



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SINTESIS *RENEWABLE DIESEL* DENGAN  
METODE DEOKSIGENASI MENGGUNAKAN  
KATALIS Pd/C DAN NiMo/C**

**SKRIPSI**

**GITA AGITIA FRANSISCA**

**0906604533**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2012**

**UNIVERSITAS INDONESIA**



**SINTESIS *RENEWABLE DIESEL* DENGAN  
METODE DEOKSIGENASI MENGGUNAKAN  
KATALIS Pd/C DAN NiMo/C**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**GITA AGITIA FRANSISCA**

**0906604533**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Gita Agitia Fransisca**  
**NPM : 0906604533**  
**Tanda Tangan : **  
**Tanggal : 29 Juni 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

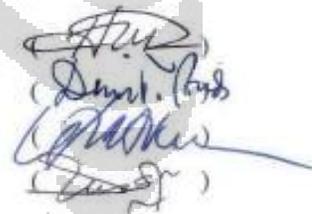
Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Gita Agitia Fransisca  
NPM : 0906604533  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Sintesis *Renewable Diesel* dengan Metode Deoksigenasi  
Menggunakan Katalis Pd/C dan NiMo/C

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Ekstensi, Fakultas Teknik Kimia, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Bambang Heru Susanto, ST.,MT  
Penguji : Ir. Dewi Tristantini, MT., PhD  
Penguji : Prof. Dr. M. Nasikin, M, Eng  
Penguji : Eva Fathul Karamah, ST.,MT



(Dewi Tristantini)  
(Prof. Dr. M. Nasikin)  
(Eva Fathul Karamah)

Ditetapkan di : Departemen Teknik Kimia  
Tanggal : 29 Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai Gelar Sarjana Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Dalam kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Bambang Heru Susanto, S.T., M.T selaku pembimbing yang bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membimbing dan mengarahkan penyelesaian makalah skripsi ini.
3. Dr. Ir. Setiadi M.Eng selaku pembimbing akademik penulis.
4. Kedua orang tua yang selalu tulus memberikan dukungan, doa dan semangat.
5. Kang Jajat dan Mang Ijal yang selalu senantiasa membantu penelitian saya dan bersedia membantu setiap permasalahan dalam percobaan.
6. Jaka Wibowo yang selalu setia memberi semangat dan membantu setiap permasalahan dalam percobaan yang saya hadapi.
7. Lolita Rosmelina dan teman-teman laboratorium RPKA lainnya yang sama-sama berjuang dalam menyelesaikan percobaan.
8. Eka, Gefin, Laili dan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini secara langsung maupun tidak langsung,

Terima kasih atas dukungan dan bantuan yang diberikan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca, dunia pendidikan, dan pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 29 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Gita Agitia Fransisca  
NPM : 0906604533  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Fakultas Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**SINTESIS RENEWABLE DIESEL DENGAN METODE  
DEOKSIGENASI MENGGUNAKAN KATALIS  
Pd/C DAN NiMo/C**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pengkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 29 Juni 2012

Yang menyatakan



(Gita Agitia Fransisca)

## ABSTRAK

Nama : Gita Agitia Fransisca  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Sintesis *Renewable Diesel* dengan Metode Deoksigenasi Menggunakan Katalis Pd/C dan NiMo/C

Menipisnya cadangan minyak bumi membuat banyak orang berusaha mencari alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan, salah satunya adalah dengan memanfaatkan bahan bakar yang berasal dari minyak nabati. Pada penelitian ini akan dibuat suatu bahan bakar alternatif generasi kedua *biofuel* yang dikenal dengan nama *renewable diesel*. Sintesis *renewable diesel* ini dilakukan dengan metode deoksigenasi menggunakan katalis Pd/C dan NiMo/C dengan bahan baku yang digunakan adalah asam oleat. Pada reaksi deoksigenasi ini dilakukan variasi tekanan 9 bar dan 15 bar, dengan temperatur 400°C, kecepatan pengaduk 800 rpm dan lamanya reaksi 2 jam. Uji densitas dan viskositas produk ini menunjukkan hasil yang mendekati sifat fisik solar komersial. Dari hasil uji densitas, viskositas, FTIR dan GC-FID dapat disimpulkan bahwa produk optimum reaksi terjadi pada sampel yang menggunakan katalis Pd/C dengan tekanan 9 bar dalam waktu 2 jam. Berdasarkan hasil uji tersebut, produksi *renewable diesel* pada penelitian ini memiliki konversi 76,01%, selektivitas 50,14% dan *yield* 24,86%.

**Kata kunci :** Asam Oleat, *Renewable Diesel*, Katalis, Metode Deoksigenasi.

## ABSTRACT

Name : Gita Agitia Fransisca  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : Synthesis Renewable Diesel by Deoxygenation Method  
using Catalysts Pd/C and NiMo/C

Depletion of petroleum make a lot of people trying to find alternative fuels that are environmentally friendly, one of which is derived from vegetable oils. This research will be a second generation biofuels known as renewable diesel. Synthesis renewable diesel is done by deoxygenation method using catalysts Pd/C and NiMo/C with the raw material used is oleic acid. Deoxygenation reaction was conducted on the variation of pressure 9 bar and 15 bar, with a temperature of 400°C, stirrer speed of 800 rpm and duration reaction of 2 hours. Physical property test result such as density and viscosity of this product and commercial solar shows closed similarity. According the test results density, viscosity, FTIR and GC-FID can be concluded that the optimum reaction product occurred in the sample using the catalyst Pd/C with a pressure of 9 bar in 2 hours. Based on these test results, the production of renewable diesel in this study has a 76.01% conversion, 50.14% selectivity and 24.86% yield of renewable diesel.

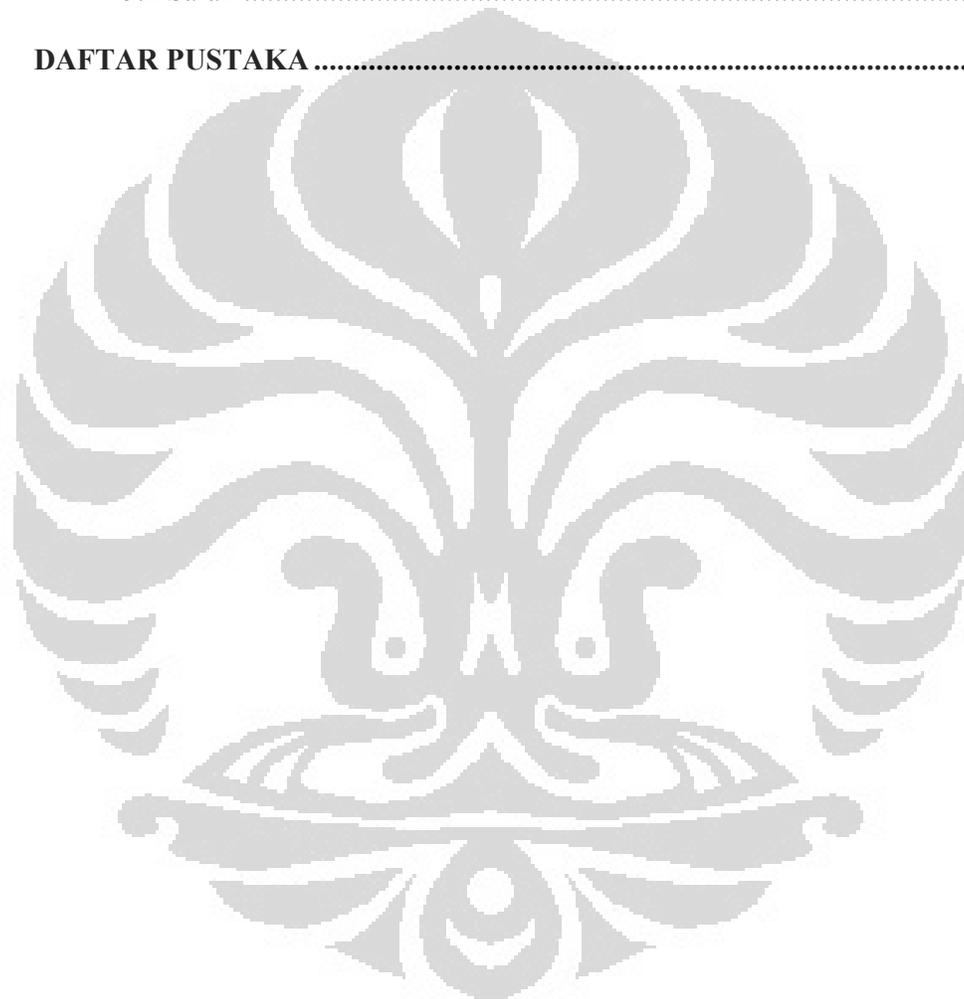
**Key :** Oleic Acid, Renewable Diesel, Catalyst, Deoxygenation Method

## DAFTAR ISI

|   |          |
|---|----------|
| HALAMAN JUDUL .....                                     | i        |
| PERNYATAAN ORISINALITAS .....                           | ii       |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                 | iii      |
| KATA PENGANTAR .....                                    | iv       |
| HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR .....         | v        |
| ABSTRAK .....   | vi       |
| ABSTRACT .....  | vii      |
| DAFTAR ISI .....  | viii     |
| DAFTAR GAMBAR .....                                     | xi       |
| DAFTAR TABEL .....                                      | xii      |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                   | xiii     |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>                           | <b>1</b> |
| 1.1 Latar Belakang Masalah .....                        | 1        |
| 1.2 Perumusan Masalah .....                             | 3        |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                             | 3        |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                            | 4        |
| 1.5 Batasan Masalah .....                               | 4        |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                         | 4        |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                     | <b>6</b> |
| 2.1 Biofuel .....                                       | 6        |
| 2.1.1 Bioethanol .....                                  | 6        |
| 2.1.2 Biodiesel .....                                   | 7        |
| 2.1.3 Biokerosin .....                                  | 7        |
| 2.1.4 <i>Biogas</i> .....                               | 8        |
| 2.2 Bahan Baku <i>Biofuel</i> .....                     | 8        |
| 2.3 Konversi Minyak Nabati menjadi <i>Biofuel</i> ..... | 9        |
| 2.4 <i>Renewable Diesel</i> .....                       | 10       |
| 2.5 Sintesis <i>Renewable Diesel</i> .....              | 10       |
| 2.5.1 Metode Pirolisis .....                            | 11       |
| 2.5.2 Metode Deoksigenasi .....                         | 12       |
| 2.6 Katalis .....                                       | 12       |
| 2.6.1 Katalis Homogen .....                             | 13       |
| 2.6.2 Katalis Heterogen .....                           | 14       |
| 2.6.3 Komponen Katalis .....                            | 14       |
| 2.6.3.1 Komponen Aktif .....                            | 14       |
| 2.6.3.2 Komponen Penyangga .....                        | 16       |
| 2.6.3.3 Komponen Promotor .....                         | 17       |
| 2.6.4 Nanopartikel .....                                | 17       |
| 2.6.5 Sintesis Katalis Nanopartikel .....               | 18       |
| 2.6.5.1 Metode Sintesis Katalis Nanopartikel .....      | 19       |
| 2.7 Karakterisasi Katalis .....                         | 20       |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.7.1 SEM .....  | 20        |
| 2.7.2 XRD .....  | 21        |
| 2.7.3 BET .....  | 22        |
| 2.8 Karakterisasi Produk .....   | 22        |
| 2.8.1 FT-IR .....  | 22        |
| 2.8.2 GC-FID .....   | 23        |
| 2.9 State of The Art .....   | 23        |
| <b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>   | <b>26</b> |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian .....  | 26        |
| 3.2 Peralatan dan Bahan .....  | 27        |
| 3.3 Variabel Penelitian .....  | 27        |
| 3.3.1 Variabel Bebas .....   | 27        |
| 3.3.2 Variabel Terikat .....   | 28        |
| 3.4 Prosedur Penelitian .....  | 29        |
| 3.4.1 Sintesis Katalis dengan Metode <i>Microwave Polyol Process</i> .....         | 29        |
| 3.4.2 Sintesis Katalis dengan Metode <i>Simple Heating</i> .....                   | 30        |
| 3.5 Karakterisasi Katalis .....  | 31        |
| 3.5.1 Prosedur Kerja SEM .....   | 31        |
| 3.5.2 Prosedur Kerja XRD .....   | 31        |
| 3.5.3 Prosedur Kerja BET .....   | 32        |
| 3.5.4 Prosedur Kerja PSA .....   | 32        |
| 3.6 Sintesis <i>Renewable Diesel</i> dengan Metode Deoksigenasi .....              | 33        |
| 3.6.1 Prosedur Kerja Distilasi .....   | 34        |
| 3.6.2 Prosedur Kerja Penentuan Densitas dan Viskositas .....                       | 34        |
| 3.6.3 Prosedur Kerja GC-FID .....  | 35        |
| 3.5.2 Prosedur Kerja FTIR .....  | 36        |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  | <b>37</b> |
| 4.1 Hasil Preparasi Katalis .....  | 37        |
| 4.1.1 Hasil Preparasi Katalis NiMo/C .....   | 37        |
| 4.1.2 Hasil Preparasi Katalis Pd/C .....   | 38        |
| 4.2 Uji Karakterisasi Katalis .....  | 39        |
| 4.2.1 Uji Luas Permukaan dengan Metode BET .....                                   | 40        |
| 4.2.2 Identifikasi Fasa Kristal Katalis dengan XRD.....                            | 41        |
| 4.2.3 Uji Ukuran Partikel dengan PSA .....   | 43        |
| 4.2.4 Uji Identifikasi Ukuran Partikel Katalis dengan SEM .....                    | 44        |
| 4.3 Hasil Uji Deoksigenasi Asam Oleat .....  | 45        |
| 4.3.1 Pengaruh Tekanan terhadap Konversi Produk Hasil Reaksi<br>Deoksigenasi ..... | 49        |
| 4.3.2 Hasil Sifat Fisik <i>Renewable Diesel</i> .....                              | 51        |
| 4.3.2.1 Densitas <i>Renewable Diesel</i> .....                                     | 51        |
| 4.3.2.2 Viskositas <i>Renewable Diesel</i> .....                                   | 52        |
| 4.4 Hasil Analisis FTIR .....  | 53        |
| 4.5 Hasil Analisis GC ( <i>Gas Chromatography</i> ) .....                          | 54        |
| 4.5.1 Hasil Analisis Gas Hasil Reaksi Deoksigenasi Menggunakan<br>GC.....          | 55        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.5.1.1 Pengaruh Tekanan Terhadap Produk Gas Hasil Reaksi<br>Deoksigenasi .....              | 55        |
| 4.5.1.2 Pengaruh Lamanya Waktu Reaksi Terhadap Produk<br>Gas Hasil Reaksi Deoksigenasi ..... | 58        |
| 4.5.2 Hasil Analisis Produk Hasil Reaksi Deoksigenasi<br>Menggunakan GC-FID.....             | 59        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>  | <b>61</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....   | 61        |
| 5.2 Saran .....  | 61        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>63</b> |



## DAFTAR GAMBAR

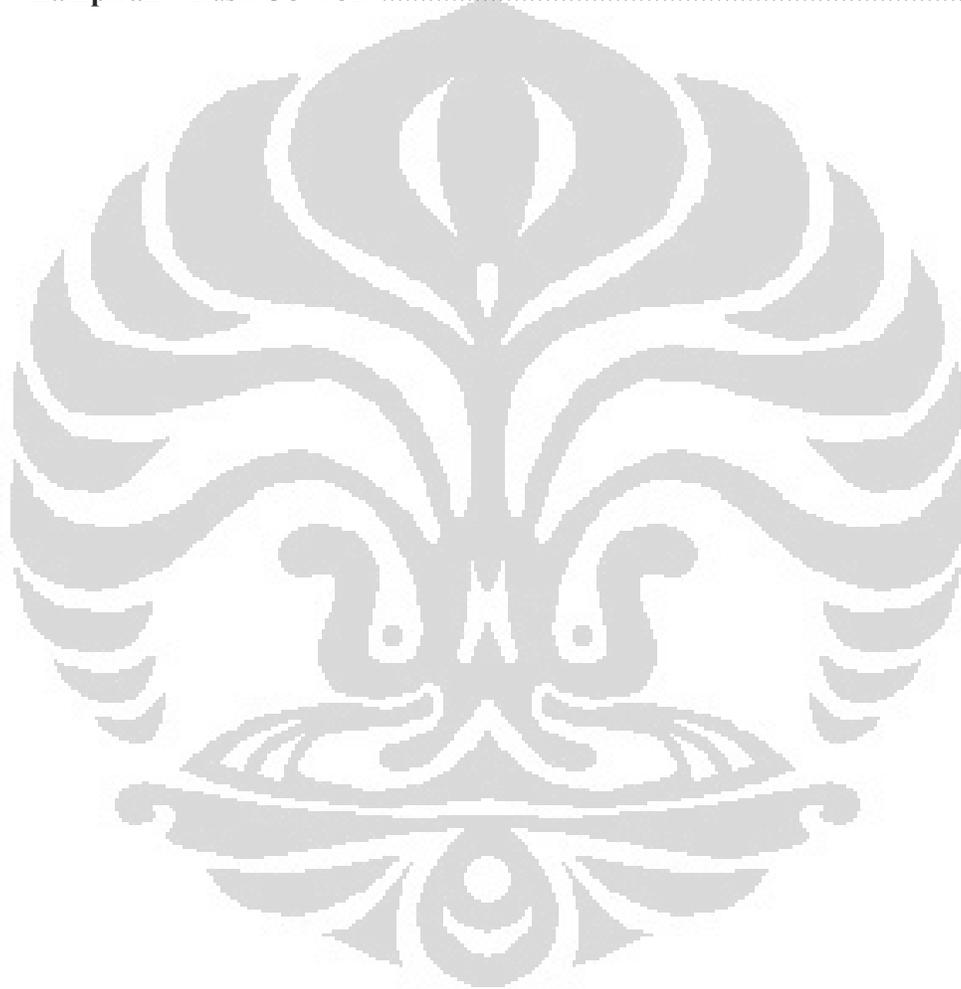
|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Gambar 1.1</b>  | Konversi Trigliserida menjadi <i>Biofuel</i> .....   | 2  |
| <b>Gambar 2.1</b>  | Skema Jalur Proses Sintesis <i>Renewable Diesel</i> dari Trigliserida .                                    | 11 |
| <b>Gambar 2.2</b>  | Reaksi Deoksigenasi melalui Berbagai Jalur .....   | 12 |
| <b>Gambar 2.3</b>  | Pendekatan <i>top-down</i> dan <i>bottom-up</i> pada Sintesis Nanokatalis .                                | 19 |
| <b>Gambar 2.4</b>  | Skema diagram dari SEM .....   | 21 |
| <b>Gambar 3.1</b>  | Diagram Alir Penelitian .....  | 26 |
| <b>Gambar 3.2</b>  | Diagram Alir Sintesis Katalis Pd/C dengan Metode <i>Polyol Microwave Process</i> .....                     | 29 |
| <b>Gambar 3.3</b>  | Diagram Alir Sintesis Katalis dengan Metode <i>Simple Heating</i> . ...                                    | 30 |
| <b>Gambar 3.4</b>  | Rangkaian Peralatan Reaktor .....  | 33 |
| <b>Gambar 4.1</b>  | Padatan Katalis NiMo/C pada Suhu 600 °C .....  | 38 |
| <b>Gambar 4.2</b>  | Padatan Katalis NiMo/C pada Suhu 700 °C .....  | 38 |
| <b>Gambar 4.3</b>  | Padatan Katalis Pd/C .....   | 39 |
| <b>Gambar 4.4</b>  | Difraktogram XRD sampel katalis NiMo/C .....   | 41 |
| <b>Gambar 4.5</b>  | Difraktogram XRD sampel katalis Pd/C .....   | 41 |
| <b>Gambar 4.6</b>  | Distribusi Ukuran Partikel Katalis NiMo/C .....  | 43 |
| <b>Gambar 4.7</b>  | Distribusi Ukuran Partikel Katalis Pd/C .....  | 43 |
| <b>Gambar 4.8</b>  | Hasil SEM Katalis NiMo/C .....   | 44 |
| <b>Gambar 4.9</b>  | Hasil SEM Katalis Pd/C .....   | 45 |
| <b>Gambar 4.10</b> | Pengaruh Tekanan terhadap Konversi .....   | 50 |
| <b>Gambar 4.11</b> | Pengaruh Konsentrasi Gas CO <sub>2</sub> dan CO Sampel Hasil Reaksi Deoksigenasi pada Tekanan 9 bar .....  | 56 |
| <b>Gambar 4.12</b> | Pengaruh Konsentrasi Gas CO <sub>2</sub> dan CO Sampel Hasil Reaksi Deoksigenasi pada Tekanan 15 bar ..... | 57 |

## DAFTAR TABEL

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>Tabel 2.1</b>  | Komposisi Asam Lemak dalam Minyak Nabati .....  | 9  |
| <b>Tabel 2.2</b>  | Perbandingan <i>Petroleum Diesel</i> , Biodiesel dan <i>Renewable Diesel</i> ....                                     | 10 |
| <b>Tabel 2.3</b>  | Klasifikasi Komponen Aktif .....  | 15 |
| <b>Tabel 2.4</b>  | Rangkuman <i>State of the Art</i> Aktivitas Katalis Deoksigenasi .....  | 24 |
| <b>Tabel 3.1</b>  | Peralatan dan Bahan.....  | 27 |
| <b>Tabel 3.2</b>  | Kondisi Variasi Pada Saat Preparasi Katalis .....   | 28 |
| <b>Tabel 3.3</b>  | Kondisi Operasi Reaksi Deoksigenasi pada Sintesis <i>Renewable Diesel</i> .....                                       | 28 |
| <b>Tabel 4.1</b>  | Perbandingan Luas Permukaan dan Ukuran Pori antara Katalis NiMo/C dengan Pd/C.....                                    | 40 |
| <b>Tabel 4.2</b>  | Ukuran kristal pada masing-masing katalis .....   | 42 |
| <b>Tabel 4.3</b>  | Bentuk Fisik Sampel Hasil Reaksi Deoksigenasi.....  | 46 |
| <b>Tabel 4.4</b>  | Bentuk Fisik Hasil Distilasi Pada Rentang Suhu 200-300°C.....   | 47 |
| <b>Tabel 4.5</b>  | Konversi Produk Hasil Reaksi Deoksigenasi.....  | 48 |
| <b>Tabel 4.6</b>  | Selektivitas Bio-oil Hasil Reaksi Deoksigenasi.....   | 48 |
| <b>Tabel 4.7</b>  | Yield Bio-oil Hasil Reaksi Deoksigenasi.....  | 49 |
| <b>Tabel 4.8</b>  | Perbandingan Densitas antara <i>Renewable Diesel</i> Hasil Reaksi Deoksigenasi, Solar Komersial, dan Asam Oleat.....  | 51 |
| <b>Tabel 4.9</b>  | Perbandingan Viskositas antara <i>Renewable Diesel</i> Hasil Reaksi Deoksigenasi, Solar Komersial dan Asam Oleat..... | 52 |
| <b>Tabel 4.10</b> | Transmitansi Gugus Fungsi pada Masing-masing Sampel .....   | 54 |
| <b>Tabel 4.11</b> | Hasil Analisis Sampel dengan GC-FID .....   | 60 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |    |
|--|----|
| <b>Lampiran 1</b> Perhitungan Komposisi Pembuatan Katalis .....      | 67 |
| <b>Lampiran 2</b> Perhitungan Konversi, Selektivitas dan Yield ..... | 69 |
| <b>Lampiran 3</b> Hasil Uji BET .....                                | 71 |
| <b>Lampiran 4</b> Hasil Karakterisasi XRD .....                      | 73 |
| <b>Lampiran 5</b> Hasil Spektrum FTIR .....                          | 75 |
| <b>Lampiran 6</b> Hasil GC-FID .....                                 | 78 |
| <b>Lampiran 7</b> Hasil GC-TCD .....                                 | 82 |



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

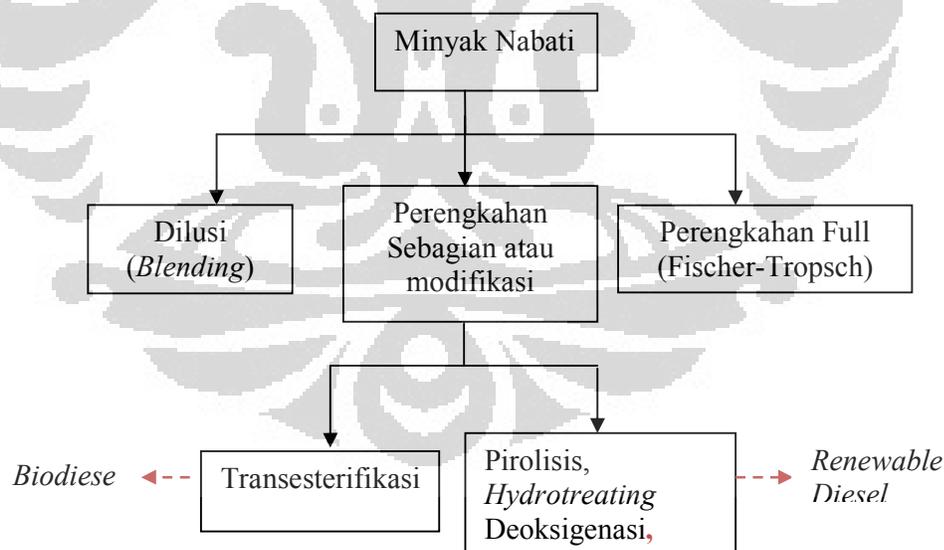
Sampai saat ini, minyak bumi masih merupakan sumber energi yang utama dalam memenuhi kebutuhan di dalam negeri. Tingginya konsumsi BBM tersebut dapat kita pahami karena selain untuk aktivitas rumah tangga, penerangan, dan transportasi, BBM juga digunakan untuk menggerakkan roda industri. Namun demikian, tingginya ketergantungan terhadap BBM yang berasal dari minyak bumi memunculkan suatu masalah yang besar di kemudian hari yakni terjadinya kelangkaan pasokan BBM akibat cadangannya yang semakin menipis. Diperkirakan bahwa cadangan minyak Indonesia saat ini tinggal 7,41 miliar barel. Apabila cadangan yang ada diproduksi dengan tingkat produksi saat ini maka cadangan minyak bumi Indonesia akan habis selama 12 tahun mendatang (BP Migas, 2011).

Dengan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan alternatif energi terbarukan yang mungkin dikembangkan. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan bahan bakar yang berasal dari minyak nabati (*biofuel*). *Biofuel* ini biasanya didapatkan dari tebu, jagung, singkong, minyak jarak, minyak sawit, nyamplung, dan sebagainya.

*Biofuel* ini terbagi menjadi beberapa generasi. Generasi pertama *biofuel* adalah bioetanol yang dapat digunakan sebagai pengganti bensin dan biodiesel yang dapat digunakan sebagai pengganti *diesel*. Kedua alternatif tersebut dilakukan untuk mengganti pemakaian bahan bakar yang beberapa tahun belakangan banyak mengalami kenaikan. Akan tetapi, alternatif tersebut mempunyai beberapa kelemahan yaitu, bioetanol memiliki densitas energi yang rendah sehingga memerlukan modifikasi untuk mesin kendaraan sekarang dan untuk biodiesel mempunyai sifat kimia fisik yang tidak diinginkan *petroleum diesel* seperti viskositas yang tinggi, *cloud point* yang tinggi, rendahnya stabilitas oksidasi, tingginya asam karboksilat dan densitas energi yang rendah (Immer *et al.*, 2010)

Generasi kedua *biofuel* dikenal dengan nama *renewable diesel*. Hidrokarbon pada *renewable diesel* ini ditemukan mempunyai kesamaan dengan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi. Dengan deoksigenasi trigliserida, hasil hidrokarbon dapat mengalami proses pemurnian (*refining*) seperti minyak bumi konvensional untuk menghasilkan bahan bakar yang tidak berbeda dengan *gasoline* dan *diesel* yang digunakan sekarang (Immer, 2010). *Renewable diesel* ini tidak mengandung asam karboksilat dan memiliki kandungan sulfur yang rendah (<1 ppm) sehingga angka setana yang dimiliki *renewable diesel* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *biodiesel* maupun *petroleum diesel* yaitu 70-90 (Kalnes *et al.*, 2007).

Metode yang digunakan untuk sintesis *renewable diesel* ini adalah deoksigenasi (melalui dekarboksilasi, dekarbonilasi dan hidrideoksigenasi). Pada penelitian ini, metode yang dipakai adalah metode deoksigenasi dengan menggunakan bantuan katalis melalui penghilangan asam karboksilat (dekarboksilasi) dan penghilangan senyawa karbon (dekarbonilasi). Jalur pengelompokan proses konversi minyak nabati menjadi *biofuel* hingga menghasilkan *renewable diesel* dapat dilihat pada Gambar 1.1 dibawah ini.



**Gambar 1.1** Konversi Trigliserida menjadi *Biofuel* (Olusola *et al.*, 2010)

Katalis dalam proses ini sangat diperlukan selain untuk membantu reaksi juga diharapkan dapat membantu menghilangkan asam karboksilat yang

terkandung dalam minyak nabati. Sintesis katalis yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode *simple heating* dan metode *polyol microwave process*.

Immer (2010) pada penelitian sebelumnya melakukan sintesis *renewable diesel* menggunakan bahan baku senyawa asam stearat dengan kondisi operasi reaksi pada suhu 300 °C, tekanan 15 bar, kecepatan pengaduk 1000 rpm dan waktu reaksi 4 jam. Pada penelitian tersebut, telah diketahui bahwa katalis Pd/C memiliki aktivitas dan selektivitas yang baik pada penghilangan asam karboksilat dengan metode deoksigenasi. Penyangga karbon juga memiliki aktivitas yang paling baik untuk deoksigenasi dibandingkan dengan penyangga lain seperti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub>. Maka dari itu, penulis memilih katalis Pd/C dan NiMo/C yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Pada penelitian ini digunakan katalis palladium dan nikel molibdenum dengan penyangga karbon. Katalis logam Pd ini dapat terintegrasi ke dalam struktur asam lemak dan memudahkan percampuran hidrokarbon pada fase minyak untuk melakukan deoksigenasi yang membuatnya sesuai dengan bahan bakar konvensional.

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah utama yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini adalah melihat bagaimana pengaruh penggunaan dua jenis katalis Pd/C dan NiMo/C dalam hal aktivitasnya untuk mendapatkan konversi, selektivitas, dan *yield* produk (*renewable diesel*) dari hasil reaksi deoksigenasi asam oleat untuk mendapatkan spesifikasi produk yang sesuai dengan fraksi solar.

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan *renewable diesel* melalui reaksi deoksigenasi menggunakan katalis Pd/C dan NiMo/C.
2. Mendapatkan spesifikasi produk yang sesuai dan mendekati solar komersial.
3. Mendapatkan kinerja katalis yang baik untuk mendapatkan konversi, selektivitas dan *yield* pada sintesis *renewable diesel* dengan metode deoksigenasi ini.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, maka diharapkan dapat memperoleh suatu kinerja katalis yang baik melalui aktivitas dan selektivitasnya dalam menghasilkan produk *renewable diesel* yang memenuhi kriteria. Selain itu juga dapat mengembangkan metode sintesis katalis dan metode deoksigenasi dalam sintesis *renewable diesel* untuk menghasilkan bahan bakar bio setara fraksi solar.

#### 1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi pembahasan sebagai berikut :

1. Bahan baku yang dipakai adalah senyawa model asam oleat.
2. Sintesis katalis menggunakan metode *simple heating* dan metode *microwave polyol process*.
3. Karakterisasi katalis menggunakan BET, SEM, XRD dan PSA.
4. Karakterisasi produk menggunakan FTIR dan GC-FID.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dilakukan dengan membagi tulisan menjadi 5 bab, yaitu :

##### 1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

##### 2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang studi literatur secara umum yang berkaitan dengan penelitian ini, seperti: informasi tentang *biofuel*, bahan baku *biofuel*, konversi minyak nabati menjadi *biofuel*, *renewable diesel*, sintesis *renewable diesel*, katalis, nanopartikel, sintesis katalis, karakterisasi katalis, karakterisasi produk.

##### 3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

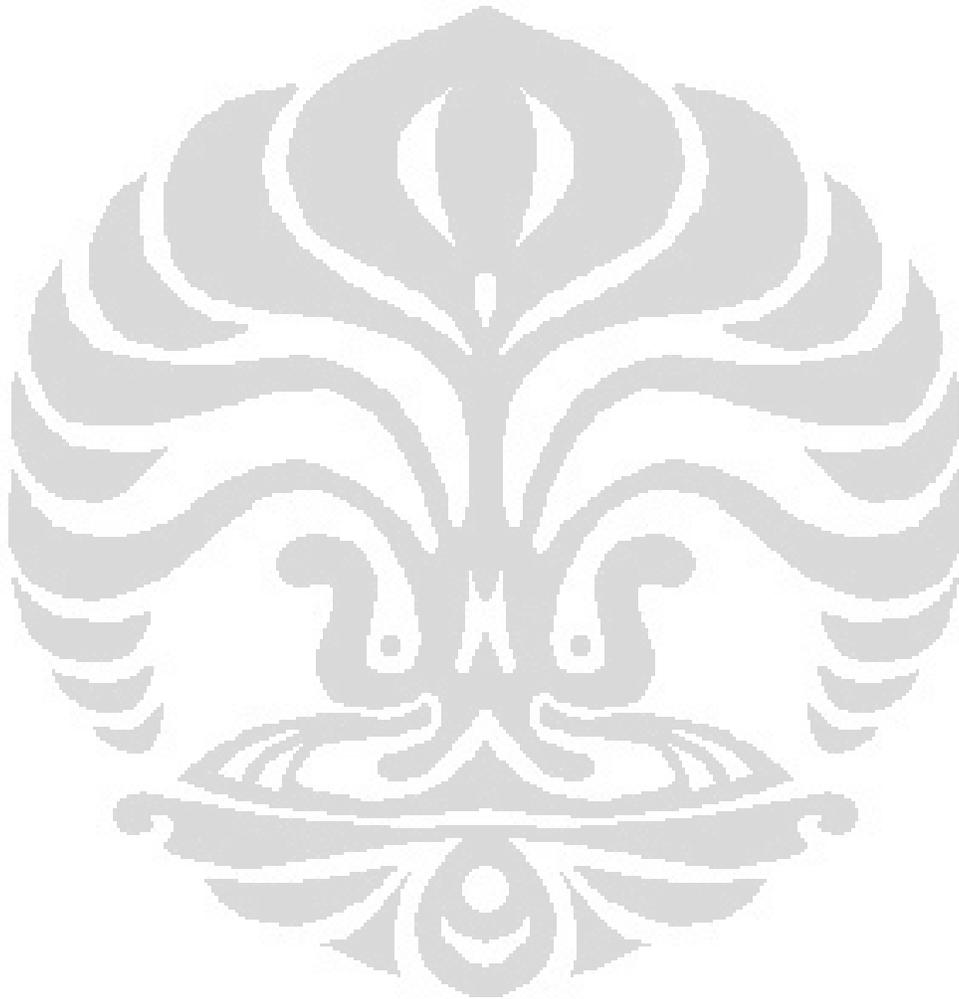
Bab ini berisikan diagram alir penelitian, peralatan, bahan, prosedur penelitian, dan metode yang digunakan untuk mensintesis katalis dan produk.

##### 4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi analisis dari hasil eksperimen yang dilakukan.

## 5. BAB V KESIMPULAN

Berisi kesimpulan-kesimpulan dan saran dari hasil maupun analisis penelitian yang dilakukan.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Biofuel*

*Biofuel* adalah bahan bakar yang berasal dari bahan organik, yang juga disebut *non-fossil energy*. Berbeda dengan bahan bakar yang banyak kita kenal saat ini yaitu bahan bakar minyak (BBM), seperti premium, pertamax, solar, maupun minyak diesel industri yang termasuk kelompok *fossil energy*. *Biofuel* mempunyai sifat dapat diperbaharui, yang artinya bahan bakar ini dapat dibuat oleh manusia dari bahan-bahan yang bisa ditumbuhkan atau dikembangkan (Arasyid & Hadi, 2010). Bahan baku *biofuel* biasanya banyak ditemui serta mudah didapat, seperti minyak sawit, minyak jarak pagar, tebu, kelapa, nyamplung, kedelai, ubi kayu, wijen, dan sebagainya sehingga penyediaannya lebih berkesinambungan (Prastowo, 2008). *Biofuel* ini juga memiliki kandungan polusi yang lebih kecil karena berbagai tanaman yang digunakan untuk memproduksi *biofuel* dapat mengurangi karbon dioksida di atmosfer, tidak seperti bahan bakar fosil yang justru mengembalikan karbon yang tersimpan di bawah permukaan tanah ke udara. Sehingga penggunaan *biofuel* dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi serta meningkatkan keamanan energi.

Ada beberapa generasi *biofuel* yang saat ini sedang dikembangkan, diantaranya adalah *biofuel* generasi pertama, dan *biofuel* generasi kedua. Untuk *biofuel* generasi pertama memiliki beberapa produk turunan, diantaranya meliputi bioetanol, biodiesel, biokerosin dan *biogas*.

##### 2.1.1 Bioetanol

Bioetanol adalah etanol yang dibuat dari biomassa yang mengandung komponen pati atau selulosa, seperti singkong dan tetes tebu. Bioetanol diperoleh dari hasil fermentasi bahan yang mengandung gula. Etanol dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti bensin (*gasoline*) pada transportasi. Etanol dapat dicampur dengan bensin dengan persentase tertentu dan biasanya mesin bensin dapat beroperasi menggunakan campuran etanol hingga 15%. Campuran bensin

dengan etanol memiliki angka oktan yang tinggi tetapi bahan bakar etanol ini mempunyai energi yang rendah sehingga dibutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk perjalanan dengan jarak yang sama. Selain itu perlu modifikasi 100% agar sesuai dengan mesin kendaraan yang sekarang beroperasi (Immer *et al.*, 2010).

### **2.1.2 Biodiesel**

Biodiesel merupakan sumber energi alternatif pengganti solar yang terbuat dari minyak tumbuhan atau lemak hewan. Biodiesel dalam unsur kimianya merupakan alkil ester (metil, etil, isopropyl, dan sejenisnya) berasal dari asam lemak, biasanya, biodiesel dihasilkan dari minyak kelapa sawit, minyak biji jarak, dan sebagainya (Kardono, 2008). Biodiesel dihasilkan dengan mereaksikan minyak tanaman dengan alkohol menggunakan zat basa sebagai katalis pada suhu dan komposisi tertentu, sehingga akan dihasilkan dua zat yang disebut alkil ester (umumnya metil ester atau etil ester) dan gliserin. Sebagai bahan bakar cair, biodiesel sangat mudah digunakan dan dapat langsung dimasukkan ke dalam mesin diesel tanpa perlu memodifikasi mesin. Selain itu, dapat dicampur dengan solar untuk menghasilkan campuran biodiesel yang bersetana lebih tinggi (Kardono, 2008). Biodiesel ini memiliki angka setana yang tinggi. Akan tetapi masih mempunyai viskositas yang tinggi, temperature *cloud point* yang tinggi, rendahnya stabilitas oksidasi, tingginya asam karboksilat dan energi densitas yang rendah (Immer *et al.*, 2010).

### **2.1.3 Biokerosin**

Biokerosin merupakan minyak nabati yang ditujukan sebagai pengganti minyak tanah. Minyak nabati ini juga dikenal sebagai minyak kasar karena belum mengalami proses pemurnian dan hanya mengalami proses penyaringan dengan saringan 3 mikron. Viskositas biokerosin juga masih tinggi. Karena itu, bentuk kompor yang digunakan harus dimodifikasi untuk memudahkan pengaliran minyak ke sumbu kompor. Bahan baku yang digunakan adalah kelapa sawit dan jarak pagar.

#### 2.1.4 *Biogas*

*Biogas* adalah gas yang dihasilkan dari penguraian bahan organik oleh bakteri. Penguraian ini terjadi diruang yang kedap udara atau tanpa udara, jadi prosesnya terjadi secara anaerobik. Bahan organik yang bisa dijadikan biogas diantaranya daun-daunan, kotoran hewan ternak (sapi, kambing, ayam) atau bahan organik yang mudah hancur. Gas yang banyak dihasilkan dari penguraian bahan organik adalah gas metan dan gas karbondioksida. Tetapi gas yang hanya bisa dipakai sebagai sumber energi adalah gas metan. Gas metan ini bisa dimanfaatkan untuk memasak, menghasilkan listrik, menghidupkan lampu atau menghangatkan ruangan. *Biogas* adalah sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable energy*) karena sampah organik selalu ada dan tersedia setiap waktu. Berbeda halnya dengan bahan bakar fosil seperti batu bara, gas elpiji dan minyak bumi seperti bensin atau solar yang suatu saat akan langka dan habis.

Produksi *Biofuel* generasi kedua hadir sebagai solusi dari *biofuel* generasi pertama yang dapat meminimalkan oksigen yang terdapat dalam bahan bakar dan struktur hidrokarbon yang menyerupai bahan bakar minyak bumi sehingga diharapkan dapat mengganti bahan bakar komersial yang saat ini digunakan. Walaupun produksi *biofuel* generasi kedua saat ini masih belum komersial, namun kelebihan dari *biofuel* generasi kedua dapat mengurangi produksi CO<sub>2</sub> secara signifikan, tidak bersaing dengan tanaman pangan, dan beberapa produk turunannya memiliki performa mesin yang lebih baik dibandingkan dengan *biofuel* generasi pertama. Salah satu produk turunan *biofuel* generasi kedua yang saat ini sedang dikembangkan adalah *renewable diesel*.

#### 2.2 *Bahan Baku Biofuel*

Minyak nabati merupakan bahan baku yang umum digunakan sebagai pembuatan *biofuel*. Komposisi yang terdapat dalam minyak nabati terdiri dari trigliserida-trigliserida asam lemak (mempunyai kandungan terbanyak dalam minyak nabati, mencapai sekitar 95%), asam lemak bebas, monogliserida dan digliserida, serta beberapa komponen-komponen lain seperti phosphoglycerides, vitamin, mineral atau sulfur (Destianna *et al.*, 2007).

Trigliserida merupakan triester dari gliserol dengan asam-asam lemak, yaitu asam-asam karboksilat beratom karbon 6-30. Asam lemak jenuh bersifat stabil (tidak mudah bereaksi) daripada asam lemak tak jenuh. Ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh mudah bereaksi dengan oksigen (Destianna *et al.*, 2007). Contoh dari asam lemak jenuh adalah asam laurat, asam palmitat dan asam stearat. Sedangkan contoh asam lemak tak jenuh adalah asam oleat, asam linoleat, dan linoleat. Berikut komposisi asam lemak dalam minyak nabati pada berbagai tumbuhan ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Komposisi Asam Lemak dalam Minyak Nabati

| Minyak Nabati | Komposisi Asam Lemak (%) |         |       |          |          |
|---------------|--------------------------|---------|-------|----------|----------|
|               | Palmitat                 | Stearat | Oleat | Linoleat | Miristat |
| Kelapa sawit  | 42                       | 5       | 41    | 10       | 2        |
| Jarak Pagar   | 14,5                     | 5,5     | 50    | 29,6     | 0,25     |
| Kedelai       | 14                       | 4       | 24    | 52       | -        |
| Jagung        | 8,1                      | 4,9     | 30,1  | 56,8     | 0,1      |
| Ketapang      | 35,63                    | 4,66    | 33,49 | 24,49    | -        |
| Nyamplung     | 17,1                     | 9,05    | 50,8  | 20       | -        |

Sumber : Soerawidjaja, 2003

Pada Tabel 2.1 di atas, terlihat bahwa komposisi asam lemak terbesar dalam minyak nabati pada berbagai tumbuhan adalah asam oleat. Kandungan asam oleat yang tinggi ini yang menjadi dasar pertimbangan penggunaan asam oleat sebagai bahan baku dalam penelitian sintesis *renewable diesel* ini.

### 2.3 Konversi Minyak Nabati menjadi *Biofuel*

Salah satu tantangan penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar dalam mesin *diesel* adalah mempunyai viskositas yang tinggi. Rendahnya viskositas minyak nabati dapat meningkatkan pembakaran. Berbagai metode yang umum digunakan untuk memperendah viskositas minyak nabati dapat diklasifikasikan menjadi tiga pendekatan, yang meliputi dilusi atau pencampuran, perengkahan sebagian yaitu membangun struktur hidrokarbon yang sesuai atau setara dengan hidrokarbon minyak bumi serta perengkahan full yaitu membangun struktur trigliserida untuk membentuk sifat bahan bakar dari yang diinginkan

(Olusola *et al.*, 2010). Jalur proses konversi minyak nabati menjadi biofuel diperlihatkan pada Gambar 1.1.

## 2.4 Renewable Diesel

*Renewable diesel* adalah bahan bakar alternatif terbarukan yang merupakan generasi lanjutan biodiesel atau generasi kedua *biofuel*. Adanya pengembangan *diesel* terbarukan atau *renewable diesel* ini dikarenakan bahan bakar alternatif dari asam lemak metil ester atau yang lebih dikenal dengan biodiesel masih memiliki sifat kimia fisik yang tidak diinginkan *petroleum diesel* seperti viskositas yang tinggi, temperature *cloud point* yang tinggi, rendahnya stabilitas oksidasi, tingginya asam karboksilat dan densitas energi yang rendah (Immer *et al.*, 2010). Selain itu komposisi dari struktur hidrokarbon *renewable diesel* ini menyerupai *petroleum diesel* sehingga bahan bakar ini diharapkan dapat setara dengan bahan bakar *diesel* komersial yang saat ini digunakan.

*Renewable diesel* juga memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan *petroleum diesel* dan biodiesel yaitu memiliki angka setana yang lebih tinggi dan kandungan sulfur yang lebih rendah sehingga kualitas pembakaran dari *renewable diesel* ini lebih baik dan juga lebih ramah lingkungan. Perbandingan komposisi dari *petroleum diesel*, biodiesel dan *renewable diesel* dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

**Tabel 2.2** Perbandingan *Petroleum Diesel*, *Biodiesel* dan *Renewable Diesel*.

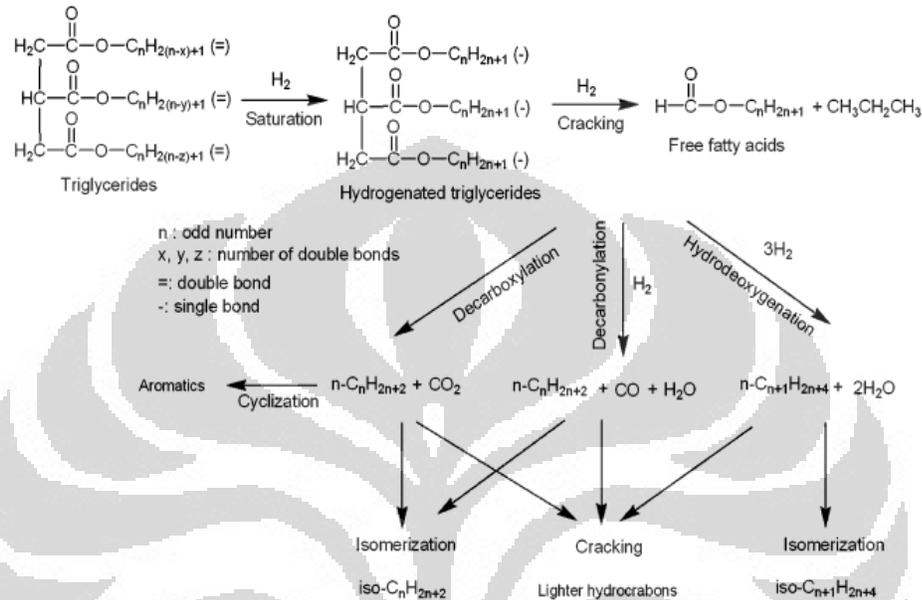
|                         | <i>Petroleum Diesel</i> | <i>Biodiesel</i> | <i>Renewable Diesel</i> |
|-------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|
| Oksigen, %              | 0                       | 11               | 0                       |
| <i>Specific gravity</i> | 0.84                    | 0.88             | 0.78                    |
| Sulfur, ppm             | <10                     | <1               | <1                      |
| Nilai kalor, Mj/kg      | 43                      | 38               | 44                      |
| <i>Cloud point</i> , °C | -5                      | -5 hingga +15    | -10 hingga +20          |
| Angka Setana            | 40                      | 50-65            | 70-90                   |
| Stabilitas              | baik                    | rendah           | baik                    |

sumber : Kalnes *et al.*, 2007

## 2.5 Sintesis Renewable Diesel

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk sintesis *renewable diesel*, diantaranya adalah metode pirolisis dan metode deoksigenasi. Umumnya sintesis *renewable diesel* ini diawali dengan penjuhan trigliserida dengan gas

hidrogen yang kemudian menghasilkan asam lemak bebas yang mengalami perengkahan secara dekarboksilasi, dekarbonilasi dan hidrodeoksigenasi. Skema jalur proses sintesis *renewable diesel* ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



**Gambar 2.1** Skema jalur proses sintesis *renewable diesel* dari trigliserida (Veriansyah *et al.*, 2012)

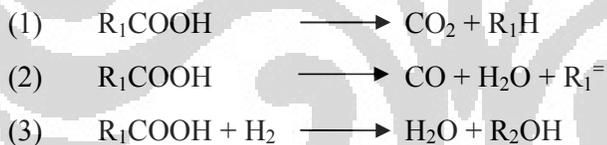
### 2.5.1 Metode Pirolisis

Metode pirolisis ini membutuhkan suhu pemanasan yang cukup tinggi untuk menurunkan viskositas minyak sehingga mendekati spesifikasi yang diinginkan. Oksigen dalam reaksi ini dihilangkan melalui  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Metode ini menghasilkan selektivitas produk yang rendah karena dapat terjadinya perengkahan yang terus menerus atau polimerisasi pada hidrokarbon minyak. Akan tetapi, dengan adanya katalis asam dapat menurunkan suhu pemanasan dan dapat meningkatkan selektivitas produk (Olusola *et al.*, 2010).

Pada jurnalnya, Qi mengungkapkan bahwa walaupun katalis yang digunakan dipercaya dapat meningkatkan *yield* produk yang dihasilkan dengan perengkahan katalitik sebagai teknik utama akan tetapi untuk menghasilkan katalis dengan kinerja yang baik dengan konversi yang tinggi dan sedikit kecenderungan *coking* menuntut banyaknya usaha (Qi *et al.*, 2007).

### 2.5.2 Metode Deoksigenasi

Deoksigenasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memproduksi hidrokarbon berbasis *biofuel* melalui cara dekarboksilasi (penghilangan gugus karboksilat) dan dekarbonilasi (penghilangan gugus karbonil). Dalam penelitian ini, metode deoksigenasi digunakan untuk sintesis *renewable diesel* yang merupakan *biofuel* generasi kedua untuk menghasilkan produk hidrokarbon yang setara dengan *petroleum diesel* tetapi kualitas dan performa mesin *renewable diesel* ini lebih baik dari *petroleum diesel*. Hal tersebut karena proses deoksigenasi menyebabkan kandungan atom oksigen yang ada pada *renewable diesel* lebih rendah sehingga mesin tidak akan cepat terkorosi. Disamping kandungan oksigen yang rendah, kandungan sulfur yang dimiliki *renewable diesel* ini juga jauh lebih sedikit daripada *petroleum diesel* sehingga dapat membuat mesin ini lebih ramah lingkungan. Proses deoksigenasi ini membutuhkan katalis untuk lebih membantu memaksimalkan selektivitas produk yang diinginkan. Berikut contoh reaksi deoksigenasi secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.2



**Gambar 2.2** Reaksi Deoksigenasi melalui Berbagai Jalur. (1) Reaksi Deoksigenasi Asam Lemak Melalui dekarboksilasi, (2) Reaksi Deoksigenasi Asam Lemak Melalui Dekarbonilasi, (3) Reaksi Deoksigenasi Asam Lemak dengan Hidrogenasi.

### 2.6 Katalis

Katalis adalah senyawa yang dapat meningkatkan laju suatu reaksi tanpa senyawa tersebut ikut terpakai dan setelah reaksi berakhir, senyawa tersebut akan kembali ke bentuk awal tanpa terjadi perubahan kimia. Suatu katalis berperan dalam reaksi tetapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Katalis berperan dengan menurunkan energi aktivasi. Dengan menurunnya energi aktivasi maka pada suhu yang sama reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Sehingga untuk membuat reaksi terjadi, tidak diperlukan energi yang lebih tinggi. Selain itu juga katalis dapat berperan meningkatkan selektivitas suatu reaktan agar menghasilkan produk sesuai dengan yang diinginkan.

Adapun katalis yang baik harus dapat mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Aktivitas yang tinggi, yaitu dalam jumlah yang kecil dapat mengubah bahan baku menjadi aneka produk yang diinginkan.
2. Selektivitas yang baik, yaitu mempunyai daya menghasilkan produk yang diinginkan (dalam jumlah tinggi) dari sekian banyak produk yang dihasilkan.
3. Stabil, aktivitasnya tidak akan turun dengan cepat karena pengaruh kondisi fisik dan mekanis (Haerudin, 2005).

Berdasarkan fasanya, katalis dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Pada reaksi homogen, katalis memiliki fasa yang sama dengan reaktannya. Sedangkan dalam reaksi heterogen, katalis memiliki fasa yang berbeda dengan reaktan (bahan yang bereaksi).

### 2.6.1 Katalis Homogen

Katalis homogen merupakan katalis yang memiliki fasa yang sama dengan bahan pereaksi dan produk reaksinya. Karena fasa katalis dan pereaksinya sama, proses pemisahan yang dilakukan untuk memperoleh kembali katalis di akhir reaksi cukup rumit. Sehingga penggunaan katalis homogen kurang menguntungkan apabila diaplikasikan di industri karena diperlukan biaya yang cukup tinggi untuk proses pemisahan katalis, reaktan, dan produk. Sistem katalisis homogen hanya dijumpai pada industri-industri tertentu saja misalnya industri bahan kimia, obat-obatan, dan makanan. Beberapa industri petrokimia seperti produksi asam asetat, alkilasi olefin, dan hidroformilasi juga menggunakan sistem katalisis homogeny (Istady, 2011).

Katalis homogen juga biasanya digunakan pada proses transesterifikasi untuk menghasilkan produk *biodiesel*. Katalis yang biasanya digunakan dalam proses transesterifikasi adalah katalis NaOH atau KOH. Walaupun proses reaksi katalis homogen ini tidak membutuhkan suhu dan tekanan yang tinggi, tetapi penggunaan katalis homogen ini memiliki beberapa kelemahan seperti bersifat korosi, berbahaya karena dapat merusak mata, kulit dan paru-paru apabila tertelan, sulit dipisahkan dari produk sehingga terbuang pada saat pencucian, dan sulit untuk diregenerasi kembali.

### 2.6.2 Katalis Heterogen

Katalis heterogen merupakan katalis yang memiliki fasa yang berbeda dengan bahan pereaksi dan produk reaksinya. Pada umumnya katalis heterogen terdiri atas komponen bahan aktif dan bahan penyangga (*support*). Mekanisme yang terjadi pada katalis heterogen, melibatkan proses adsorpsi dan desorpsi. Katalis biasanya diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Proses adsorpsi akan membawa molekul reaktan pada sisi aktif dari katalis, yang akan merubah sifat dari reaktan, dan membentuk intermediet tertentu, kemudian produk dilepaskan dari permukaan melalui proses desorpsi.

Katalis heterogen ini banyak diaplikasikan pada industri karena katalis dalam bentuk pelet mudah dibuat, sehingga konstruksinya sederhana. Penyimpanan katalis dalam tabung reaktor juga mudah diletakan sehingga katalis dapat beradaptasi dengan reaktan yang mengalir di reaktor. Adapun keuntungan lainnya menggunakan katalis ini adalah mempunyai aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang ringan, masa hidup katalis yang panjang, dan juga dapat dipisahkan dari larutan produk sehingga dapat diregenerasi kembali. Pada penelitian ini, katalis yang dipakai untuk pembuatan *renewable diesel* adalah katalis heterogen (Istady, 2011).

### 2.6.3 Komponen Katalis

Pada umumnya komponen-komponen katalis terdiri atas bahan aktif, bahan penyangga (*support*) dan promotor.

#### 2.6.3.1 Komponen Aktif

Komponen aktif dapat mempercepat reaksi dan merupakan tahap awal dalam desain katalis. komponen aktif dari katalis bisa menjadi tidak aktif (terdeaktivasi) saat digunakan karena kehadiran kokas dan senyawa racun seperti CO, CO<sub>2</sub>, dan senyawa-senyawa sulfur serta rusaknya struktur akibat temperatur operasi yang terlalu tinggi (Triyono, 2011). Komponen aktif katalis dapat berupa logam, oksida atau sulfide logam maupun bahan mineral sintetik dan semi sintetik. Logam katalis banyak digunakan dalam proses penyediaan sumber energi terutama dalam pengolahan minyak bumi menggunakan hidrogen

(*hydroprocessing*). Pada Tabel 2.3 diperlihatkan klasifikasi komponen aktif katalis berdasarkan kelasnya.

**Tabel 2.3** Klasifikasi Komponen Aktif

| Kelas              | Reaksi  | Contoh   |
|--------------------|---|--|
| Logam              | Hidrogenasi<br>Hidrolisis<br>Oksidasi                   | Fe, Ni, Pt<br>Pd, Cu, Ag   |
| Oksida dan Sulfida | Hidrogenasi selektif<br>Hidrogenasi<br>Oksidasi         | NiO, ZnO, CuO<br>Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MOS <sub>2</sub>   |
| Oksida             | Polimerisasi<br>Isomerisasi<br>Perengkahan<br>Dehidrasi | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , MgO<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub><br>zeolit |

Sumber : Richardson 1989 dalam Sinaga 2011

### 1) Palladium

Palladium merupakan senyawa organologram yang hanya sedikit digunakan dalam industri. Logam palladium stabil di udara dan tahan terhadap reaksi. Palladium mempunyai aktifitas katalitik yang kuat pada reaksi hidrogenasi, oksidasi dan hidrogenolisis. Katalis palladium ada dalam bentuk bubuk halus dan biasanya disupport oleh karbon,  $\gamma$ -alumina atau alumina silika. Sifat katalis Pd lebih stabil dan tahan lama untuk pemakaian jangka panjang. Seperti yang dilakukan penelitian Lihertlinah *et al.* bahwa katalis yang serupa dalam hal aktivitas dan selektivitas dengan katalis CuO/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> namun lebih stabil dan tahan lama adalah katalis yang didasarkan pada palladium.

Murzin *et al.* dan Immer *et al.* juga menemukan katalis Pd dapat meningkatkan selektivitas asam karboksilat dalam deoksigenasi asam stearat untuk sintesis bahan bakar terbarukan *renewable diesel*. Pada penelitian ini, katalis yang dipakai berukuran nano, karena katalis berukuran nano memiliki keunggulan dibandingkan katalis yang lebih besar. Diantaranya adalah luas permukaan yang lebih besar dan selektivitas terhadap produk yang diinginkan jauh lebih baik.

## 2) Nikel

Nikel adalah logam putih perak yang keras. Nikel bersifat liat, dapat ditempa dan sangat kukuh. Karena sifatnya yang fleksibel dan mempunyai karakteristik-karakteristik yang unik seperti tidak berubah sifatnya bila terkena udara, ketahanannya terhadap oksidasi dan kemampuannya untuk mempertahankan sifat-sifat aslinya di bawah suhu yang ekstrim, nikel lazim digunakan dalam berbagai aplikasi komersial dan industri. Nikel sangat penting dalam pembentukan logam campuran (alloy dan superalloy), terutama baja tidak berkarat (stainless steel). Nikel telah banyak digunakan dalam reaksi hidrogenasi, alkilasi, hidroalkilasi, dan *cracking* (Hasibuan, 2009). Katalis nikel paling banyak digunakan karena reaktivitasnya yang besar setelah paladium (Pd>Ni>Co>Fe>Cu).

## 3) Molibdenum

Molibdenum bersifat keras, seperti logam perak dengan titik leleh sangat tinggi. Molibdenum biasanya digunakan untuk menjadi campuran dengan logam lain. Campuran akan memiliki sifat berbeda dari unsur logam yang pertama. Di alam molibdenum tidak berada sebagai unsur bebas melainkan berada dalam keadaan berbagai macam oksida dalam mineral. Molibdenum biasanya sering dicampur dengan baja untuk meningkatkan kekuatan, ketangguhan, ketahanan terhadap keausan dan korosi, dan kemampuan untuk mengeraskan baja. Penggunaan penting molibdenum lainnya adalah sebagai katalis molibdenum. Katalis molibdenum digunakan dalam berbagai operasi kimia, dalam industri minyak bumi, dan dalam produksi polimer dan plastik.

### 2.6.3.2 Komponen Penyangga (*Support*)

Komponen penyangga ini berfungsi sebagai komponen yang memperluas permukaan komponen aktif. Disamping itu, bahan penyangga juga dapat berfungsi sebagai media perpindahan panas, saringan molekular dan peningkat sifat mekanik. Bahan penyangga sebagian besar berupa oksida, mineral atau campuran keduanya (Haerudin, 2005).

Bahan penyangga yang dipilih selalu disesuaikan dengan kebutuhan reaksi katalitiknya agar reaksi dapat berlangsung optimal. Oleh karena itu, dalam pemilihan suatu penyangga harus memperhatikan beberapa hal berikut :

- Luas permukaan spesifik yang besar
- Memiliki porositas yang baik
- Inert terhadap reaksi yang tidak diinginkan
- Tahan terhadap panas dan stabil

### **Karbon aktif**

Karbon Aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Daya serap karbon aktif ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika terhadap arang tersebut dilakukan aktivasi dengan bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi. Karbon aktif bersifat sangat aktif dan akan menyerap apa saja yang kontak dengan karbon tersebut. Dalam penelitian sebelumnya Murzin *et al.* dan Immer *et al.*, katalis dengan penyangga karbon menghasilkan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Dan secara *overall* lebih aktif dan lebih selektivitas untuk dekarboksilasi dibandingkan dengan menggunakan penyangga  $\text{SiO}_2$ , dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### **2.6.3.3 Komponen Promotor**

Penambahan promotor pada komponen aktif dan penyangga berfungsi untuk meningkatkan kinerja katalis baik itu aktivitas, selektivitas dan stabilitas katalis. Dan biasanya penambahan promotor ini sangat sedikit. Seringkali penambahan promotor ini diharapkan dapat menghambat aktifitas yang tidak diinginkan, seperti pembentukan *coke*.

### **2.6.4 Nanopartikel**

Beberapa tahun terakhir ini, revolusi nanoteknologi sedang melanda dunia. Banyak peneliti berlomba untuk menciptakan suatu karya baru dalam bidang nanoteknologi. Salah satu pengembangan dari nanoteknologi yang banyak

diminati para peneliti adalah sintesis nanopartikel. Nanopartikel merupakan material yang berukuran nanometer. Nanopartikel ini dapat terjadi secara alamiah ataupun melalui proses sintesis oleh manusia. Sintesis nanopartikel adalah pembuatan suatu partikel yang memiliki ukuran kisaran dibawah 100 nanometer. Materi yang berukuran nanometer berbeda dibanding dengan ukuran yang lebih besar (*bulk*). Perbedaan yang sangat dramatis terjadi pada sifat fisika, kimia dan sifat biologinya. Perbedaan yang terjadi memberikan manfaat yang sangat besar sehingga membawa material berukuran nanometer sebagai material unggul pada berbagai bidang terapan, termasuk biologi dan farmasi (Saragih, 2011).

Dua hal utama yang membuat nanopartikel berbeda dengan material sejenis dalam ukuran besar, yaitu:

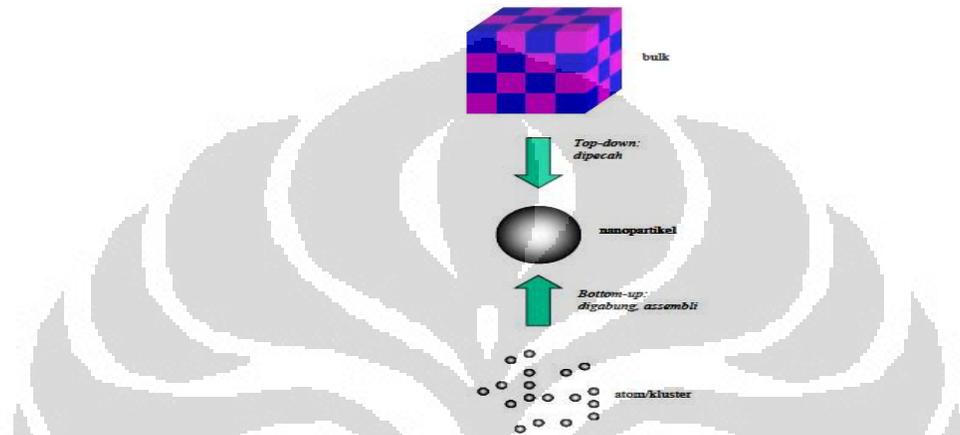
- Karena ukurannya yang kecil, nanopartikel memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel sejenis dalam ukuran besar. Ini membuat nanopartikel bersifat lebih reaktif. Reaktivitas material ditentukan oleh atom-atom di permukaan, karena hanya atom-atom tersebut yang bersentuhan langsung dengan material lain.
- Ketika ukuran partikel menuju orde nanometer, maka hukum fisika yang berlaku lebih didominasi oleh hukum-hukum fisika kuantum (Abdullah, 2008)

#### **2.6.5 Sintesis Katalis Nanopartikel**

Sintesis katalis nanopartikel dapat dilakukan dalam fasa padat, cair, maupun gas. Proses sintesis ini dapat berlangsung secara fisika ataupun kimia. Secara fisika, proses sintesis katalis nanopartikel tidak melibatkan reaksi kimia tetapi hanya pemecahan material besar menjadi material berukuran nanometer, atau pengabungan material berukuran sangat kecil, seperti kluster, menjadi partikel berukuran nanometer tanpa mengubah sifat bahan. Sedangkan secara kimia, proses sintesis katalis nanopartikel ini melibatkan reaksi kimia dari sejumlah material awal (prekursor) sehingga dihasilkan material lain yang berukuran nanometer.

Sintesis katalis nanopartikel dapat dibuat dengan cara pendekatan *top-down* dan *bottom-up*. Untuk pendekatan *top down*, partikel yang berukuran besar dipecah menjadi partikel yang berukuran nanometer. Sedangkan cara pendekatan

*bottom-up*, sintesis nanomaterial dilakukan dengan mereaksikan berbagai larutan kimia dengan langkah-langkah tertentu yang spesifik sehingga terjadi suatu proses nukleasi yang menghasilkan nukleus-nukleus sebagai kandidat nanopartikel setelah melalui proses pertumbuhan (Saragih, 2011). Berikut skema pendekatan *top-down* dan *bottom-up* pada sintesis katalis nanopartikel ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Pendekatan *top-down* dan *bottom-up* pada Sintesis Nanokatalis (Abdullah, 2008)

### 2.6.5.1 Metode Sintesis Katalis Nanopartikel

Ada banyak metode yang dapat digunakan untuk sintesis katalis nanopartikel. Baik itu dari cara yang sederhana hingga yang sangat rumit. Dalam penelitian ini, metode yang akan digunakan untuk pembuatan katalis NiMo/C adalah metode *simple heating*, sedangkan untuk katalis Pd/C adalah metode *microwave polyol process*.

Metode *simple heating* merupakan metode sintesis nanopartikel yang menggunakan larutan polimer sebagai media kontinyu. Larutan polimer ini digunakan untuk mencegah terjadinya aglomerasi. Untuk mensintesis katalis, seluruh prekursor katalis dicampur dan direaksikan dengan larutan polimer tersebut. Kemudian untuk mendekomposisi polimer, seluruh larutan tersebut dipanaskan hingga suhu tertentu. Setelah polimer dihilangkan, maka katalis nanopartikel yang saling terpisahkan akan terbentuk. Metode ini tidak membutuhkan waktu yang lama, hanya beberapa puluh menit dan tidak diperlukan peralatan yang mahal (Abdullah, 2008).

Metode *microwave polyol process* merupakan salah satu metode sintesis nanopartikel yang sederhana dan efektif untuk sintesis partikel koloid logam. Dalam metode ini, etilen glikol (EG) umumnya digunakan sebagai pelarut untuk garam logam dan pertumbuhan media dari partikel logam. Mekanisme umum untuk sintesis logam nanopartikel dengan proses polioliol *microwave* yaitu polioliol dapat dengan cepat terjadi pemanasan oleh radiasi gelombang *microwave* karena dielektrik konstan yang tinggi. Pemanasan *microwave* yang cepat dan seragam menyebabkan cepatnya pengurangan ion logam dan pembentukan inti logam, sehingga sangat memudahkan pembentukan partikel yang kecil dan seragam. Dalam metode ini terjadi pertukaran ion antara ion logam dengan penyangga yang dibantu dari interaksi etilen glikon (Zhao *et al.*, 2006).

## 2.7 Karakterisasi Katalis

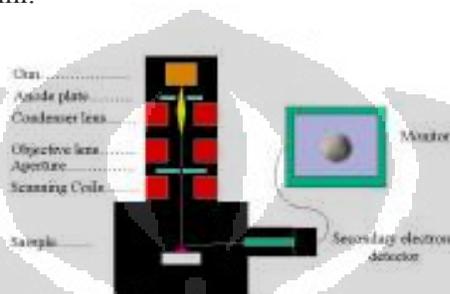
Katalis yang telah dibuat perlu diuji apakah struktur katalis tersebut sudah sesuai dengan struktur nanopartikel yang diinginkan atau tidak. Pengujian tersebut dapat dilakukan dengan metode karakterisasi katalis baik dari segi ukuran katalis, luas permukaan katalis, dan kristalinitasnya sehingga kita bisa mengetahui apakah material tersebut sudah memenuhi kriteria nanostruktur yang sesuai atau tidak. Metode karakterisasi katalis dalam penelitian ini diantaranya adalah SEM (*Scanning Electron Microscopy*), XRD (*X-Ray Diffraction*), BET (Brunauer-Emmett-Teller).

### 2.7.1 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi nanomaterial. Beberapa hal yang dikarakterisasi yaitu permukaan material tersebut. Jadi, setelah material diamati dengan SEM ini maka akan diperoleh bagaimana bentuk permukaan dan ukuran material tersebut.

Prinsip SEM ini permukaan material ditembaki dengan berkas elektron berenergi tinggi. Elektron berenergi tinggi ini memiliki panjang gelombang yang sangat pendek yang bersesuaian dengan panjang gelombang de Broglie. Proses ini mengakibatkan adanya elektron yang dipantulkan atau dihasilkannya elektron sekunder. Elektron yang dipantulkan diterima oleh detektor. Lalu hasil yang

diterima diolah oleh program dalam komputer. Ada beberapa syarat pada material yang dikarakterisasi dengan SEM ini. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa detektor mendeteksi elektron yang dipantulkan atau elektron sekunder yang dihasilkan oleh material, maka sifat ini dimiliki oleh material yang berjenis logam. Jika material yang bersifat isolator dikarakterisasi dengan SEM, maka hasilnya akan kabur dan mungkin akan hitam. Berikut skema dari SEM ditunjukkan pada Gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Skema diagram dari SEM

### 2.7.2 XRD (X-Ray Diffraction)

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dimaksudkan untuk mengidentifikasi fasa bulk suatu katalis dan untuk menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari suatu katalis. Kebanyakan dari katalis adalah berbentuk padatan kristal seperti oksida logam, zeolite, dan logam yang berpenyangga. XRD menjadi teknik yang cukup handal dan mendasar untuk mengevaluasi sifat-sifat fasa kristal and ukuran Kristal. Di dalam analisis XRD, kristal katalis memantulkan sinar X yang dikirimkan dari sumber dan diterima oleh detektor. Dengan melalukan sudut kedatangan sinar X maka spektrum pantulan adalah spesifik yang berhubungan langsung dengan *lattice spacing* dari kristal yang dianalisis. Pola difraksi diplotkan berdasarkan intensitas peak yang menyatakan peta parameter kisi kristal atau indeks Miller (hkl) sebagai fungsi  $2\theta$ , dimana  $\theta$  menyatakan sudut difraksi berdasarkan persamaan Bragg pada Persamaan (2.1). Interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan dari mana sinar X dipantulkan adalah datar.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.1)$$

dimana  $d$  menyatakan jarak antar lapisan atom atau ion yang berdekatan,  $\gamma$  yang menyatakan panjang gelombang radiasi sinar X, dan  $n$  adalah urutan pantulan.

### 2.7.3 BET (Brunauer-Emmett-Teller)

BET ini merupakan salah satu metode yang umumnya banyak digunakan untuk mengukur luas permukaan zat padat. Pengujian karakteristik BET pada prinsipnya adalah mengukur luas permukaan padatan yang dilakukan dengan cara adsorpsi fisik (*physisorption*) gas yaitu menentukan jumlah molekul gas yang dibutuhkan untuk menutupi permukaan padatan dengan satu lapisan zat (monolayer) yang diserap. Pengukuran isotherm adsorpsi gas banyak digunakan untuk menentukan luas permukaan dan distribusi ukuran pori dari padatan. Penggunaan nitrogen sebagai gas adsorptif dianjurkan jika area permukaan lebih tinggi dari  $5\text{m}^2/\text{g}$ . Jika luas permukaan yang ditempati oleh satu molekul adsorbat diketahui maka luas permukaan padatan dapat dihitung dari jumlah molekul adsorbat. Penyerapan gas ini biasanya dilakukan pada kondisi isoteremis.

## 2.8 Karakterisasi Produk

Untuk mengetahui apakah produk yang dihasilkan sudah memenuhi kriteria yang diinginkan atau belum, maka produk yang dihasilkan perlu diuji. Dalam penelitian ini, instrumen yang digunakan untuk menganalisis produk adalah FTIR dan GC-FID.

### 2.8.1 FTIR (*Fourier-Transform Infra Red*)

Pada dasarnya Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) adalah sama dengan Spektrofotometer IR dispersi, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar infra merah melewati sampel. Metode analisis ini biasanya digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan gugus-gugus yang ada pada sampel.

Sistem optik spektrofotometer FTIR dilengkapi dengan cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin yang diam. Dengan demikian radiasi infra merah

akan menimbulkan perbedaan jarak yang ditempuh menuju cermin yang bergerak (M) dan jarak cermin yang diam (F). Perbedaan jarak tempuh radiasi tersebut adalah  $2$  yang selanjutnya disebut sebagai retardasi ( $\delta$ ). Hubungan antara intensitas radiasi IR yang diterima detektor terhadap retardasi disebut sebagai interferogram. Sedangkan sistem optik dari Spektrofotometer IR yang didasarkan atas bekerjanya interferometer disebut sebagai sistem optik *Fourier Transform Infra Red*.

### **2.8.2 GC-FID (*Gas Chromatography-Flame Ionization Detector*)**

GC-FID merupakan jenis detector yang digunakan dalam gas kromatografi. Sejumlah besar detektor dalam kromatografi gas diklasifikasikan sebagai *Ionization Detectors*. Dalam *ionization detectors*, konduktivitas elektrik dari gas diukur pada kehadiran komponen analit. Konduktivitas elektrik dapat meningkat sebagai hasil dari analit yang terionisasi dalam aliran gas atau menurun sebagai hasil dari analit yang menyerap elektron dari gas yang terionisasi. Pada FID, sumber ionisasi adalah pembakaran biasanya berasal dari hidrogen dan udara atau oksigen. Untuk sensitivitas maksimum kondisi pembakaran memerlukan optimisasi. Untuk menentukan volume gas yang tidak tertahan (waktu gas yang tertahan mis: puncak udara) digunakan methane selama detektor tidak sensitif terhadap udara. FID ini sempurna dan mungkin merupakan detektor yang paling banyak digunakan. Bersifat sensitif dan digunakan secara ekstensif dengan kolom kapiler.

## **2.9 State of The Art**

Telah banyak dilakukan penelitian sintesis bahan bakar alternatif terbarukan yang setara dengan *petroleum diesel* dengan cara mengkonversi asam lemak menjadi hidrokarbon yang sesuai dengan *petroleum diesel* menggunakan metode deoksigenasi dengan berbagai katalis yang digunakan. Banyak peneliti menguji bagaimana aktivitas katalis terhadap konversi produk yang dihasilkan dan begitu juga selektivitas produk yang diinginkan. Berikut ini beberapa penelitian yang telah dilakukan ditunjukkan diperlihatkan pada Tabel 2.4.

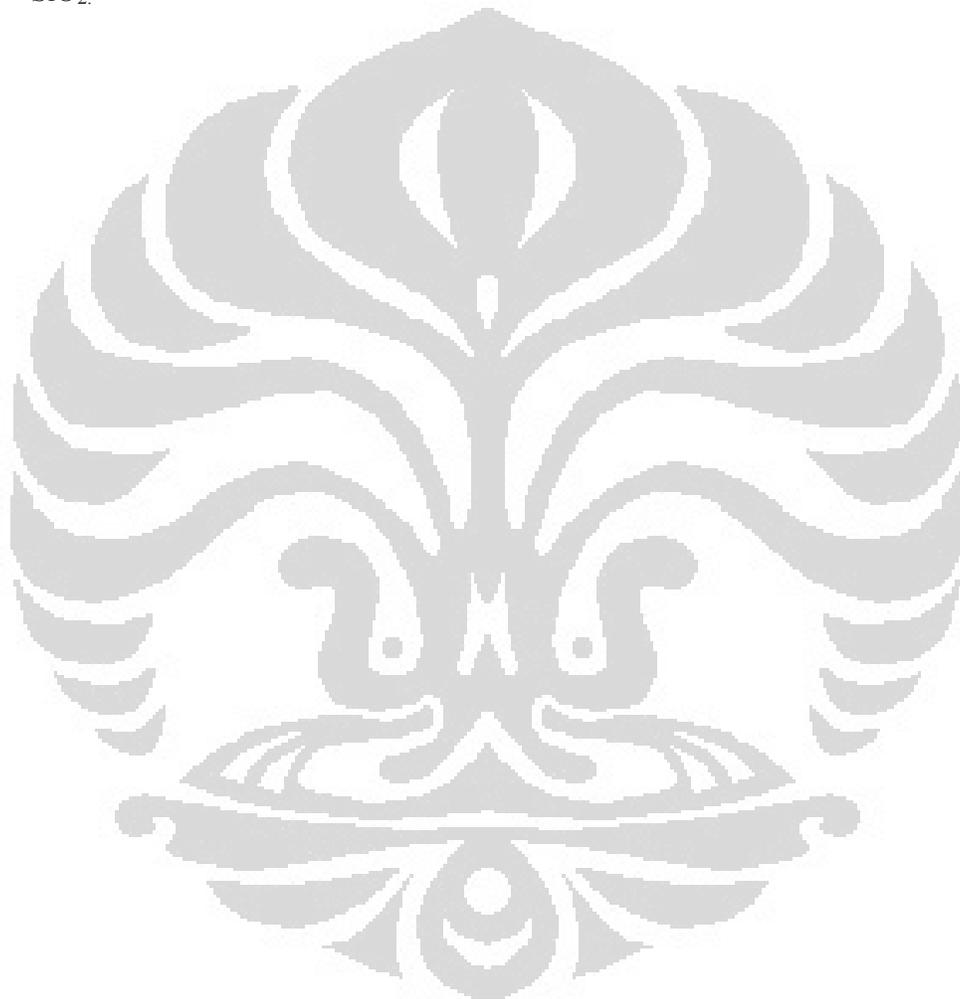
**Tabel 2.4** Rangkuman *State of the Art* Aktivitas Katalis Deoksigenasi

| Peneliti                 | Tahun | Reaktan             | Metode       | Katalis  | Hasil  |
|--------------------------|-------|---------------------|--------------|--|--|
| Sooknoi<br><i>et al.</i> | 2008  | Metil Oktanoat      | Deoksigenasi | NaX,<br>CsNaX  | Katalis CsNaX menghasilkan aktivitas dekarbonilasi metil oktanoat lebih tinggi dibandingkan katalis NaX  |
| Kubicka &<br>Kaluza      | 2010  | <i>Rapeseed Oil</i> | Deoksigenasi | Ni/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,<br>Mo/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,<br>NiMo/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Penurunan aktivitas sesuai urutannya yaitu NiMo/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > Mo/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > Ni/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Immer,<br>J.G            | 2010  | Asam Stearat        | Deoksigenasi | Pd dan Pt,<br>variasi<br>penyangga C,<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>                         | Katalis Pd/C menunjukkan selektivitas terhadap dekarboksilasi, dan Pt/C menunjukkan selektivitas terhadap dekarbonilasi                                |

Tujuan penelitian yang dilakukan Sooknoi *et al.* adalah untuk menguji reaksi deoksigenasi katalis CsNaX dan NaX menggunakan metil oktanoat sebagai sumber bahan baku yang digunakan. Dari hasil yang didapat, aktivitas katalis CsNaX dalam dekarbonilasi metil etanoat lebih tinggi dibandingkan dengan NaX dengan laju yang tinggi dan waktu yang lama. Dengan ketidak hadirannya Cs, sehingga katalis digunakan NaX, kebiasaannya menjadi lebih rendah dan situs asam lemah mendominasi katalis sehingga terjadi penurunan aktivitas dekarbonilasi bersama dengan peningkatan selektivitas produk yang tidak diinginkan.

Penelitian Kubicka & Kaluza memfokuskan pada pengujian aktivitas dan selektivitas katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam menggambarkan perbedaan dan fungsi masing-masing katalis. Dari hasil yang didapat, penurunan aktivitas katalis tertinggi sesuai urutannya adalah NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>Mo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>> Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dalam reaksi deoksigenasi, katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan katalis yang aktivitasnya paling tinggi dalam penghilangan oksigen. Hal ini karena Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hanya selektivitas terhadap dekarboksilasi produk hidrokarbon, sedangkan NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> selektivitas terhadap campuran dekarboksilasi dan hidredeoksigenasi, dan Mo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hampir seluruhnya selektivitas terhadap hidredeoksigenasi produk hidrokarbon.

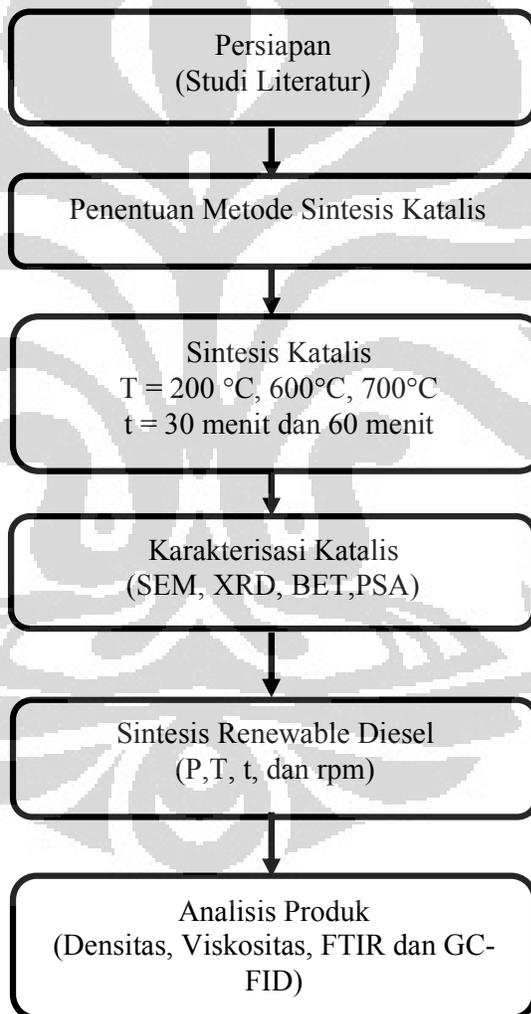
Immer J.G meneliti tentang aktivitas dan selektivitas katalis Pd dan Pt dengan berbagai penyangga seperti C,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ . Dari hasil penelitian, Pd/C dan Pt/C memberi aktivitas deoksigenasi keseluruhan yang hampir sama, tetapi untuk selektivitas dekarboksilasi, katalis Pd/C lebih disukai daripada Pt/C. Dan dari berbagai penyangga yang diuji, karbon merupakan penyangga yang secara keseluruhan lebih aktif dan selektif untuk dekarboksilasi dibandingkan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ .



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini merupakan suatu tahap-tahap yang akan dilakukan penulis untuk melakukan penelitian, dimulai dengan mencari bahan literatur dari apa yang akan diteliti hingga proses pembuatan produk dan analisis produk. Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

**Tabel 3.1** Peralatan dan Bahan

| <b>Peralatan</b>                               | <b>Bahan</b>  |
|--|---|
| 1. Gelas kimia, tabung reaksi, cawan porcelain | 1. Asam oleat   |
| 2. Batang pengaduk, spatula, pipet             | 2. Karbon   |
| 3. Neraca digital                              | 3. $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ |
| 4. <i>Hotplate</i> dan <i>magnetic stirrer</i> | 4. $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$                |
| 5. <i>Microwave</i>                            | 5. $\text{PdCl}_2$  |
| 6. Reaktor batch                               | 6. HCL 0,4 M  |
| 7. Furnace                                     | 7. KOH 0.8 M  |
| 8. Pompa                                       | 8. Poly Etilen Glikol   |
| 9. FTIR  | 9. Etilen Glikol  |
| 10. GC-FID                                     | 10. Aquades   |

Bahan yang digunakan seperti asam oleat, poly etilen glikol, paladium nitrat, amonium hepta molibdat tetrahidrat, HCL, dan KOH dibeli dari Bratachem Indonesia. Sedangkan untuk karbon, palladium klorida dan etilen glikol dibeli dari supplier bahan kimia.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel bebas dan variabel terikat merupakan dua jenis variabel yang digunakan dalam penelitian ini. Variabel bebas adalah variabel yang divariasikan kondisi operasinya untuk mendapatkan kondisi optimum dalam pembuatan katalis. Sedangkan variabel terikat adalah variabel yang ingin diketahui dan dihasilkan dari variabel bebas yang divariasikan.

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini diantaranya adalah :

##### 1. Katalis

Katalis yang divariasikan dalam penelitian ini adalah katalis Pd/C dan NiMo/C.

## 2. Temperatur

Variasi temperatur dilakukan pada suhu 600 °C dan 700 °C. Variasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu pemanasan terhadap ukuran katalis yang didapat.

## 3. Waktu pemanasan

Variasi waktu pemanasan dilakukan pada 30 menit dan 60 menit. Variasi waktu ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh lamanya pemanasan terhadap ukuran kristal yang didapat.

## 4. Kondisi operasi reaksi deoksigenasi

Pada proses reaksi, beberapa kondisi variasi yang divariasikan adalah tekanan (P), temperatur (T), dan waktu operasi (t). Variasi tersebut dilakukan agar didapatkan spesifikasi *renewable diesel* setara dengan spesifikasi *petroleum diesel*.

Untuk lebih jelas, kondisi variasi yang dilakukan dalam sintesis katalis NiMo/C dan Pd/C dapat dilihat pada Tabel 3.2. Dan kondisi-kondisi operasi pada sintesis *renewable diesel* dengan reaksi deoksigenasi dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.2** Kondisi Variasi Pada Saat Preparasi Katalis

| No | Jenis Katalis | Suhu Pemanasn (°C) | Waktu Pemanasan (menit) |
|----|---------------|--------------------|-------------------------|
| 1  | NiMo/C        | 600                | 30                      |
| 2  | NiMo/C        | 700                | 60                      |
| 3  | Pd/C          | 200                | 60                      |

**Tabel 3.3** Kondisi Operasi Reaksi Deoksigenasi pada Sintesis *Renewable Diesel*

| No | Sampel   | Katalis | Suhu reaktor (°C) | Tekanan (bar) | Kecepatan pengaduk (rpm) | Waktu Reaksi (menit) |
|----|----------|---------|-------------------|---------------|--------------------------|----------------------|
| 1  | Sampel 1 | NiMo/C  | 400               | 9             | 800                      | 120                  |
| 2  | Sampel 2 | NiMo/C  | 400               | 15            | 800                      | 120                  |
| 3  | Sampel 3 | Pd/C    | 400               | 9             | 800                      | 150                  |
| 4  | Sampel 4 | Pd/C    | 400               | 15            | 800                      | 150                  |
| 5  | Sampel 5 | Pd/C    | 360               | 15            | 800                      | 150                  |

### 3.3.2 Variabel Terikat

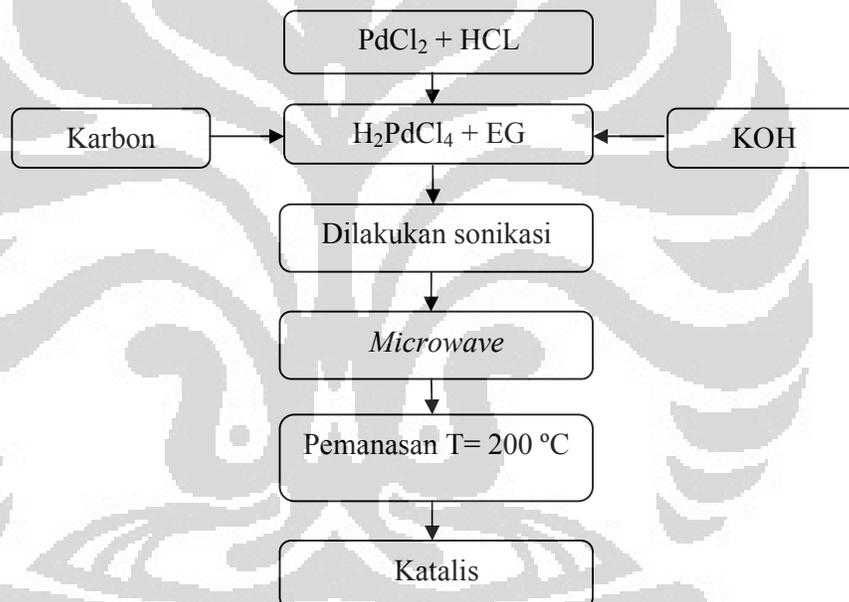
Variable terikat yang ingin diketahui dalam penelitian ini adalah ukuran katalis, luas permukaan katalis, konversi produk dan selektivitas CO<sub>2</sub>.

### 3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari prosedur sintesis katalis, proses sintesis produk (*renewable diesel*), distilasi produk (*renewable diesel*), karakterisasi katalis (SEM, XRD, BET, dan PSA), analisis sifat fisik produk dan analisis sifat kimia produk (FTIR, GC-FID). Prosedur-prosedur secara lengkap akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

#### 3.4.1 Sintesis Katalis dengan Metode *Microwave Polyol Process*

Sintesis katalis Pd/C dibuat dengan menggunakan metode *Microwave Polyol Process*. Berikut tahap-tahap prosedur sintesis katalis dengan metode *Microwave Polyol Process* ditunjukkan pada Gambar 3.2.



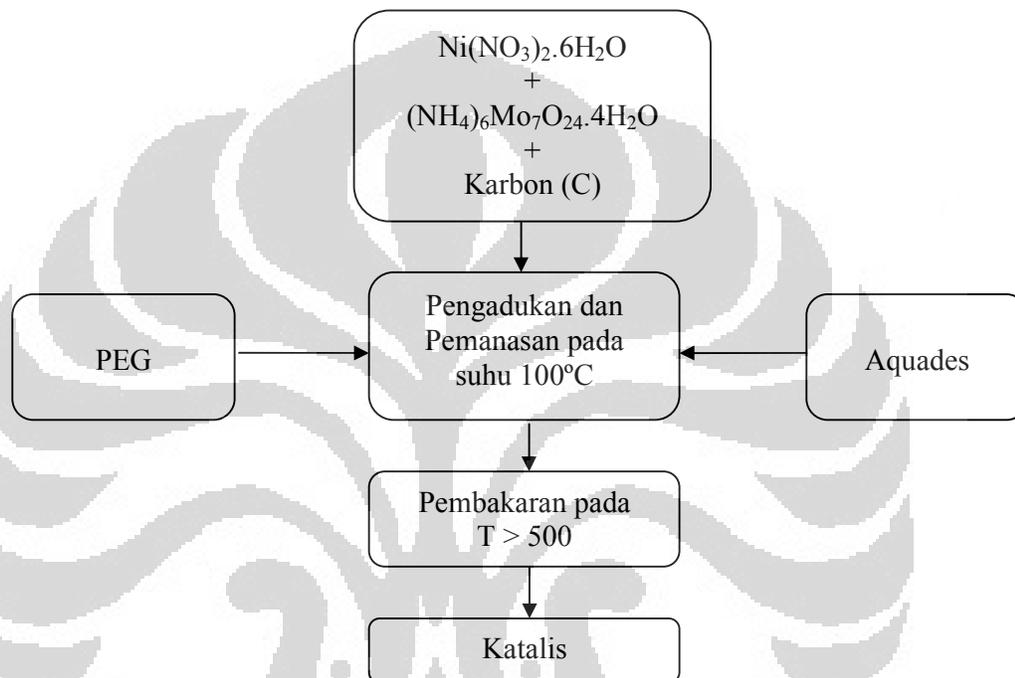
**Gambar 3.2** Diagram Alir Sintesis Katalis Pd/C dengan Metode *Microwave Polyol Process*.

1. Larutan 50 ml  $\text{H}_2\text{PdCl}_4$  (0,05 M) dibuat dengan melarutkan 25 mL  $\text{PdCl}_2$  0,2 M dengan 25 mL HCl 0,4 M. Larutan tersebut kemudian ditambah dengan 50 mL larutan Etilen Glikol.
2. Campuran ditambah dengan 10 gram karbon dan KOH (0,8 M) yang kemudian didispersi dengan ultrasonikasi.
3. Setelah diultrasonikasi, larutan dimasukkan ke dalam *microwave* pada 800 W selama 10 menit.

4. Kemudian dipanaskan kembali di *furnace* pada suhu 200 °C.

### 3.4.2 Sintesis Katalis dengan Metode *Simple Heating*

Untuk sintesis katalis NiMo/C dibuat dengan menggunakan metode *simple heating*. Berikut tahap-tahap prosedur sintesis katalis dengan metode *simple heating* ditunjukkan pada Gambar 3.3 dibawah ini.



**Gambar 3.3** Diagram Alir Sintesis Katalis dengan Metode *Simple Heating*

1. Melarutkan masing-masing kedua bahan  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dalam aquades secukupnya.
2. Mencampurkan PEG ke dalam larutan tersebut. Setelah tercampur, memasukkan karbon ke dalam campuran dan di aduk secara merata. Dalam penelitian ini, loading katalis yang digunakan yaitu 5 %wt NiMo/C sebagai berikut:

| $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | Karbon  | PEG     |
|--|---|---------|---------|
| 3,96 gram  | 7,36 gram   | 19 gram | 35 gram |

Campuran yang telah terbentuk tersebut kemudian dipanaskan di atas *hotplate* dan diaduk pada suhu  $\pm 100$  °C. Pengadukan dilakukan hingga PEG terlarut dan terbentuk uap air.

3. Menuangkan campuran ke dalam cawan crus.
4. Melakukan pembakaran pada campuran hingga suhu 600 °C. Setelah mencapai temperatur tersebut, kalsinasi dilakukan selama 30 menit.
5. Mengulangi perlakuan yang sama untuk pembakaran pada suhu 700 °C dengan waktu kalsinasi 60 menit.

### 3.5 Karakterisasi Katalis

Berikut adalah Prosedur-prosedur kerja dalam karakterisasi katalis dengan menggunakan instrumen SEM, XRD, BET dan PSA.

#### 3.5.1 Prosedur kerja SEM

Pengujian SEM ini digunakan untuk melihat ukuran morfologi dan ukuran partikel katalis. Berikut prosedur kerja SEM, yaitu :

1. Sampel yang telah berbentuk serbuk sebanyak 0,05 gram, diletakkan ke dalam *specimen holder* dan ditempel dengan selotip karbon.
2. Serbuk ditebarkan pada permukaan selotip dan sisa serbuk yang tidak dapat menempel harus dibersihkan sehingga tidak mengganggu alat vakum dalam SEM ketika analisa.
3. Kemudian sampel beserta tempatnya dimasukkan kedalam alat SEM. Banyaknya sample yang dapat dianalisa maksimum adalah empat sampel.
4. Menunggu sampai alat menunjukkan *Ready*
5. Sambil melihat monitor, atur lensa sehingga sample dapat terfokus.
6. Untuk memperbesar dan memperjelas gambar sample dapat dilakukan dengan memutar *magnifier* dan *brightness*.
7. Mencetak gambar sample yang diharapkan dengan bantuan personal computer.

#### 3.5.2 Prosedur Kerja XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk melihat ukuran kristal dari katalis yang telah dipreparasi. Prosedur kerja XRD adalah sebagai berikut.

1. Menempatkan sampel 0,5 gram pada alat XRD sesuai dengan tempatnya.
2. Menyalakan komputer beserta monitornya dan menyalakan mesin XRD
3. Menjalankan kontrol XRD yang berada pada komputer dan menyesuaikan parameter pada XRD sesuai dengan yang diinginkan.
4. Kemudian pilih mode lambat, sedang atau cepat (waktu analisa). Setelah itu tekan tombol start pada control XRD.
5. Menunggu sampai proses analisa (scan) selesai. Setelah proses analisa selesai maka akan didapatkan data berupa grafis dengan peak-peak (puncak-puncak) nya.

### 3.5.3 Prosedur Kerja BET

Pengujian BET digunakan untuk melihat luas permukaan dan ukuran pori dari katalis. BET ini menggunakan alat Autosorb-6B. Berikut prosedur kerja BET, yaitu :

1. Menimbang berat kosong tabung sel dan menimbang sampel maksimal 0,5 gram dan memasukkan sampel ke dalam tabung sel.
2. Memasukkan sampel ke dalam tabung sel
3. Memasang alat dan diiringi vakum (*degassing*) sampai tekanannya 50 milibar. Dibiarkan hingga semalaman.
4. Memindahkan sampel ke dalam alat autosorb dengan dialiri gas N<sub>2</sub> dan He. Untuk mengasorb/membersihkan sampel, memakai N<sub>2</sub> cair.
5. Kemudian memasukkan sampel ke dalam program dengan tekanan dan berat yang disesuaikan.

### 3.5.4 Prosedur Kerja PSA (*Particle Size Analyzer*)

PSA digunakan untuk mengetahui ukuran partikel katalis melalui distribusi ukuran partikel dari sampel. Berikut prosedur kerja PSA, yaitu :

1. Memasukkan sampel ke dalam pelarut organik dan aduk hingga bercampur.
2. Memasukkan sampel yang telah belum tercampur pelarut organik ke dalam *cell*.
3. Mencampurkan kedua sampel dengan pipet di dalam *cell*.
4. Mengatur temperatur sampel *holder* hingga 25 °C dan tunggu hingga sampel mencapai temperature tersebut.
5. Pembacaan dilakukan hingga tiga kali dan simpan data sampel yang didapat.

### 3.6 Sintesis *Renewable Diesel* dengan Metode Deoksigenasi

Proses sintesis *renewable diesel* ini menggunakan reaktor deoksigenasi yang telah dilengkapi dengan tangki umpan beserta dengan kondensor, tabung gas H<sub>2</sub> dan pompa. Berikut skema rancangan reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian Peralatan Reaktor

Berikut prosedur percobaan reaksi deoksigenasi :

1. Sebelum dilakukan percobaan, tangki umpan diisi dengan sejumlah asam oleat. Kemudian tangki umpan tersebut dibersihkan (*purging*) menggunakan N<sub>2</sub> selama 30 menit dengan maksud menghilangkan oksigen yang mungkin terlarut di dalam asam oleat.
2. Memasukkan katalis Pd/C atau NiMo/C ke dalam reaktor yang kemudian di bersihkan (*purging*) menggunakan N<sub>2</sub> selama 30 menit.
3. Katalis yang ada dalam reaktor dan telah dibersihkan dengan N<sub>2</sub> kemudian dibersihkan kembali dengan gas H<sub>2</sub> dengan maksud menghilangkan sisa-sisa nitrogen yang masih tertinggal dalam reaktor dan dialiri gas H<sub>2</sub> pada 10 atm. Kemudian suhu reaktor dinaikkan dan dijaga tetap pada suhu 400 °C selama 1 jam untuk mengaktifkan dan mengurangi (*reduce*) katalis.
4. Setelah suhu reaktor turun hingga ~ 100 °C dan tekanan sudah menjadi atmosferik, asam oleat yang ada dalam tangki umpan dialirkan melalui pipa ke dalam reaktor yang berisi katalis.
5. Setelah asam oleat dan katalis bercampur dalam reaktor, kemudian di bersihkan kembali dengan N<sub>2</sub> selama 20 menit.

6. Reaktor yang sudah dibersihkan diberi tekanan dengan mengaliri H<sub>2</sub> pada 9 bar dan 15 bar. Begitu tekanan awal H<sub>2</sub> yang diinginkan tercapai, campuran yang ada didalam reaktor diaduk menggunakan stirrer dan suhu reaktor dinaikkan hingga 400 °C yang dijaga tetap selama 2 jam.
7. Selama 30 menit, gas yang keluar dari reaktor diambil dan dianalisa menggunakan GC-TCD.

Untuk produk cair yang ada didalam reaktor diambil setelah waktu reaksi tercapai yang kemudian didistilasi dengan rentang suhu yang berbeda dan kemudian di analisis sifat fisik kimia sampel dengan pengujian densitas, viskositas, FTIR (*Fourier-Transform Infra Red*) dan GC-FID (*Gas Chromatography-Flame Ionization Detector*). Berikut prosedur kerja dalam menganalisis produk menggunakan distilasi, pengukuran densitas dan viskositas, FTIR dan GC-FID.

### **3.6.1 Prosedur Kerja Distilasi**

Pengukuran distilasi menggunakan alat Koehler Model K 45090 dengan metode ASTM D86. Berikut langkah kerja distilasi adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan sampel ke dalam labu berukuran 250 ml.
2. Memasang temperature pada labu 250 ml yang telah berisi sampel.
3. Memasukkan labu 250 ml yang berisi sampel ke dalam alat distilasi..
4. Menyalakan power on dan mengatur suhu yang diinginkan.
5. Meletakkan labu ukur untuk menampung hasil distilat

### **3.6.2 Prosedur Kerja Penentuan Densitas dan Viskositas**

Penentuan densitas dan viskositas ini memakai alat Stadbinger Densitometer and Viskometer SVM 3000 dengan ASTM D7042-04. Berikut prosedur kerja penentuan densitas dan viskositas adalah sebagai berikut:

1. Mengatur suhu masuk yang diinginkan untuk pengukuran suhu. Untuk penentuan densitas suhu yang dimasukkan 20 °C, dan untuk penentuan viskositas suhu yang dimasukkan 40 °C.
2. Memastikan bahwa *measuring cells* bersih dan kering.

3. Memasukkan minimal 5 mL sampel ke dalam jarum suntik. Menuangkan perlahan-lahan minimal 3 mL sampel ke dalam *measuring cells*. Aliran lambat memastikan bahwa sampel baru menggantikan sampel yang lama. Biarkan jarum suntik menempel dan memulai pengukuran. Tunggu instrumen untuk menunjukkan bahwa penentuan tersebut valid dan merekam nilai-nilai.
4. Menyuntikkan perlahan-lahan 2 mL tanpa melepas jarum suntik dan mengulangi pengukuran.

### 3.6.3 Prosedur Kerja GC-FID

Pengujian GC ini menggunakan alat *Gas Chromatography Varian 3800*. Berikut langkah kerja dari GC-FID, yaitu :

1. Menyalakan alat GC dan mengaktifkan metode 8 pada GC kontrol panel
2. Kemudian mengatur gas kromatografi sebagai berikut :

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Detektor                  | <i>Flame Ionisation</i>   |
| Kolom                     | <i>Capillary column VF-1ms 30m x 0,53 mm i.d. DF = 1,5</i>  |
| Temperatur Kolom Program  | Temperatur awal 35 °C untuk 2 menit<br><i>Program rate 15°C/ menit</i><br>Temperatur akhir 300°C untuk 41,33 menit  |
| Temperatur Kolom Injektor | Temperatur awal 35°C for 0,5 menit<br><i>Program rate 180°C / menit</i><br>Temperatur akhir 300°C untuk 58,48 menit |
| <i>Carrier Gas</i>        | Helium 14.7 ml / min  |
| Parameter detektor        | Temperatur : 325 °C<br>Rentang : 12<br>Elektronik : On  |
| <i>Flame Gases</i>        | Hidrogen : 30 ml / min<br>Udara : 300 ml / min  |

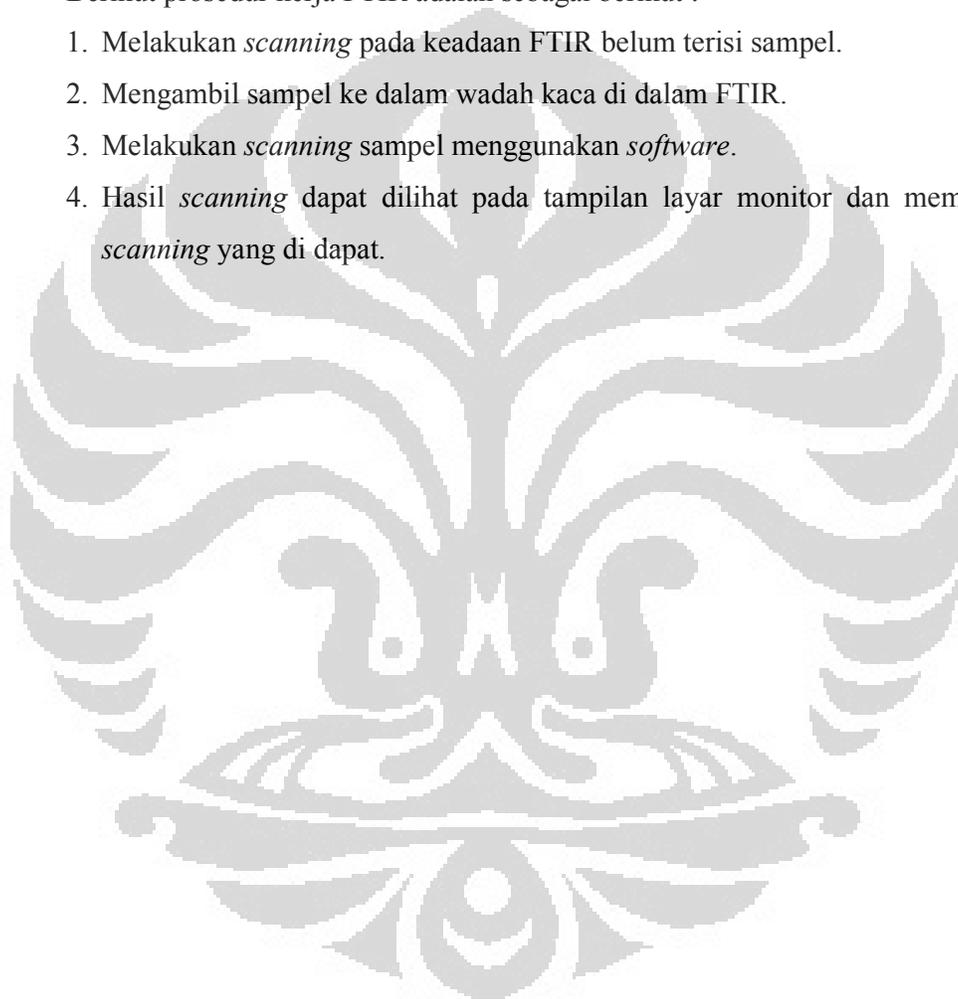
3. Sampel minyak yang akan dianalisis dilarutkan dengan CS<sub>2</sub> dengan perbandingan 1:1.
4. Sampel berwarna dianalisis dengan cara *unspike* ( hanya dilarutkan dengan CS<sub>2</sub>) dan *spike* ( ditambahkan 10% nC<sub>14</sub>).
5. Meletakkan vial pada *rack autosampler* dan memastikan analisis blank telah dilakukan.
6. Membuka *galaxie software* dan menekan tombol *play* pada *galaxie software*

7. Secara otomatis GC kembali *ready* jika analisa telah selesai.
8. Hasil analisa didapat dari *Fuse software*.

#### 3.6.4 Prosedur Kerja FTIR

Pengujian FTIR dilakukan dengan alat Mattson Genesis Series FTIR Spectrometer Owner's Manual dengan resolusi  $1\text{ cm}^{-1}$  dengan detektor  $\text{LiTaO}_3$ . Berikut prosedur kerja FTIR adalah sebagai berikut :

1. Melakukan *scanning* pada keadaan FTIR belum terisi sampel.
2. Mengambil sampel ke dalam wadah kaca di dalam FTIR.
3. Melakukan *scanning* sampel menggunakan *software*.
4. Hasil *scanning* dapat dilihat pada tampilan layar monitor dan memprint hasil *scanning* yang di dapat.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

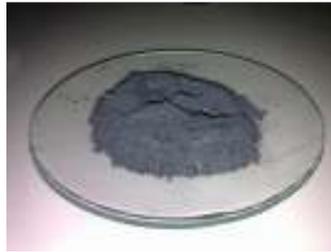
#### 4.1 Hasil Preparasi Katalis

Metode yang digunakan untuk jenis katalis pada penelitian ini dilakukan dengan metode yang berbeda. Untuk katalis NiMo/C menggunakan metode *simple heating* sedangkan untuk katalis Pd/C menggunakan metode *microwave polyol process*.

##### 4.1.1 Hasil Preparasi Katalis NiMo/C

Metode yang digunakan adalah metode *simple heating*. Metode ini dilakukan dengan cara melarutkan masing-masing hidrat  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  ke dalam sejumlah aquades. Penambahan aquades ini dilakukan untuk melarutkan logam nitrat agar tercampur merata. Setelah itu ditambahkan larutan PEG yang dimaksudkan untuk mencegah terjadinya aglomerasi. Aglomerasi merupakan hal yang harus dihindari dalam pembuatan katalis berukuran nano. Hal ini karena adanya aglomerasi dapat menyebabkan struktur pori katalis yang terbentuk tidak seragam dan ukurannya besar. Berat molekul PEG yang digunakan dalam metode ini adalah *high molecular weight polymer* (HMWP). Semakin tinggi berat molekul polimer akan menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dan seragam dibandingkan dengan berat molekul polimer yang lebih ringan. Apabila logam nitrat dan PEG sudah tercampur, penyangga karbon dimasukkan ke dalamnya sedikit demi sedikit agar merata. Setelah itu dilakukan pemanasan dengan suhu  $100\text{ }^\circ\text{C}$  untuk menghilangkan uap air dan membuat larutan menjadi gel untuk memudahkan pada saat pembakaran (kalsinasi).

Proses pembakaran menggunakan *programmable furnace*. Pembakaran ini dilakukan pada suhu  $600\text{ }^\circ\text{C}$  selama 30 menit dan  $700\text{ }^\circ\text{C}$  selama 60 menit. Suhu pembakaran yang tinggi dilakukan untuk menghilangkan PEG yang ada dalam sampel. Sedangkan variasi lamanya waktu pembakaran dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap katalis yang dihasilkan. Berikut bentuk fisik hasil dari sampel yang didapat dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



**Gambar 4.1** Padatan Katalis NiMo/C pada Suhu 600 °C



**Gambar 4.2** Padatan Katalis NiMo/C pada Suhu 700 °C

Apabila melihat dari bentuk fisik katalis diatas, tidak adanya perbedaan yang signifikan antara katalis NiMo/C yang menggunakan pembakaran pada suhu 600 °C dan 700 °C. Warna dari padatan keduanya sama yaitu berwarna hitam keabu-abuan dan memiliki sepihan padatan yang halus.

#### 4.1.2 Hasil Preparasi Katalis Pd/C

Metode yang digunakan dalam pembuatan katalis Pd/C ini adalah metode *microwave polyol process*. Metode ini dilakukan dengan mencampurkan  $\text{H}_2\text{PdCl}_4$  dengan etilen glikol (EG) dimana  $\text{H}_2\text{PdCl}_4$  didapat dari campuran antara garam logam palladium ( $\text{PdCl}_2$ ) dengan asam klorida (HCl). Ion paladium dalam campuran EG akan berinteraksi dan menempel pada permukaan karbon dengan reaksi koordinasi atau reaksi pertukaran ion, sehingga berfungsi sebagai prekursor inti yang akhirnya akan menghasilkan katalis Pd/C.

Setelah EG dan  $\text{H}_2\text{PdCl}_4$  tercampur, kemudian campuran tersebut ditambahkan larutan KOH untuk menghasilkan pH yang diinginkan. Dari hasil penelitian Jie pada tahun 2006 sebelumnya, menunjukkan bahwa pH berpengaruh terhadap ukuran partikel Pt dan ukuran distribusi pada metode *microwave polyol process* dimana ukuran partikel dan ukuran distribusi dapat dikontrol dengan memvariasikan pH. Dalam penelitian ini, larutan dibuat pada pH 7-9 yaitu

merupakan pH optimum. Hal ini merujuk pada penelitian Zhao *et al.* (2006) yang menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil. Setelah menambahkan pH, larutan dilakukan ultrasonikasi dengan maksud untuk memecah partikel menjadi lebih homogen sehingga terbentuk ukuran partikel yang lebih halus dan seragam.

Setelah dilakukan ultrasonikasi, larutan di panaskan dengan menggunakan *microwave* pada 800 W. Pemanasan menggunakan *microwave* ini dilakukan karena radiasi gelombang elektrik pada *microwave* ini konstan dan tinggi sehingga pemanasan akan lebih cepat tercapai. Pemanasan *microwave* yang cepat dan seragam pada ion logam dan inti logam akan menghasilkan partikel yang terbentuk akan lebih kecil dan seragam. Setelah itu dilakukan pemanasan kembali dengan *furnace* pada suhu 200 °C selama 60 menit. Pemanasan kembali dilakukan untuk menghindari adanya larutan EG masih ada dalam sampel karena suhu *microwave* yang tidak mencapai 180 °C (suhu dekomposisi EG). Berikut bentuk fisik padatan katalis Pd/C dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



**Gambar 4.3** Padatan Katalis Pd/C

Melihat dari segi bentuk fisik katalis Pd/C pada Gambar 4.3 tidak berbeda jauh dengan katalis NiMo/C pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2. Akan tetapi, warna dan kehalusan katalis Pd/C dan NiMo/C sedikit berbeda. Untuk katalis Pd/C memiliki warna hitam gelap berbeda dengan katalis NiMo/C yang berwarna hitam keabuan. Dan untuk kehalusan, katalis Pd/C memiliki serpihan padatan yang lebih halus dibandingkan dengan serpihan padatan katalis NiMo/C.

#### **4.2 Uji Karakterisasi Katalis**

Pengujian karakterisasi ini didasarkan untuk mengetahui ukuran partikel katalis, ukuran kristal dan morfologi katalis, dan luas permukaan katalis yang

telah dibuat. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan BET, XRD, PSA dan SEM. Berikut penjelasan lebih dalam hasil karakterisasi yang diperoleh dapat dilihat pada sub bab berikutnya.

#### 4.2.1 Uji Luas Permukaan dengan Metode BET

BET merupakan metode yang digunakan untuk melihat luas permukaan suatu zat (padatan). Prinsip kerja metode ini adalah adsorpsi dan desorpsi isothermis dari gas yang diserap (nitrogen) pada suhu nitrogen cair yaitu  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dalam percobaan ini digunakan katalis Pd/C dan NiMo/C dengan suhu yang berbeda yaitu  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pada Tabel 4.1 memperlihatkan perbandingan luas permukaan dan ukuran pori antara katalis Pd/C dengan NiMo/C dengan metode yang berbeda.

**Table 4.1** Perbandingan Luas Permukaan dan Ukuran Pori antara Katalis NiMo/C dengan Pd/C

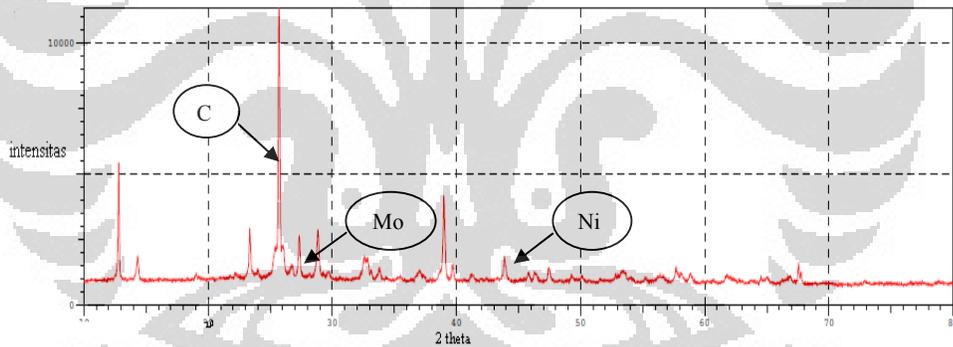
| Katalis         | Metode                          | Suhu Pemanasan ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Waktu Pemanasan (menit) | Luas Permukaan ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | Ukuran Pori ( $\text{\AA}$ ) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--|------------------------------|
| Sampel 1 NiMo/C | <i>Simple heating</i>           | 600                                   | 30                      | 55,81                                    | 85,88                        |
| Sampel 2 NiMo/C |                                 | 700                                   | 60                      | 77,79                                    | 87,14                        |
| Sampel 3 Pd/C   | <i>microwave polyol process</i> | 200                                   | 60                      | 258,7                                    | 86,79                        |

Dari Table 4.1 diatas terlihat bahwa sampel katalis NiMo/C pada pembakaran  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan waktu 60 menit memiliki luas permukaan lebih besar dibandingkan NiMo/C pada pembakaran  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan waktu 30 menit. Begitupun dengan ukuran porinya. Hal ini menjelaskan bahwa dengan meningkatnya suhu pembakaran memperlihatkan luas permukaan yang lebih besar. Selain waktu pembakaran, lamanya pembakaran juga mempengaruhi luas permukaan katalis yang dihasilkan. Sedangkan untuk katalis Pd/C dari Tabel 4.1 memperlihatkan luas permukaan yang jauh lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan katalis NiMo/C. Selektivitas katalis hanya berpengaruh pada sifat termodinamik dan sifat kinetik, sedangkan katalis hanya berpengaruh pada sifat kinetik. Sifat kinetik reaksi berkatalis dipengaruhi oleh jumlah tumbukan, fraksi tumbukan dan luas permukaan. Dan untuk katalis Pd/C ternyata memiliki sifat

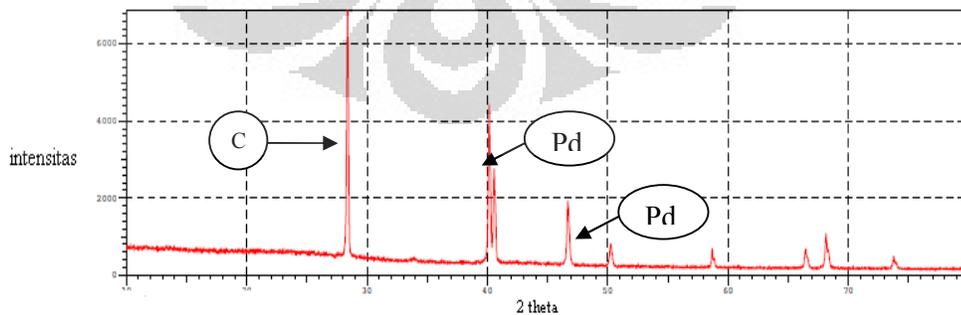
kinetik yang lebih baik karena mempunyai luas permukaan yang jauh lebih besar dibandingkan dengan NiMo/C.

#### 4.2.2 Identifikasi Fasa Kristal Katalis dengan XRD

Ukuran kristalin ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar-X yang muncul. Metode ini sebenarnya memprediksi ukuran kristalin dalam material, bukan ukuran partikel. Jika satu partikel mengandung sejumlah kristalinitas yang kecil-kecil maka informasi yang diberikan metode Scherrer adalah ukuran kristalin tersebut, bukan ukuran partikel. Untuk partikel berukuran nanometer, biasanya satu partikel hanya mengandung satu kristalinitas. Dengan demikian, ukuran kristalinitas yang diprediksi dengan metode Scherrer juga merupakan ukuran partikel. Tiap-tiap kristal memberikan pola khusus sehingga posisi puncak dalam difraktogram merupakan petunjuk akan kehadiran senyawa tertentu. Berikut Gambar 4.4 disajikan untuk difraktogram dari katalis NiMo/C dan Gambar 4.5 disajikan untuk difraktogram dari katalis Pd/C.



**Gambar 4.4** Difraktogram XRD sampel katalis NiMo/C



**Gambar 4.5** Difraktogram XRD sampel katalis Pd/C

Dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 di atas, terlihat bahwa kedua katalis memiliki lebar puncak difraksi yang sempit. Semakin sempit lebar puncak difraksi, maka yang terbentuk akan semakin kristal sehingga dapat dikatakan bahwa semakin sempit puncak difraksi, maka akan semakin besar ukuran kristalitas. Kristal yang berukuran besar dengan satu orientasi akan menghasilkan puncak difraksi yang mendekati sebuah garis vertikal. Dan dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 terlihat bahwa sampel katalis Pd/C memiliki lebar puncak difraksi yang sangat sempit dan hampir mendekati sebuah garis vertikal. Lebar puncak difraksi tersebut dapat memberikan informasi tentang berapa ukuran kristalinitas yang dihasilkan.

Ukuran butir kristal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Scherrer*, analisis lebar setengah puncak (FWHM) yang digunakan untuk menghitung ukuran kristal dengan persamaan :

$$D = k\lambda / B \cos\theta$$

Dimana dengan  $D$  adalah diameter (ukuran Kristal),  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $\theta$  adalah sudut Bragg,  $B$  adalah FWHM satu puncak yang dipilih, dan  $K$  adalah konstanta material yang nilainya kurang dari satu. Nilai yang umumnya dipakai untuk  $K$  adalah 0,9. Berikut ukuran kristal tiap sampel dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Table 4.2 Ukuran kristal pada masing-masing katalis

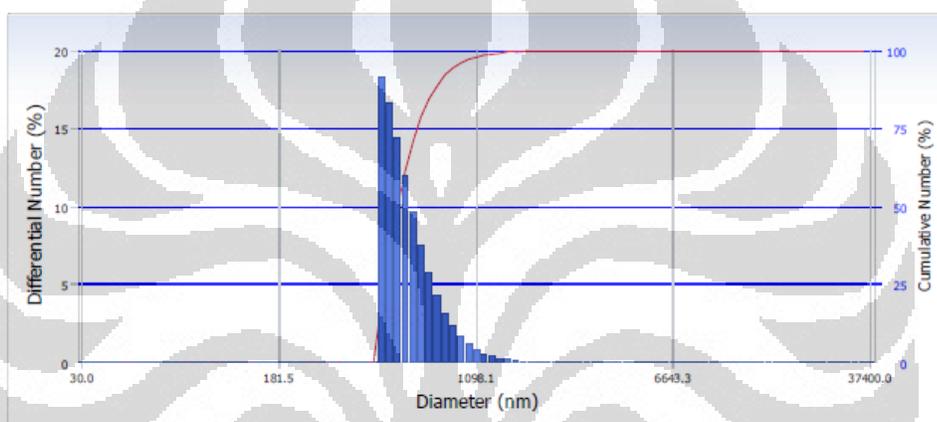
| Katalis | Ukuran Kristal (nm) |
|---------|---------------------|
| NiMo/C  | 66,2                |
| Pd/C    | 50,4                |

Melihat dari Tabel 4.2 di atas menunjukkan bahwa ukuran kristal pada sampel katalis Pd/C lebih kecil dibandingkan dengan sampel katalis NiMo/C. Hal tersebut berlawanan dengan apa yang telah diperlihatkan dari literatur bahwa semakin kecil lebar puncak difraksi, maka ukuran kristalinitas akan semakin besar, tetapi katalis Pd/C memperlihatkan sebaliknya. Hal tersebut karena suhu pemanasan katalis Pd/C lebih rendah dibandingkan dengan suhu NiMo/C. Suhu pemanasan juga memiliki pengaruh terhadap ukuran kristal suatu katalis. Semakin

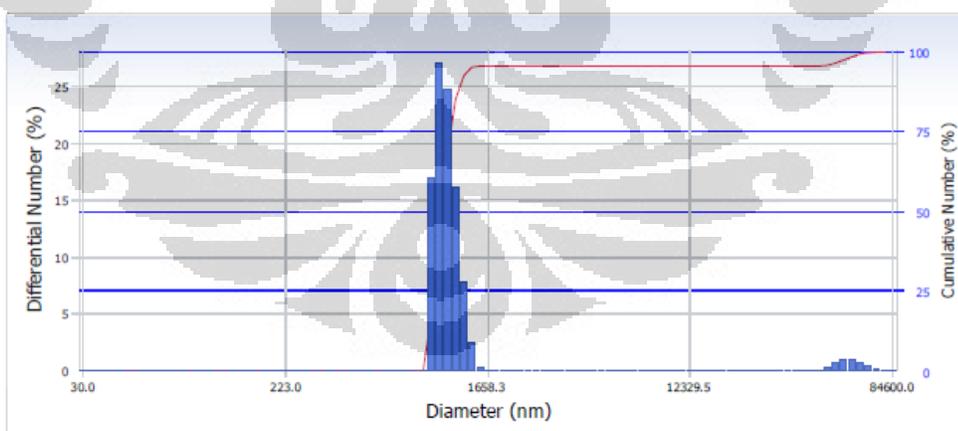
besar suhu pemanasan, maka semakin besar ukuran kristal. Apabila semakin besar kristal, maka luas permukaan semakin besar dan ukuran partikel semakin kecil.

#### 4.2.3 Uji Ukuran Partikel Katalis dengan *Partikel Size Analyzer* (PSA)

Uji PSA ini dilakukan untuk menentukan ukuran partikel dan distribusinya dari sampel yang akan di uji. Distribusi ukuran partikel dapat diketahui melalui gambar yang dihasilkan. Berikut grafik distribusi ukuran partikel untuk masing-masing katalis NiMo/C dan Pd/C dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 sebagai berikut.



**Gambar 4.6** Distribusi Ukuran Partikel Katalis NiMo/C



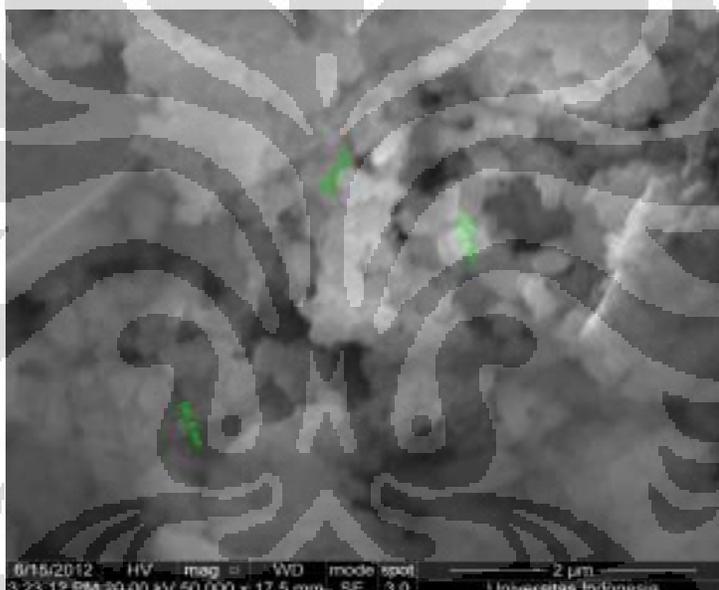
**Gambar 4.7** Distribusi Ukuran Partikel Katalis Pd/C

Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa distribusi ukuran partikel untuk katalis NiMo/C berada pada kisaran diameter partikel 182,5 nm sampai dengan 1098,1 nm. Sedangkan dari Gambar 4.7 memperlihatkan distribusi ukuran partikel katalis

Pd/C berada pada kisaran 223 nm sampai dengan 1668,3 nm. Ukuran partikel Pd/C lebih besar dibandingkan dengan ukuran partikel NiMo/C. Hal tersebut sesuai dengan ukuran kristal yang didapat, dimana semakin kecil ukuran kristal, luas permukaan semakin kecil sehingga ukuran partikel menjadi besar.

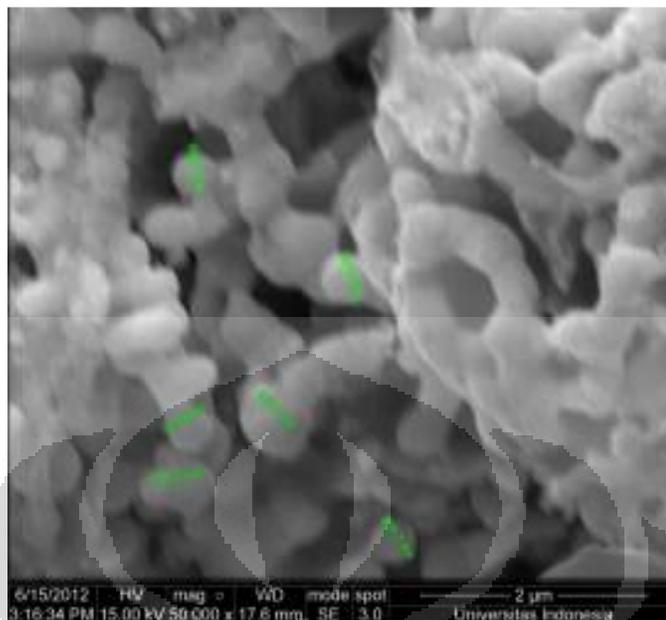
#### 4.2.4 Uji Identifikasi Ukuran Partikel Katalis dengan SEM

Karakterisasi dengan SEM ini bertujuan untuk melihat morfologi dan ukuran dari katalis. Hasil SEM ini dilakukan pada perbesaran 10.000 dan 50.000 untuk masing-masing katalis. Berikut gambar SEM dengan perbesaran 50.000 untuk NiMo/C dapat dilihat pada Gambar 4.8. Sedangkan hasil SEM untuk katalis Pd/C dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Hasil SEM Katalis NiMo/C

Dari Gambar 4.8 terlihat bahwa morfologi katalis NiMo/C memperlihatkan butir-butir katalis yang cukup halus tetapi masih bergumpal. Hal itu menunjukkan bahwa katalis yang didapat masih belum seragam sehingga ukuran partikel dari setiap butir berbeda. Ukuran partikel yang dapat terlihat di antaranya ada yang berukuran 141,9 nm hingga 226,3 nm. Ukuran tersebut sesuai dengan daerah distribusi ukuran partikel yang diperlihatkan pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.9** Hasil SEM Katalis Pd/C

Dari Gambar 4.9 terlihat ukuran partikel katalis Pd/C yang berbeda-beda. Hal tersebut menunjukkan bahwa katalis tersebut belum seragam sehingga ukuran setiap butir partikel berbeda-beda. Ukuran partikel ini memiliki ukuran yang cukup besar yakni, ada yang berukuran 308,6 hingga berukuran 633,3. Ukuran tersebut juga sesuai dengan yang diperlihatkan daerah distribusi ukuran partikel pada Gambar 4.5.

Dari Gambar 4.8 dan 4.9 dapat disimpulkan bahwa ukuran partikel katalis Pd/C lebih besar dibandingkan dengan ukuran partikel katalis NiMo/C. Hal ini sesuai dengan hasil ukuran kristal pada Tabel 4.2 yang menunjukkan ukuran kristal Pd/C yang lebih kecil dari NiMo/C. Semakin kecil ukuran kristal maka semakin besar ukuran partikelnya.

### 4.3 Hasil Uji Deoksigenasi Asam Oleat

Uji reaksi deoksigenasi asam oleat bertujuan untuk mengetahui aktivitas katalis yang telah dipreparasi terhadap reaksi deoksigenasi asam oleat. Kandungan asam oleat yang tinggi pada setiap tanaman menjadi dasar pertimbangan penggunaan asam oleat sebagai bahan baku dalam penelitian sintesis *renewable*

*diesel* ini. Berikut sampel produk hasil deoksigenasi dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

**Tabel 4.3** Bentuk Fisik Sampel Hasil Reaksi Deoksigenasi

| No | Sampel   | Bentuk Fisik Hasil Reaksi Deoksigenasi |                  |
|----|----------|--|------------------|
|    |          | Warna                                  | Kekentalan       |
| 1  | Sampel 1 | hitam                                  | agak kental      |
| 2  | Sampel 2 | hitam                                  | agak kental      |
| 3  | Sampel 3 | hitam                                  | agak kental      |
| 4  | Sampel 4 | hitam                                  | agak kental      |
| 5  | Sampel 5 | hitam                                  | kental dan padat |

Dari Tabel 4.3 di atas memperlihatkan bentuk fisik sampel hasil reaksi deoksigenasi berwarna hitam dan agak kental. Berbeda halnya dengan bahan baku asam oleat yang digunakan setiap sampel yang berwarna kuning dan agak cair. Hal ini dikarenakan terjadinya proses reaksi yang terjadi antara asam oleat dengan katalis dan ditambah dengan adanya temperatur yang tinggi yang membuat asam oleat menjadi teroksidasi sehingga menghasilkan warna yang hitam. Pada reaksi deoksigenasi ini, terlebih dahulu katalis dipanaskan dengan suhu 400 °C beserta dialirkan gas hidrogen. Hal ini dilakukan untuk mengaktifkan katalis sehingga aktivitas katalis dalam reaksi menjadi lebih baik. Pada penelitian ini dihasilkan 5 sampel. Untuk sampel 1 sampai dengan sampel 4, reaksi deoksigenasi dilakukan pada suhu 400 °C. Sedangkan untuk sampel 5, reaksi deoksigenasi dilakukan pada suhu 350 °C. Dari hasil yang diperlihatkan pada Tabel 4.3 sampel 1 sampai dengan sampel 4 memiliki bentuk fisik yang hampir sama yaitu berwarna hitam pekat dan agak kental. Sedangkan untuk sampel 5 berwarna hitam pekat dan sangat kental atau hampir memadat. Hal ini terjadi karena aktivasi katalis dilakukan pada suhu 400 °C, sehingga untuk reaksi deoksigenasi pada suhu reaktor 360 °C, katalis tidak dapat memberikan kemampuannya untuk merengkah asam oleat menjadi hidrokarbon yang lebih pendek karena suhu reaktor lebih rendah dari suhu aktivasi. Oleh karena itu, sampel 5 ini tidak digunakan untuk analisis selanjutnya baik sifat fisik maupun sifat kimia produk.

Sampel yang telah didapat kemudian didistilasi dengan maksud memisahkan produk *diesel* dengan reaktan sisa atau produk samping yang tidak diinginkan seperti pengotor. Distilasi dilakukan pada berbagai suhu tergantung daripada rentang titik didih dari *bio-oil* itu sendiri. Dari hasil distilasi, sampel yang menghasilkan produk hanya ada pada rentang suhu 160-190 °C dan 200-300 °C. Untuk rentang suhu 200-300 °C, produk yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan produk yang dihasilkan pada rentang suhu 160-190 °C.. Bentuk fisik dari sampel yang telah didistilasi pada rentang suhu 200-300 °C dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

**Tabel 4.4** Bentuk Fisik Hasil Distilasi Pada Rentang Suhu 200-300 °C

| No | Sampel   | Bentuk Fisik Hasil Distilasi |            |
|----|----------|------------------------------|------------|
|    |          | Warna                        | Kekentalan |
| 1  | Sampel 1 | hitam cerah                  | cair       |
| 2  | Sampel 2 | hitam cerah                  | cair       |
| 3  | Sampel 3 | hitam cerah                  | cair       |
| 4  | Sampel 4 | hitam cerah                  | cair       |

Dari Gambar Table 4.4 di atas, terdapat perbedaan bentuk fisik antara sampel yang belum didistilasi dengan sampel yang telah didistilasi dimana sampel yang telah didistilasi memiliki warna yang sedikit lebih cerah dan lebih cair dibandingkan dengan sampel yang belum didistilasi yang memiliki warna hitam pekat dan agak kental. Hal ini karena produk hasil distilasi lebih murni dibandingkan produk sebelum distilasi yang masih banyak mengandung pengotor. Karena sampel hasil distilasi pada rentang suhu 200-300 °C menghasilkan lebih banyak prouk, maka sampel tersebut digunakan untuk pengujian selanjutnya. Produk setiap sampel yang telah didapat, Untuk mengetahui konversi, selektivitas dan *yield* produk (*renewable diesel*) dari hasil reaksi deoksigenasi yang telah didapat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Konversi} = \frac{\text{berat produk}}{\text{berat umpan}} \times 100\% \quad (4.1)$$

$$\text{Selektivitas} = \frac{\text{berat produk utama}}{\text{berat produk yang bereaksi}} \times 100\% \quad (4.2)$$

$$\text{Yield} = \frac{\text{berat produk utama}}{\text{berat total produk}} \times 100\% \quad (4.3)$$

Perhitungan yang dilakukan dapat dilihat pada Lampiran 2. Hasil perhitungan konversi, selektivitas dan *yield* masing-masing produk bio-oil setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 sebagai berikut:

**Tabel 4.5** Konversi Produk Hasil Reaksi Deoksigenasi

| No | Sampel   | Konversi (%) |
|----|----------|--------------|
| 1  | Sampel 1 | 76,72        |
| 2  | Sampel 2 | 77,96        |
| 3  | Sampel 3 | 76,01        |
| 4  | Sampel 4 | 77,44        |

Dari Tabel 4.5 menunjukkan konversi tertinggi ada pada sampel 2, dan selektivitas tertinggi terdapat pada sampel 3 seperti yang diperlihatkan Tabel 4.6. Sedangkan *yield* tertinggi ada pada sampel 4 seperti yang diperlihatkan Tabel 4.7.

**Tabel 4.6** Selektivitas Bio-oil Hasil Reaksi Deoksigenasi

| No | Sampel   | Selektivitas (%) |            |            |                  |           |
|----|----------|------------------|------------|------------|------------------|-----------|
|    |          | Gas              | Biogasolin | Biokerosin | Renewable Diesel | Lubricant |
| 1  | Sampel 1 | 0,76             | 14,06      | 6,37       | 42,19            | 38,75     |
| 2  | Sampel 2 | 0,40             | 11,29      | 5,89       | 38,86            | 37,96     |
| 3  | Sampel 3 | 0,32             | 10,99      | 7,24       | 50,14            | 37,51     |
| 4  | Sampel 4 | 0,41             | 12,16      | 6,32       | 45,54            | 39,32     |

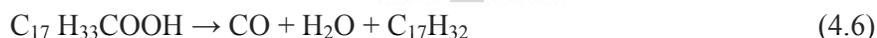
**Tabel 4.7** Yield Bio-oil Hasil Reaksi Deoksigenasi

| No | Sampel   | Yield (%) |            |            |                         |           |
|----|----------|-----------|------------|------------|-------------------------|-----------|
|    |          | Gas       | Biogasolin | Biokerosin | <i>Renewable Diesel</i> | Lubricant |
| 1  | Sampel 1 | 0,49      | 9,16       | 4,15       | 27,48                   | 25,24     |
| 2  | Sampel 2 | 0,27      | 7,67       | 4,00       | 26,39                   | 25,78     |
| 3  | Sampel 3 | 0,16      | 5,45       | 3,59       | 24,86                   | 18,60     |
| 4  | Sampel 4 | 1,25      | 8,08       | 4,21       | 30,28                   | 26,14     |

Pada sampel 2, walaupun konversi yang didapat paling tinggi, akan tetapi selektivitas *renewable diesel* yang dihasilkan memperlihatkan paling rendah. Hal itu berarti bahwa lebih banyak selektivitas produk yang tidak diinginkan dibandingkan dengan selektivitas produk yang diinginkan. Dari hasil di atas dapat dikatakan bahwa aktivitas katalis Pd/C dalam menghasilkan selektivitas *renewable diesel* lebih baik dibandingkan dengan katalis NiMo/C dibuktikan dengan hasil selektivitas *renewable diesel* yang lebih tinggi pada sampel 3 dan sampel 4 dari Tabel 4.6.

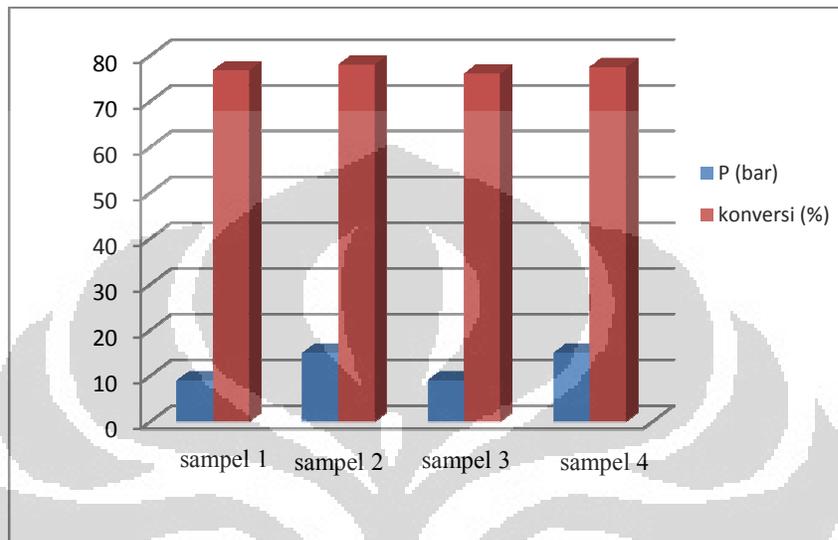
#### 4.3.1 Pengaruh Tekanan terhadap Konversi Produk Hasil Reaksi Deoksigenasi.

Reaksi deoksigenasi pada penelitian ini dapat melalui tiga jalur mekanisme reaksi, di antaranya adalah reaksi dekarboksilasi, dekarbonilasi dan hidrogenasi. Mekanisme reaksi deoksigenasi asam oleat dari berbagai jalur mekanisme dapat dilihat pada persamaan di bawah ini.



Pada persamaan 4.4 asam oleat akan terkonversi menjadi asam stearat dengan reaksi hidrogenasi yang kemudian dari asam stearat dapat terkonversi menjadi produk n-heptadekana dengan reaksi dekarboksilasi (persamaan 4.5) dan dapat juga terkonversi menjadi heptadekana dengan reaksi dekarbonilasi (persamaan 4.6).

Pada Tabel 4.5 terlihat bahwa katalis yang berbeda dengan kondisi operasi (tekanan) yang berbeda menghasilkan konversi produk yang berbeda pula. Berikut gambar yang menunjukkan hubungan antara pengaruh tekanan terhadap konversi produk yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.10 sebagai berikut.



**Gambar 4.10** Pengaruh Tekanan terhadap Konversi

Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa untuk masing-masing katalis semakin besar tekanan, maka konversi yang dihasilkan akan semakin besar pula. Secara teori, apabila suatu reaksi terjadi perengkahan, maka jumlah mol produk akan lebih besar dari jumlah mol reaktan. Dengan adanya kenaikan tekanan maka dapat menyebabkan kesetimbangan bergeser ke arah kiri (ke arah jumlah mol yang lebih kecil) sehingga konversi lebih rendah karena produk kembali menjadi reaktan. Akan tetapi hasil yang didapatkan menunjukkan kebalikannya, yakni kenaikan tekanan menyebabkan kenaikan konversi. Hal tersebut memperlihatkan bahwa tidak adanya perbedaan tekanan yang signifikan. Ini dikarenakan kecepatan reaksi konversi asam stearat lebih cepat membentuk produk n-heptadekana (persamaan 4.5) sehingga apabila tekanan tinggi tidak memperlihatkan adanya perubahan kesetimbangan yang bergeser ke arah reaktan dikarenakan kecepatan reaksi konversi produk yang sangat cepat.

### 4.3.2 Hasil Sifat Fisik *Renewable Diesel*

Sifat fisik minyak deoksigenasi yang akan dilihat pada penelitian ini yaitu pengukuran densitas dan viskositas produk (*renewable diesel*) hasil distilasi. Hasil pengukuran densitas dan viskositas ini kemudian dibandingkan dengan densitas dan viskositas asam oleat yang belum terjadi reaksi deoksigenasi dan solar komersial. Hal tersebut dimaksudkan untuk mengetahui apakah terjadi aktivitas perengkahan dari katalis selama proses reaksi deoksigenasi berlangsung. Pengujian sifat fisik ini dilakukan pada setiap masing-masing sampel yang telah didapat dari hasil distilasi.

#### 4.3.2.1 Densitas *Renewable Diesel*

Pengukuran densitas dilakukan dengan Stadbinger Densitometer SVM 3000 dengan ASTM D7042-04 Berikut perbandingan densitas *renewable diesel* yang didapat dari hasil reaksi deoksigenasi, solar komersial dan asam oleat dapat dilihat pada Tabel 4.8 dibawah ini.

**Tabel 4.8** Perbandingan Densitas antara *Renewable Diesel* Hasil Reaksi Deoksigenasi, Solar Komersial, dan Asam Oleat

| Sampel   | Densitas (gr/cm <sup>3</sup> ) |       |            |
|----------|--------------------------------|-------|------------|
|          | <i>Renewable Diesel</i>        | Solar | Asam Oleat |
| Sampel 1 | 0,844                          | 0,822 | 0,895      |
| Sampel 2 | 0,848                          |       |            |
| Sampel 3 | 0,840                          |       |            |
| Sampel 4 | 0,840                          |       |            |

Dari Tabel 4.8 terlihat bahwa densitas *Renewable Diesel* yang dihasilkan dari reaksi deoksigenasi dengan bantuan katalis mengalami penurunan dibandingkan dengan asam oleat tanpa terjadinya reaksi deoksigenasi. Nilai densitas untuk masing-masing keempat sampel tidak begitu berbeda jauh dengan densitas solar komersial. Hal ini menunjukkan adanya aktivitas katalis yang telah membuat penurunan densitas dengan terjadinya perengkahan pada reaksi deoksigenasi, dimana molekul hidrokarbon dengan rantai yang lebih panjang terenkah menjadi molekul hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek. Dengan

menjadi pendeknya rantai hidrokarbon, maka berat molekulnya juga menjadi lebih ringan. Untuk sampel 3 dan sampel 4 merupakan sampel yang memiliki densitas paling mendekati densitas solar komersial. Hal tersebut membuktikan bahwa luas permukaan dan ukuran kristal dari katalis mempengaruhi penurunan densitas karena telah diketahui bahwa sampel 3 dan sampel 4 ini menggunakan katalis Pd/C yang memiliki luas permukaan lebih besar dibandingkan dengan katalis NiMo/C (sampel 1 dan sampel 2). Dari nilai densitas keempat sampel yang tidak begitu jauh ini memperlihatkan bahwa produk *Renewable Diesel* dari hasil reaksi deoksigenasi asam oleat ini telah memenuhi spesifikasi sifat fisik yang diinginkan solar komersial.

#### 4.3.2.2 Viskositas *Renewable Diesel*

Penentuan viskositas ini dilakukan dengan Stadbinger Viskometer SVM 3000 dengan ASTM D7042-04. Berikut perbandingan viskositas dari *renewable diesel*, solar komersial dan asam oleat dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini.

**Tabel 4.9** Perbandingan Viskositas antara *Renewable Diesel* Hasil Reaksi Deoksigenasi, Solar Komersial dan Asam Oleat

| Sampel   | Viskositas (Cp)         |       |            |
|----------|-------------------------|-------|------------|
|          | <i>Renewable Diesel</i> | Solar | Asam Oleat |
| Sampel 1 | 3,3                     | 3,5   | 27.6       |
| Sampel 2 | 3,8                     |       |            |
| Sampel 3 | 3,3                     |       |            |
| Sampel 4 | 3,3                     |       |            |

Dari Tabel 4.9 terlihat bahwa adanya penurunan viskositas yang sangat besar dari asam oleat terhadap *Renewable Diesel* hasil dari reaksi deoksigenasi pada keempat sampel. Secara teori, semakin kecil densitas, semakin kecil pula viskositas. Hal itu sesuai dengan hasil yang didapat, bahwa keempat sampel mengalami penurunan densitas dan penurunan viskositaas. Adanya penurunan viskositas ini sama halnya dengan penurunan densitas, yaitu terjadinya aktivitas katalis dalam proses perengkahan didalam reaksi deoksigenasi yang menyebabkan perubahan struktur rantai hidrokarbon pada minyak menjadi lebih pendek sehingga berat molekul minyak tersebut menjadi ringan dan viskositas minyak tentunya lebih kecil. Dari hasil pengukuran di atas, dihasilkan nilai densitas

sampel lebih tinggi dari solar tetapi nilai viskositas yang lebih rendah dari solar. Hal tersebut karena viskositas dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, konsentrasi dan distribusi berat molekul. Kontrol suhu yang kurang baik sepanjang reaksi merupakan salah satu faktor yang mungkin terjadi pada kasus ini.

#### 4.4 Hasil Analisis FTIR

Analisis FTIR dilakukan untuk melihat struktur senyawa molekul asam oleat sebelum dan setelah reaksi deoksigenasi untuk memastikan terjadinya perengkahan dengan adanya perubahan ikatan senyawa yang terdapat dalam sampel dengan melihat perbandingan pola asam oleat dengan pola sampel yang dihasilkan. Setelah itu, hasil FTIR sampel ini dapat dilakukan dengan membandingkan pola sampel dengan pola FTIR solar komersial untuk melihat apakah senyawa yang terkandung di dalam sampel sudah mendekati senyawa yang terdapat dalam solar komersial atau tidak. Untuk melihat spektrum FTIR dari asam oleat, sampel yang didapat hingga spektrum FTIR komersial, dapat dilihat pada lampiran 5. Berikut merupakan gugus fungsi yang terdapat pada masing-masing sampel disajikan pada Tabel 4.10.

Spektrum IR yang dihasilkan dapat menunjukkan banyak sedikitnya kandungan yang terdapat dari suatu senyawa sampel. Apabila %T dari suatu senyawa rendah, maka semakin banyak kandungan senyawa yang ada di dalam sampel tersebut. Hal ini karena semakin banyaknya kandungan suatu senyawa, maka akan semakin sedikit pula sinar IR yang dapat diteruskan atau ditransmisikan sehingga %T akan semakin rendah. Begitupun sebaliknya, semakin rendahnya kandungan suatu senyawa, maka %T yang dihasilkan akan semakin tinggi.

Dari hasil spektrum FTIR masing-masing sampel pada lampiran 5 menunjukkan adanya perubahan gugus fungsi dari spektrum asam oleat setelah terjadi reaksi. Dimana asam oleat yang banyak mengandung senyawa keton dengan alkohol yang menyebabkan kandungan asam karboksilat tinggi, setelah adanya reaksi akan terengkah menjadi alkana. Berikut perbandingan gugus fungsi

yang terdapat pada solar dengan masing-masing sampel disajikan pada Tabel 4.10 sebagai berikut.

Dari Tabel 4.10 menunjukkan bahwa setiap sampel memiliki kandungan senyawa alkana yang banyak dan kandungan senyawa aromatik yang sedikit. Hal tersebut ditunjukkan dari persen transmitansi alkana yang rendah sedangkan persen transmitansi aromatik yang tinggi pada setiap sampel. Pada sampel 3 dan sampel 4 tidak menunjukkan adanya senyawa keton.

**Tabel 4.10** Transmitansi gugus fungsi pada masing-masing sampel

| Ikatan | Gugus Fungsi | %T    |          |          |          |          |
|--------|--------------|-------|----------|----------|----------|----------|
|        |              | Solar | Sampel 1 | Sampel 2 | Sampel 3 | Sampel 4 |
| C-H    | alkana       | 2,20  | 20       | 37       | 33,50    | 18       |
| =C-H   | alkena       | -     | -        | -        | -        | -        |
| C=C    | aromatik     | 95    | 88       | 93,50    | 95       | 89,97    |
| C=O    | keton        | -     | 70,35    | 77,50    | -        | -        |

Berbeda halnya dengan sampel 1 dan sampel 2 yang masih memiliki senyawa keton walaupun kandungannya hanya sedikit. Pada sampel 1 memperlihatkan kandungan keton yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel 2 dimana sampel 1 menggunakan katalis NiMo/C dengan tekanan 9 bar dan sampel 2 menggunakan katalis NiMo/C dengan tekanan 15 bar. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada tekanan 9 bar ini reaksi mengarah kepada dekarbonilasi dimana konsentrasi CO yang terbentuk lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan menghasilkan produk utama heptadekena. Telah diketahui bahwa sampel 3 dan sampel 4 adalah sampel yang menggunakan katalis Pd/C dengan tekanan yang berbeda. Dan dari hasil transmitansi di atas memperlihatkan bahwa reaksi deoksigenasi yang menggunakan katalis Pd/C lebih efektif dibandingkan dengan katalis NiMo/C.

#### 4.5 Hasil Analisis GC (*Gas Chromatography*)

Analisis GC ini dapat dilakukan untuk menguji produk gas ataupun cair dari hasil reaksi. Untuk produk gas, digunakan GC-TCD (*Gas Chromatography-Thermal Conductivity Detector*) dan untuk produk cair digunakan analisis dengan

GC-FID (*Gas Chromatography-Flame Ionization Detector*). Berikut hasil analisis akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

#### **4.5.1 Hasil Analisis Gas Hasil Reaksi Deoksigenasi Menggunakan GC.**

Uji gas hasil reaksi deoksigenasi antara senyawa model dengan katalis dilakukan dengan menggunakan GC (*Gas Chromatography-Thermal Conductivity Detector*) dengan kolom adsorpsi 6' x 1/8' SS *packed with molecular sieve* dengan temperature awal kolom program 90°C untuk 24 menit dan temperatur akhir program 150°C ditahan 36 min. Pengujian ini merupakan pengujian yang sangat penting karena kita bisa melihat apakah reaksi yang terjadi mengarah pada reaksi dekarboksilasi atau dekarbonilasi. Untuk mengetahui reaksi tersebut berupa dekarboksilasi ditandai dengan terbentuknya gas CO<sub>2</sub> pada awal reaksi yang kemudian meningkat di pertengahan reaksi dan habis saat reaksi berhenti karena terbentuknya produk n-heptakana. Sedangkan reaksi dekarbonilasi ditandai dengan terbentuknya gas CO yang sangat besar pada awal reaksi dan lama kelamaan habis karena terbentuknya n-heptadekana.

Pada Percobaan ini katalis merupakan salah satu zat yang walaupun tidak ikut bereaksi tetapi memiliki pengaruh yang cukup besar akan hasil yang didapat. Katalis yang digunakan dalam percobaan ini adalah NiMo/C dan Pd/C. Disini kita akan melihat pengaruh perbedaan tekanan dan lamanya waktu reaksi pada katalis NiMo/C dan Pd/C serta aktivitasnya terhadap selektivitas gas CO<sub>2</sub> dan CO yang terbentuk.

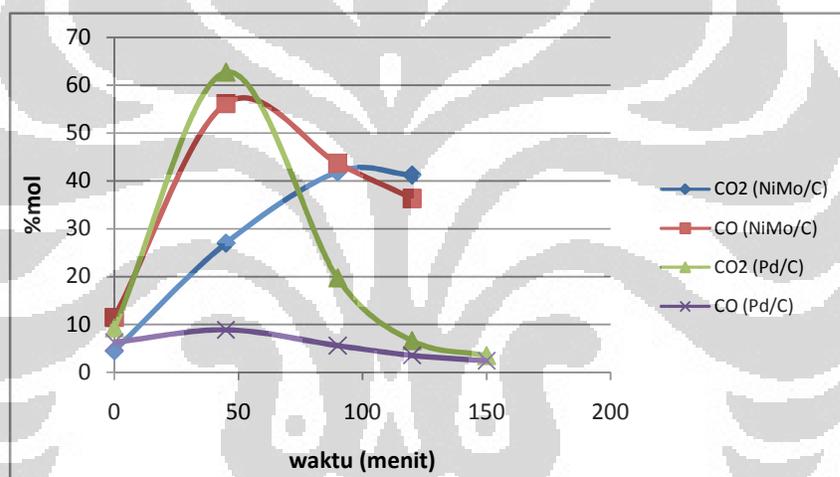
##### **4.5.1.1 Pengaruh Tekanan Terhadap Produk Gas Hasil Reaksi Deoksigenasi**

Tekanan yang diberikan oleh gas H<sub>2</sub> pada saat reaksi deoksigenasi dapat berpengaruh terhadap selektivitas reaksi deoksigenasi. Seperti yang diketahui bahwa reaksi deoksigenasi ini dapat melalui tiga mekanisme reaksi, di antaranya adalah reaksi dekarboksilasi, dekarbonilasi dan hidrogenasi. Dalam deoksigenasi ini, mekanisme reaksi yang paling diinginkan yakni dekarboksilasi. Hal ini karena pada reaksi dekarboksilasi dapat menghilangkan atom O sebagai asam karboksilat. Sebelumnya, reaksi deoksigenasi asam oleat telah ditunjukkan oleh persamaan 4.4 sampai persamaan 4.6.

Pada penelitian Immer *et al.* pada tahun 2010 yang menggunakan senyawa model asam oleat, menunjukkan bahwa kenaikan tekanan parsial H<sub>2</sub> dapat meningkatkan selektivitas dekarboksilasi berubah menjadi dekarbonilasi yang diakibatkan konsumsi H<sub>2</sub> yang berlebih yang akhirnya menghasilkan produk heptadekena. Sedangkan untuk reaksi dekarboksilasi asam oleat dengan adanya konsumsi H<sub>2</sub> dapat dilihat pada persamaan 4.7.



Tekanan yang dilakukan pada percobaan ini adalah 9 bar dan 15 bar dengan temperature 400 °C dan kecepatan pengaduk 800 rpm. Berikut pengaruh tekanan pada 9 bar terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> dan CO yang terbentuk pada masing-masing katalis dapat dilihat pada Gambar 4.11.

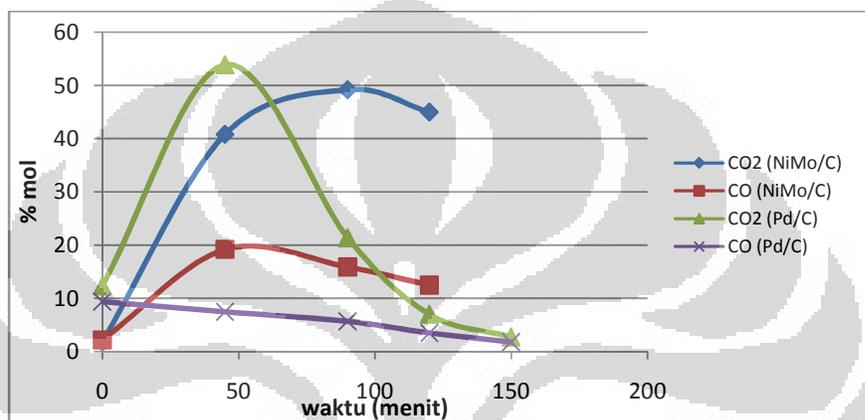


**Gambar 4.11** Pengurangan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dan CO Sampel 1 hasil reaksi deoksigenasi pada tekanan 9 bar ( 400°C dan 800 rpm)

Dengan melihat Gambar 4.11 di atas, kita melihat bahwa untuk katalis NiMo/C memperlihatkan reaksi berupa dekarbonilasi (selektivitas terhadap CO). Hal tersebut dapat diketahui dari terbentuknya konsentrasi gas CO yang lebih besar dibandingkan dengan terbentuknya konsentrasi gas CO<sub>2</sub>. Hal tersebut mengindikasikan bahwa konsumsi H<sub>2</sub> yang sangat kecil sehingga selektivitas lebih mengarah pada dekarbonilasi. Sedangkan untuk katalis Pd/C memperlihatkan reaksi dekarboksilasi karena terbentuknya konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di awal reaksi jauh lebih besar dibandingkan dengan pengurangan konsentrasi gas CO (selektivitas terhadap CO<sub>2</sub>). Pada katalis Pd/C ini, konsentrasi gas CO<sub>2</sub> yang

terbentuk di awal reaksi sedikit yang kemudian meningkat dengan signifikan dan saat waktu reaksi selesai konsentrasi gas CO<sub>2</sub> sangat rendah sekali atau hampir habis karena terbentuknya n-heptadekana. Berbeda halnya dengan katalis NiMo/C, konsentrasi gas yang terbentuk sedikit di awal dan kemudian meningkat adalah gas CO sehingga selektivitas mengarah pada dekarbonilasi.

Untuk melihat pengaruh tekanan pada 15 bar terhadap konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dan CO yang terbentuk disajikan pada Gambar 4.12 sebagai berikut.



**Gambar 4.12** Grafik pengurangan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dan CO sampel 2 hasil reaksi deoksigenasi pada tekanan 15 bar (400°C dan 800 rpm)

Dengan mengamati Gambar 4.12 di atas, kita melihat adanya persamaan *tren* dari katalis NiMo/C dan katalis Pd/C. Hal tersebut ditunjukkan dengan meningkatnya konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di pertengahan reaksi dan kemudian menurun seiring lamanya waktu reaksi. Dengan begitu reaksi ini mengarah kepada reaksi dekarboksilasi. Hanya saja, pada katalis NiMo/C menunjukkan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang masih cukup besar pada saat reaksi berhenti yaitu sekitar 40%. Sedangkan pada katalis Pd/C konsentrasi CO<sub>2</sub> yang terbentuk sudah hampir tidak ada atau habis dikarenakan terbentuknya produk n-heptadekana. Hal tersebut sesuai dengan literatur yang ada bahwa reaksi deoksigenasi dengan menggunakan hidrogen akan menghasilkan CO<sub>2</sub> yang terbentuk rendah di awal reaksi yang kemudian meningkat di pertengahan reaksi dan habis saat reaksi berhenti (immer *et. al.*, 2010).

Dapat disimpulkan bahwa dari Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 untuk katalis NiMo/C terlihat bahwa tekanan rendah memperlihatkan selektivitas

terhadap dekarbonilasi, sedangkan tekanan tinggi memperlihatkan selektivitas lebih mengarah kepada dekarboksilasi ( $\text{CO}_2$ ). Pernyataan tersebut berlainan dengan apa yang telah dijelaskan Immer *et al.* sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin tinggi tekanan, selektivitas akan mengarah pada dekarboksilasi. Hal itu menunjukkan bahwa dengan katalis NiMo/C, hidrogen berlebih karena peningkatan tekanan tidak berpengaruh signifikan terhadap selektivitas dekarboksilasi yang berubah menjadi dekarbonilasi. Sehingga selektivitas tetap mengarah pada dekarboksilasi walaupun adanya hidrogen yang berlebih.

Sedangkan untuk katalis Pd/C pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 memperlihatkan bahwa untuk tekanan 9 bar dan tekanan 15 bar, selektivitas lebih mengarah pada dekarboksilasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada katalis Pd/C, kenaikan tekanan tidak memberikan pengaruh yang signifikan dikarenakan pada tekanan 9 bar dan 15 bar tidak memperlihatkan perubahan selektivitas yang besar sehingga pada tekanan rendah (9 bar) selektivitas yang dihasilkan sudah mencapai optimum sehingga apabila tekanan dinaikkan tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan.

#### **4.5.1.2 Pengaruh Lamanya Waktu Reaksi Terhadap Produk Gas Hasil Reaksi Deoksigenasi.**

Pengaruh lamanya waktu reaksi berperan untuk salah satu katalis. Dari Gambar 4.11 pada tekanan 9 bar, dapat dilihat bahwa  $\text{CO}_2$  dan CO yang terbentuk saat reaksi berhenti masih cukup besar. Hal tersebut menandakan produk yang ingin didapat masih belum tercapai karena masih adanya  $\text{CO}_2$  ataupun CO yang terbentuk. Maka dari itu pada katalis NiMo/C ini dibutuhkan waktu reaksi yang lebih lama lagi. Berbeda dengan katalis Pd/C,  $\text{CO}_2$  dan CO yang terbentuk pada saat reaksi berhenti sudah hampir habis sehingga produk yang diinginkan dapat terbentuk. Begitupun halnya dengan Gambar 4.12 menunjukkan bahwa untuk katalis NiMo/C membutuhkan waktu reaksi yang lebih lama dibandingkan dengan katalis Pd/C.

Untuk katalis Pd/C pada percobaan ini menggunakan waktu reaksi yang lebih lama 30 menit untuk dibandingkan dengan katalis NiMo/C yang didapat. Tetapi dapat dilihat bahwa walaupun waktu reaksi yang dilakukan sama, untuk

katalis Pd/C dan NiMo/C menunjukkan bahwa reaksi dengan menggunakan katalis Pd/C lebih cepat dibandingkan dengan NiMo/C. Hal itu ditandai dengan waktu pada saat 120 menit, CO<sub>2</sub> yang terbentuk untuk katalis Pd/C hanya tinggal 3,48% mol pada tekanan 9 bar dan 2,74% mol pada tekanan 15 bar. Sedangkan untuk katalis NiMo/C masih sebesar 36% mol pada tekanan 9 bar dan 45% mol pada tekanan 15 bar. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa aktivitas katalis Pd/C dalam reaksi deoksigenasi lebih baik dibandingkan dengan aktivitas katalis NiMo/C.

Pada penelitiannya Immer pada tahun 2010 sebelumnya, pengurangan konsentrasi CO<sub>2</sub> atau CO pada reaksi deoksigenasi asam stearat dengan suhu 300 °C hingga menghasilkan produk n-heptadekana atau heptadekana, membutuhkan waktu reaksi yang cukup lama, yakni 4 jam. Berbeda halnya dengan penelitian ini yang menggunakan katalis Pd/C (pada sampel 1 dan sampel 2) menunjukkan pengurangan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang sangat cepat. Hal tersebut karena suhu reaksi deoksigenasi pada penelitian ini lebih tinggi, yaitu 400 °C, sehingga waktu perengkahan akan terjadi lebih cepat. Tetapi untuk katalis NiMo/C (pada sampel 1 dan sampel 2) tidak menunjukkan demikian. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan suhu tinggi, aktivitas Pd/C lebih baik daripada NiMo/C yang ditunjukkan dengan cepat terjadinya perengkahan pada reaksi deoksigenasi.

#### **4.5.2 Hasil Analisis Produk Hasil Reaksi Deoksigenasi Menggunakan GC-FID**

Untuk memastikan apakah telah terjadi perubahan struktur dalam molekul hidrokarbon asam oleat menjadi struktur hidrokarbon yang setara solar, dapat dilakukan analisa kuantitatif dengan menggunakan GC. GC yang digunakan adalah GC-FID dengan detektor *flame ionization* yang menggunakan kolom kapilari VF-1ms 30m x 0.53 mm i.d. DF = 1.5. Penggunaan GC-FID ini didasarkan atas kemampuannya yang dapat mendeteksi senyawa hidrokarbon dan juga mendeteksi komponen dalam rentang yang luas.

Hasil keluaran GC ini berupa persentase berat dari rentang C yang terdapat dalam sampel hasil reaksi deoksigenasi asam oleat. Untuk melihat komponen

rantai karbon senyawa bio-oil yang terdapat dalam sampel disajikan pada Tabel 4.11 sebagai berikut :

**Tabel 4.11** Hasil Analisis Sampel dengan GC-FID

| Komponen                         | Hasil Analisis (%wt) |          |          |          | Fraksi    |
|----------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|-----------|
|                                  | Sampel 1             | Sampel 2 | Sampel 3 | Sampel 4 |           |
| C <sub>1</sub> -C <sub>5</sub>   | 0,756                | 0,402    | 0,317    | 0,408    | Gas       |
| C <sub>5</sub> -C <sub>11</sub>  | 14,063               | 11,291   | 10,995   | 12,155   | Gasoline  |
| C <sub>11</sub> -C <sub>12</sub> | 6,372                | 5,892    | 7,236    | 6,324    | Kerosine  |
| C <sub>12</sub> -C <sub>18</sub> | 42,193               | 38,862   | 50,136   | 45,54    | Solar     |
| C <sub>18</sub> -C <sub>25</sub> | 38,75                | 37,959   | 37,514   | 39,316   | Lubricant |

Terlihat dari Tabel 4.11 di atas, bahwa semua sampel baik itu sampel yang menggunakan katalis NiMo/C atau katalis Pd/C mengandung senyawa komponen C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub> dengan persentase terbesar. Dimana rentang komponen C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub> tersebut merupakan fraksi solar. Apabila dilihat dari Tabel 4.11 tersebut, persentase fraksi solar terbesar terdapat pada sampel 3 yang menggunakan katalis Pd/C dengan kondisi reaksi 9 bar, yakni sebesar 50,136 %wt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini telah berhasil dicapai rentang solar dengan persentase sebesar 50,136 %wt dan menunjukkan aktivitas katalis Pd/C dengan tekanan 9 bar paling efisien digunakan dalam reaksi deoksigenasi.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

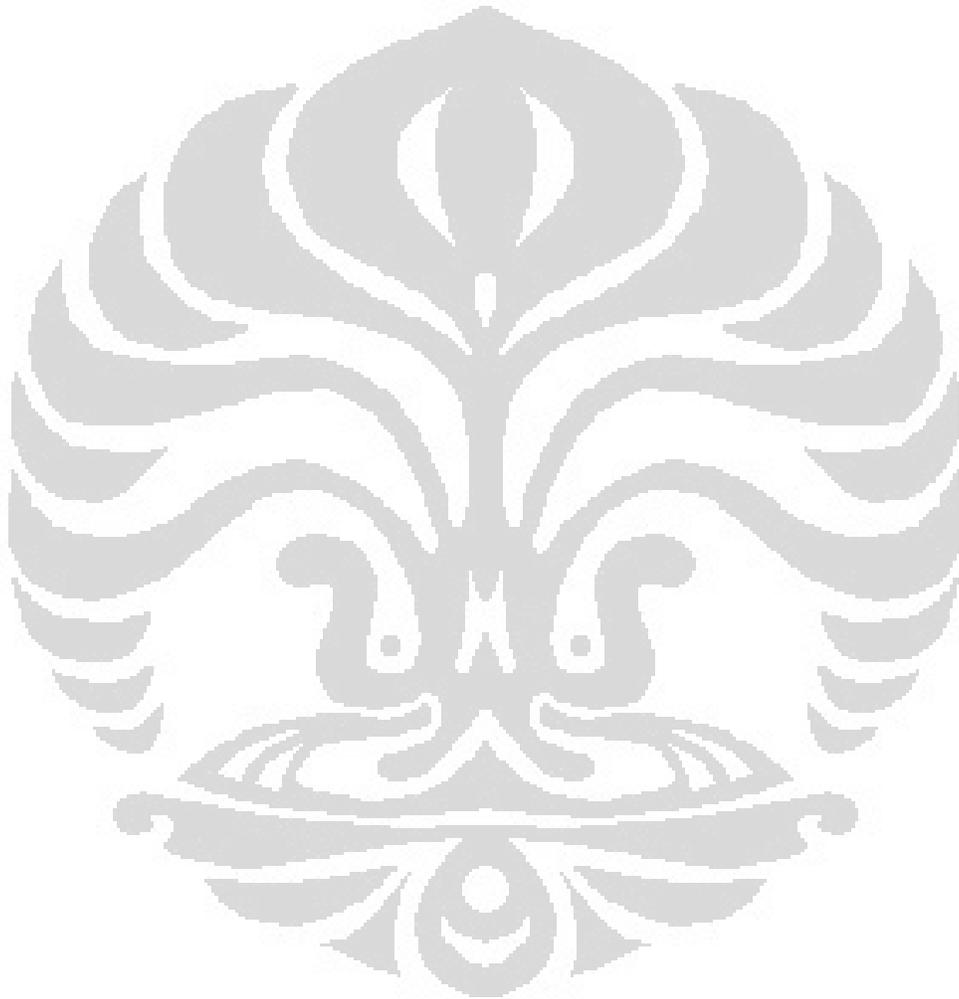
#### 5.1 Kesimpulan

1. Uji densitas dan viskositas produk (*renewable diesel*) menunjukkan hasil yang mendekati sifat fisik solar komersial, yakni  $0,84 \text{ gr/cm}^3$  dan  $3,3 \text{ Cp}$ .
2. Berdasarkan uji kandungan dengan FTIR dan GC-FID, produk optimum reaksi terjadi pada sampel yang menggunakan katalis Pd/C dengan tekanan 9 bar dalam waktu 2 jam. Berdasarkan uji tersebut, *renewable diesel* pada penelitian ini memiliki konversi 76,01%, selektivitas 50,14% dan *yield* 24,86%.
3. Hasil uji FTIR untuk sampel katalis yang menggunakan katalis Pd/C menunjukkan tidak adanya gugus keton. Sedangkan untuk sampel yang menggunakan katalis NiMo/C menunjukkan adanya gugus keton.
4. Semakin meningkatnya tekanan reaksi, maka konversi akan semakin meningkat.
5. Untuk katalis Pd/C dengan tekanan 9 bar maupun 15 bar dan katalis NiMo/C pada tekanan 15 bar menunjukkan deoksigenasi asam oleat selektif pada reaksi dekarboksilasi. Sedangkan untuk katalis NiMo/C pada tekanan 9 bar, deoksigenasi asam oleat selektif pada reaksi dekarbonilasi.
6. Pada sampel yang menggunakan katalis Pd/C menunjukkan gas  $\text{CO}_2$  dan CO yang terbentuk selama reaksi akan semakin naik setiap menitnya dan setelah mencapai titik optimum, gas yang terbentuk akan berkurang dan habis seiring dengan terbentuknya produk saat reaksi berhenti. Berbeda halnya dengan sampel yang menggunakan katalis NiMo/C yang menunjukkan gas  $\text{CO}_2$  dan CO yang terbentuk diakhir reaksi masih sangat banyak.

#### 5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, umpan yang akan dimasukkan ke dalam reaktor perlu di cek kembali setelah dialirkan ke dalam reaktor. Hal ini bertujuan untuk menghindari adanya umpan yang masih tersisa di dalam wadah sehingga rasio setiap umpan akan berbeda dan dapat mempengaruhi hasil yang diperoleh.

2. Untuk penelitian selanjutnya, produk bawah hasil kondensor perlu dianalisis untuk mengetahui senyawa yang terkandung didalamnya.
3. Sebelum melakukan sintesis produk, karakterisasi katalis perlu dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui katalis mana yang paling optimum yang dapat digunakan untuk sintesis produk selanjutnya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Khairurrijal, Maruly, A. R., Liherlinah, Sanny, M. (2008). Sintesis dan Pengujian Katalis Nanokristalin Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Metode Pemanasan dalam Larutan Polimer untuk Aplikasi Konversi Metanol Menjadi Hidrogen. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, 1(1), 2-10
- Abdullah, M., Virgus, Y., Nirmin, Khairurrijal. (2008). Review : Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1(2), 33-56.
- Arasyid, Gani. (2010). Pembuatan Etanol dari Sampah Pasar Melalui Proses Pemanasan dan Fermentasi Bakteri *Zymomonas Mobilis*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh November, 2-3.
- Bernas, H., Eranen, K., Simakova, I., Leino, A.R., Kordas, K., Myllyoja, J., Maki Arvela, P. (2010). Deoxygenation of Dodecanoic Acid Under Inert Atmosphere. *Fuel*, 89(8), 2033-2039.
- Born, James. (2011). Karakterisasi Kristal Menggunakan Instrumen XRD, SEM dan HRTEM. Resensi dalam Rangka Memenuhi Tugas Lembaga Penjaminan Mutu Pendidikan Universitas Padjajaran, 4-25.
- Bosetti, A and C. Perego. (2011). Biomass to fuels: The Role of Zeolite and Mesoporous Materials. *Microporous and Mesoporous Materials*, 144(1-3), 28-39.
- BP Migas. (2011). Cadangan Minyak Bumi Semakin Terkikis [Online]. Available from: <http://bpmigas.go.id> [Accessed 10:02:45]
- Cheng, N., Lv, H., Wang, W., Mu, S., Pan, M., Marken, F. (2010). "An ambient aqueous synthesis for highly dispersed and active Pd/C catalyst for formic acid electro-oxidation." *Journal of Power Sources*, 195(21), 7246-7249.
- Destianna, Mescha., Agustinus Z., Nazef, Soraya P. (2007). Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel. Lomba Karya Ilmiah Mahasiswa ITB Bidang Energi Institut Teknologi Bandung, 14-17.
- Fransisca. (2011). Pemanfaatan Gliserol Sebagai Pelarut Pada Sintesis Partikel Nanokatalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk Pembuatan *Green Diesel*. Seminar. Program Studi Teknik Kimia Universitas Indonesia, 17-105.

- Haerudin, Hery. 2005. Katalis dan Bahan Penyusunnya dalam Penyediaan Sumber Energi. Pusat Penelitian Kimia Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia PUSPITEK, 1-3.
- Immer, J. G. (2010). Liquid-Phase Deoxygenation of Free Fatty Acids to Hydrocarbons Using Supported Palladium Catalysts. *Degree of Doctor of Philosophy* North Carolina State University, 17-37.
- Immer, J. G., Kelly, M. J., & Lamb, H. H. (2010). Catalytic Reaction Pathways in Liquid-Phase Deoxygenation of C18 Free Fatty Acids. *Applied Catalysis A: General*, 375(1), 134-139.
- Istady. (2011). *Fundamental dan Aplikasi : Teknologi Katalis untuk Konversi Energi*. Badan Penerbit Undip, 1-13.
- Kalnes, Tom., Marker, Terry., Shonnard, David R. (2007). Green Diesel: A Second Generation Biofuel. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 5(1), 1-11.
- Kardono. (2008). Potensi Pengembangan *Biofuel* Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian Yogyakarta, 5-9.
- Kubicka, D., & Kaluza, L. (2010). Deoxygenation of Vegetable Oils over Sulfided Ni, Mo and NiMo catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 372(2), 199-208.
- Liherlinah, Abdullah. M. A., Khairurrijal. (2009). Sintesis Nanokristalin CuO/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk Mengubah Metanol Menjadi Hidrogen untuk Bahan Bakar Kendaraan *Fuel Cell*. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 2(1), 90-95.
- Maki, Arvela, P., Kubickova, I., Snare, M., Eranen, K., & Murzin, D. Y. (2006). Catalytic Deoxygenation of Fatty Acids and Their Derivatives. *Energy & Fuels*, 21(1), 30-41.
- Olusula, J. O., Adediran, M.M., Oluseyi, A.K., Ajao, U.L. (2010). Processing of Tryglecides to Diesel Range Hydrocarbon Fuels : Easily Practicable Small Scale Approach. *Energy & Environment*, 21(1), 1325-1340.
- Priecel, P., D. Kubička., L. Capek., Z. Bastl., P. Rysanek. (2011). The Role of Ni Species in the Deoxygenation of Rapeseed Oil over NiMo-Alumina Catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 397(1-2), 127-137.

- Prastowo, Bambang. (2008). Inovasi Teknologi Pertanian Mendukung Pengembangan Bahan Bakar Nabati. Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian Yogyakarta, 2-3.
- Qi, Z., Jie, C., Tjeun, W., Ying, X. (2007). Review of Biomass Pyrolysis Oil Properties and Upgrading Research. *Energy Conversation and Management*, 48, 87-92.
- Saragih, Horasdia. (2011). Nanomaterial: Pendekatan Baru Penanggulangan Kanker dan Diabetes. *Laboratorium Sains Terapan*, Universitas Advent Indonesia, 1-2.
- Sinaga, Ayuko C. (2011). Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Reaksi Katalis Nano NiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk Sintesis Bahan Bakar Bio Non Ester dari Minyak Jarak Melalui Pirolisis Berkatalis. Skripsi. Program Studi Teknik Kimia Universitas Indonesia, 18-67.
- Soerawidjaja, Tatang H. 2003. Standar Tentatif Biodiesel Indonesia dan Metode-Metode Pengujiannya. Forum Biodiesel Indonesia Bandung, 6-15.
- Sooknoi, T., Danuthai, T., Lobban, L. L., Mallinson, R., & Resasco, D. E. (2008). Deoxygenation of Methyl esters Over CsNaX. *Journal of Catalysis*, 258(1), 199-209.
- Taufiqurrahmi, Niken., Mohamed, A. R., Bhatia, Subhash. (2011). Production of Biofuel from Waste Cooking Palm Oil using Nanocrystalline Zeolite as Catalyst: Process Optimization Studies. *Journal of Bioresource Technology*, 102(22), 10686–10694.
- Trisunaryanti, Wega., E. Triwahyuni., S. Sudiono. (2005). Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis NI-MO/Zeolit Alam dan MO-NI/Zeolit Alam. *Jurnal Teknoin*, 10(4), 269-282.
- Triyono. (2011). Menuju Indonesia sebagai Negara Mandiri Katalis. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Universitas Gajah Mada, 4-11.
- Veriansyah, B., J. Y. Han, et al. (2012). Production of Renewable Diesel by Hydroprocessing of Soybean Oil: Effect of Catalyst. *Journal of Fuel* 94(0): 578-585.

Zhao, J., Chen, W., Zheng, Y., Li, X., & Xu, Z. (2006). Microwave Polyol Synthesis of Pt/C Catalysts with Size-Controlled Pt Particles for Methanol Electrocatalytic Oxidation. *Journal of Materials Science*, 41(17), 5514-5518.

## Lampiran 1 Perhitungan Komposisi Pembuatan Katalis

- **Membuat 5%wt katalis NiMo/C**

Diketahui: 5%wt NiMo/C

4%wt Ni

20%wt Mo

BM  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 290,75$

BM  $(\text{NH}_4)_6 \cdot \text{Mo}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 1235,86$

➤ C yang akan dibuat sebanyak 20 gram, sehingga pada 5%wt NiMo/C

$$\frac{5}{100} \times 20 \text{ gram} = 1 \text{ gram}$$

$$C = 20 \text{ gram} - 1 \text{ gram} = 19 \text{ gram}$$

➤ Untuk 4%wt Ni

$$\frac{4}{100} \times 20 \text{ gram} = 0,8 \text{ gram}$$

$$\text{berat Ni} = \frac{\text{BM Ni}}{\text{BM Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} \times \text{berat Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$$

$$0,8 \text{ gram} = \frac{58,69 \text{ gram/mol}}{290,75 \text{ gram/mol}} \times \text{berat Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$$

$$\text{berat Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 3,96 \text{ gram}$$

➤ Untuk 20%wt Mo

$$\frac{20}{100} \times 20 \text{ gram} = 4 \text{ gram}$$

$$\text{berat Mo} = \frac{\text{BM Ni}}{\text{BM } (\text{NH}_4)_6 \cdot \text{Mo}_7 \cdot \text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}} \times \text{berat } (\text{NH}_4)_6 \cdot \text{Mo}_7 \cdot \text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$$

$$4 \text{ gram} = \frac{7(95,94) \text{ gram/mol}}{1235,86 \text{ gram/mol}} \times \text{berat } (\text{NH}_4)_6 \cdot \text{Mo}_7 \cdot \text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$$

$$\text{berat } (\text{NH}_4)_6 \cdot \text{Mo}_7 \cdot \text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 7,36 \text{ gram}$$

- **Membuat 5%wt Pd/C**

Diketahui berat estimasi C = 10 gram  
 BM Pd = 106,42 gram/mol  
 BM H<sub>2</sub>PdCl<sub>4</sub> = 250,25 gram/mol  
 BM PdCl<sub>2</sub> = 177,3 gram/mol  
 M PdCl<sub>2</sub> = 0,24  
 M HCl = 0,48

$$5\% = \frac{\text{berat Pd}}{\text{berat Pd} + \text{berat C}} \times 100\%$$

$$\frac{\text{berat Pd}}{\text{berat Pd} + \text{berat C}} = 0,05$$

$$\text{berat Pd} = 0,05 (\text{berat Pd} + 10 \text{ gram})$$

$$0,95 \text{ berat Pd} = 0,5$$

$$\text{berat Pd} = 0,526 \text{ gram}$$

$$\text{mol H}_2\text{PdCl}_4 = \frac{\text{berat H}_2\text{PdCl}_4}{\text{BM H}_2\text{PdCl}_4}$$

$$\text{mol H}_2\text{PdCl}_4 = \frac{1,24}{250,25}$$

$$\text{mol H}_2\text{PdCl}_4 = 0,004945$$

$$\text{mmol H}_2\text{PdCl}_4 = 5 \text{ mmol}$$

$$M \text{ H}_2\text{PdCl}_4 = \frac{\text{mmol H}_2\text{PdCl}_4}{\text{mL H}_2\text{PdCl}_4}$$

$$M \text{ H}_2\text{PdCl}_4 = \frac{5}{50}$$

$$M \text{ H}_2\text{PdCl}_4 = 0,1$$

25 mL PdCl<sub>2</sub> 0,2 M + 25 mL HCl 0,4 M

$$M \text{ PdCl}_2 = \frac{\text{gram}}{\text{BM PdCl}_2} \times \frac{1000}{\text{mL}}$$

$$0,2 = \frac{\text{gram}}{177,3 \text{ gram/mol}} \times \frac{1000}{25 \text{ mL}}$$

$$\text{berat PdCl}_2 = 0,8865 \text{ gram}$$

## Lampiran 2

## Perhitungan Konversi, Selektivitas dan Yield

## Untuk sampel 1

Diketahui : Feed = 92 gram  
 Produk hasil kondenser = 26,01 gram  
 Produk dari hasil reaksi = 64,96 gram  
 Gas hasil reaksi = 1,03 gram  
 Distilat pada rentang suhu 140-200 °C = 1,23 gram  
 Distilat pada rentang suhu 200-300 °C = 42,31 gram  
 Residu (>300 °C) = 21,42 gram

Maka konversi produk *renewable diesel*, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Konversi} &= \frac{\text{Produk}}{\text{Feed}} \times 100\% \\ &= \frac{92 \text{ gram} - 21,42 \text{ gram}}{92 \text{ gram}} \times 100\% = 76,7\% \end{aligned}$$

Diketahui % berat bio-oil sampel 1:

Gas 0,756%

Biogasolin 14,063%

Biokerosin 6,372 %

*Renewable Diesel* 42,193 %

*Lubricant* 38,756 %

Maka, berat masing-masing dapat dihitung

Gas : 0,756% x 42,31 gram = 0,230 gram

Biogasolin : 14,063% x 42,31 gram = 5,950 gram

Biokerosin : 6,372 % x 42,31 gram = 2,696 gram

*Renewable Diesel* : 42,193 % x 42,31 gram = 17,852 gram

*Lubricant* : 38,756 % x 42,31 gram = 25,239 gram

Selektivitas masing-masing

$$\text{Gas} : \frac{0,320 \text{ gram}}{42,31 \text{ gram}} \times 100\% = 0,756\%$$

$$\text{Biogasolin} : \frac{5,950 \text{ gram}}{42,31 \text{ gram}} \times 100\% = 14,063\%$$

$$\text{Biokerosin} : \frac{2,696\text{gram}}{42,31\text{gram}} \times 100\% = 6,372\%$$

$$\text{Renewable Diesel} : \frac{17,852\text{gram}}{42,31\text{gram}} \times 100\% = 42,193\%$$

$$\text{Lubricant} : \frac{38,756\text{gram}}{42,31\text{gram}} \times 100\% = 38,75\%$$

Yield, masing-masing

$$\text{Gas} : \frac{0,320\text{gram}}{64,96\text{gram}} \times 100\% = 0,493\%$$

$$\text{Biogasolin} : \frac{5,950\text{gram}}{64,96\text{gram}} \times 100\% = 9,159\%$$

$$\text{Biokerosin} : \frac{2,696\text{gram}}{64,69\text{gram}} \times 100\% = 4,150\%$$

$$\text{Renewable Diesel} : \frac{17,852\text{gram}}{64,96\text{gram}} \times 100\% = 27,482\%$$

$$\text{Lubricant} : \frac{16,395\text{gram}}{64,96\text{gram}} \times 100\% = 25,239\%$$

### Lampiran 3

### Hasil Uji BET

#### Katalis NiMo/C pada T = 700 °C

| Date: 03/22/2012   |                               | Page 1            |                  |
|--|-------------------------------|-------------------|------------------|
| Quantachrome Corporation<br>Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report<br>Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23 |                               |                   |                  |
| Sample ID  | NiMo/C 700 C                  |                   |                  |
| Description  | Gita                          |                   |                  |
| Comments   |                               |                   |                  |
| Sample Weight  | 0.4960 g                      | Outgas Temp       | 150.0 °C         |
| Adsorbate  | NITROGEN                      | Operator          | -jajet           |
| Cross-Sec Area   | 16.2 Å <sup>2</sup> /molecule | Outgas Time       | 24.0 hrs         |
| NonIdeality  | 6.580E-05                     | Analysis Time     | 00.3 min         |
| Molecular Wt   | 28.0134 g/mol                 | F/Pc Toler        | 3                |
| Station #  | 3                             | End of Run        | 03/22/2012 14:46 |
|  |                               | Equil Time        | 2                |
|  |                               | File Name         | AS977041.NAW     |
|  |                               | Bath Temp.        | 77.40            |
|  |                               | PC SW Version     | Pre-1.20         |
| AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY  |                               |                   |                  |
| SURFACE AREA DATA  |                               |                   |                  |
| Multipoint BET.....  | 7.779E+01                     | m <sup>2</sup> /g |                  |
| Langmuir Surface Area.....   | 1.182E+02                     | m <sup>2</sup> /g |                  |
| t-Method External Surface Area.....  | 5.207E+01                     | m <sup>2</sup> /g |                  |
| t-Method Micro Pore Surface Area.....  | 2.571E+01                     | m <sup>2</sup> /g |                  |
| DR Method Micro Pore Area.....   | 1.098E+02                     | m <sup>2</sup> /g |                  |
| PORE VOLUME DATA   |                               |                   |                  |
| t-Method Micro Pore Volume.....  | 1.350E-02                     | cc/g              |                  |
| DR Method Micro Pore Volume.....   | 3.903E-02                     | cc/g              |                  |
| HK Method Cumulative Pore Volume.....  | 3.492E-02                     | cc/g              |                  |
| SF Method Cumulative Pore Volume.....  | 3.542E-02                     | cc/g              |                  |
| PORE SIZE DATA   |                               |                   |                  |
| DR Method Micro Pore Width.....  | 6.714E+01                     | Å                 |                  |
| DA Method Pore Diameter (Mode).....  | 1.740E+01                     | Å                 |                  |
| <del>DR Method Pore Width (Mode)</del> .....   | <del>1.373E+01</del>          | <del>Å</del>      |                  |
| SF Method Pore Diameter (Mode).....  | 2.584E+01                     | Å                 |                  |
| DATA REDUCTION PARAMETERS  |                               |                   |                  |
| Thermal Transpiration : OFF  |                               |                   |                  |
| Last Pc Acquired 749.69 mm Hg  |                               |                   |                  |
| Additional Initialization Information Not Recorded.  |                               |                   |                  |
| BJH/DK Moving Average Size : 1   |                               |                   |                  |
| Interaction Constant (K) 2.9600 cm <sup>3</sup> x kJ/mol   |                               |                   |                  |

## Katalis Pd/C

Date: 03/30/2012

Page 1

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

|                |                               |             |          |               |                  |
|----------------|-------------------------------|-------------|----------|---------------|------------------|
| Sample ID      | Pd/C                          |             |          |               |                  |
| Description    | gita                          |             |          |               |                  |
| Comments       |                               |             |          |               |                  |
| Sample Weight  | 0.5177 g                      |             |          |               |                  |
| Adsorbate      | NITROGEN                      | Outgas Temp | 150.0 °C | Operator      | Jajat            |
| Cross-Sec Area | 16.2 Å <sup>2</sup> /molecule | Outgas Time | 2.0 hrs  | Analysis Time | 72.6 min         |
| NonIdeality    | 6.580E-05                     | P/Po Toler  | 3        | End of Run    | 03/29/2012 16:51 |
| Molecular Wt   | 28.0134 g/mol                 | Equil Time  | 2        | File Name     | AS977843.RAW     |
| Station #      | 4                             | Bath Temp.  | 77.40    | PC SW Version | Pre-1.20         |

## AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

## SURFACE AREA DATA

|                                       |           |                   |
|---------------------------------------|-----------|-------------------|
| Multipoint BET.....                   | 2.587E+02 | m <sup>2</sup> /g |
| Single Point BET.....                 | 2.568E+02 | m <sup>2</sup> /g |
| Langmuir Surface Area.....            | 3.905E+02 | m <sup>2</sup> /g |
| t-Method External Surface Area.....   | 1.749E+02 | m <sup>2</sup> /g |
| t-Method Micro Pore Surface Area..... | 8.377E+01 | m <sup>2</sup> /g |
| DR Method Micro Pore Area.....        | 3.610E+02 | m <sup>2</sup> /g |

## PORE VOLUME DATA

|                                       |           |      |
|---------------------------------------|-----------|------|
| t-Method Micro Pore Volume.....       | 4.328E-02 | cc/g |
| DR Method Micro Pore Volume.....      | 1.283E-01 | cc/g |
| HK Method Cumulative Pore Volume..... | 1.148E-01 | cc/g |
| SF Method Cumulative Pore Volume..... | 1.165E-01 | cc/g |

## PORE SIZE DATA

|                                     |           |   |
|-------------------------------------|-----------|---|
| DR Method Micro Pore Width .....    | 8.679E+01 | Å |
| DA Method Pore Diameter (Mode)..... | 1.780E+01 | Å |
| HK Method Pore Width (Mode).....    | 1.383E+01 | Å |
| SF Method Pore Diameter (Mode)..... | 2.593E+01 | Å |

## DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
 Last Po Acquired 767.53 mm Hg  
 Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol

## Lampiran 4 Hasil Karakterisasi XRD

- Katalis NiMo/C

Group : 0506  
Data : G-NiMoC

| # Strongest 3 peaks |          |              |         |      |            |                    |                         |
|---------------------|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|
| no.                 | peak no. | 2Theta (deg) | d (Å)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) |
| 1                   | 5        | 25.6922      | 3.46462 | 100  | 0.12900    | 4567               | 28159                   |
| 2                   | 1        | 12.7883      | 6.91674 | 35   | 0.11900    | 1609               | 11502                   |
| 3                   | 15       | 38.9780      | 2.30887 | 33   | 0.14980    | 1500               | 13729                   |

| # Peak Data List |              |         |      |            |                    |                         |  |
|------------------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|--|
| peak no.         | 2Theta (deg) | d (Å)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) |  |
| 1                | 12.7883      | 6.91674 | 35   | 0.11900    | 1609               | 11502                   |  |
| 2                | 14.2969      | 6.19010 | 8    | 0.17570    | 354                | 4027                    |  |
| 3                | 23.3390      | 3.80835 | 17   | 0.14270    | 778                | 7589                    |  |
| 4                | 25.3800      | 3.50653 | 9    | 0.30520    | 428                | 7978                    |  |
| 5                | 25.6922      | 3.46462 | 100  | 0.12900    | 4567               | 28159                   |  |
| 6                | 25.9800      | 3.42689 | 10   | 0.27280    | 466                | 8715                    |  |
| 7                | 26.6991      | 3.33620 | 4    | 0.21270    | 175                | 1957                    |  |
| 8                | 27.3236      | 3.26135 | 15   | 0.15350    | 667                | 5707                    |  |
| 9                | 28.8220      | 3.09512 | 17   | 0.18710    | 770                | 8999                    |  |
| 10               | 32.5800      | 2.74618 | 8    | 0.29860    | 356                | 5346                    |  |
| 11               | 32.8200      | 2.72664 | 7    | 0.22260    | 318                | 3312                    |  |
| 12               | 33.1177      | 2.70281 | 4    | 0.13790    | 162                | 1232                    |  |
| 13               | 33.7858      | 2.65087 | 4    | 0.19360    | 186                | 2362                    |  |
| 14               | 36.9821      | 2.42877 | 4    | 0.32430    | 164                | 4432                    |  |
| 15               | 38.9780      | 2.30887 | 33   | 0.14980    | 1500               | 13729                   |  |

$$d = K \cdot \frac{\lambda}{\left( \frac{FWHM(\text{deg})}{2} \times \frac{\pi}{180} \right) \cos\left( \frac{FWHM(2\theta)}{2} \right)}$$

$$d = 0,89 \cdot \frac{0,154\text{nm}}{\left( 0,129 \times \frac{\pi}{180} \right) \cos\left( \frac{25,6922}{2} \right)}$$

$$d = 67,15\text{nm}$$

Di rata-rata dengan 3 peak tertinggi sehingga  $d = 66,2 \text{ nm}$

- Katalis Pd/C

Group : 0506  
Data : G-PdC

## # Strongest 3 peaks

| no. | peak no. | 2Theta (deg) | d (Å)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) |
|-----|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|
| 1   | 1        | 28.3476      | 3.14583 | 100  | 0.16580    | 2802               | 24850                   |
| 2   | 2        | 40.1293      | 2.24525 | 67   | 0.16300    | 1890               | 17590                   |
| 3   | 3        | 40.5494      | 2.22295 | 41   | 0.16400    | 1137               | 10458                   |

## # Peak Data List

| peak no. | 2Theta (deg) | d (Å)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) |
|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|
| 1        | 28.3476      | 3.14583 | 100  | 0.16580    | 2802               | 24850                   |
| 2        | 40.1293      | 2.24525 | 67   | 0.16300    | 1890               | 17590                   |
| 3        | 40.5494      | 2.22295 | 41   | 0.16400    | 1137               | 10458                   |
| 4        | 46.6703      | 1.94467 | 29   | 0.17930    | 807                | 8649                    |
| 5        | 50.2212      | 1.81517 | 10   | 0.18290    | 292                | 3151                    |
| 6        | 58.6831      | 1.57199 | 8    | 0.14970    | 236                | 1970                    |
| 7        | 66.4267      | 1.40628 | 9    | 0.18970    | 264                | 2887                    |
| 8        | 68.1379      | 1.37507 | 16   | 0.18640    | 446                | 4934                    |
| 9        | 73.7509      | 1.28367 | 5    | 0.19690    | 147                | 1733                    |

$$d = K \cdot \frac{\lambda}{\left( \frac{FWHM(\text{deg})}{2} \times \frac{\pi}{180} \right) \cos\left( \frac{FWHM(2\theta)}{2} \right)}$$

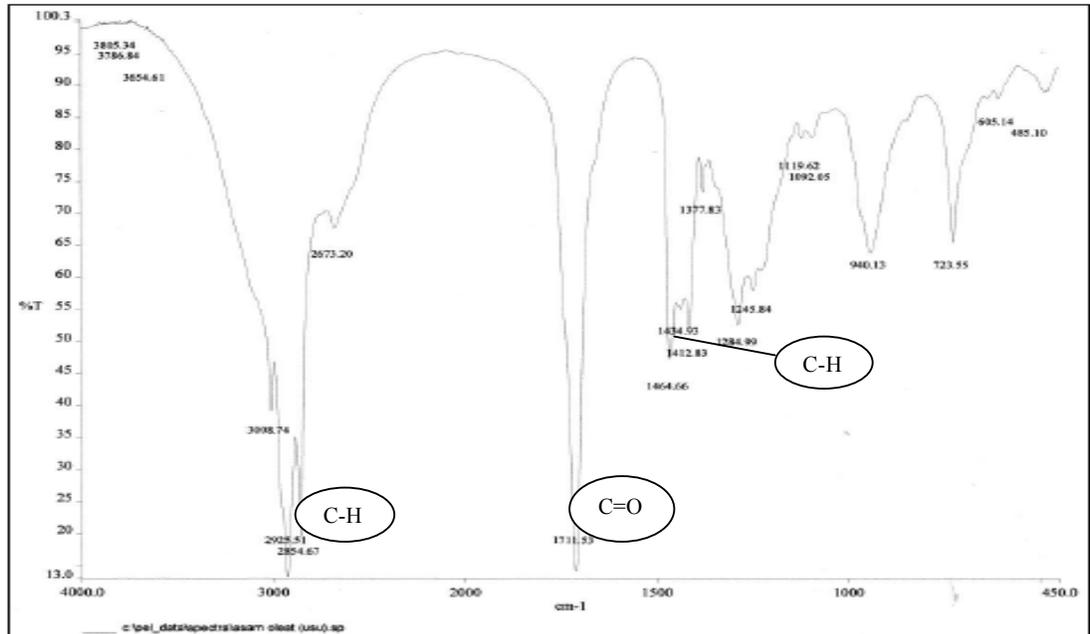
$$d = 0,89 \cdot \frac{0,154\text{nm}}{\left( 0,1658 \times \frac{\pi}{180} \right) \cos\left( \frac{28,3476}{2} \right)}$$

$$d = 48,87\text{nm}$$

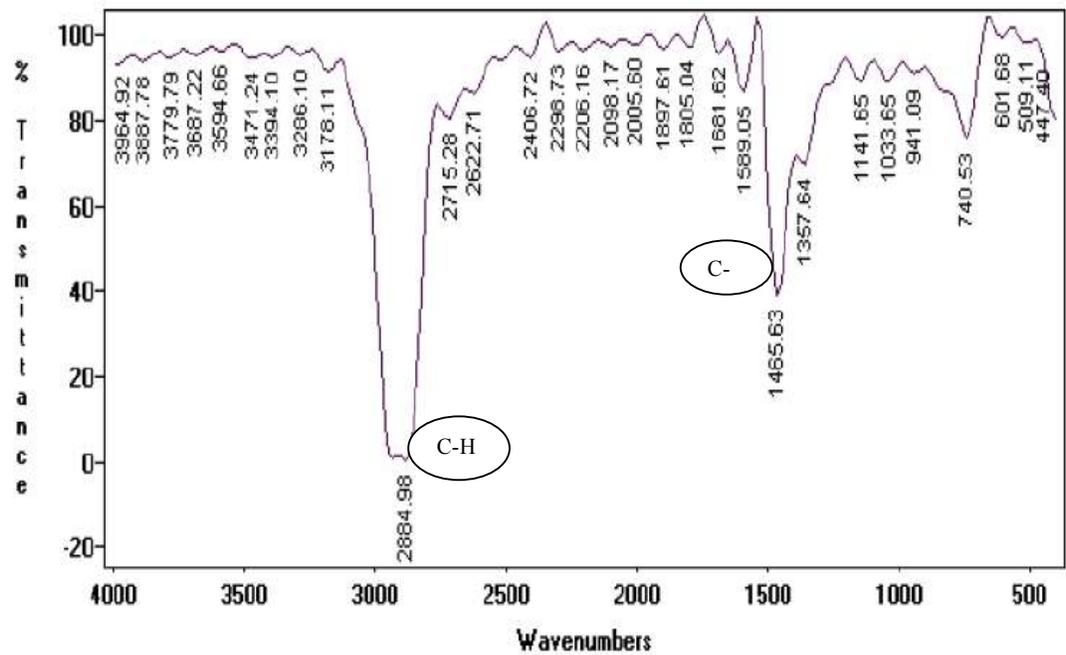
Di rata-rata dengan 3 peak tertinggi sehingga  $d = 50,4 \text{ nm}$

## Lampiran 5 Hasil Spektrum FT-IR

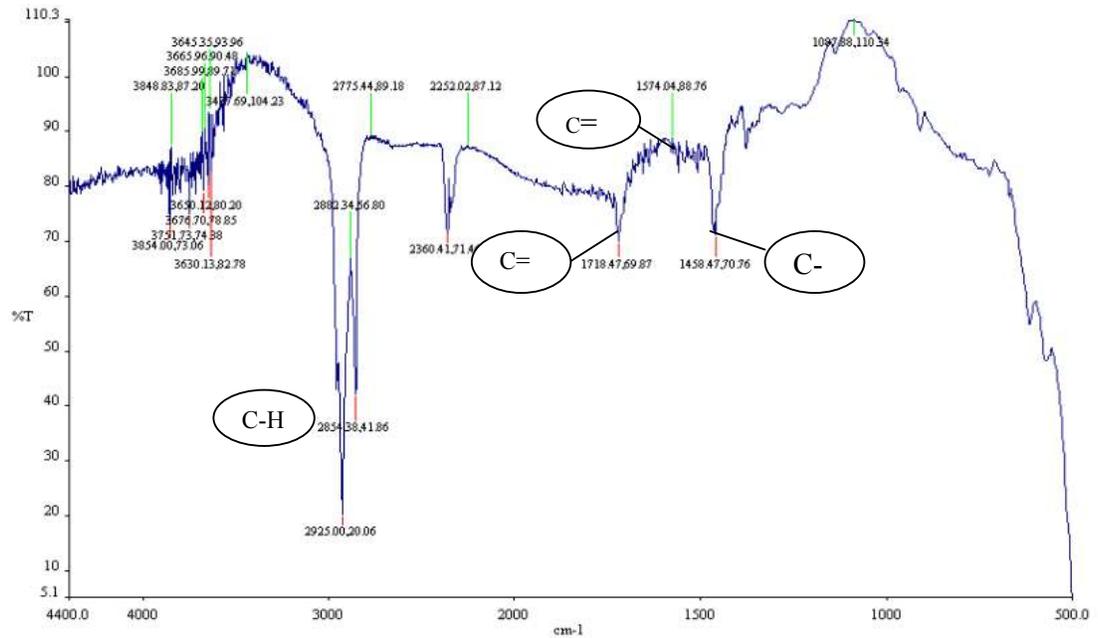
- Spektrum FT-IR Asam Oleat



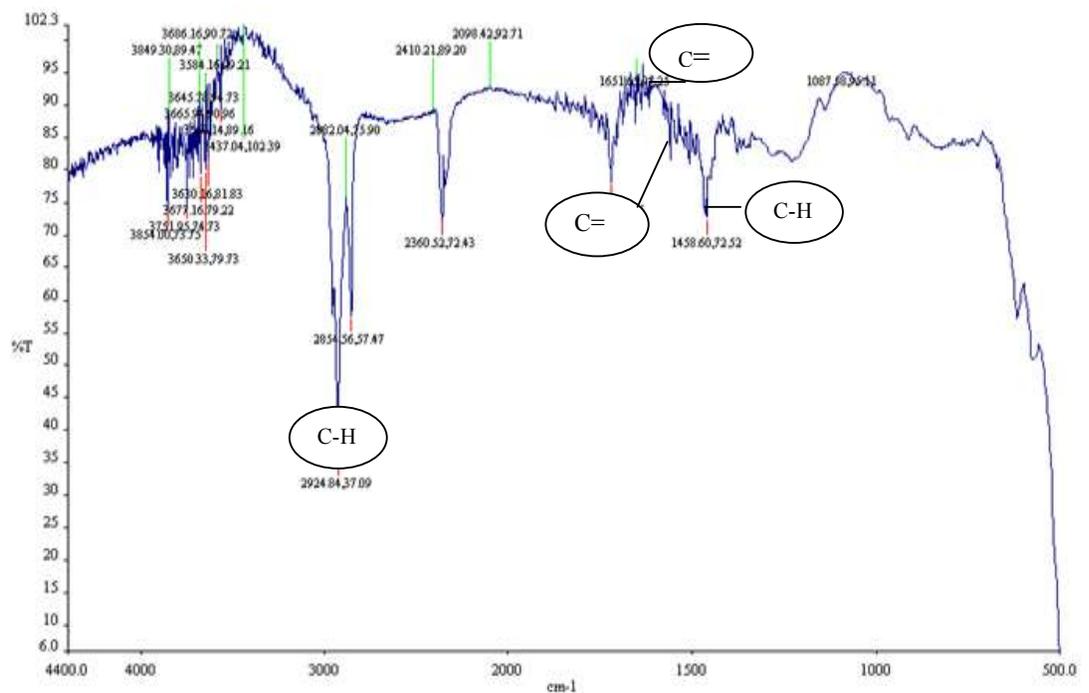
- Spektrum FT-IR Solar Komersial



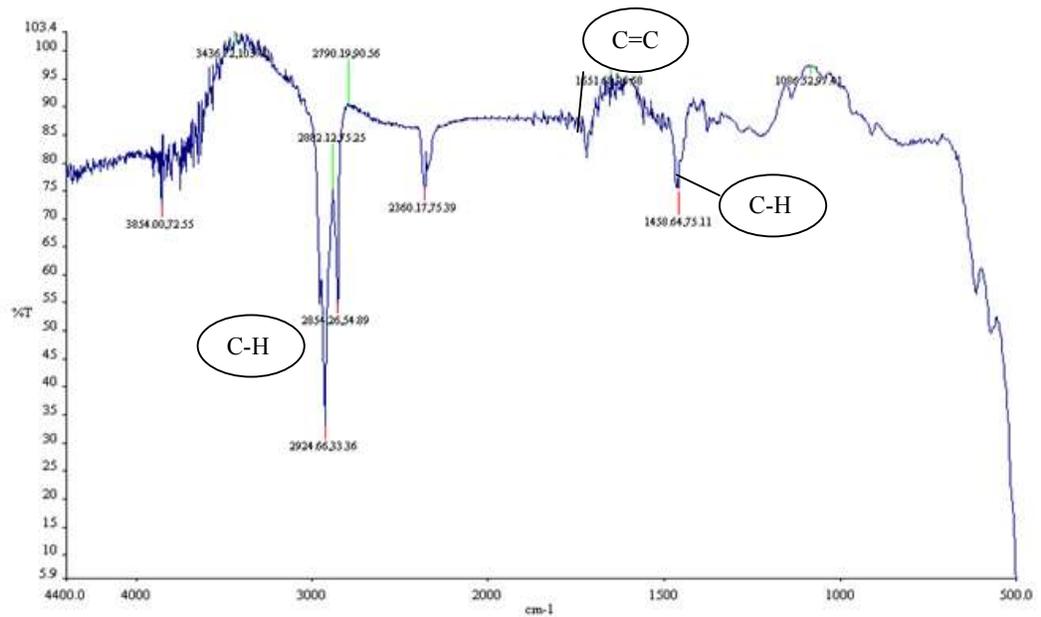
• **Sampel 1 (katalis NiMo/C pada tekanan 9 bar)**



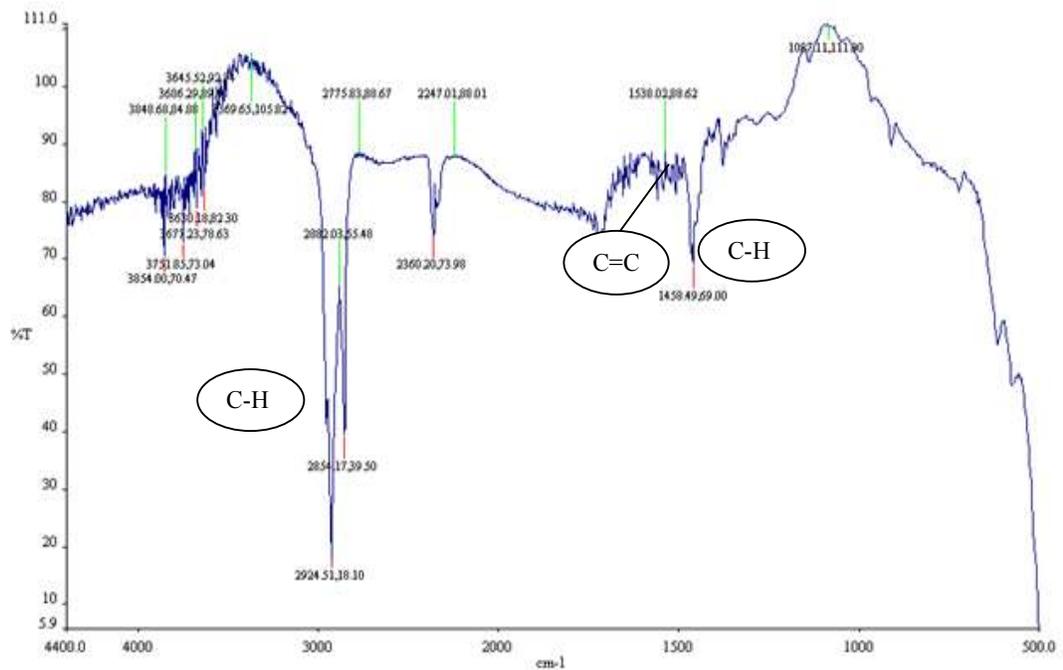
• **Sampel 2 (katalis NiMo/C pada tekanan 15 bar)**



- **Sampel 3 (katalis Pd/C pada tekanan 9 bar)**



- **Sampel 4 (katalis Pd/C pada tekanan 15 bar)**



## Lampiran 6

### Hasil GC-FID

- Sampel 1 (katalis NiMo/C pada tekanan 9 bar)

COMPANY :  
COMPOSITIONAL ANALYSIS  
by Liquid Chromatography

STOCK TANK SAMPLE Transfer File Nimo 9 Bar,

| Component |                        | Stock Tank Liquid |         | Total Fluid |       | Component Properties |                            |
|-----------|------------------------|-------------------|---------|-------------|-------|----------------------|----------------------------|
|           |                        | Wt %              | Mol %   | Wt %        | Mol % | MW gm/mol            | Density gm/cm <sup>3</sup> |
| N2        | Nitrogen               | 0.000             | 0.000   |             |       | 28.01                | 0.8086                     |
| CO2       | Carbon Dioxide         | 0.000             | 0.000   |             |       | 44.01                | 0.8172                     |
| H2S       | Hydrogen Sulfide       | 0.000             | 0.000   |             |       | 34.08                | 0.8006                     |
| C1        | Methane                | 0.000             | 0.000   |             |       | 16.04                | 0.2997                     |
| C2        | Ethane                 | 0.009             | 0.062   |             |       | 30.07                | 0.3558                     |
| C3        | Propane                | 0.069             | 0.335   |             |       | 44.10                | 0.5065                     |
| iC4       | iso-Butane             | 0.003             | 0.012   |             |       | 58.12                | 0.5623                     |
| nC4       | n-Butane               | 0.197             | 0.732   |             |       | 58.12                | 0.5834                     |
| neoC5     | Neo-pentane            | 0.009             | 0.028   |             |       | 72.15                | 0.5968                     |
| iC5       | iso-Pentane            | 0.026             | 0.077   |             |       | 72.15                | 0.6238                     |
| nC5       | n-Pentane              | 0.443             | 1.323   |             |       | 72.15                | 0.6305                     |
| C6        | Hexanes                | 1.204             | 3.009   |             |       | 86.18                | 0.6631                     |
| MCP       | Methyl Cyclo Pentane   | 0.058             | 0.149   |             |       | 84.16                | 0.7533                     |
| BZ        | Benzene                | 0.138             | 0.382   |             |       | 78.11                | 0.8820                     |
| CH        | Cyclohexane            | 0.076             | 0.195   |             |       | 84.16                | 0.7827                     |
| C7        | Heptanes               | 1.657             | 3.563   |             |       | 100.20               | 0.6875                     |
| MCH       | Methyl Cyclo Hexane    | 0.156             | 0.343   |             |       | 98.19                | 0.7740                     |
| TOL       | Toluene                | 0.151             | 0.353   |             |       | 92.14                | 0.8734                     |
| C8        | Octanes                | 2.165             | 4.084   |             |       | 114.23               | 0.7063                     |
| EBZ       | Ethyl Benzene          | 0.168             | 0.342   |             |       | 106.17               | 0.8735                     |
| MPX       | Methyl+Para Xylene     | 0.108             | 0.220   |             |       | 106.17               | 0.8671                     |
| O-X       | Ortho Xylene           | 0.756             | 1.535   |             |       | 106.17               | 0.8840                     |
| C9        | Nonanes                | 1.490             | 2.504   |             |       | 128.26               | 0.7212                     |
| IPBZ      | Iso-Propyl benzene     | 0.097             | 0.174   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| NPBZ      | n-Propyl benzene       | 0.188             | 0.337   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| 124TB     | 1,2,4-Trimethylbenzene | 0.639             | 1.145   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| C10       | Decanes                | 1.602             | 2.425   |             |       | 142.28               | 0.7335                     |
| C11       | Undecanes              | 2.932             | 4.298   |             |       | 147.00               | 0.7890                     |
| C12       | Dodecanes              | 3.440             | 4.604   |             |       | 161.00               | 0.8000                     |
| C13       | Tridecanes             | 3.932             | 4.842   |             |       | 175.00               | 0.8110                     |
| C14       | Tetradecanes           | 4.350             | 4.934   |             |       | 190.00               | 0.8220                     |
| C15       | Pentadecanes           | 6.425             | 6.721   |             |       | 206.00               | 0.8320                     |
| C16       | Hexadecanes            | 6.456             | 6.266   |             |       | 222.00               | 0.8390                     |
| C17       | Heptadecanes           | 10.199            | 9.270   |             |       | 237.00               | 0.8470                     |
| C18       | Octadecanes            | 7.391             | 6.345   |             |       | 251.00               | 0.8520                     |
| C19       | Nonadecanes            | 5.232             | 4.287   |             |       | 263.00               | 0.8570                     |
| C20       | Eicosanes              | 5.075             | 3.976   |             |       | 275.00               | 0.8620                     |
| C21       | Heneicosanes           | 5.119             | 3.791   |             |       | 291.00               | 0.8670                     |
| C22       | Docosanes              | 5.101             | 3.604   |             |       | 305.00               | 0.8720                     |
| C23       | Tricosanes             | 4.017             | 2.722   |             |       | 318.00               | 0.8770                     |
| C24       | Tetracosanes           | 3.668             | 2.388   |             |       | 331.00               | 0.8810                     |
| C25       | Pentacosanes           | 3.147             | 1.966   |             |       | 345.00               | 0.8850                     |
| C26       | Hexacosanes            | 2.995             | 1.798   |             |       | 359.00               | 0.8890                     |
| C27       | Heptacosanes           | 2.311             | 1.332   |             |       | 374.00               | 0.8930                     |
| C28       | Octacosanes            | 1.902             | 1.056   |             |       | 388.00               | 0.8960                     |
| C29       | Nonacosanes            | 1.390             | 0.745   |             |       | 402.00               | 0.8990                     |
| C30       | triacontanes           | 1.163             | 0.602   |             |       | 416.00               | 0.9020                     |
| C31       | hentriacontanes        | 0.799             | 0.400   |             |       | 430.00               | 0.9060                     |
| C32       | dotriacontanes         | 0.532             | 0.258   |             |       | 444.00               | 0.9090                     |
| C33       | tritriacontanes        | 0.420             | 0.198   |             |       | 458.00               | 0.9120                     |
| C34       | tetratriacontanes      | 0.293             | 0.134   |             |       | 472.00               | 0.9140                     |
| C35       | pentatriacontanes      | 0.302             | 0.134   |             |       | 486.00               | 0.9170                     |
| C36+      | Hexatriacontanes plus  | 0.000             | 0.000   |             |       | 0.00                 | 0.0000                     |
|           | Total                  | 100.000           | 100.000 |             |       |                      |                            |

- Sampel 2 (katalis NiMo/C pada tekanan 9 bar)

COMPANY :  
COMPOSITIONAL ANALYSIS  
by Liquid Chromatography

**Transfer File**

STOCK TANK SAMPLE Nimo 15 Bar ,

| Component<br>Liquid (Stk Tank) |                        | Stock Tank Liquid |         | Total Fluid |       | Component Properties |                            |
|--------------------------------|------------------------|-------------------|---------|-------------|-------|----------------------|----------------------------|
|                                |                        | Wt %              | Mol %   | Wt %        | Mol % | MW gm/mol            | Density gm/cm <sup>3</sup> |
| N2                             | Nitrogen               | 0.000             | 0.000   |             |       | 28.01                | 0.8086                     |
| CO2                            | Carbon Dioxide         | 0.000             | 0.000   |             |       | 44.01                | 0.8172                     |
| H2S                            | Hydrogen Sulfide       | 0.000             | 0.000   |             |       | 34.08                | 0.8006                     |
| C1                             | Methane                | 0.000             | 0.000   |             |       | 16.04                | 0.2997                     |
| C2                             | Ethane                 | 0.002             | 0.018   |             |       | 30.07                | 0.3558                     |
| C3                             | Propane                | 0.029             | 0.154   |             |       | 44.10                | 0.5065                     |
| iC4                            | iso-Butane             | 0.002             | 0.008   |             |       | 58.12                | 0.5623                     |
| nC4                            | n-Butane               | 0.111             | 0.439   |             |       | 58.12                | 0.5834                     |
| neoC5                          | Neo-pentane            | 0.008             | 0.024   |             |       | 72.15                | 0.5968                     |
| iC5                            | iso-Pentane            | 0.015             | 0.048   |             |       | 72.15                | 0.6238                     |
| nC5                            | n-Pentane              | 0.235             | 0.753   |             |       | 72.15                | 0.6305                     |
| C6                             | Hexanes                | 0.869             | 2.327   |             |       | 86.18                | 0.6631                     |
| MCP                            | Methyl Cyclo Pentane   | 0.047             | 0.128   |             |       | 84.16                | 0.7533                     |
| BZ                             | Benzene                | 0.109             | 0.321   |             |       | 78.11                | 0.8820                     |
| CH                             | Cyclohexane            | 0.055             | 0.150   |             |       | 84.16                | 0.7827                     |
| C7                             | Heptanes               | 1.230             | 2.832   |             |       | 100.20               | 0.6875                     |
| MCH                            | Methyl Cyclo Hexane    | 0.088             | 0.207   |             |       | 98.19                | 0.7740                     |
| TOL                            | Toluene                | 0.107             | 0.268   |             |       | 92.14                | 0.8734                     |
| C8                             | Octanes                | 1.678             | 3.389   |             |       | 114.23               | 0.7063                     |
| EBZ                            | Ethyl Benzene          | 0.138             | 0.300   |             |       | 106.17               | 0.8735                     |
| MPX                            | Methyl+Para Xylene     | 0.072             | 0.156   |             |       | 106.17               | 0.8671                     |
| O-X                            | Ortho Xylene           | 0.578             | 1.256   |             |       | 106.17               | 0.8840                     |
| C9                             | Nonanes                | 1.202             | 2.163   |             |       | 128.26               | 0.7212                     |
| IPBZ                           | Iso-Propyl benzene     | 0.085             | 0.163   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| NPBZ                           | n-Propyl benzene       | 0.160             | 0.306   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| 124TB                          | 1,2,4-Trimethylbenzene | 0.470             | 0.902   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| C10                            | Decanes                | 1.446             | 2.345   |             |       | 142.28               | 0.7335                     |
| C11                            | Undecanes              | 2.698             | 4.234   |             |       | 147.00               | 0.7890                     |
| C12                            | Dodecanes              | 3.194             | 4.577   |             |       | 161.00               | 0.8000                     |
| C13                            | Tridecanes             | 3.603             | 4.750   |             |       | 175.00               | 0.8110                     |
| C14                            | Tetradecanes           | 3.994             | 4.850   |             |       | 190.00               | 0.8220                     |
| C15                            | Pentadecanes           | 5.918             | 6.628   |             |       | 206.00               | 0.8320                     |
| C16                            | Hexadecanes            | 5.521             | 5.738   |             |       | 222.00               | 0.8390                     |
| C17                            | Heptadecanes           | 9.949             | 9.688   |             |       | 237.00               | 0.8470                     |
| C18                            | Octadecanes            | 6.683             | 6.143   |             |       | 251.00               | 0.8520                     |
| C19                            | Nonadecanes            | 4.603             | 4.038   |             |       | 263.00               | 0.8570                     |
| C20                            | Eicosanes              | 4.316             | 3.621   |             |       | 275.00               | 0.8620                     |
| C21                            | Heneicosanes           | 5.069             | 4.019   |             |       | 291.00               | 0.8670                     |
| C22                            | Docosanes              | 4.564             | 3.453   |             |       | 305.00               | 0.8720                     |
| C23                            | Tricosanes             | 4.933             | 3.579   |             |       | 318.00               | 0.8770                     |
| C24                            | Tetracosanes           | 4.020             | 2.802   |             |       | 331.00               | 0.8810                     |
| C25                            | Pentacosanes           | 3.771             | 2.522   |             |       | 345.00               | 0.8850                     |
| C26                            | Hexacosanes            | 3.795             | 2.439   |             |       | 359.00               | 0.8890                     |
| C27                            | Heptacosanes           | 3.179             | 1.961   |             |       | 374.00               | 0.8930                     |
| C28                            | Octacosanes            | 2.881             | 1.713   |             |       | 388.00               | 0.8960                     |
| C29                            | Nonacosanes            | 2.173             | 1.247   |             |       | 402.00               | 0.8990                     |
| C30                            | triacontanes           | 1.921             | 1.066   |             |       | 416.00               | 0.9020                     |
| C31                            | hentriacontanes        | 1.235             | 0.663   |             |       | 430.00               | 0.9060                     |
| C32                            | dotriacontanes         | 0.930             | 0.483   |             |       | 444.00               | 0.9090                     |
| C33                            | trtriacontanes         | 0.769             | 0.388   |             |       | 458.00               | 0.9120                     |
| C34                            | tetratriacontanes      | 0.732             | 0.358   |             |       | 472.00               | 0.9140                     |
| C35                            | pentatriacontanes      | 0.575             | 0.273   |             |       | 486.00               | 0.9170                     |
| C36+                           | hexatriacontanes plus  | 0.238             | 0.110   |             |       | 500.00               | 0.9190                     |
|                                | Total                  | 100.000           | 100.000 |             |       |                      |                            |

- Sampel 3 (Katalis Pd/C 9 bar)

**COMPANY :**  
**COMPOSITIONAL ANALYSIS**  
by Liquid Chromatography

STOCK TANK SAMPLE

Transfer File

Pdc 9 Bar ,

| Component<br>Liquid (Stk Tank) |                        | Stock Tank Liquid |         | Total Fluid |       | Component Properties |                            |
|--------------------------------|------------------------|-------------------|---------|-------------|-------|----------------------|----------------------------|
|                                |                        | Wt %              | Mol %   | Wt %        | Mol % | MW gm/mol            | Density gm/cm <sup>3</sup> |
| N2                             | Nitrogen               | 0.000             | 0.000   |             |       | 28.01                | 0.8086                     |
| CO2                            | Carbon Dioxide         | 0.000             | 0.000   |             |       | 44.01                | 0.8172                     |
| H2S                            | Hydrogen Sulfide       | 0.000             | 0.000   |             |       | 34.08                | 0.8006                     |
| C1                             | Methane                | 0.000             | 0.000   |             |       | 16.04                | 0.2997                     |
| C2                             | Ethane                 | 0.001             | 0.010   |             |       | 30.07                | 0.3558                     |
| C3                             | Propane                | 0.019             | 0.094   |             |       | 44.10                | 0.5065                     |
| iC4                            | iso-Butane             | 0.001             | 0.004   |             |       | 58.12                | 0.5623                     |
| nC4                            | n-Butane               | 0.095             | 0.359   |             |       | 58.12                | 0.5834                     |
| neoC5                          | Neo-pentane            | 0.003             | 0.008   |             |       | 72.15                | 0.5968                     |
| iC5                            | iso-Pentane            | 0.012             | 0.037   |             |       | 72.15                | 0.6238                     |
| nC5                            | n-Pentane              | 0.186             | 0.567   |             |       | 72.15                | 0.6305                     |
| C6                             | Hexanes                | 0.590             | 1.508   |             |       | 86.18                | 0.6631                     |
| MCP                            | Methyl Cyclo Pentane   | 0.041             | 0.107   |             |       | 84.16                | 0.7533                     |
| BZ                             | Benzene                | 0.105             | 0.295   |             |       | 78.11                | 0.8820                     |
| CH                             | Cyclohexane            | 0.046             | 0.121   |             |       | 84.16                | 0.7827                     |
| C7                             | Heptanes               | 0.984             | 2.164   |             |       | 100.20               | 0.6875                     |
| MCH                            | Methyl Cyclo Hexane    | 0.118             | 0.266   |             |       | 98.19                | 0.7740                     |
| TOL                            | Toluene                | 0.137             | 0.327   |             |       | 92.14                | 0.8734                     |
| C8                             | Octanes                | 1.435             | 2.768   |             |       | 114.23               | 0.7063                     |
| EBZ                            | Ethyl Benzene          | 0.136             | 0.281   |             |       | 106.17               | 0.8735                     |
| MPX                            | Methyl+Para Xylene     | 0.087             | 0.181   |             |       | 106.17               | 0.8671                     |
| O-X                            | Ortho Xylene           | 0.537             | 1.115   |             |       | 106.17               | 0.8840                     |
| C9                             | Nonanes                | 1.124             | 1.930   |             |       | 128.26               | 0.7212                     |
| IPBZ                           | Iso-Propyl benzene     | 0.090             | 0.165   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| NPBZ                           | n-Propyl benzene       | 0.051             | 0.094   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| 124TB                          | 1,2,4-Trimethylbenzene | 0.486             | 0.891   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| C10                            | Decanes                | 1.614             | 2.501   |             |       | 142.28               | 0.7335                     |
| C11                            | Undecanes              | 3.213             | 4.817   |             |       | 147.00               | 0.7890                     |
| C12                            | Dodecanes              | 4.023             | 5.506   |             |       | 161.00               | 0.8000                     |
| C13                            | Tridecanes             | 4.670             | 5.881   |             |       | 175.00               | 0.8110                     |
| C14                            | Tetradecanes           | 5.224             | 6.059   |             |       | 190.00               | 0.8220                     |
| C15                            | Pentadecanes           | 7.986             | 8.542   |             |       | 206.00               | 0.8320                     |
| C16                            | Hexadecanes            | 7.420             | 7.365   |             |       | 222.00               | 0.8390                     |
| C17                            | Heptadecanes           | 12.552            | 11.672  |             |       | 237.00               | 0.8470                     |
| C18                            | Octadecanes            | 8.261             | 7.253   |             |       | 251.00               | 0.8520                     |
| C19                            | Nonadecanes            | 5.044             | 4.226   |             |       | 263.00               | 0.8570                     |
| C20                            | Eicosanes              | 5.072             | 4.064   |             |       | 275.00               | 0.8620                     |
| C21                            | Heneicosanes           | 4.615             | 3.495   |             |       | 291.00               | 0.8670                     |
| C22                            | Docosanes              | 4.708             | 3.402   |             |       | 305.00               | 0.8720                     |
| C23                            | Tricosanes             | 3.742             | 2.593   |             |       | 318.00               | 0.8770                     |
| C24                            | Tetracosanes           | 3.167             | 2.109   |             |       | 331.00               | 0.8810                     |
| C25                            | Pentacosanes           | 2.805             | 1.792   |             |       | 345.00               | 0.8850                     |
| C26                            | Hexacosanes            | 2.483             | 1.524   |             |       | 359.00               | 0.8890                     |
| C27                            | Heptacosanes           | 2.023             | 1.192   |             |       | 374.00               | 0.8930                     |
| C28                            | Octacosanes            | 1.525             | 0.866   |             |       | 388.00               | 0.8960                     |
| C29                            | Nonacosanes            | 1.381             | 0.757   |             |       | 402.00               | 0.8990                     |
| C30                            | triacontanes           | 0.548             | 0.290   |             |       | 416.00               | 0.9020                     |
| C31                            | hentriacontanes        | 0.547             | 0.280   |             |       | 430.00               | 0.9060                     |
| C32                            | dotriacontanes         | 0.376             | 0.187   |             |       | 444.00               | 0.9090                     |
| C33                            | tritriacontanes        | 0.337             | 0.162   |             |       | 458.00               | 0.9120                     |
| C34                            | tetratriacontanes      | 0.118             | 0.055   |             |       | 472.00               | 0.9140                     |
| C35                            | pentatriacontanes      | 0.188             | 0.085   |             |       | 486.00               | 0.9170                     |
| C36+                           | Hexatriacontanes plus  | 0.074             | 0.033   |             |       | 500.00               | 0.9190                     |
|                                | Total                  | 100.000           | 100.000 |             |       |                      |                            |

\

- Sampel 4 (Katalis Pd/C 15 bar)

**COMPANY :**  
**COMPOSITIONAL ANALYSIS**  
by Liquid Chromatography

**STOCK TANK SAMPLE**      **Transfer File**      **Pdc 15 Bar,**

| Component<br>Liquid (Stk Tank) |                        | Stock Tank Liquid |         | Total Fluid |       | Component Properties |                            |
|--------------------------------|------------------------|-------------------|---------|-------------|-------|----------------------|----------------------------|
|                                |                        | Wt %              | Mol %   | Wt %        | Mol % | MW gm/mol            | Density gm/cm <sup>3</sup> |
| N2                             | Nitrogen               | 0.000             | 0.000   |             |       | 28.01                | 0.8086                     |
| CO2                            | Carbon Dioxide         | 0.000             | 0.000   |             |       | 44.01                | 0.8172                     |
| H2S                            | Hydrogen Sulfide       | 0.000             | 0.000   |             |       | 34.08                | 0.8006                     |
| C1                             | Methane                | 0.000             | 0.000   |             |       | 16.04                | 0.2997                     |
| C2                             | Ethane                 | 0.004             | 0.029   |             |       | 30.07                | 0.3558                     |
| C3                             | Propane                | 0.038             | 0.190   |             |       | 44.10                | 0.5065                     |
| iC4                            | iso-Butane             | 0.002             | 0.008   |             |       | 58.12                | 0.5623                     |
| nC4                            | n-Butane               | 0.114             | 0.430   |             |       | 58.12                | 0.5834                     |
| neoC5                          | Neo-pentane            | 0.006             | 0.019   |             |       | 72.15                | 0.5968                     |
| iC5                            | iso-Pentane            | 0.013             | 0.040   |             |       | 72.15                | 0.6238                     |
| nC5                            | n-Pentane              | 0.231             | 0.705   |             |       | 72.15                | 0.6305                     |
| C6                             | Hexanes                | 0.945             | 2.411   |             |       | 86.18                | 0.6631                     |
| MCP                            | Methyl Cyclo Pentane   | 0.027             | 0.071   |             |       | 84.16                | 0.7533                     |
| BZ                             | Benzene                | 0.137             | 0.386   |             |       | 78.11                | 0.8820                     |
| CH                             | Cyclohexane            | 0.036             | 0.095   |             |       | 84.16                | 0.7827                     |
| C7                             | Heptanes               | 1.311             | 2.877   |             |       | 100.20               | 0.6875                     |
| MCH                            | Methyl Cyclo Hexane    | 0.149             | 0.334   |             |       | 98.19                | 0.7740                     |
| TOL                            | Toluene                | 0.155             | 0.369   |             |       | 92.14                | 0.8734                     |
| C8                             | Octanes                | 1.819             | 3.502   |             |       | 114.23               | 0.7063                     |
| EBZ                            | Ethyl Benzene          | 0.163             | 0.338   |             |       | 106.17               | 0.8735                     |
| MPX                            | Methyl+Para Xylene     | 0.089             | 0.184   |             |       | 106.17               | 0.8671                     |
| O-X                            | Ortho Xylene           | 0.639             | 1.324   |             |       | 106.17               | 0.8840                     |
| C9                             | Nonanes                | 1.288             | 2.208   |             |       | 128.26               | 0.7212                     |
| IPBZ                           | Iso-Propyl benzene     | 0.084             | 0.154   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| NPBZ                           | n-Propyl benzene       | 0.075             | 0.137   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| 124TB                          | 1,2,4-Trimethylbenzene | 0.582             | 1.064   |             |       | 120.19               | 0.8797                     |
| C10                            | Decanes                | 1.561             | 2.412   |             |       | 142.28               | 0.7335                     |
| C11                            | Undecanes              | 2.845             | 4.255   |             |       | 147.00               | 0.7890                     |
| C12                            | Dodecanes              | 3.479             | 4.752   |             |       | 161.00               | 0.8000                     |
| C13                            | Tridecanes             | 4.052             | 5.091   |             |       | 175.00               | 0.8110                     |
| C14                            | Tetradecanes           | 4.684             | 5.421   |             |       | 190.00               | 0.8220                     |
| C15                            | Pentadecanes           | 6.801             | 7.259   |             |       | 206.00               | 0.8320                     |
| C16                            | Hexadecanes            | 6.745             | 6.681   |             |       | 222.00               | 0.8390                     |
| C17                            | Heptadecanes           | 11.662            | 10.825  |             |       | 237.00               | 0.8470                     |
| C18                            | Octadecanes            | 8.117             | 7.111   |             |       | 251.00               | 0.8520                     |
| C19                            | Nonadecanes            | 5.371             | 4.490   |             |       | 263.00               | 0.8570                     |
| C20                            | Eicosanes              | 5.260             | 4.206   |             |       | 275.00               | 0.8620                     |
| C21                            | Heneicosanes           | 5.040             | 3.808   |             |       | 291.00               | 0.8670                     |
| C22                            | Docosanes              | 4.663             | 3.362   |             |       | 305.00               | 0.8720                     |
| C23                            | Tricosanes             | 4.715             | 3.260   |             |       | 318.00               | 0.8770                     |
| C24                            | Tetracosanes           | 2.971             | 1.974   |             |       | 331.00               | 0.8810                     |
| C25                            | Pentacosanes           | 3.179             | 2.026   |             |       | 345.00               | 0.8850                     |
| C26                            | Hexacosanes            | 3.152             | 1.931   |             |       | 359.00               | 0.8890                     |
| C27                            | Heptacosanes           | 2.183             | 1.283   |             |       | 374.00               | 0.8930                     |
| C28                            | Octacosanes            | 1.559             | 0.883   |             |       | 388.00               | 0.8960                     |
| C29                            | Nonacosanes            | 1.249             | 0.683   |             |       | 402.00               | 0.8990                     |
| C30                            | Triacotanes            | 1.081             | 0.571   |             |       | 416.00               | 0.9020                     |
| C31                            | Hentriacontanes        | 0.609             | 0.312   |             |       | 430.00               | 0.9060                     |
| C32                            | Dotriacontanes         | 0.377             | 0.187   |             |       | 444.00               | 0.9090                     |
| C33                            | Tritriacontanes        | 0.288             | 0.138   |             |       | 458.00               | 0.9120                     |
| C34                            | Tetatriacontanes       | 0.148             | 0.069   |             |       | 472.00               | 0.9140                     |
| C35                            | Pentatriacontanes      | 0.170             | 0.077   |             |       | 486.00               | 0.9170                     |
| C36+                           | Hexatriacontanes plus  | 0.132             | 0.058   |             |       | 500.00               | 0.9190                     |
|                                | Total                  | 100.000           | 100.000 |             |       |                      |                            |

**Lampiran 7**  
**Hasil GC-TCD**

- **Sampel 1 (katalis NiMo/C pada tekanan 9 bar)**

| komponen          | % mol   |          |          |           |
|-------------------|---------|----------|----------|-----------|
|                   | 0 menit | 45 menit | 90 menit | 120 menit |
| CO <sub>2</sub>   | 4,496   | 27,0011  | 41,848   | 41,2442   |
| CO                | 11,46   | 56,18    | 43,7     | 36,32     |
| H <sub>2</sub>    | 82,49   | 11,94    | 6,73     | 6,46      |
| C <sub>1</sub>    | 0,1524  | 0,2554   | 0,8615   | 2,3546    |
| C <sub>2</sub>    | 0,289   | 1,2165   | 1,9625   | 3,8726    |
| C <sub>3</sub>    | 0,4605  | 1,7279   | 2,5871   | 4,6789    |
| iC <sub>4</sub>   | 0,0185  | 0,0118   | 0,0129   | 0,0177    |
| nC <sub>4</sub>   | 0,3435  | 0,8891   | 1,157    | 2,1446    |
| neoC <sub>5</sub> | 0,0603  | 0,1396   | 0,1745   | 0,3033    |
| iC <sub>5</sub>   | 0,0161  | 0,0115   | 0,0139   | 0,0332    |
| nC <sub>5</sub>   | 0,1012  | 0,344    | 0,4888   | 1,1455    |
| C <sub>6</sub>    | 0,0597  | 0,2299   | 0,3718   | 1,074     |
| MCP               | 0,001   | 0,001    | 0,003    | 0,0235    |
| BZ                | 0,002   | 0,0019   | 0,004    | 0,0109    |
| CH                | 0,001   | 0,0038   | 0,002    | 0,0097    |
| C <sub>7</sub>    | 0,0157  | 0,0249   | 0,0446   | 0,2243    |
| MCH               | 0,0017  | 0,0041   | 0,0025   | 0,0051    |
| Toluen            | 0,0035  | 0,0026   | 0,0025   | 0,0034    |
| C <sub>8</sub>    | 0,0123  | 0,0124   | 0,0218   | 0,0595    |
| MPX               | 0,0008  | 0        | 0,001    | 0         |
| C <sub>9</sub>    | 0,0149  | 0,0026   | 0,0089   | 0,0149    |
| C <sub>10+</sub>  | 0       | 0        | 0,002    | 0         |

- **Sampel 2 (katalis NiMo/C pada tekanan 15 bar)**

| komponen | % mol   |          |          |           |
|----------|---------|----------|----------|-----------|
|          | 0 menit | 45 menit | 90 menit | 120 menit |
| CO2      | 1,8897  | 40,7676  | 49,5629  | 45,1829   |
| CO       | 2,2000  | 19,2000  | 15,9000  | 12,5000   |
| H2       | 95,6000 | 34,5000  | 27,5000  | 31,6000   |
| C1       | 0,0485  | 0,5287   | 0,9192   | 2,0431    |
| C2       | 0,0779  | 1,3626   | 1,7297   | 3,0292    |
| C3       | 0,0962  | 1,8506   | 2,3144   | 3,2595    |
| iC4      | 0,0000  | 0,0037   | 0,0079   | 0,0078    |
| nC4      | 0,0317  | 0,8903   | 1,0041   | 1,2175    |
| neoC5    | 0,0000  | 0,1528   | 0,1658   | 0,1750    |
| iC5      | 0,0012  | 0,0106   | 0,0142   | 0,0084    |
| nC5      | 0,0083  | 0,3908   | 0,4579   | 0,5053    |
| C6       | 0,0069  | 0,2454   | 0,3000   | 0,3270    |
| MCP      | 0,0000  | 0,0019   | 0,0023   | 0,0073    |
| BZ       | 0,0010  | 0,0042   | 0,0040   | 0,0050    |
| CH       | 0,0010  | 0,0019   | 0,0023   | 0,0028    |
| C7       | 0,0042  | 0,0528   | 0,0724   | 0,0799    |
| MCH      | 0,0035  | 0,0019   | 0,0017   | 0,0017    |
| Toluen   | 0,0045  | 0,0051   | 0,0011   | 0,0017    |
| C8       | 0,0082  | 0,0139   | 0,0221   | 0,0274    |
| MPX      | 0,0000  | 0,0000   | 0,0040   | 0,0000    |
| O-X      | 0,0032  | 0,0023   | 0,0017   | 0,0112    |
| C9       | 0,0133  | 0,0125   | 0,0113   | 0,0073    |
| C10+     | 0,0006  | 0,0005   | 0,0011   | 0,0000    |

- **Sampel 4 (katalis Pd/C pada tekanan 15 bar)**

| komponen          | % mol   |          |          |           |           |
|-------------------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
|                   | 0 menit | 45 menit | 90 menit | 120 menit | 150 menit |
| CO <sub>2</sub>   | 21,2822 | 54,4142  | 21,8632  | 7,2925    | 3,2485    |
| CO                | 9,3800  | 7,4800   | 5,6600   | 3,4900    | 1,7800    |
| H <sub>2</sub>    | 67,9700 | 32,0900  | 64,0300  | 79,3500   | 85,9000   |
| C <sub>1</sub>    | 0,0000  | 0,8533   | 1,7380   | 1,9135    | 1,6185    |
| C <sub>2</sub>    | 0,3585  | 1,5283   | 2,4681   | 2,4434    | 2,0822    |
| C <sub>3</sub>    | 0,4020  | 1,8890   | 3,0543   | 3,1401    | 2,8969    |
| iC <sub>4</sub>   | 0,0122  | 0,0133   | 0,0118   | 0,0127    | 0,0166    |
| nC <sub>4</sub>   | 0,2195  | 0,8460   | 0,2322   | 1,2630    | 1,2816    |
| neoC <sub>5</sub> | 0,0535  | 0,1378   | 0,1619   | 0,1656    | 0,1833    |
| iC <sub>5</sub>   | 0,0043  | 0,0127   | 0,0085   | 0,0098    | 0,0111    |
| nC <sub>5</sub>   | 0,0557  | 0,3408   | 0,3937   | 0,4798    | 0,5314    |
| C <sub>6</sub>    | 0,0682  | 0,2417   | 0,2297   | 0,2552    | 0,2745    |
| MCP               | 0,0018  | 0,0042   | 0,0039   | 0,0062    | 0,0071    |
| BZ                | 0,0036  | 0,0048   | 0,0039   | 0,0051    | 0,0048    |
| CH                | 0,0018  | 0,0018   | 0,0021   | 0,0031    | 0,0036    |
| C <sub>7</sub>    | 0,0587  | 0,0665   | 0,0594   | 0,0656    | 0,0768    |
| MCH               | 0,0032  | 0,0024   | 0,0018   | 0,0017    | 0,0021    |
| Toluen            | 0,0082  | 0,0042   | 0,0045   | 0,0038    | 0,0042    |
| C <sub>8</sub>    | 0,0650  | 0,0411   | 0,0376   | 0,0438    | 0,0410    |
| MPX               | 0,0029  | 0,0006   | 0,0039   | 0,0050    | 0,0018    |
| O-X               | 0,0072  | 0,0006   | 0,0015   | 0,0017    | 0,0018    |
| C <sub>9</sub>    | 0,0337  | 0,0205   | 0,0255   | 0,0417    | 0,0280    |
| C <sub>10+</sub>  | 0,0000  | 0,0030   | 0,0018   | 0,0019    | 0,0022    |