

Peningkatan Sifat Alir dan Stabilitas Oksidasi Biodiesel dengan Proses Hidrogenasi Parsial (Bagian I): Penggunaan Ni-Al₂O₃ Sebagai Katalis

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

Email: oberlin@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 13 Juni 2013; Diterima setelah perbaikan tanggal 1 Juli 2013

Disetujui terbit tanggal: 30 Agustus 2013

ABSTRAK

Biodiesel merupakan bahan bakar nabati sebagai substitusi minyak diesel/solar yang menjanjikan. Namun masih ada permasalahan dalam hal mutu seperti kestabilan oksidasi dan sifat alirnya yaitu titik tuang dan titik kabut yang sangat penting dalam utilisasi 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. Untuk mengatasi permasalahan ketidakstabilan produk biodiesel, konsentrasi asam lemak tak jenuh perlu diturunkan melalui proses hidrogenasi parsial dengan bantuan katalis nikel (Ni) berpenyangga (*support*) alumina (Al₂O₃). 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 alirnya meningkat secara signifikan dengan penggunaan katalis nikel tersebut.

Kata kunci: biodiesel, hidrogenasi parsial, katalis nikel, stabilitas oksidasi, titik kabut, titik tuang

ABSTRACT

Biodiesel is vegetable fuel as promising fuel for substituted diesel oil. 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. In order to solve the problem of unstable biodiesel product, the concentration of unsaturated fatty acids should be reduced by partial hydrogenation processing with Nickel (Ni) supported on alumina (Al₂O₃) as catalyst. Partial hydrogenation processing was conducted by autoclave stirred reactor with temperature 80°C and atmospheric 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, nickel catalyst, oxidation stability, cloud point, pour point

I. PENDAHULUAN

Bahan bakar biodiesel, merupakan suatu bahan bakar alternatif setara minyak solar, yang diproduksi dari sumber terbarukan seperti minyak nabati dan lemak hewani dengan proses sederhana yaitu transesterifikasi^[1,2].

Secara kimia, biodiesel adalah ester metil asam lemak dan hanya disebut biodiesel bila digunakan

sebagai bahan bakar dalam mesin diesel dan sistem pemanasan^[3,4]. 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)^[3].

Biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar campuran dengan minyak solar dengan berbagai perbandingan dan/atau langsung digunakan tanpa memodifikasi mesin kendaraan.

Biodiesel merupakan bahan bakar minyak diesel/solar alternatif yang menjanjikan, namun dari beberapa penelitian dan literatur menyebutkan bahwa karakteristiknya, baik dalam penggunaan maupun dalam penyimpanan, masih ada permasalahan terutama dalam hal mutu seperti kestabilan oksidasi dan sifat alirnya yaitu titik tuang dan titik kabut, sifat-sifat ini sangat penting dalam penggunaan secara komersial^[5, 6]. 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 oksigen dari udara membentuk polimer-polimer serta pengaruh faktor lain seperti panas, logam dsb^[5, 7]. Telah banyak dilaporkan bahwa semakin bertambah ikatan rangkap maka laju oksidasi akan meningkat kira-kira 10 kali setiap tahap^[5].

Mutu biodiesel merupakan hal yang penting dalam penggunaannya secara komersial. Bahan baku yang mengandung komponen asam lemak jenuh tinggi menunjukkan stabilitas oksidasi yang lebih baik. Tetapi bila kandungan asam lemak jenuh yang tinggi dalam bahan baku, akan memberikan sifat alir yang lebih rendah terutama pada kondisi dingin.

Masalah utama dari pengaruh karakteristik stabilitas oksidasi adalah selain bahan bakar bias rusak juga menyebabkan penyumbatan saringan mesin atau pompa mesin. Menggunakan biodiesel pada kondisi cuaca dingin juga merupakan masalah serius dalam sifat alir pada kondisi dingin. 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. Proses hidrogenasi dapat meningkatkan stabilitas oksidasi biodiesel tanpa menambahkan antioksidan.

Proses hidrogenasi sudah sering digunakan untuk minyak yang dapat dimakan (*edible oil*) menjadi margarin dengan bantuan katalis nikel. Namun untuk 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.

Stabilitas oksidasi merupakan mata uji yang sangat penting pada spesifikasi biodiesel yang dimasukkan dalam Standard Nasional Indonesia Biodiesel tahun 2012 (SNI 7182-2012).

Penelitian ini ditujukan untuk meningkatkan karakteristik biodiesel sebagai substitusi minyak solar dan khususnya sifat stabilitas oksidasi yang sering menjadi masalah pada mesin kendaraan diesel, dan juga selama penyimpanan^[8, 9]. Juga menjadikan acuan untuk mengantisipasi spesifikasi stabilitas oksidasi yang diterapkan dalam SNI (Standar Nasional Indonesia) Biodiesel.

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 nikel (Ni) dengan penyangga alumina (Al_2O_3). Katalis dipreparasi dengan mengimpregnasikan logam tersebut ke dalam alumina (Al_2O_3) dan dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 1 jam.

B. Proses Hidrogenasi

Reaksi hidrogenasi parsial dilakukan pada reaktor *autoclave* berpengaduk secara tumpak (*batch*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Biodiesel (200 ml) dan katalis (1 gram) dimasukkan dalam reaktor *autoclave* dengan pengadukan. Gas N_2 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.

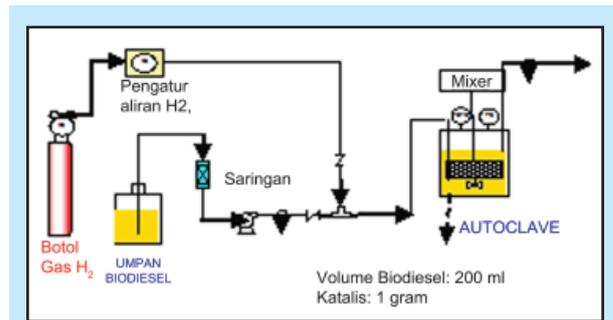
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses produksi biodiesel dilakukan dengan proses transesterifikasi dengan bahan baku minyak sawit (CPO, *crude palm oil*) dan metil alkohol (CH₃OH), serta menggunakan katalis NaOH pada temperatur 60°C. Tipikal karakteristik dari biodiesel yang diproduksi dengan bahan baku minyak sawit 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).

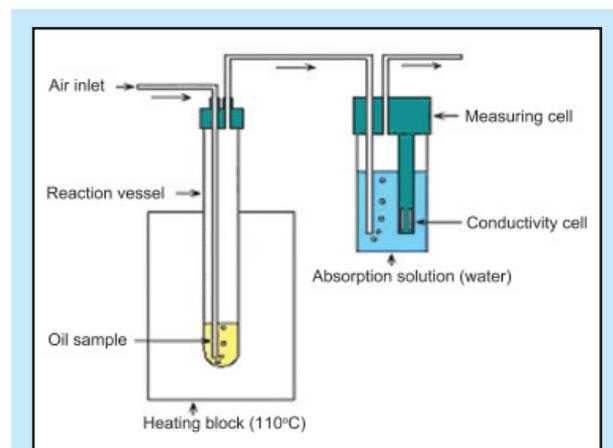
Salah satu proses untuk peningkatan mutu biodiesel yang disebabkan adanya ikatan rangkap adalah dengan proses hidrogenasi dengan bantuan suatu katalis tertentu. Katalis yang digunakan dalam percobaan penelitian adalah logam nikel (Ni) dengan pendukung alumina (Al₂O₃), yaitu Ni-Al₂O₃. Katalis tersebut dipreparasi dengan metoda impregnasi. Hasil dari proses hidrogenasi produk biodiesel adalah indikasi dari perubahan karakteristik sifat alir produk, antara lain adalah titik tuang (*pour point*).

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 Ni-Al₂O₃.

Titik tuang produk biodiesel sebelum hidrogenasi adalah 12°C dan titik kabut adalah 13°C (Tabel 1), dan



Gambar 1
Diagram alir proses hidrogenasi biodiesel



Gambar 2
Diagram alat uji Rancimat

sesudah mengalami proses hidrogenasi meningkat dengan lamanya waktu reaksi dan kecepatan pengadukan. Kenaikan nilai titik tuang dan titik kabut tersebut mengindikasikan bahwa ikatan rangkap telah mengalami penenuhan (*saturated*). Pada umumnya senyawa yang jenuh mempunyai titik tuang dan titik kabut yang lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa tidak jenuh^[5, 10]. Hasil yang diperoleh dari proses hidrogenasi terhadap titik tuang menunjukkan bahwa pengaruh waktu reaksi, dan kecepatan pengadukan dengan katalis Ni-Al₂O₃ sangat berpengaruh terhadap kenaikan nilai titik tuang (Gambar 3). Secara keseluruhan bahwa nilai yang diperoleh masih memenuhi spesifikasi biodiesel atau minyak solar, kecuali hasil pada waktu reaksi 1,5 jam dengan katalis Ni-Al₂O₃ (Run-1) yang melebihi nilai spesifikasi (*off-spec*) >18°C. Salah satu masalah utama terkait dengan penggunaan biodiesel khususnya di negara-negara yang beriklim dingin, adalah sifat alir pada kondisi dingin (*cold flow properties*) yaitu titik tuang dan titik kabut. Dalam hal kondisi dingin, nilai

Tabel 1
Tipikal karakteristik produk biodiesel berbahan baku minyak sawit
(POME, Palm Oil Metil Ester) 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					D 664
	- Strong Acid Number, mg KOH/gr	Nil	Nil	-	Nil	
	- Total Acid Number, mg KOH/gr	12.31	0.06	-	0.6	
12	Distilasi					D 86
	- IBP °C	303.0	202.5	-	-	
	- 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

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, 11]. Pada umumnya solusi yang dilakukan untuk mengatasi titik tuang tinggi adalah menurunkannya dengan cara yang mencampurkan biodiesel dengan minyak solar atau dengan kerosin (minyak tanah) pada rasio tertentu.

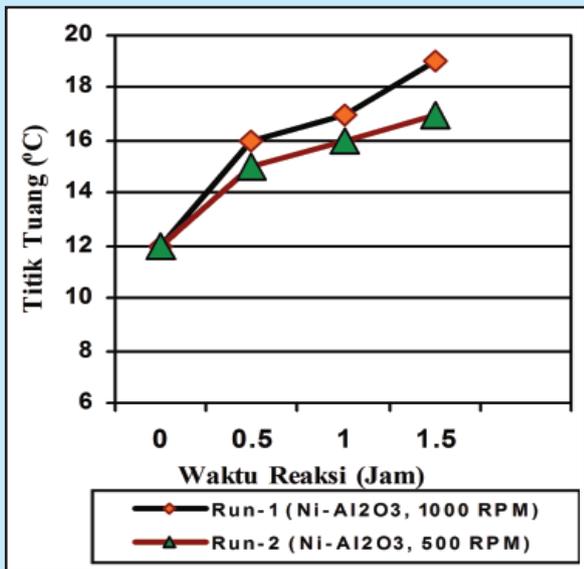
Demikian juga terhadap hasil karakteristik titik kabut, mengalami kenaikan nilai akibat proses hidrogenasi dan dipengaruhi oleh waktu reaksi dan kecepatan pengadukan, dengan menggunakan katalis Ni-Al₂O₃ (Gambar 4). Hasil tersebut menunjukkan bahwa katalis Ni-Al₂O₃ dan waktu reaksi 1,5 jam dan kecepatan pengadukan 1000 rpm tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan (>18°C) dan hasil lainnya masih memenuhi spesifikasi.

Menurut beberapa laporan penelitian bahwa hidrogenasi parsial minyak nabati 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^[12-14].

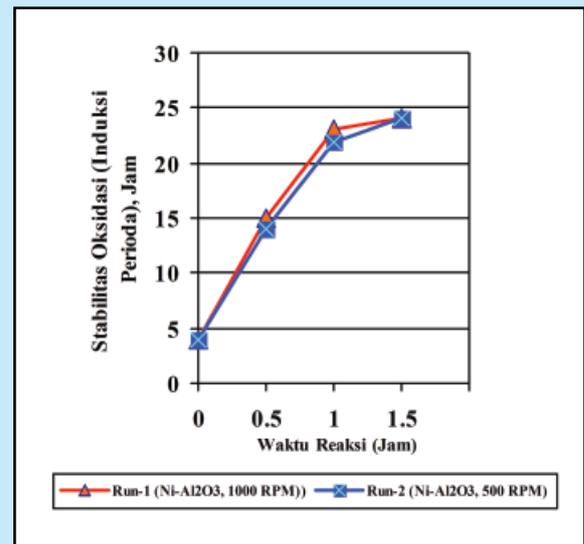
Uji stabilitas oksidasi adalah salah satu kriteria penting untuk mengevaluasi kualitas (mutu) biodiesel. Pengujian stabilitas oksidasi dilakukan dengan alat Rancimat berdasarkan perioda induksi (*induction period*) yang didefinisikan sebagai kerentanan atau kelemahan dari biodiesel terhadap oksidasi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

Hasil karakterisasi stabilitas oksidasi yang disajikan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa stabilitas oksidasi (perioda induksi) meningkat dengan pengaruh waktu reaksi, kecepatan pengadukan, dan jenis katalis. Standar spesifikasi untuk stabilitas oksidasi biodiesel di Indonesia (SNI 04-7182-2006)



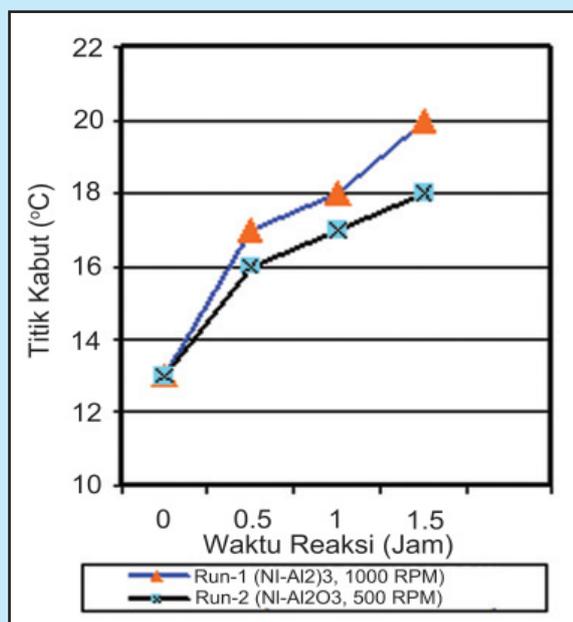
Gambar 3

Pengaruh proses hidrogenasi dengan kondisi operasi pada temperatur 80°C, waktu reaksi, dan kecepatan pengadukan, dengan katalis Ni-Al₂O₃ terhadap titik tuang (*pour point*)



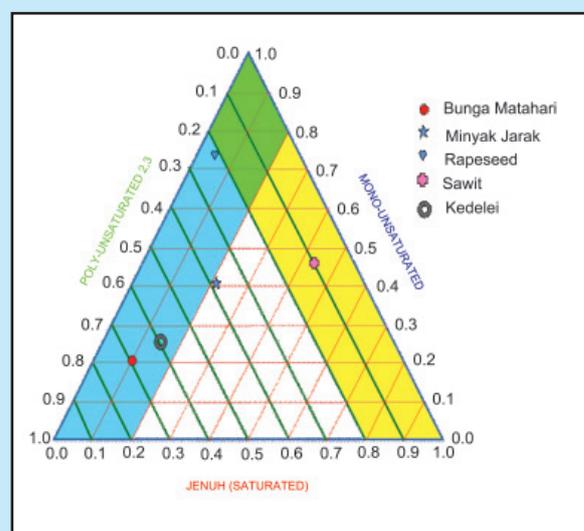
Gambar 5

Pengaruh proses hidrogenasi dengan kondisi operasi pada temperatur 80°C, waktu reaksi, dan kecepatan pengadukan, dengan katalis Ni-Al₂O₃ terhadap stabilitas oksidasi (*periode induksi*)



Gambar 4

Pengaruh proses hidrogenasi dengan kondisi operasi pada temperatur 80°C, waktu reaksi, dan kecepatan pengadukan, dengan katalis Ni-Al₂O₃ terhadap titik kabut (*cloud point*)



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 [16])

belum dimasukkan dan masih diusulkan pada tahun 2012 dengan nilai 6 jam. Sedangkan stabilitas oksidasi yang terdapat pada standar Amerika ASTM D 6751-07b adalah minimal 3 jam dan standar

Eropa EN-14214 telah menetapkan minimal 6 jam. Beberapa Negara di Asia menetapkan stabilitas oksidasi minimal 6 jam, dan WWFC (*World Wide Fuel Charter*) menetapkan minimal 10 jam [15].

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.

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 Ni-Al₂O₃ 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*)^[5].

Salah satu hasil penelitian dari Ramos dkk^[16] menyatakan bahwa kejenuhan (*saturated*) dan ke-tidakjenuhan (*un-saturated*) bahan baku mempengaruhi karakteristik produk biodiesel seperti terlihat pada diagram segitiga dalam Gambar 6. Daerah warna kuning mengindikasikan angka setana, nilai iod dan stabilitas oksidasi yang paling baik. Sedangkan daerah warna biru adalah mengidentifikasi yang paling baik untuk sifat alir (titik tuang, titik kabut) dan daerah warna hijau adalah mengidentifikasi daerah kompromi.

Berdasarkan gambaran dari diagram segitiga tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk memperbaiki mutunya dapat dikompromikan melalui suatu proses seperti hidrogenasi parsial sehingga didapatkan karakteristik yang diinginkan dengan kompromi dengan mengusahakan karakteristik yang mendekati daerah hijau. Hal ini disebabkan bahan baku yang sangat berbeda karakteristiknya dan harus disesuaikan terhadap spesifikasi serta sifat kestabilan produk, baik dalam penyimpanan maupun dalam penggunaan di lapangan.

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*) dan titik kabut (*cloud point*) biodiesel, dengan lamanya waktu reaksi dan kecepatan pengadukan dengan menggunakan katalis Ni-Al₂O₃.

Sifat stabilitas oksidasi biodiesel dapat ditingkatkan melalui proses hidrogenasi.

Berdasarkan hasil penelitian ini bahwa lamanya proses hidrogenasi selama setengah (0,5) jam dengan katalis Ni-Al₂O₃ sudah dapat memberikan hasil terbaik untuk sifat alir dan stabilitas oksidasi biodiesel.

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.

KEPUSTAKAAN

1. **Durrett, T. P.; Benning, C.; Ohlrogge, J.**, 2008, Plant triacylglycerols as feedstocks for the production of biofuels. *Plant J.*, 54 (4), 593-607
2. **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
3. **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, 27-62.
4. **Gunstone, F. D.**, 1996, Fatty Acid and Lipid Chemistry. Chapman & Hall, London (UK).
5. **HartEnergy, International Fuel Quality Center (IFQC)**, 2011 Worldwide Fuel Specifications, 12th Edition,
6. **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
7. **Meher, L.C., Sagar, D.V. and Naik, S.N.**, Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification: A review, *Renew. Sustainable Energy Rev.* 3, 1-21

8. **Mittelbach, M.** and **Remschmidt, C.**, 2004, Biodiesel, The Comprehensive Handbook, First edition, Austria,
9. **Mittelbach, M.;** **Gangl, S.**, 2001, Long Storage Stability of Biodiesel Made from Rapeseed and Used Frying Oil. *JAOCS*, 78(6), 573-577.
10. **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.
11. **Moser, B. R.,** **Haasb, 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.
12. **Ramos, M. J.,** **Fernandez, C. M.,** **Casa, A.,** **Rodrguez, L.,** and **Perez, A.**, 2009, Influence of Fatty Acid Composition of Raw Material on Biodiesel Properties, *Bioresources Technology*, 100, 261-268.
13. **Scrimgeour, C.**, 2005, Chemistry of Fatty Acids in: *Bailey's Industrial Oil and Fat products*, Fereidoon Shahidi (Editor), 6th edition, John Wiley & Sons, Inc.
14. **Sidjabat, O.**, 1995, Studi Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Bahan Bakar Motor Setara Solar, *Proceedings Diskusi Ilmiah VIII PPPT-MGB "LEMIGAS"*, Jakarta, 13-14 Juni 1995, hal. 227-233.
15. **Vicente, G.,** **Martinez, M.** and **Aracil, J.**, 2004, Integrated Biodiesel Production: A comparison of different homogeneous catalyst systems, *Biores. Technol*, 2004, 92, 297-305.
16. **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.