusi yang dilakukan untuk mengatasi titik tuang yang tinggi adalah menurunkannya dengan cara mencampurkan menurunkannya dengan cara mencampurkan biodiesel dengan minyak solar atau dengan kerosin (minyak tanah) pada rasio tertentu.

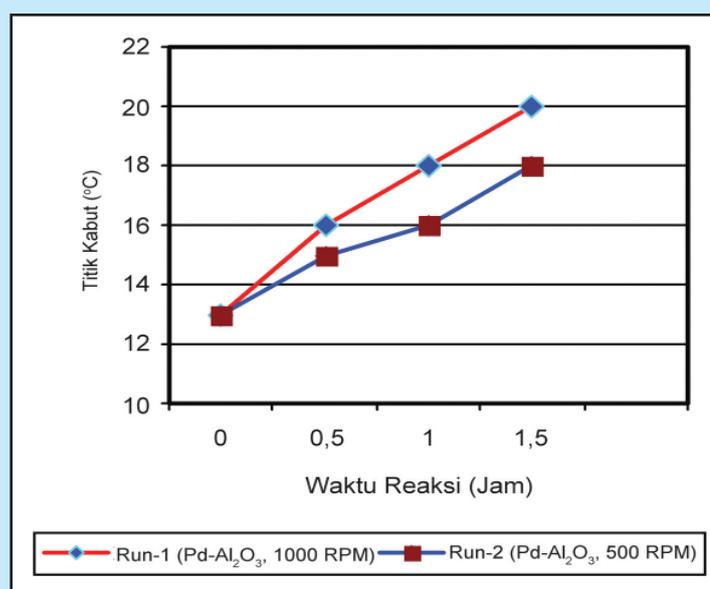
Demikian juga terhadap hasil karakteristik titik kabut, mengalami kenaikan nilai akibat proses hidrogenasi dan dipengaruhi oleh waktu reaksi, kecepatan pengadukan, dan jenis katalis yang digunakan (Gambar 4). Hasil tersebut menunjukkan bahwa katalis Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan waktu reaksi 1,5 jam dan kecepatan pengadukan 1000 rpm tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan (>18°C) tetapi hasil lainnya masih memenuhi spesifikasi.

Menurut beberapa laporan penelitian bahwa hidrogenasi parsial minyak nabati



Gambar 3

Pengaruh proses hidrogenasi dengan kondisi operasi pada temperatur 80°C, waktu reaksi, kecepatan pengadukan, dengan katalis Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap titik tuang (*pour point*)



Gambar 4

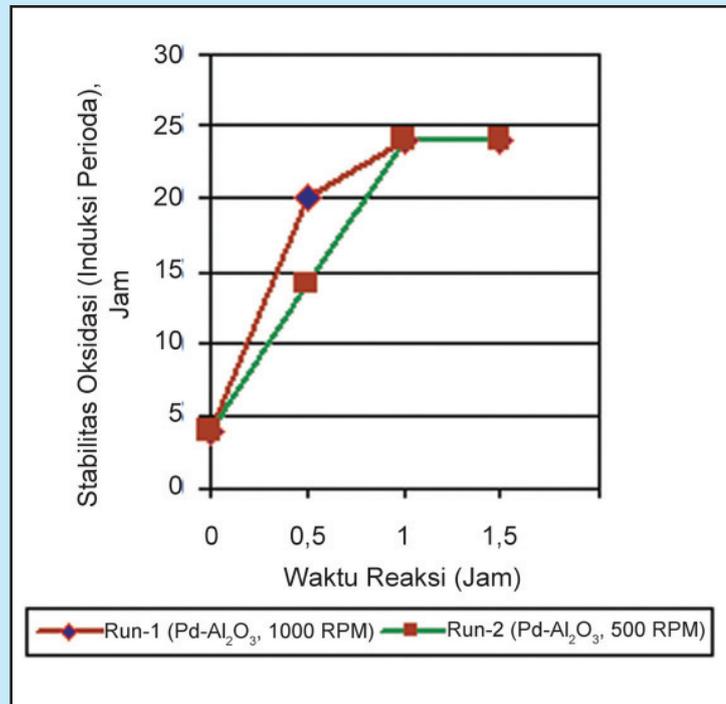
Pengaruh proses hidrogenasi dengan kondisi operasi pada temperatur 80°C, waktu reaksi, kecepatan pengadukan, dengan katalis Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap titik kabut (*cloud point*)

tak jenuh tidak hanya menghasilkan reduksi ikatan rangkap (tak jenuh), tetapi juga perpindahan atau migrasi ikatan rangkap dan isomerisasi ikatan rangkap-cis menjadi konfigurasi trans yang lebih stabil<sup>[9,16,17]</sup>.

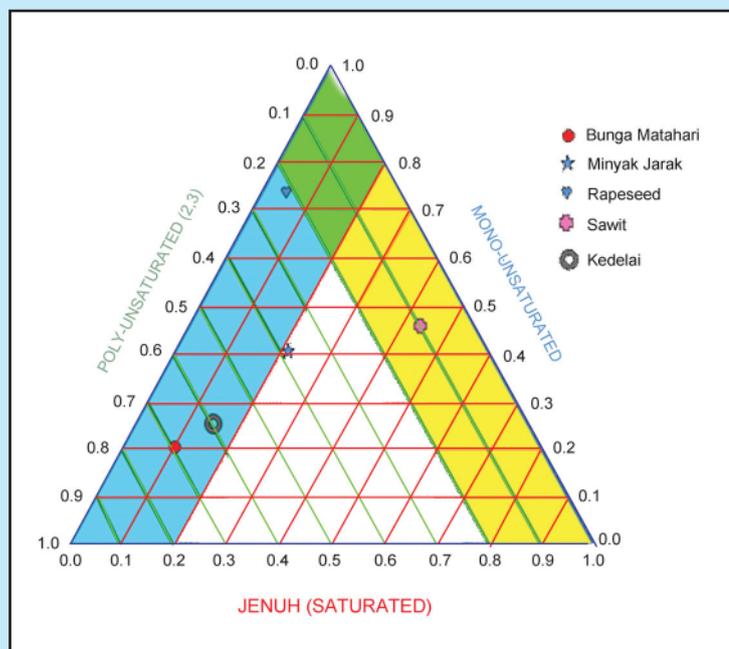
Uji stabilitas oksidasi adalah salah satu kriteria penting untuk mengevaluasi kualitas (mutu) biodiesel. Pengujian stabilitas oksidasi dilakukan dengan alat Rancimat Model 743 berdasarkan periode induksi (*induction period*) yang didefinisikan sebagai kerentanan atau kelemahan dari biodiesel terhadap oksidasi dengan keberadaan udara atau oksigen dan ditentukan periode induksi (waktu) pada nilai konduktivitas 100mS/cm.

Hasil karakterisasi stabilitas oksidasi yang disajikan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa stabilitas oksidasi (periode induksi) meningkat dengan pengaruh waktu reaksi, kecepatan pengadukan, dan penggunaan katalis. Standar spesifikasi untuk stabilitas oksidasi biodiesel di Indonesia (SNI 04-7182-2006) belum dimasukkan dan sudah direvisi pada tahun 2012 dengan nilai 6 jam (SNI 7182:2012). Sedangkan stabilitas oksidasi yang terdapat pada standar Amerika ASTM D 6751-07b adalah minimal 3 jam dan standar Eropa DIN-14214 telah menetapkan minimal 6 jam. Beberapa Negara di Asia menetapkan stabilitas oksidasi minimal 6 jam, dan WWFC (*WorldWide Fuel Charter*) menetapkan minimal 10 jam<sup>[18]</sup>.

Stabilitas oksidasi biodiesel relatif lebih rendah daripada minyak diesel/solar karena ester metil asam lemak yang tidak jenuh. Dengan adanya ester-ester yang tidak jenuh membuat biodiesel sangat tidak stabil terhadap oksidasi dengan kondisi penyimpanan biasa (normal). Pada umumnya bahan baku yang digunakan untuk produksi biodiesel mempunyai kandungan asam lemak tak jenuh yang tinggi, misalnya minyak rapeseed mengandung 85,2%; minyak kedele mengandung 83,7%, minyak sawit mengandung 54,2%, dan



**Gambar 5**  
Pengaruh proses hidrogenasi dengan kondisi operasi pada temperatur 80°C, waktu reaksi, kecepatan pengadukan, dengan katalis Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap stabilitas oksidasi (periode induksi)



**Gambar 6**  
Komposisi senyawa-senyawa poli, mono-tak jenuh dan jenuh biodiesel dari beberapa bahan baku (Sumber: Ramos, M.J. dkk, *Bioresources Technology*, 2009, 100, <sup>[22]</sup>)

minyak bunga matahari mengandung 90,2% asam lemak tak jenuh<sup>[19]</sup>.

Mengacu hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik stabilitas oksidasi dapat memenuhi kriteria atau standar spesifikasi yang ada. Dengan adanya penjumlahan atau saturasi ikatan rangkap akan mengurangi terjadinya reaksi oksidasi. Beberapa peneliti melaporkan bahwa katalis palladium (Pd) memberikan hasil yang lebih baik dalam hal proses hidrogenasi parsial dibandingkan dengan katalis nikel (Ni)<sup>[5, 19, 20]</sup>. Katalis Pd mempunyai selektifitas yang lebih baik dan mudah dikontrol untuk proses hidrogenasi parsial dibandingkan dengan katalis nikel (Ni)<sup>[20, 21]</sup>.

Dari data yang diperoleh menunjukkan bahwa untuk memenuhi standar spesifikasi untuk karakteristik sifat alir (titik tuang dan titik kabut) dan karakteristik stabilitas oksidasi dari produk biodiesel yang mengalami proses hidrogenasi dengan katalis Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> harus ada kondisi proses yang dikompromikan. Artinya stabilitas oksidasi sudah baik nilainya, tetapi nilai titik tuang dan titik kabut harus diperhatikan pada kondisi proses yang lebih menguntungkan. Dalam hal ini, kondisi operasi proses hidrogenasi yaitu waktu reaksi 0,5 jam dan kecepatan pengadukan 500 rpm sudah dapat memenuhi kriteria standar spesifikasi untuk ketiga karakteristik yang diteliti (titik tuang, titik kabut, dan stabilitas oksidasi). Bila kondisi operasi proses hidrogenasi tidak dikompromikan maka untuk menurunkan sifat alir (titik tuang dan titik kabut) adalah dengan menambahkan aditif peningkat sifat alir (*cold flow improver*)<sup>[5]</sup>.

Seperti dijelaskan pada penelitian terdahulu dengan menggunakan katalis Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>[21]</sup> bahwa untuk memperoleh hasil yang optimal dalam proses hidrogenasi harus memperhatikan diagram segitiga hasil penelitian dari Ramos dkk.<sup>[22]</sup> menyatakan perlu ada kompromi yang mendekati daerah hijau seperti terlihat pada diagram segitiga dalam Gambar 6.

#### IV. KESIMPULAN

Dari data percobaan proses peningkatan kualitas biodiesel dengan pengembangan teknologi proses pengolahan produksi biodiesel melalui proses hidrogenasi parsial dapat disimpulkan sebagai berikut:

Proses hidrogenasi parsial akan menaikkan nilai titik tuang (*pour point*), titik kabut (*cloud point*) dan stabilitas oksidasi biodiesel, yang dipengaruhi oleh lamanya waktu reaksi, kecepatan pengadukan dan juga oleh jenis katalis yang digunakan.

Katalis yang mengandung logam aktif palladium (Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) memberikan hasil hidrogenasi lebih baik karena mempunyai selektifitas hidrogenasi parsial dibandingkan dengan katalis lain seperti logam aktif nikel (Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), yang dapat dilihat dari sifat alirnya (titik tuang dan titik kabut) serta stabilitas oksidasinya.

Sifat stabilitas oksidasi dari biodiesel dapat ditingkatkan melalui proses hidrogenasi parsial dengan katalis tertentu.

Berdasarkan hasil penelitian ini bahwa lamanya proses hidrogenasi selama setengah (0,5) jam dan kecepatan pengadukan 500 rpm sudah dapat memberikan hasil terbaik atau memenuhi spesifikasi yang ditentukan untuk sifat alir dan stabilitas oksidasi.

Dalam perbaikan atau peningkatan kualitas (mutu) biodiesel diperlukan proses kompromi dengan mengatur kondisi operasi seperti lamanya reaksi dan juga mungkin variabel yang lain yang belum diteliti seperti temperatur serta jenis katalis yang lainnya.

#### KEPUSTAKAAN

1. <sup>11</sup>Cerveny, L (Editor), *Catalytic Hydrogenation, 1986, Studies Surface Science and Catalysis*, Vol. 27, Elsevier Science Publisher BV, Amsterdam,
2. <sup>15</sup>Durrett, T. P.; Benning, C.; Ohlrogge, J., 2008, *Plant triacylglycerols as feedstocks for the production of biofuels*. *Plant J.*, 54 (4), 593-607
3. <sup>7</sup>Giakoumis, E. G., 2013, *A statistical investigation of biodiesel physical and chemical properties, and their correlation with the degree of unsaturation, Renewable Energy*", Vol. 50, pp. 858-878, doi: 10.1016/j.renene.2012.07.040
4. <sup>5</sup>Goto, S., Oguma, M and Chollacoop, N., 2010, *Biodiesel Fuel Quality*, EAS-ERIA Biodiesel Fuel Trade Handbook: 2010, Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia Working Group, Jakarta: ERIA, pp.27-62.
5. <sup>8</sup>Goto, S., M. Oguma, N. Chalooop (ed.) "*EAS-ERIA Biodiesel Fuel Trade Handbook : 2010*", Economic Research Institute for Asean and East Asia (ERIA), 2010.
6. <sup>16</sup>Gunstone, F. D., 1996, *Fatty Acid and Lipid Chemistry*. Chapman & Hall, London (UK)

7. <sup>18</sup>**HartEnergy, International Fuel Quality Center (IFQC)**, 2011 *Worldwide Fuel Specifications*, 12<sup>th</sup> Edition
8. <sup>14</sup>**Lopes, J.C.A., L. Boros., M. A. Krähenbühl, A. J. A. Meirelles, J. L. Daridon, J. Pauly, I. M. Marrucho, and J. A. P. Coutinho**, 2008, *Prediction of Cloud Points of Biodiesel*, *Energy & Fuels*, 22, 747-752
9. <sup>4</sup>**Meher, L.C., Sagar, D.V. and Naik, S.N.**, 2004, *Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification: A review*, *Renew. Sustainable Energy Rev.* 3, 1-21
10. <sup>2</sup>**Mittelbach, M. and Remschmidt, C.**, 2004, *Biodiesel, The Comprehensive Handbook*, First edition, Austria,
11. <sup>13</sup>**Mittelbach, M.; Gangl, S.**, 2001, *Long Storage Stability of Biodiesel Made from Rapeseed and Used Frying Oil*. *JAOCS*, 78 (6), 573-577.
12. <sup>9</sup>**Moser, B. R., Haas, M. J., Winkler, J. K., Jackson, M. A., Erhan, S. Z and List, G.R.**, 2007, *Evaluation of partially hydrogenated methyl esters of soybean oil as biodiesel*, *Eur J Lipid Sci Technol.* 109, 17–24. DOI 10.1002/lejl.200600215
13. <sup>12</sup>**Monyem, A.; Canakci, M.; Van Gerpen, J.**, 2000, *Investigation of Biodiesel thermal Stability Under Simulated In-Use Conditions*. *Applied Engineering in Agriculture*, 16 (4), 373-378.
14. <sup>10</sup>**NREL/TP-540-43672**, “*Biodiesel Handling and Use Guide*,” 4<sup>th</sup> Ed.
15. <sup>22</sup>**Ramos, M. J., Fernandez, C. M., Casa, A., Rodriguez, L., and Perez, A.**, 2009, *Influence of Fatty Acid Composition of Raw Material on Biodiesel Properties*, *Bioresources Technology*, 100, 261-268
16. <sup>19</sup>**Rathbauer, J., Bacovsky, D., Prankl, H., Worgetter, M. and Korbitz, W.** 2009, *Local and Innovative Biodiesel New Feedstock Blending Recipes for Improved Fuel Properties*, [http://www.blt.bmlf.gv.at/veroeff/0886\\_Local\\_and\\_innovative\\_biodiesel.pdf](http://www.blt.bmlf.gv.at/veroeff/0886_Local_and_innovative_biodiesel.pdf), diakses 6 Maret 2013.
17. <sup>17</sup>**Scrimgeour, C.**, 2005, *Chemistry of Fatty Acids in: Bailey's Industrial Oil and Fat products*, Fereidoon Shahidi (Editor), 6<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc.
18. <sup>21</sup>**Sidjabat, O.**, 2013, *Peningkatan Sifat Alir dan Stabilitas Oksidasi Biodiesel dengan Proses Hidrogenasi Parsial. (Bagian I): Penggunaan Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Sebagai Katalis*, Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi, Vol 47, No 2, Agustus 2013.
19. <sup>3</sup>**Sidjabat, O.**, 1995, *Studi Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Bahan Bakar Motor Setara Solar*, *Proceedings Diskusi Ilmiah VIII PPPTMGB "LEMIGAS"*, Jakarta, 13-14 Juni 1995, hal. 227-233
20. <sup>20</sup>**Sonthisowate, T., Suemanotham, A., Yoshimura, Y., Makoto, T., and Abe, Y.**, *Upgrading of Biodiesel Fuel Quality by Partial Hydrogenation Process*, <http://www.gbs.flas.kps.ku.ac.th/pdf/or10.pdf>
21. <sup>1</sup>**Vicente, G., Martinez, M. and Aracil, J.**, 2004, *Integrated Biodiesel Production: A comparison of different homogeneous catalyst systems*, *Biores. Technol.* 92, 297-305
22. <sup>6</sup>**Waynick, J. A.**, 2005, *Characterization Of Biodiesel Oxidation And Oxidation Products*, The Coordinating Research Council, Task 1 Results, CRC Project No. AVFL-2b, National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy