

# Aplikasi Alur Sintesis Baru Untuk Pembuatan Biodiesel Super Setana Melalui Proses Hidrotreating Minyak Nabati Non Pangan Menggunakan Katalis

Soja Siti Fatimah<sup>1</sup>, Agus Setiabudhi<sup>1</sup>, Ratnaningsih Eko S<sup>1</sup>, Rifan H, Uki Marzuki<sup>1</sup>, Dora N<sup>1</sup>, dan Natasha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Pendidikan Kimia FPMIPA

Universitas Pendidikan Indonesia (UPI)

Jl. Dr. Setiabudhi 229 Bandung 40154, Phone/Fax: 022 200579

Email: [soja\\_sf@upi.edu](mailto:soja_sf@upi.edu)

## ABSTRAK

Pembuatan biodiesel dari minyak nabati non pangan adalah salah satu alternatif yang memungkinkan untuk mengatasi masalah global berkurangnya cadangan minyak bumi, juga mencegah penggunaan komoditas pangan menjadi bahan baku energi yang dapat memicu terjadinya krisis pangan. Pembuatan biodiesel dilakukan melalui proses hidrotreating katalitik tergolong baru. Metode ini memiliki lebih banyak keunggulan dibandingkan metode pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi. Proses hidrotreating katalitik diawali pada skala laboratorium menggunakan reaktor sistem *batch* pada minyak goreng terlebih dahulu. Percobaan dilakukan dengan menggunakan beberapa katalis berbasis logam aktif Ni, dalam bentuk logam, sulfida, dan terpoliarisasi bentonit. Selain itu dilakukan percobaan dengan variasi jenis katalis, temperatur, tekanan, menggunakan reaktor *batch* untuk mengetahui kondisi hidrotreating optimum. Hasil uji aktivitas Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> belum menunjukkan terjadinya rantai alkana, sedangkan untuk katalis (NiPi/C), dan NiS/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, telah menunjukkan terjadinya rantai karbon alkana yaitu : undekana sebesar 0,23%, dodekana : 0,09%, dan pentadekana : 0,15%. Kondisi optimum reaksi hidrogenasi minyak nabati (hidrotreating) dicapai pada suhu 300<sup>0</sup>C, tekanan 25 kg/cm<sup>2</sup>, dengan perbandingan katalis dan bahan minyak nabati sebesar 1%

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi dunia makin meningkat, selama ini dipenuhi dari minyak bumi dan bahan bakar fosil lainnya yang merupakan sumber energi tidak terbarukan. Pencarian sumber energi alternatif, khususnya dari sumber daya alam terbarukan merupakan hal yang perlu dilakukan segera. Pembuatan biodiesel dari minyak nabati adalah salah satu alternatif yang paling memungkinkan saat ini.

sumber biodiesel yang telah mulai dikembangkan ternyata adalah merupakan komoditas pangan yang dapat memicu terjadinya krisis pangan. Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati dilakukan melalui proses transesterifikasi. Produk biodiesel transesterifikasi mempunyai

bilangan setana tidak tinggi, hanya sekitar 45.

Selain dengan proses transesterifikasi, biodiesel dapat diproduksi melalui proses hidrotreating. Proses ini terbukti mampu mengubah minyak biji matahari menjadi biodiesel (Huber dkk., 2007). Produk biodiesel yang dihasilkan adalah alkana rantai lurus. Proses ini dilakukan dengan bantuan suatu katalis dan berlangsung pada tekanan dan temperatur yang relatif tinggi.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk memperoleh biodiesel super setana dari minyak nabati non pangan melalui proses hidrotreating katalitik. Adapun tahapan kerjanya diawali dari sintesis katalis, karakterisasi katalis, uji aktivitas katalis, dan pencarian kondisi optimum

hidrotreating katalitik untuk mendapat produk rantai karbon alkana.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan terdiri atas :  $\text{Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  p.a,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Ca- bentonit, DMS, gas  $\text{H}_2$ , gas  $\text{N}_2$ , minyak goreng, HCl, akuades, dan larutan  $\text{AgNO}_3$

### 2.1 Metode

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi : preparasi tiga jenis katalis yang digunakan pada hidrotreating, karakterisasi katalis hasil preparasi, dan uji katalis pada proses hidrotreating.

#### Preparasi Katalis

Preparasi katalis dilakukan berdasarkan adaptasi prosedur kerja yang telah dikembangkan dalam literatur (Moulijn dkk., 1993; Rautanen, 2002 ; Fern'andez, dkk., 2007). Terdapat 3 jenis katalis yang disintesis yaitu  $\text{Ni/Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiS/Al}_2\text{O}_3$  dan Logam nikel terpillarisasi bentonit (Nip-PilC)

Preparasi katalis logam diawali dengan pembuatan larutan garam precursor, larutan garam prekursor  $\text{Ni(NO}_3)_2$  (Nikel Nitrat), Kemudian mengimpregnasikan logam Ni ke permukaan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dengan cara reflux pada  $(82-85)^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Selanjutnya dilakukan penyaringan dan pemanasan pada suhu  $120^\circ\text{C}$  selama 17 jam dan kalsinasi dilakukan menggunakan *furnace* pada  $500^\circ\text{C}$  selama 4 jam untuk mengubah kation Ni menjadi bentuk oksidanya, kemudian didinginkan di desikator. Untuk katalis logam tersulfida, Proses sulfidasi ini dilakukan dengan memasukan katalis dan DMS kedalam reaktor. Untuk katalis logam terpillarisasi bentonit dilakukan dengan impregnasi logam Ni ke permukaan bentonit dengan cara reflux.

#### Karakterisasi Katalis Hasil Preparasi

Hasil preparasi katalis logam dan logam tersulfida dari  $\text{NiO/Al}_2\text{O}_3$  dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD, untuk mengetahui logam Ni yang telah terimpregnasi pada  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan bentonit. Kandungan logam Ni dalam katalis hasil preparasi ditentukan menggunakan instrumen AAS.

#### Uji Aktivitas Katalis

Untuk mengetahui keaktifannya, katalis diaplikasikan pada reaksi reduksi katalis itu sendiri dan pada reaksi hidrotreating minyak goreng. Prosesnya diawali dengan perhitungan secara teoritis tentang komposisi gas di dalam reaktor dan perhitungan besarnya tekanan yang diperlukan untuk menghidrogenasi sejumlah tertentu minyak goreng. Analisis GCMS terhadap minyak goreng awal, dilakukan untuk mengetahui kandungan asam lemak dalam minyak goreng sehingga perhitungan teoritis untuk menentukan besarnya tekanan gas yang diperlukan dalam reaksi dapat lebih akurat.

## 3. Hasil dan Pembahasan

#### Katalis Hasil Preparasi

Katalis  $\text{NiO/Al}_2\text{O}_3$  diperoleh setelah mengimpregnasikan  $\text{Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0,2 M yang berupa cairan berwarna hijau jernih ke permukaan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang berbentuk serbuk halus berwarna putih. Katalis  $\text{NiO/Al}_2\text{O}_3$  yang dihasilkan katalis berwarna hijau kebiruan

Katalis lempung terpillar yaitu Nip-PilC, dengan prekursor logam nikel yang berasal dari  $\text{Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  yang menggunakan metode *wet impregnation*, yaitu dengan menginterkalasikan logam nikel ke dalam material penyangga bentonit dalam keadaan larutannya. Proses pilarisasi bentonit menggunakan nikel terdiri dari beberapa tahapan yaitu aktivasi bentonit,

pembuatan larutan polioksokation, pencucian, dan kalsinasi.

Katalis  $\text{NiS}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , alumina digunakan sebagai material pendukung. Alumina adalah zat yang berbentuk serbuk halus berwarna putih. Larutan  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  merupakan larutan yang digunakan sebagai prekursor untuk logam Ni. Setelah katalis  $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  disintesis, sebelum diuji aktivitasnya, katalis tersebut disulfidasi dengan menggunakan DMS (*dimethyl sulfide*) menjadi katalis  $\text{NiS}/\text{Al}_2\text{O}_3$ .

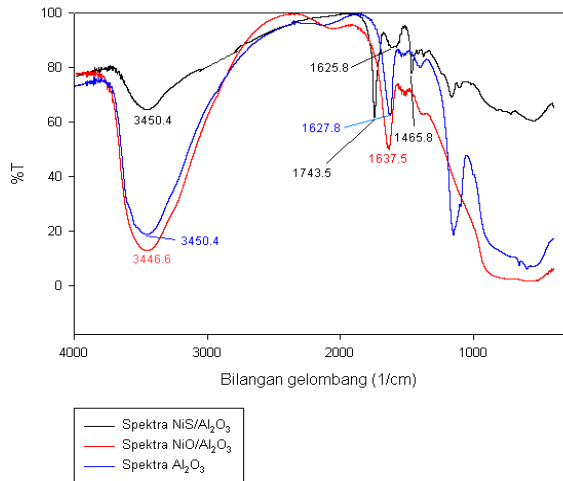
Ketiga bentuk fisis dari katalis hasil preparasi ditunjukkan pada Gambar 1.



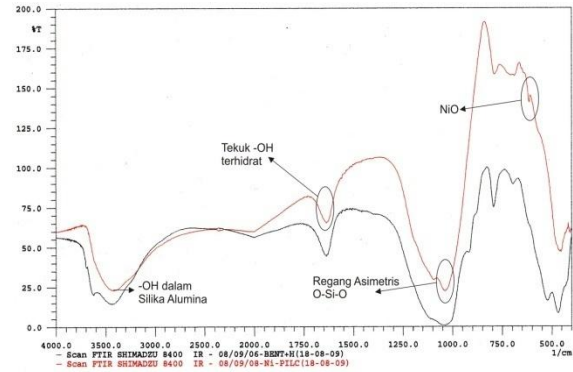
(a) (b) (c)

**Gambar 1.** Bentuk fisis katalis hasil preparasi : (a) Ni-PilC  
(b)  $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  (c)  $\text{NiS}/\text{Al}_2\text{O}_3$

### Karakterisasi Katalis Hasil preparasi dengan FTIR



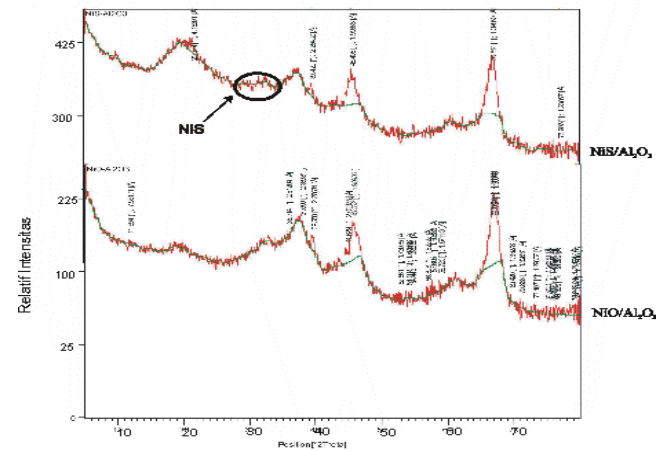
**Gambar 2.** Spektre FTIR  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiS}/\text{Al}_2\text{O}_3$



**Gambar 3** Spektre FTIR H bentonit (bawah) dan spektre Ni-PilC (atas)

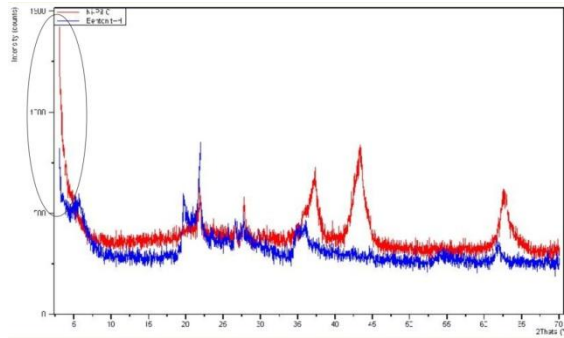
Dari spektre  $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , menunjukkan adanya vibrasi yang khas untuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , yaitu pada bilangan gelombang  $1637,5 \text{ cm}^{-1}$ . Pada bilangan gelombang  $650 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi khas yang menunjukkan gugus khas Ni-O (Hardian, 2008). Hal tersebut mengindikasikan bahwa Ni-O telah berhasil diimpregnasi pada bentonit.

### Karakterisasi Katalis Menggunakan XRD



**Gambar 4.** Spektre XRD  $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiS}/\text{Al}_2\text{O}_3$

Pada spektre XRD untuk  $\text{NiS}/\text{Al}_2\text{O}_3$  (grafik atas) terdapat puncak yang lemah pada rentang  $2\theta$  antara  $28^\circ$ - $33,5^\circ$ . Puncak tersebut adalah puncak dari NiS,



**Gambar 5** Difraktogram XRD H bentonit dan Ni-PilC

Puncak baru pada difraktogram dengan  $2\theta$  48,4215 menunjukkan kemungkinan adanya keberadaan Ni-O dengan intensitas yang cukup kuat, sangat dimungkinkan untuk terjadinya perubahan pola difraksi akibat adanya Ni-O tersebut.

#### Karakterisasi Kandungan Katalis Ni dengan AAS

Kandungan prekursor Ni dalam katalis  $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat diketahui kandungan dengan melakukan analisis AAS terhadap sampel  $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Parameter pengukuran pada instrumen AAS, adalah bahan bakar asetilena-udara, laju alir 2:4, lamp current 7 mA, panjang gelombang 232,0 nm, pengulangan triplo. Data yang diperoleh dari hasil analisis AAS adalah kandungan prekursor logam Ni dalam katalis  $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 28,435 ppm sedangkan dalam larutan katalis Ni-PilC yaitu sebesar 0,999%

### **3. Uji Katalis untuk Reaksi Hidrogenasi**

Variasi Jenis Katalis, Tekanan dan Temperatur

Uji aktivitas katalis  $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$  pada hidrotreating minyak goreng, hanya mengubah komposisi utama yang terdapat dalam minyak bumi, dan menghasilkan turunan asam lemak, tanpa menghasilkan jenis alkana.

Proses hidrogenasi menggunakan katalis  $\text{NiS}/\text{Al}_2\text{O}_3$  dilakukan pada variabel

tekanan yang berbeda-beda dengan suhu pemanasan yang sama yaitu  $250^\circ\text{C}$ . Lamanya pemanasan adalah 2 jam. Produk yang dihasilkan baru satu yaitu pentadekana dengan persentasi 0,15% . Oleh karena itu untuk katalis nikel terpillarisasi bentonit dilakukan berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1**

Variabel untuk ketiga sampel Hidrotreating pada suhu  $250^\circ\text{C}$

| No | Variabel Reaksi                     | Sampel 1 | Sampel 2 | Sampel 3 |
|----|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| 1  | Suhu ( $^\circ\text{C}$ )           | 250      | 250      | 250      |
| 2  | Tekanan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 23       | 30       | 34       |
| 3  | Waktu reaksi                        | 2 jam    | 2 jam    | 2 jam    |
| 4  | Massa Katalis                       | 0,5 g    | 0,5 g    | 0,5 g    |
| 5  | Massa Bimoli                        | 50 g     | 50 g     | 50 g     |

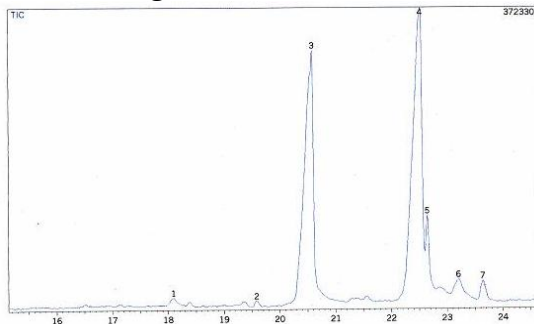
**Tabel 2**

Variabel untuk ketiga sampel Hidrotreating pada suhu  $300^\circ\text{C}$

| No | Variabel Reaksi                     | Sampel 4 | Sampel 5 | Sampel 6 |
|----|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| 1  | Suhu ( $^\circ\text{C}$ )           | 300      | 300      | 300      |
| 2  | Tekanan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 25       | 31       | 28       |
| 3  | Waktu reaksi                        | 2 jam    | 2 jam    | 1 jam    |
| 4  | Massa Katalis                       | 0,5 g    | 0,5 g    | 0,5 g    |
| 5  | Massa Bimoli                        | 50 g     | 50 g     | 50 g     |

#### 4. Analisis Produk Menggunakan GCMS

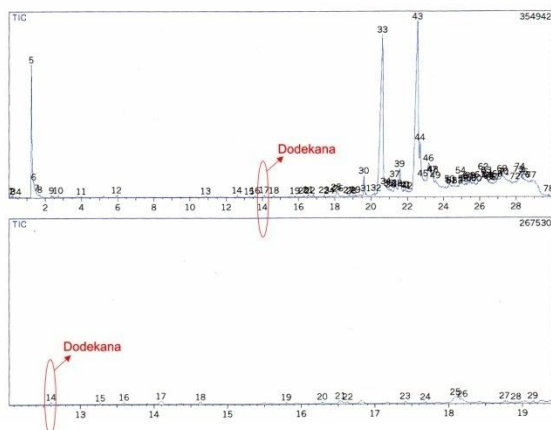
##### 4.1 Analisis GCMS Sampel Minyak Goreng



**Gambar 6.** Kromatogram GCMS Minyak goreng

Analisis GCMS terhadap sampel awal diperlukan untuk mengetahui komponen penyusun sampel bimoli ini. Analisis dilakukan tanpa diderivatisasi menjadi senyawa ester terlebih dahulu untuk mengetahui komponen awal, terutama tentang komposisi asam lemak bebas yang terdapat pada bahan dasar.

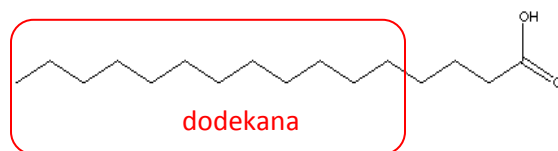
Kandungan terbesar minyak goreng sesuai data GCMS di atas adalah 40,67% untuk asam palmitat, 49,34% asam  $\Delta$ 8-oktadekenoat, dan 4,90 % untuk asam stearat. Dibuktikan puncak no.3 yang cukup tinggi sebagai asam palmitat dan puncak no. 4 yang merupakan asam  $\Delta$ 8-oktadekenoat, dan puncak no. 5 yang merupakan asam stearat.



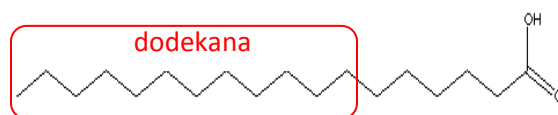
**Gambar 7.** Kromatogram GCMS Sampel Kondisi 4

Pada kromatogram gambar 7 telah terjadi pembentukan produk berupa fraksi alkana (hanya sedikit), maka kemungkinan katalis Ni-PilC pada kondisi 4 ini selain merengkahkan trigliserida, juga mampu merengkakkannya menjadi fraksi alkana. Pada kondisi 4 ini dihasilkan dodekana dengan persentase 0,12%.

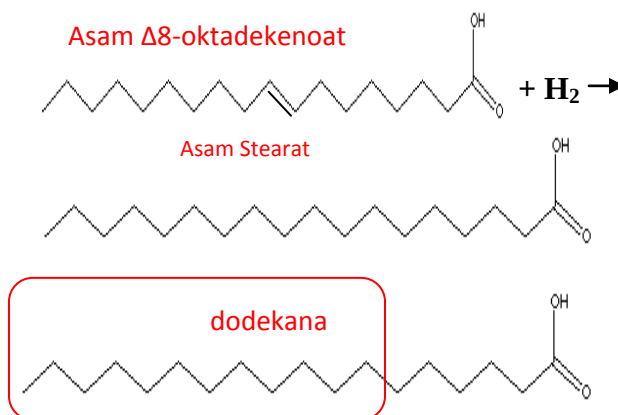
Adapun kemungkinan perolehan dodekana berasal dari perengkahan ikatan tunggal asam palmitat, asam stearat dan  $\Delta$ 8-oktadekenoat yang telah terhidrogenasi menjadi asam stearat. Seperti terlihat pada gambar 8.



Dari asam palmitat

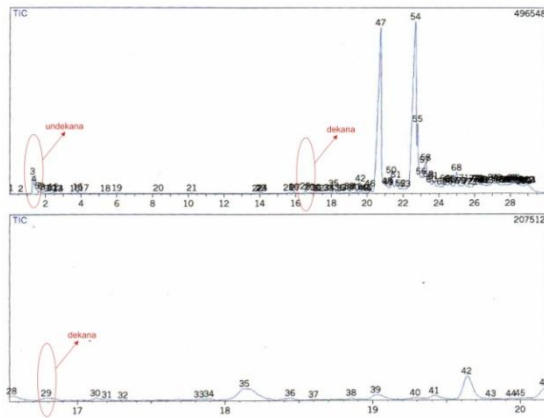


Dari asam stearat



**Gambar 8.** Perkiraan Jalur Perolehan Dodekana

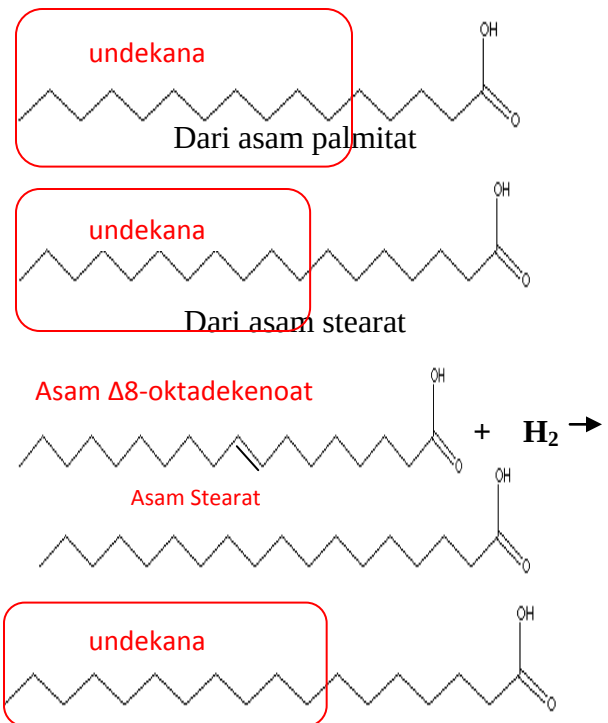
Produk hasil reaksi *hydrocracking* minyak goreng dilakukan pada tekanan 31 kg/cm<sup>2</sup> dan suhu 300°C dengan perbandingan katalis Ni-Pi/C terhadap minyak kelapa sawit sebanyak 1%. Kromatogram hasil GCMS sampel kondisi 5 ditunjukkan pada gambar 9.



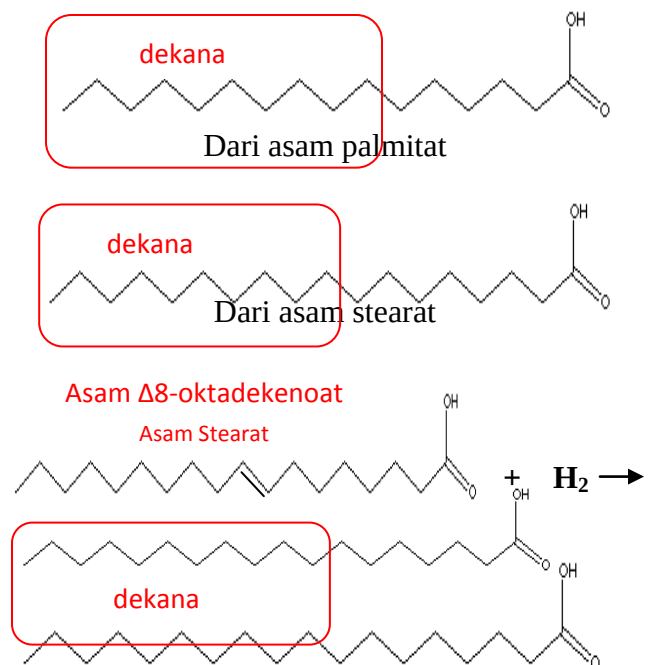
**Gambar 9.** Kromatogram GCMS Sampel Kondisi 5

Berdasarkan data GCMS sampel kondisi 5 di atas, dengan pembacaan puncak dilakukan dengan lebih sensitif sehingga puncak kecil pun dapat terlihat. Hal tersebut dilakukan untuk melihat kemungkinan terbentuknya fraksi alkana yang mungkin terbentuk walaupun dalam jumlah yang sangat sedikit. Namun karena terjadi pembentukan produk berupa fraksi alkana (hanya sedikit), maka kemungkinan katalis Ni-Pi/C pada kondisi 5 ini selain merengkahkan trigliserida, juga mampu merengkahkannya menjadi fraksi alkana. Pada kondisi 5 ini dihasilkan undekana dan dekana yang masing berpresentase 0,23% dan 0,09%.

Adapun kemungkinan perolehan undekana dan dekana berasal dari pemutusan ikatan tunggal pada asam palmitat, asam stearat, maupun pada asam 8-oktadekenoat yang telah di-*hydrocracking* menjadi asam stearat. Seperti pada gambar 10 dan gambar 11.



**Gambar 10.** Perkiraan Jalur Perolehan Undekana



**Gambar 11.** Perkiraan Jalur Perolehan Dekana

Secara umum proses hidrotreating ini belum berlangsung optimal. Karena produk yang dihasilkan masih jauh dari yang diharapkan. Hal tersebut terjadi karena suhu aktif katalis belum tercapai, sebagaimana penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bayu, Setiadi, Setiawan, Anondho, dan Pertamina dengan suhu reaksi 350-450°C, sedangkan pada penelitian ini hanya menggunakan suhu 250-300°C.

Faktor lainnya adalah tekanan, menurut perhitungan teoritis membutuhkan tekanan minimum sebesar 53,347 kg/cm<sup>2</sup> untuk sampel dalam bentuk asam lemak bebasnya dan 155,212 kg/cm<sup>2</sup> untuk sampel dalam bentuk trigliserida yang masing-masing pada suhu reaksi 250°C dan 58,458 kg/cm<sup>2</sup> untuk sampel dalam bentuk asam lemak bebasnya dan 170,057 kg/cm<sup>2</sup> untuk sampel dalam bentuk trigliserida yang masing-masing pada suhu reaksi 300°C, sedangkan pada penelitian ini hanya menggunakan tekanan reaksi 23-34 kg/cm<sup>2</sup>. Hal tersebut didukung pula dengan data bahwa Pertamina menggunakan tekanan 175 kg/cm<sup>2</sup> untuk reaksi *hydrocracking* (Pertamina, 2009).

Katalis NiS/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang digunakan pada penelitian ini, memiliki aktivitas yang masih rendah terhadap konversi trigliserida yang terdapat pada minyak goreng menjadi alkana cair dan beberapa produk seperti asam lemak. Kondisi reaksi hidrogenasi dilakukan pada tekanan 15 kg/cm<sup>2</sup> dengan suhu pemanasan 250°C dan waktu reaksi 2 jam menggunakan katalis NiS/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 2%. Alkana yang dihasilkan adalah alkana dengan atom karbon C<sub>15</sub>, dengan komposisi yang masih sedikit, yaitu 0,15%.

## 5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan data hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Katalis nikel oksida bentonit terpillar (NiPilC), NiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan NiS/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

telah berhasil disintesis, melalui metode *wet impregnation*.

2. Karakterisasi katalis hasil preparasi berdasarkan analisis FTIR diketahui gugus Ni-O pada bilangan gelombang 650 cm<sup>-1</sup> telah terbentuk. Analisis hasil difraksi sinar X terhadap katalis Ni-PilC, menunjukkan bahwa proses pemiliran telah berhasil. Hasil uji aktivitas Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> belum menunjukkan terjadinya rantai alkana, sedangkan untuk katalis (NiPilC), dan NiS/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, telah menunjukkan terjadinya rantai karbon alkana undekana sebesar 0,23% , dodekana : 0,09%, dan pentadekana : 0,15%
3. Kondisi optimum reaksi hidrogenasi minyak nabati (hidrotreating) dicapai pada suhu 300°C, tekanan 25 kg/cm<sup>2</sup> , dengan perbandingan katalis dan bahan minyak nabati sebesar 1% .

## SARAN

1. Perlu dilakukan optimasi parameter suhu dan tekanan yang lebih tinggi lagi agar dihasilkan lebih banyak lagi rantai karbon alkana .
2. Perlu efektivitas dan efisiensi reaktor yang digunakan dalam proses hidrotreating katalitik, terutama pada penggunaan mantel heater agar dapat digunakan pada suhu tinggi.
3. Perlu dilakukan uji coba katalis pada minyak nabati nonpangan

## DAFTAR PUSTAKA

1. Carraretto, C., Macor, A., Mirandola, A., Stoppato, A., dan Tonon, S. (2004). "Biodiesel As Alternative Fuel: Experimental Analysis and Energetic Evaluations". *Energy*. **29**, 2195–2211.
2. da Rocha Filho, G.N., brodzki, D., Djega-Mariasassou, G., (1993)"Formation of

- alkanes, alkylcycloalkanes and alkylbenzenes during the catalytic hydrocracking of vegetable oils”, *Fuel*, **72**,4, 543-549.
3. Demirbas, A. (2007). “Progress and Recent Trends in Biofuels”. *Progress in Energy and Combustion Science*. **33**, 1-18.
  4. Demirbas, M.F. dan Mustafa Balat. (2006).”Recent Advances on The Production and Utilization Trends of Bio-Fuels: A Global Perspective”, *Energy Conversion and Management*, **47**, 2371–2381.
  5. Fern’andez, M.B., Tonetto, G.M., Crapiste, G., dan Damiani, D.E., (2007). “Kinetics of The Hydrogenation of Sunflower Oil Over Alumina Supported Palladium Catalyst”. *International Journal Of Chemical Reactor Engineering*. **5**. 1-22.
  6. Huber, G.W., O’ Connor, P., dan Corma, A. (2007). “Processing biomass in conventional oil refineries: Production of high quality diesel by hydrotreating vegetable oils in heavy vacuum oil mixtures”. *Applied Catalysis*. **329**, 120-129.
  7. Linnaila, Raimo. (2005). *Ultimate Synthetic Biodiesel Process Applying Novel Catalyst Technology*. Presentasi pada Albemarle-seminar, Vienna.
  8. Mazzocchia, C., Modica, G., Kaddouri, A., dan Nannicini, R. (2004)” fatty acid methyl esters synthesis from triglycerides over heterogeneous catalyst in the presence of microwave”, *C.R. Chimie*, **7**,601-605
  9. Moser, B.A., Haas, M.J., Winkler, J.K., Jackson, M.A., Erhan, S.Z., dan List, G.R. (2007), “Evaluation of partially hydrogenated methyl esters of soybean oil as biodiesel”, *Eur.J.Lipid.Sci. Technol.*,109, 17-24
  10. Moulijn, J. A. (1993). *Catalysis, An Integrated Approach to Homogeneous, Heterogeneous and Industrial Catalysis*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
  11. Navigant Consulting, Inc. (2006). *Renewable Energy Blueprint; Chapter 4: Biofuels And Hybrid, Electric, and Alternative Fuel Vehicles*. San Francisco.
  12. Rautanen, P. (2002). *Liquid Phase Hydrogenation of Aromatic Compounds on Nickel Catalyst*. Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology. Helsinki University of Technology. Finland.



