



## PROSIDING

### SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA III

"Teori dan Aplikasi Sains dalam Isu Globalisasi Lingkungan, Profesionalisasi Pembelajaran dan Kewirausahaan"

Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS

Surakarta, 7 Mei 2011



MAKALAH PENDAMPING

KIMIA FISIKA  
(Kode : C-12)

ISBN : 978-979-1533-85-0

## PENGARUH PENAMBAHAN ADSORBEN PADA ESTERIFIKASI MINYAK SAWIT MENTAH MENGGUNAKAN KATALIS ZSM-5 MESOPORI

**Muhajirah, Ratna Ediati, Didik Prasetyoko\***

Laboratorium Anorganik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.

\* korespondensi, tel/fax : 031-5943353, 031-5928314, email: [didikp@chem.its.ac.id](mailto:didikp@chem.its.ac.id)

### Abstrak

Pengaruh penambahan adsorben pada reaksi esterifikasi asam lemak bebas dalam minyak sawit mentah dengan menggunakan katalis ZSM-5 mesopori telah dipelajari. Reaksi asam lemak bebas dan alcohol dengan katalis asam menghasilkan metil ester dan air. Zeolit A digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorp air yang dihasilkan. Zeolit A ditempatkan secara terpisah dengan menggunakan sebuah reaktor yang digabungkan dengan kolom adsorpsi dan dibandingkan dengan metode *batch* yaitu dengan katalis tanpa adsorben dan campuran katalis dengan adsorben dalam reaktor dengan waktu reaksi 1 jam dan suhu 60°C. Hasil penelitian menunjukkan reaksi esterifikasi dengan kolom adsorpsi lebih efektif dalam menyerap air yang dihasilkan selama reaksi dan meningkatkan konversi asam lemak mencapai 95,25 %.

**Kata Kunci** : Esterifikasi, HZSM-5 mesopori, Adsorpsi, Asam lemak bebas

### PENDAHULUAN

Biodiesel didefinisikan sebagai monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi trigliserida atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku.

Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti methanol atau etanol menghasilkan metil ester asam lemak (Fatty Acid Methyl Esters/ FAME) atau biodiesel dan gliserol (gliserin) sebagai produk samping.

[1] dan [13] menyebutkan bahwa minyak berkeandungan asam lemak tinggi (>2%-FFA) tidak sesuai digunakan untuk bahan baku pada reaksi transesterifikasi.

Asam lemak bebas (ALB) hadir dalam minyak mentah yang merugikan secara kualitas dan fungsionalitas. Asam lemak bebas merupakan senyawa dasar dari biodiesel. Kandungan asam lemak bebas yang tinggi dan jumlah air didalam bhan baku mentah rendah, dimana pada reaksi transesterifikasi dengan penggunaan katalis basa homogen akan menyebabkan penyabunan, yang menciptakan masalah serius untuk pemisahan produk dan akhirnya akan menurunkan hasil metil ester [10]. Oleh karena itu, untuk menghindari reaksi ini, reaksi esterifikasi penting dilakukan untuk mengurangi kadar asam lemak bebas yaitu

dengan mengubah asam lemak bebas menjadi alkil ester [3].

Selain asam lemak bebas, air yang terbentuk selama reaksi dapat mempengaruhi produksi metil ester. Berikut ini adalah reaksi esterifikasi antara FFA dan metanol:



Hasil metil ester dapat ditingkatkan jika air dihilangkan dari campuran reaksi pada reaksi esterifikasi. Penghilangan air dapat dicapai dengan menggunakan adsorben selektif untuk penyerapan air, seperti zeolite 3A [12]. Zeolit A merupakan zeolit sintesis dengan Kristal berbentuk kubik dan mempunyai sifat tukar kation tinggi sehingga telah dimanfaatkan secara luas dalam industri [4].

Penggunaan adsorben pada produksi biodiesel telah dilakukan oleh beberapa peneliti. [11] telah melakukan reaksi trans esterifikasi pada minyak kedelai dengan etanol dimana dilakukan dengan dua tahap, pada tahap pertama reaksi dilakukan tanpa adsorben, konversi mencapai 90% dan tahap kedua ditambahkan magnesol sebagai adsorben untuk menyerap air yang menghasilkan konversi akhir 98%. [12] pada reaksi esterifikasi asam oleat menjadi biodiesel tanpa menggunakan kolom adsorpsi, konversinya 88,2 % tapi dengan menggunakan kolom adsorpsi konversi meningkat menjadi 99,7 %.

Penggunaan katalis heterogen merupakan suatu alternative untuk mengurangi biaya produksi metil ester, mudah dipisahkan dari campuran reaksi dengan filtrasi, dapat digunakan kembali (*direct recovery*), dan memiliki sedikit sifat korosif [2]. Sebagaimana diketahui bahwa minyak nabati mengandung molekul seperti asam palmitat dan oleat yang mempunyai ukuran molekul yang cukup besar sehingga sulit untuk masuk ke pori-pori zeolit. Untuk meningkatkan difusi reaktan pada katalis, maka diperlukan untuk meningkatkan ukuran pori-pori zeolit,

pengurangan ukuran Kristal zeolit, atau menyediakan system mesopori tambahan di dalam Kristal mikropori. Penelitian yang banyak dilakukan adalah dengan cara melebarkan ukuran pori menjadi mesopori, sehingga molekul yang memiliki ukuran besar dapat masuk ke dalam system pori, untuk diproses dan untuk meninggalkan system pori-pori kembali [15].

ZSM-5 telah dikenal sebagai salah satu katalisator golongan zeolit (material mikropori) yang memiliki sisi asam Brønsted dan Lewis. Untuk meningkatkan pengaktifan dan memperbesar ukuran pori katalis, maka pada penelitian ini ZSM-5 dibuat dalam bentuk mesopori.

Pada makalah ini, reaksi esterifikasi dilakukan diatas titik didih methanol menggunakan metode *batch* yaitu reaksi tanpa penambahan adsorben dan dengan penambahan adsorben untuk produksi biodiesel. Penghilangan air dapat dicapai dengan menggunakan adsorben selektif untuk penyerapan air yaitu zeolit A.

## METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan bahan utama yakni minyak sawit mentah (PSFA). Sedangkan bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah methanol 99% (Merck), katalis ZSM-5 mesopori dan zeolit A sebagai adsorben.

### Sintesis Katalis ZSM-5 Mesopori

Katalis ZSM-5 mesopori disintesis dengan menggunakan sumber silica dan alumina yang berbeda. Sodium aluminat sebagai sumber alumina ditambahkan ke dalam larutan 1 mol/L tetra propel ammonium hidroksida (TPAOH). Setelah tercampur sempurna, TEOS sebagai sumber silica ditambahkan dengan rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  20 kemudian diaduk selama 15 menit, sehingga campuran yang diperoleh mempunyai perbandingan mol 1  $\text{SiO}_2$ : 20  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 0.2 TPAOH:

38 H<sub>2</sub>O. Campuran yang terbentuk dioven pada suhu 60 °C selama 24 jam. Sejumlah setil trimetil ammonium bromida (CTABr) ditambahkan ke dalam campuran hingga diperoleh rasio molar SiO<sub>2</sub>/CTAB = 3,85, kemudian diaduk sampai tercampur sempurna. Selanjutnya dioven pada suhu 150 °C selama 48 jam. Padatan yang terbentuk, kemudian disaring, dicuci dengan aquadest dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 24 jam, selanjutnya pada suhu 110 °C selama 24 jam. Surfaktan (CTA<sup>+</sup>) dan templat organik (TPA<sup>+</sup>) dihilangkan dengan kalsinasi pada 550 °C selama 10 jam. ZSM-5 mesopori yang telah dibuat, dilakukan tukar ion dengan ammonium asetat (>98 %, Merck) 0.5 N. Amonium asetat 7,708 gram dilarutkan ke dalam aquadest 100 ml, kemudian ditambahkan 10 gram ZSM-5 ke dalam campuran. Campuran yang terbentuk di refluks pada suhu 60 °C selama 3 jam. Padatan dalam larutan kemudian disaring, dikeringkan pada suhu 110 °C dan dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 10 jam, sehingga diperoleh H-ZSM-5 [8].

#### **Karakterisasi Katalis ZSM-5 Mesopori**

Katalis ZSM-5 mesopori dikarakterisasi menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD) untuk identifikasi fase kristal dan kekristalan katalis dengan radiasi Cu K $\alpha$  ( $\lambda$  = 1.5405 Å) pada 40 kV dan 30 mA,  $2\theta$  1,5–40° dan kecepatan scan 0,02 °/detik.

Spektrum inframerah direkam menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dengan pemisahan spektrum 2 cm<sup>-1</sup>, pada suhu 20 °C. Spektrum direkam pada daerah 1400–400 cm<sup>-1</sup>.

#### **Reaksi Esterifikasi**

##### **Metode dengan Kolom Adsorpsi**

Reaksi Esterifikasi dilakukan menggunakan labu leher tiga 250 mL yang dilengkapi dengan termokopel, pengaduk dan

kolom adsorpsi dengan jaket pemanas untuk mengendalikan suhu.

Kolom adsorpsi terdiri dari bagian riser dan downer. Bagian downer dipenuhi zeolit A digunakan untuk menyerap air yang dihasilkan selama reaksi esterifikasi. Riser tidak diisi dengan zeolit, sehingga metanol dan uap air dapat mengalir melalui riser karena adanya penurunan tekanan dalam bagian ini [12].

Minyak sawit mentah ditambahkan ke dalam methanol dalam gelas reactor dengan komposisi molar 1:30 dievaluasi dalam penelitian ini. Pada suhu 60 °C dan waktu 1 jam, 0,5 gram katalis ditambahkan kemudian. Kemudian analisa kandungan asam lemak bebas pada bahan baku dan sampel reaksi esterifikasi dilakukan dengan metode titrasi dengan NaOH.

##### **Metode Bacth**

Reaksi esterifikasi dilakukan menggunakan labu alas bulat 250 mL yang dilengkapi dengan pengaduk dan refluks kondenser untuk menghindari penguapan alkohol. Pengaduk magnet digunakan untuk mengontrol laju gerakan campuran reaksi. Untuk mengeliminasi efek transfer massa eksternal, kecepatan pengadukan 300 rpm. Reaktor diletakkan di atas (didalam) air suhu konstan yang dilengkapi dengan pengontrol suhu. Minyak sawit mentah ditambahkan ke dalam metanol dalam gelas reactor dengan komposisi molar 1:30, kemudian ditambahkan 0,5 gram katalis ZSM-5 mesopori. Campuran dipanaskan pada suhu 60 °C selama 1 jam [5]. Kemudian analisa kandungan asam lemak bebas pada bahan baku dan sampel reaksi esterifikasi dilakukan dengan metode titrasi dengan NaOH.

##### **Analisa pada Sampel**

Prosentase asam lemak bebas (FFA) ditentukan menggunakan metode titrasi asam basa. Langkah pertama dilakukan pembuatan larutan standard primer, yaitu asam oksalat

(standard primer) ditimbang seberat 0.063035 gram kemudian ditambah dengan aqua DM sampai tanda batas yang dicampur di dalam labuukur 100 mL (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>0,01 N).

Setelah itu,dilanjutkan standarisasi NaOH dengan cara padatan NaOH diambil kemudian ditimbang seberat 2 gram laludimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL setelah itu diencerkan sampai tanda batas menggunakan aquades (NaOH 0,1 N).

Langkah berikutnya yaitu mentitrasi 10 mL larutan asam oksalat 0,01 N yang terdapat di dalam erlenmeyer yang mana sebelumnya telah ditambahkan indikator phenolptalein sebanyak 2 tetes, titrasi ini dilakukan secara duplo. Indikasi berhentinya titrasi terjadi perubahan warna awal bening menjadi merah muda bening pada larutan asam oksalat.

Langkah terakhir menentukan jumlah keasaman FFA dengan menggunakan titrasi alkalimetri, sebagai berikut sampel ditimbang seberat 1 gram kemudian ditambah dengan isopropanol sebanyak 25 mL yang sudah dinetralkan dengan menggunakan NaOH 0.001 N setelah itu ditambah 5 tetes indikator pp lalu dititrasi dengan menggunakan NaOH 0.001 N sampai warna berubah menjadi warna merah muda bening.

$$\text{Jml FFA(\%)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}} \times Mr_{\text{metil ester}}}{\text{gram sampel}}$$

$$\text{FFA(\%)} = \frac{\%ALB_{\text{Awal}} - \%ALB_{\text{setelah reaksi}}}{\%ALB_{\text{awal}}} \times 100\%$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sintesis Katalis ZSM-5 Mesopori

Katalis ZSM-5 mesopori disintesis secara hidrotermal sesuai dengan metode[8]. Bahan-bahan utama yang digunakan antara lain Sodium aluminat sebagai sumber alumina yang

memiliki kereaktifan tinggi, sehingga lebih mudah untuk digunakan dalam sintesis ZSM-5 [9], Tetraetilortosilikat (TEOS) sebagai sumpersilika,tertrapropilamoniumhidroksida (TPAOH) sebagai template 1 agar terbentuk struktur MFI dengan ukuran partikel kecil, yaitu memiliki diameter 0,3  $\mu\text{m}$  [17]. Template 2 digunakan *cetyltrimethylammoniumbromide* (CTABr) sebagai bahan pengarahmesostruktur dan untuk menghasilkan sampel yang memiliki stabilitas asam dan hidrotermal yang baik [8].

Pada awal sintesis dilakukan percampuran natrium aluminat dengan larutanTPAOH, disertai dengan pengadukan. Sintesis dilanjutkan dengan penambahan TEOS tetes demi tetes, kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf pada suhu 60°C selama 24 jam untuk terjadinya proses hidrotermal. Gel yang dihasilkan ditambahkan CTABr sebagai pengarah mesostruktur, kemuadian dimasukkan kembali ke dalam autoklaf pada suhu 150°C selama 48 jam untuk proses kristalisasi hirotermal. Selama proses kristalisasi hidrotermal, jaringan Si-O-Al amorf mengandung air dan membentuk struktur ZSM-5.

Padatan putih yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam,kemudian pada suhu 110°C selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan air. Sebagian padatan putih yang dihasilkan kemudian dikalsinasi pada suhu 550°C selama 10 jam untuk menghilangkan templat-templat organik dan untuk pembentukan struktur ZSM-5 mesopori.

ZSM-5 mesopori yang telah terbentuk mengandung kation Na<sup>+</sup>, dilakukan penukar ion dengan CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (amonium asetat) sehingga menjadi NH<sub>4</sub><sup>+</sup>ZSM-5. Selanjutnya padatan disaring dan dikeringkan pada suhu 100°C, kemudian dikalsinasi untuk menghilangkan NH<sub>3</sub>, sehingga terbentuk H<sup>+</sup>ZSM-5 mesopori.

### Difraksi Sinar X (XRD)

Teknik XRD digunakan untuk identifikasi fase kristal dan kekristalan katalis dari sampel ZSM-5 mesopori. Difraktogram yang dihasilkan dari sampel ZSM-5 mesopori.

Pola difraksi sinar-X sampel ZSM-5 mesopori ditunjukkan pada Gambar 1. Semua sampel memiliki intensitas puncak yang cukup tinggi di  $2\theta = 7.8^\circ; 8.7^\circ; 9.0^\circ; 22.9^\circ; 23.2^\circ$ . Puncak-puncak ini sesuai dengan puncak-puncak ZSM-5 yang berstruktur MFI [16]. Hal ini mengindikasikan bahwa semua katalis hasil sintesis termasuk dalam tipe struktur MFI. Struktur MFI ini didapatkan dari penggunaan TPA<sup>+</sup> sebagai templat. Menurut [7], penggunaan TPAOH sebagai templat merupakan pengarah struktur MFI yang baik dan memberikan hasil kristal dengan ukuran partikel kecil, yaitu  $0,3 \mu\text{m}$ .

Pola difraksi sinar-X pada Gambar 1 menunjukkan bahwa sampel terdiri dari fasa MFI dengan kristalinitas tinggi dan tidak ditemukan fase kristalin yang lain.

#### Spektroskopi IR (FTIR)

Spektra Inframerah dari sampel ditunjukkan pada Gambar 2. Pita absorpsi sekitar  $1090 \text{ cm}^{-1}$ ,  $790 \text{ cm}^{-1}$  dan  $450 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan internal dalam tetrahedral  $\text{SiO}_4$  (atau  $\text{AlO}_4$ ), dimana puncak ini tidak sensitif terhadap perubahan struktur. Dan juga menunjukkan intensitas pita yang tinggi. Hal ini menunjukkan terbentuknya Si-O-Si tetrahedral. Pita serapan pada bilangan gelombang sekitar  $1103 \text{ cm}^{-1}$  merupakan mode vibrasi asimetris Si-O-Si, dan pita serapan pada bilangan gelombang sekitar  $800 \text{ cm}^{-1}$  merupakan mode vibrasi simetrinya. Sementara itu, pita absorpsi pada daerah sekitar  $1222 \text{ cm}^{-1}$  dan  $547 \text{ cm}^{-1}$  merupakan puncak karakteristik untuk zeolit dengan struktur MFI, yang berhubungan dengan struktur pembangun sekunder zeolit MFI dan sensitif terhadap perubahan struktur. Pada umumnya, pita ini akan bergeser dengan

perubahan rasio silikon terhadap aluminium. Oleh karena itu, puncak ini dijadikan dasar untuk mengetahui pembentukan ZSM-5. Pada pita absorpsi sekitar  $547 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus pentasil yang merupakan karakteristik dari ZSM-5.

#### Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi minyak sawit mentah dengan metanol dan penambahan katalis ZSM-5 mesopori dan zeolit A sebagai adsorben dengan menggunakan sebuah reaktor yang digabung dengan kolom adsorpsi dan metode *batch* dibandingkan.

Berdasarkan hasil penelitian, gambar 3 menunjukkan bahwa harga konversi pada metode dengan kolom adsorpsi lebih tinggi yaitu 95,25 % daripada metode *batch* dengan penambahan dan tanpa adsorben yaitu masing-masing 93,02 % dan 92,79 %, hal ini dikarenakan bahwa sistem adsorpsi efektif dalam mengubah kesetimbangan terhadap produk dimana kolom adsorpsi mampu menghilangkan air dari kondensat, sehingga terjadi penurunan jumlah air dalam campuran reaksi sehingga menghasilkan metil ester lebih tinggi.

#### KESIMPULAN

Sistem adsorpsi lebih efektif dalam menyerap air yang dihasilkan selama reaksi dan meningkatkan pembentukan metil ester dari asam lemak bebas. Jumlah asam lemak bebas yang terkonversi menjadi metil ester sebanyak 95,25 %. Penurunan %FFA pada reaksi esterifikasi meningkatkan perolehan yield *FAME*

#### UCAPAN TERIMA KASIH

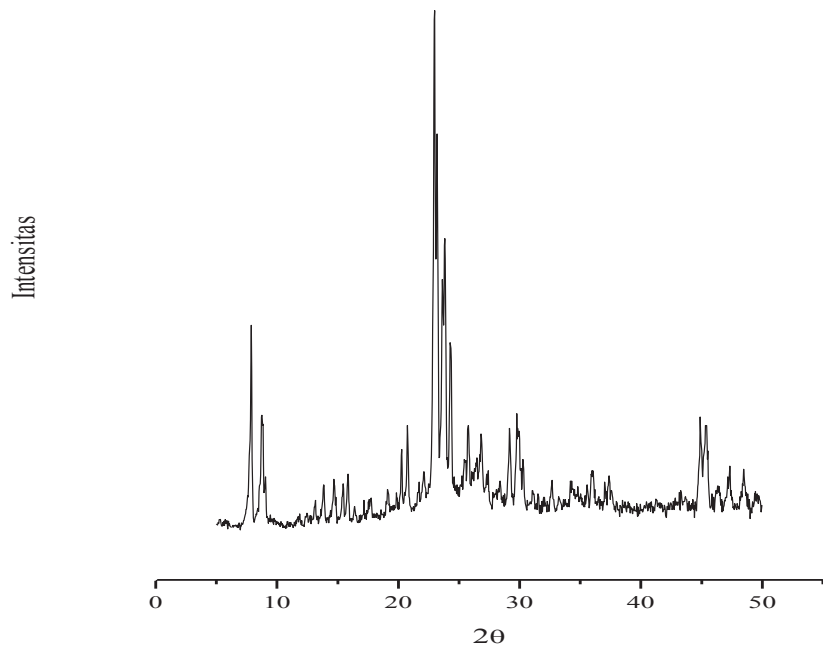
Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Agama yang telah mendukung selesainya penelitian ini.



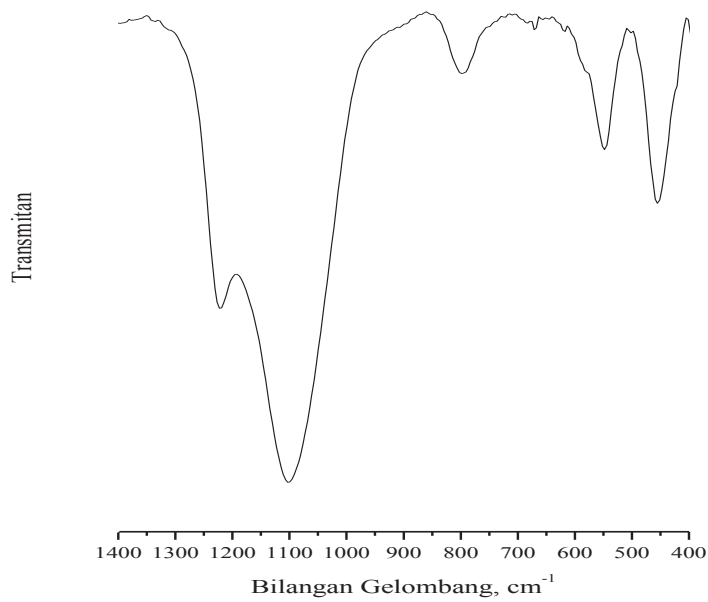
## DAFTAR RUJUKAN

- [1] Canacki, M., Van Gerpen, J. 2001. "Biodiesel Production From Oils and Fats with High Free Fatty Acids". *Trans ASAE*44(6) : pp.1429-1436.
- [2] Carmo, A. C., Luiz, K.C., Carlos, E.F., Longo, E., Jose, R.Z., Geraldo, N., (2009), "Production of biodiesel by esterification of palmitic acid over mesoporous aluminosilicate Al-MCM-41", *Fuel*, Vol. 88, hal.461-468.
- [3] Chongkhong, S., Tongurai, Chetpattananondh, (2009), "Continuous esterification for biodiesel production from palm fatty acid distillate using economical process", *Renewable Energy*, Vol. 34, hal. 1059 – 1063.
- [4] Chandrasekhar, S dan Pramada, P.N., (2008), "Microwave Assisted Synthesis of zeolite A from Metakaolin, *Microporous and Mesoporous Materials* 108, 152 – 161.
- [5] Chung, K. H., Duck, R.C., Byung, G.P., (2008), "removal of free fatty acid in waste frying oil by esterification with methanol on zeolite catalyst", *Bioresource Technology*, Vol. 99, hal. 7483 – 7443.
- [6] Gervasini, A., (1999), "Characterization of the textural properties of metal loaded ZSM-5 zeolites", *Appl. Catal. A: General*, Vol. 180, hal. 71 – 82.
- [7] Gontier, S. dan Tuel, A. (1996), "Synthesis of Titanium Silicalite-1 Using Amorphous SiO<sub>2</sub> as Silicon Source", *Zeolites*, Vol. 16, hal. 184-195.
- [8] Goncalves, Marli Lansoni, Ljubomir D. Dimitrov, Maura Hebling Jordaõo, Martin Wallau, Ernesto A. Urquieta-González, (2008), "Synthesis of Mesoporous ZSM-5 by Crystallisation of Aged Gels in The Presence of Cetyltrimethylammonium Cations", *Catalysis Today*, Vol. 133–135, hal. 69–79
- [9] Ismail, A.A., Mohaned, R.M., Fouad, O.A., Ibrahim, I.A., (2006). "Synthesis of Nanosized ZSM-5 Using Different Alumina Sources". *Crystal Research Technology*, 41:145.
- [10] J.F. Wang., B.X. Peng., Qing Shu., G.R. Wang., D.Z. Wang., M.H. Han., (2008), "Biodiesel production from waste oil feedstocks by solid acid catalysis", *Process Safety and Environment Protection*, Vol. 86, hal. 441–447
- [11] Kucek, K. T.; Oliveira, M. A. F. C.; Wilhelm, H. M.; Ramos, L. P. Ethanolysis of refined soybean oil assisted by sodium and potassium hydroxides. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2007, 84, 385.
- [12] Lucena, I.L., Silva G F, Fernandes FAN., (2008), Biodiesel production by esterification of oleic acid with methanol using a water adsorption apparatus. *Industrial and Engineering Chemistry*, 47, 6885-6889. esterification with ethanol: the effect of water removal by adsorption", *Renewable Energy*, Vol. 35, hal. 2581 – 2583.
- [13] Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., 2005. "Biodiesel production from high FFA rubber seedoil", *Fuel* 84 : pp.335-340.
- [14] Sharma, Y.C., Singh, S., Korstad, J., (2011). "Latest developments on application of heterogeneous basic catalysts for an efficient and ecofriendly synthesis of biodiesel: A review", *Fuel*, Vol. 90, hal.1309–1324.
- [15] Taguchi, A., Ferdi, S., (2004), "Ordered Mesoporous Materials In Catalysis", *Microporous and Mesoporous Materials*, Vol. 77, hal.1 – 45.
- [16] Treacy, M.M.J., Higgins, J.B., (2001), *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites 4th edition*, Structure Commission of the International Zeolite Association, Elsevier.
- [17] Wang, X.-S., Guo, X.-W., dan Li, G. (2002), "Synthesis of Titanium Silicalite (TS-1) from the TPABr System and Its Catalytic Properties for Epoxidation of Propylene", *Catalysis Today*, Vol. 74, hal. 65–75.

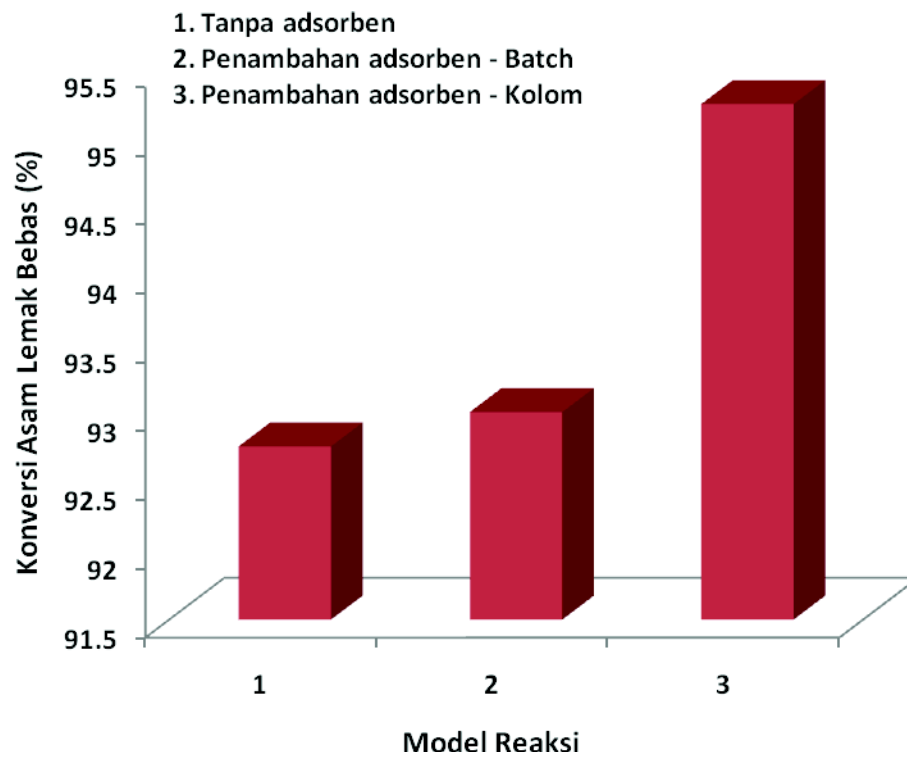
LAMPIRAN



Gambar 1. Difraktogram X-Ray dari ZSM-5 Mesopori



Gambar 2. Transmittan analisis FTIR ZSM-5 Mesopori



**Gambar 3.** Konversi Asam Lemak bebas (%) menjadi metil ester pada reaksi esterifikasi pada suhu 60 °C dengan waktu reaksi 1 jam