

ESTERIFIKASI ASAM LEMAK DALAM LUMPUR MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN METANOL DAN KATALIS KAOLINIT TERIMPREGNASI $AlCl_3$

ESTERIFICATION FATTY ACID IN PALM SLUDGE OIL WITH METHANOL AND A CATALYST KAOLINITE IMPREGNATED WITH $AlCl_3$

Ismail Astar*, Thamrin Usman, Nelly Wahyuni, Winda Rahmalia dan Harlia

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak

*E-mail : ismailastar@gmail.com

ABSTRACT

Esterification of fatty acid in palm sludge oil has been carried out by palm sludge oil with methanol and a catalyst kaolinite impregnated with $AlCl_3$. Characterization of the catalyst made using an infrared spectrophotometer (IR) and Scanning Electron Microscopy (SEM). Results indicate the emergence of IR wavelengths 3387 and 3078.39 cm^{-1} which is the OH uptake of $\{Al(H_2O)_5(OH)\}^{2+}$ bond to the kaolinite and strengthened by the SEM results show there has been a change in the morphology of the kaolinite. The results showed reaction time and the optimum catalyst concentration is 2 hours and 5% with the percentage conversion of the product reached 94.07%. While the optimum ratio is 1:4 $AlCl_3$ -kaolinite with the percent conversion of the product reached 94.76%. The resulting methyl esters analyzed physical properties including refractive index 1.448, density 0.880 g/mL (25°C) and viscosity of 7.67 cSt (25°C). The results of GC-MS analysis of reaction time of 2 hours shows the composition of the constituent methyl ester is methyl myristate (0.56%), methyl palmitate (46.22%), methyl oleate (35.17%), methyl stearate (5.28%), methyl octadecanoate (0.17%) and methyl aractate (0.31%).

Key words: *kaolinite, $AlCl_3$, impregnation, esterification, fatty acid, palm sludge oil*

ABSTRAK

Telah dilakukan esterifikasi asam lemak dalam lumpur minyak kelapa sawit dengan metanol dan katalis kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$. Karakterisasi katalis dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer infra merah (IR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil IR menunjukkan munculnya panjang gelombang 3387 dan 3078,39 cm^{-1} yang merupakan serapan OH dari $\{Al(H_2O)_5(OH)\}^{2+}$ yang terikat pada kaolinit dan diperkuat dengan hasil SEM yang menunjukkan telah terjadi perubahan morfologi dari kaolinit. Hasil penelitian menunjukkan waktu reaksi dan konsentrasi katalis optimum adalah 2 jam dan 5% dengan persentase konversi produk mencapai 94,07%. Sedangkan rasio optimum $AlCl_3$ -kaolinit adalah 1:4 dengan persen konversi produk mencapai 94,76%. Metil ester yang dihasilkan telah dianalisa sifat fisika yang meliputi indeks bias 1,448, kerapatan 0,880 g/mL (25°C) dan viskositas 7,67 cSt (25°C). Hasil analisis GC-MS waktu reaksi 2 jam menunjukkan komposisi penyusun metil ester yang terbentuk adalah metil miristat (0,56%), metil palmitat (46,22%), metil oleat (35,17%), metil stearat (5,28%), metil oktadekanoat (0,17%) dan metil araktat (0,31%).

Kata kunci : *kaolinit, $AlCl_3$, impregnasi, esterifikasi, asam lemak, lumpur minyak*

1. PENDAHULUAN

Sumber daya mineral khususnya minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Sementara itu, segenap aktivitas umat manusia tergantung pada sumber daya alam ini. Diperkirakan cadangan minyak bumi Indonesia hanya dapat memasok permintaan hingga 5-7 tahun ke depan. Untuk itu diperlukan suatu langkah diversifikasi energi. Salah satu sumber energi baru adalah bahan bakar yang berasal dari minyak nabati [1]

Sumber bahan baku minyak nabati yang tersedia dan paling prospektif dikembangkan sebagai bahan baku biodiesel di Indonesia, khususnya di Kalimantan Barat diantaranya adalah biodiesel yang berasal dari kelapa sawit (*Elais gueneensis* Jacq) karena didukung oleh ketersediaan kelapa sawit yang begitu melimpah. Selain itu, industri pengolahan sawit tersebar di beberapa kabupaten di Kalimantan Barat. Salah satu produk olahan industri kelapa sawit yang diperdagangkan adalah minyak sawit mentah atau yang dikenal dengan *Crude Palm Oil* (CPO). Menurut Choo *et al* [2], proses pengolahan CPO menghasilkan limbah padat yang dikenal dengan lumpur minyak sawit (*palm sludge oil*). Lumpur sawit mengandung asam lemak bebas sekitar 10-80 %. Limbah sawit dengan kandungan asam lemak bebas yang cukup tinggi ini dapat digunakan sebagai sumber asam lemak dalam pembentukan senyawa ester seperti metil ester. Metil ester dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif pengganti solar yang terbuat dari minyak tumbuhan atau lemak hewan. Metil ester diperoleh dari reaksi minyak tanaman (trigliserida) dengan alkohol yang menggunakan katalis asam atau basa pada suhu dan komposisi tertentu, sehingga dihasilkan zat yang disebut alkil ester.

Katalis yang sering digunakan dalam proses esterifikasi adalah katalis homogen asam donor proton dalam pelarut organik, seperti H_2SO_4 , HF, H_3PO_4 , RSO_3H dan *para toluene sulfonic acid* (PTSA) [3]. Namun, katalis-katalis homogen ini bersifat korosif, beracun dan sulit untuk dipisahkan dari produk. Oleh karena itu, dicari pengganti katalis homogen asam dengan katalis padat (katalis heterogen), seperti dengan zeolit, alumina ataupun resin penukar ion, yang saat ini telah digunakan secara komersial [4].

Katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fasa berbeda dengan reaktannya. Usman dkk, [1] melakukan esterifikasi pada lumpur minyak kelapa sawit dengan menggunakan katalis heterogen yang bersifat asam yaitu tawas. Konversi biodiesel total tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis dengan konsentrasi 3% b/b yaitu sebesar 94,66%. Penggunaan katalis heterogen tersebut diketahui memiliki kelebihan dibandingkan katalis homogen yaitu lebih mudah dipisahkan dari sisa reaktan maupun produk reaksi, efisiensi yang tinggi, kemudahan untuk digunakan dalam berbagai media dan penggunaan ulang katalis (regenerasi katalis) [5]. Oleh karena itu, perlu dikaji lebih

lanjut tentang penggunaan katalis heterogen yang dapat menghasilkan konversi biodiesel yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis homogen.

Salah satu senyawa yang dapat digunakan sebagai katalis heterogen adalah aluminium klorida (AlCl_3). Padatan AlCl_3 merupakan garam yang bersifat asam dan AlCl_3 dapat bereaksi dengan molekul lain dengan menyediakan orbital kosong untuk membentuk ikatan koordinasi sehingga senyawa AlCl_3 bertindak sebagai asam Lewis. Harlia *et al* [6] telah melakukan esterifikasi terhadap lumpur minyak kelapa sawit dengan menggunakan katalis AlCl_3 . Hasil konversi metil ester pada waktu reaksi 2 jam dan persen katalis sebesar 3,25% adalah 98,96%. Namun, kelarutan AlCl_3 dalam pereaksi polar yang tinggi menimbulkan masalah dalam proses pemisahannya. Untuk mengatasi hal tersebut maka AlCl_3 perlu diimbangkan pada matriks pendukung, salah satunya dengan mengembankan padatan AlCl_3 pada kaolinit.

Kaolinit merupakan suatu mineral berupa kristal silika-alumina yang terdiri dari tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina-silikat dan air, dimana situs aktif dari kaolinit terletak pada situs asamnya. Situs asam dalam kerangka kaolinit ada dua jenis yaitu situs asam Brønsted dan situs asam Lewis [7].

Pada penelitian ini akan dilakukan esterifikasi asam lemak dalam lumpur minyak kelapa sawit untuk menghasilkan metil ester menggunakan katalis heterogen yaitu kaolinit terimpregnasi AlCl_3 . Preparasi katalis AlCl_3 -kaolinit dengan metoda impregnasi dilakukan dengan cara menempelkan padatan AlCl_3 pada pori-pori kaolinit. Padatan AlCl_3 tersebut diharapkan dapat terdispersi secara merata ke seluruh permukaan dan pori-pori kaolinit. Parameter yang diteliti meliputi pengaruh waktu reaksi, konsentrasi katalis, dan perbandingan AlCl_3 yang diimpregkan terhadap persentase produk metil ester yang dihasilkan. Selanjutnya, produk metil ester ditentukan karakteristiknya.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis biodiesel dari asam lemak bebas *palm sludge oil* dengan menggunakan katalis kaolinit terimpregnasi AlCl_3 . Dalam penelitian ini terbagi dalam dua tahap yaitu preparasi katalis dan sintesis biodiesel.

Prosedur Kerja

Pembuatan katalis AlCl_3 -Kaolinit

Katalis AlCl_3 -Kaolinit diperoleh dari impregnasi antara AlCl_3 dengan kaolinit dalam media cair. Sebanyak 10 g kaolinit dimasukkan dalam 40 ml akuades dan diaduk selama 3 jam. Selanjutnya dilakukan pengadukan kontinu dengan *stirrer* selama 24 jam. Rasio antara AlCl_3 yang terimpregnasi pada kaolinit dibuat bervariasi. Suspensi disaring dengan

kertas saring biasa. Residu dipanaskan pada temperatur 80°C selama 24 jam. Katalis kering dihaluskan dan siap digunakan untuk proses esterifikasi.

Esterifikasi terhadap sampel *sludge oil*

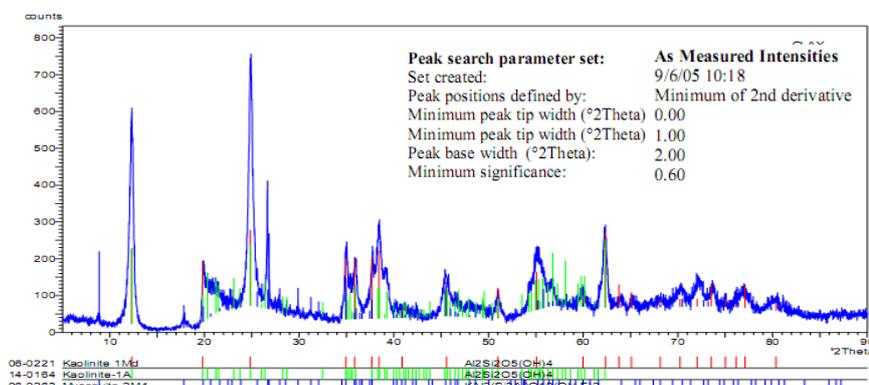
Esterifikasi asam lemak *sludge oil* dilakukan dengan mencampurkan sampel *sludge oil* dan metanol (perbandingan mol 1:12). Selanjutnya ditambahkan katalis $AlCl_3$ -Kaolinit, dipanaskan pada temperatur $\pm 67^\circ C$ sambil diaduk dengan *stirrer*. Reaksi diikuti dengan teknik kromatografi lapis tipis menggunakan eluen yang sesuai.

Produk hasil esterifikasi disentrifugasi sehingga dihasilkan 3 lapisan yaitu lapisan katalis (bawah), gliserol (tengah) dan metil ester (atas). Produk metil ester dicuci dengan larutan NaCl jenuh. Pencucian dilakukan hingga produk yang dihasilkan menjadi netral. Akhirnya persentase asam lemak bebas (*Free Fatty Acid, FFA*) ditentukan. Persentase konversi produk dihasilkan dengan menentukan kandungan asam lemak bebas *sludge oil* sebelum dan setelah esterifikasi. Selanjutnya dilakukan penentuan konsentrasi dan waktu optimum katalis.

3. PEMBAHASAN

3.1 Preparasi dan Karakterisasi Sampel Kaolinit

Hasil analisis difraksi sinar-X terhadap sampel lempung dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan adanya serapan pada sudut $2\theta = 12,31^\circ$ yang bersesuaian dengan jarak $d = 7,13 \text{ \AA}$ serta serapan kuat pada sudut $2\theta = 24,81^\circ$ yang bersesuaian dengan jarak $d = 3,59 \text{ \AA}$ sedangkan puncak-puncak yang lain menunjukkan serapan yang jauh lebih kecil. Tan (1995) mengatakan bahwa identifikasi mineral kaolinit ditunjukkan oleh difraksi sinar-X, dimana terjadinya serapan yang kuat pada jarak dasar d_{001} sebesar $7,13 \text{ \AA}$ yang bersesuaian dengan sudut $2\theta = 12,40^\circ$ atau pada difraksi order kedua dengan jarak sebesar $3,56 \text{ \AA}$ yang bersesuaian dengan sudut $2\theta = 25,00^\circ$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa mineral utama penyusun lempung dalam penelitian ini adalah kaolinit.

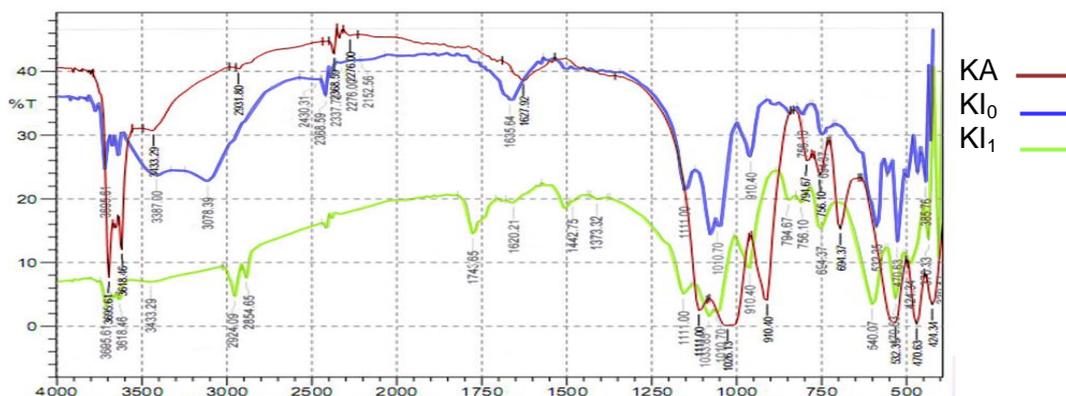


Gambar 1. Difraksi sinar-X lempung kaolinit

3.2 Pembuatan dan Karakterisasi Katalis $AlCl_3$ -Kaolinit

Pembuatan katalis $AlCl_3$ -Kaolinit bertujuan untuk menghasilkan katalis heterogen yang dapat digunakan dalam proses esterifikasi asam lemak dari *sludge oil* untuk menghasilkan komponen utama biodiesel (dalam penelitian ini adalah metil ester). Selain itu, juga bertujuan untuk meningkatkan keasaman dari kaolinit. Kaolinit merupakan mineral berupa kristal silika-alumina yang terdiri dari 3 komponen, yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina-silikat, dan air dimana situs aktif dari kaolinit terletak pada situs asamnya. Situs asam dalam kerangka kaolinit ada 2 jenis, yaitu situs asam Bronsted dan situs asam Lewis. Pengembanan $AlCl_3$ pada kaolinit ini akan meningkatkan situs asam lewis dari kaolinit.

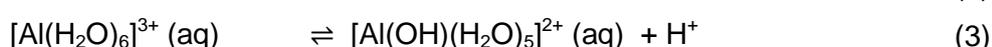
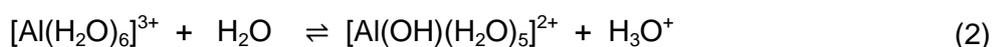
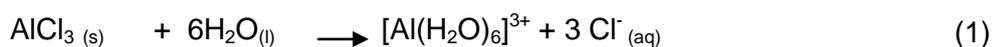
Spektra inframerah, gugus fungsional dan daerah sidik jari kaolinit, kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$ dan sisa katalis disajikan pada Gambar 2. Spektrum IR pada Gambar 2. menunjukkan bahwa kaolinit dan kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$ mempunyai serapan yang sama pada daerah bilangan gelombang $3695,61\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi ulur untuk gugus -OH yang terikat pada atom Al oktahedral (Al-OH oktahedral) [8]. Perbedaan serapan antara kaolinit alam dan kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$ terletak pada daerah bilangan gelombang $3618,46\text{ cm}^{-1}$. Pada kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$ tidak muncul serapan pada daerah panjang gelombang $3618,46\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan sudah terjadi perubahan struktur dari kaolinit tersebut. Hal ini terjadi karena adanya interaksi antara atom Al dari $AlCl_3$ yang diimpregnasikan terhadap kaolinit dengan atom O yang terikat pada Al oktahedral kaolinit. Serapan pada bilangan gelombang 3620 cm^{-1} ciri khas untuk vibrasi ulur gugus -OH oktahedral dari suatu mineral kaolinit [9-10].



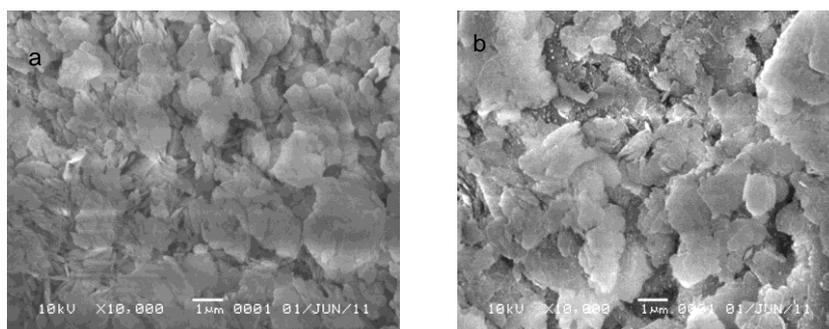
Gambar 4.2 Spektra inframerah kaolinit alam (KA), katalis kaolin terimpregnasi $AlCl_3$ (KI_0) dan katalis kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$ setelah digunakan (KI_1)

Pita serapan kaolinit yang muncul pada daerah $1627,92\text{ cm}^{-1}$ dan $3433,29\text{ cm}^{-1}$ berturut-turut merupakan vibrasi tekuk -OH dan vibrasi ulur -OH dari molekul H_2O yang terperangkap dalam kisi kristal [8]. Serapan pada bilangan gelombang $3433,29\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ulur OH dari molekul H_2O terhidrat [11] dan merupakan ciri

khas untuk vibrasi tekuk -OH dari molekul H₂O yang teradsorpsi [12]. Sedangkan pada kaolinit terimpregnasi AlCl₃ serapan pada bilangan gelombang 3433,29 cm⁻¹ tidak muncul yang diakibatkan pergantian atom H oleh atom Al sehingga ikatan yang terbentuk adalah Al-O-Al oktahedral. Selain itu, tidak munculnya serapan pada 3433,29 cm⁻¹ disebabkan oleh adanya serapan yang saling berhimpitan akibat adanya serapan gugus -OH dari Al yang terimpregnasi. Hal ini ditandai dengan adanya serapan yang melebar pada panjang gelombang 3387 cm⁻¹. Gugus -OH ini muncul akibat dari proses pelarutan AlCl₃ dalam air, seperti yang terlihat dalam reaksi berikut :



Keberhasilan impregnasi AlCl₃ terhadap kaolinit diperkuat dengan hasil analisis SEM. Bentuk morfologi kaolinit awal dan kaolinit setelah diimpregnasi dengan AlCl₃ tersaji pada Gambar 3.

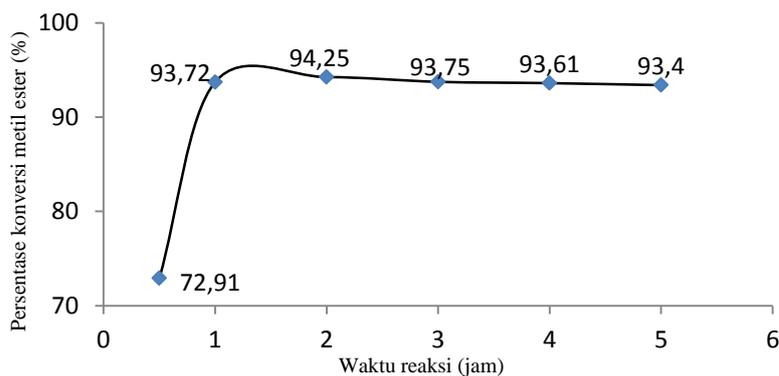


Gambar 3 Fotografi SEM (perbesaran 10.000 kali) terhadap kaolinit (a) sebelum diimpregnasi (b) sesudah diimpregnasi

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa bentuk morfologi kaolinit awal tersusun lebih teratur dan berbentuk lembaran-lembaran yang merupakan ciri khas dari morfologi kaolinit [13]. Sedangkan bentuk morfologi kaolinit sesudah diimpregnasi dengan AlCl₃ susunannya tidak teratur, bentuk partikelnya lebih besar dan berbentuk lembaran-lembaran. Hal ini menunjukkan telah terjadi perubahan struktur dari kaolinit sebelum dan sesudah diimpregnasi dengan AlCl₃.

3.3 Penentuan Waktu Reaksi Optimum

Waktu reaksi optimum ditentukan dengan mereaksikan limbah minyak sawit mentah dan metanol dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4, dan 5 jam dengan katalis 3%. Konversi metil ester terhadap waktu reaksi ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Konversi metil ester pada esterifikasi asam lemak lumpur minyak kelapa sawit dengan variasi waktu reaksi

Gambar 4. menunjukkan bahwa pada waktu reaksi 30 menit telah mampu mengkonversi asam lemak menjadi metil ester. Ketika waktu reaksi dibuat menjadi 1 jam, terjadi peningkatan persentase konversi produk yang dihasilkan dari 72,91% menjadi 93,72%. Peningkatan konversi metil ester terus terjadi ketika waktu reaksi dinaikkan menjadi 2 jam dan dihasilkan persen konversi metil ester tertinggi yaitu sebesar 94,25%. Namun setelah reaksi berjalan selama 3 jam terjadi penurunan konversi produk. Penurunan konversi terus terjadi ketika reaksi dilakukan selama 4 dan 5 jam. Reaksi esterifikasi yang berlangsung merupakan reaksi reversibel sehingga waktu reaksi yang lama dapat menyebabkan produk yang telah terbentuk berubah kembali menjadi reaktan.

3.4 Penentuan Konsentrasi Optimum Katalis Kaolinit Terimpregnasi $AlCl_3$

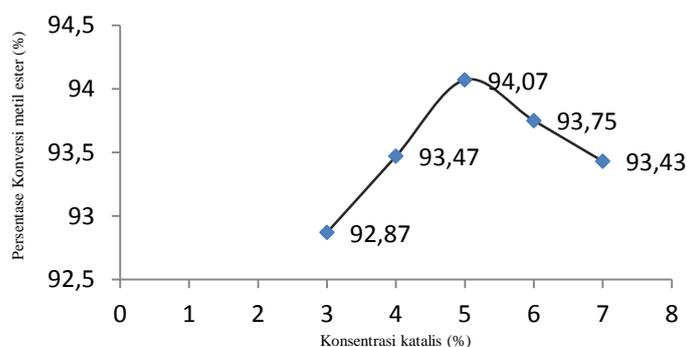
Penentuan konsentrasi katalis optimum sama dengan penentuan waktu reaksi optimum. Lumpur minyak kelapa sawit direaksikan dengan methanol. Katalis kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$ divariasi sebesar 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7% dari berat metanol dan lumpur minyak kelapa sawit. Kandungan asam lemak awal sebelum reaksi dibandingkan dengan kandungan asam lemak setelah reaksi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. menunjukkan bahwa konsentrasi katalis mempengaruhi banyaknya asam lemak dalam lumpur minyak kelapa sawit sebelum esterifikasi dan sesudah esterifikasi. Pada persentase katalis $AlCl_3$ -kaolinit 1 dan 2% belum mampu mengkonversi asam lemak bebas dalam lumpur minyak kelapa sawit yang disebabkan oleh situs asam Brønsted dari katalis belum mampu untuk mengkatalisis reaksi esterifikasi dari lumpur minyak kelapa sawit tersebut. Hal ini ditandai dengan pH katalis yaitu 4-5. Ketika jumlah katalis kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$ ditingkatkan menjadi 3% menyebabkan terjadi kecenderungan penurunan kadar asam lemak yang masih belum terkonversi dari sampel lumpur minyak kelapa sawit. Konversi tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis sebesar 5%. Sedangkan peningkatan jumlah katalis sebesar 6 dan 7% menyebabkan penurunan

konversi produk esterifikasi. Tabel 1. diolah menjadi persentase konversi produk sehingga dapat diperoleh grafik yang disajikan pada Gambar 5.

Tabel 1. Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Kadar Asam Lemak Lumpur Minyak Kelapa Sawit yang Tidak Terkonversi Menjadi Metil Ester

% Katalis (b/v)	% FFA Awal	% FFA Akhir
1	67,16	67,16
2	67,16	67,16
3	67,16	4,79
4	67,16	4,38
5	67,16	3,98
6	67,16	4,20
7	67,16	4,41



Gambar 5. Hubungan konsentrasi katalis kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$ terhadap persentase konversi produk

3.5 Analisis Produk dengan Menggunakan GC-MS

Pada penelitian ini, komposisi metil ester dari limbah minyak sawit mentah dianalisis menggunakan GC-MS Shimadzu QP 5050 A. Komposisi senyawa ester dari limbah minyak sawit mentah yang direaksikan dengan mentanol dengan katalis kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$ yang dianalisis menggunakan GC-MS dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data Luas Area Kromatogram Produk Esterifikasi Asam Lemak Limbah Minyak Sawit Mentah katalis kaolinit terimpregnasi $AlCl_3$

Puncak	Waktu retensi (menit)	Luas area (%)	Berat molekul	Nama senyawa
1	17,071	0,56	242	Metil miristat
2	19,441	46,22	270	Metil palmitat
4	21,196	35,17	296	Metil oleat
5	21,364	5,28	298	Metil stearat
7	23,025	0,17	312	Metil oktadekanoat
8	23,125	0,31	326	Metil Araktat

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa waktu reaksi dan konsentrasi katalis optimum pada esterifikasi asam lemak limbah minyak sawit mentah masing-masing adalah 2 jam dan 5% dengan konversi metil ester mencapai 94,25%. Sedangkan rasio AlCl_3 yang diimpregnasikan terhadap kaolinit dengan persen konversi tertinggi yaitu 1:2 dengan persen konversi tertinggi mencapai 94,81 %. Spektrum GC-MS pada waktu reaksi 2 jam menunjukkan adanya 6 jenis senyawa metil ester yaitu metil miristat (0,56%), metil palmitat (46,22%), metil oleat (35,17%), metil stearat (5,28%), metil oktadekanoat (0,17%) dan metil araktat (0,31%)

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Ditjen Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui skim Dana Hibah PENPRINAS MP3EI tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Usman, T., Ariany, L., Rahmalia, W., dan Advant, R., 2009, Esterifikasi Asam Lemak dari Limbah Kelapa Sawit (*Sludge Oil*) Menggunakan Katalis Tawas, *Indo.J.Chem.*, 2009, 9(3), 474-478.
- [2] Choo, Y.M., dan Basiron, Y., 1987, Production of Palm Oil Metil Esters dan its Use as Diesel Substitute. Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM).
- [3] Juan, J.C., Zhang, J., Yarmoa, M.A, (2007), 12-Tungstophosphoric acid supported on MCM-41 for esterification of fatty acid under solvent-free condition *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 267, 265–271.
- [4] Fumin, Z., Jun W., dkk, (2006), "Catalytic Performance of Heteropoly Compounds supported on dealuminated ultra-stable Y Zeolite for Liquid-phase Esterification", *Science in China: Series B Chemistry*, Vol 49 No.2, hal.140-147.
- [5] Pandiangan, K.D., Suka, I.G., Rilyanti, M., Widiarto, S., Anggraini, D., Arief, S., dan Jamarun, N., 2008, Karakteristik Keasaman Katalis Berbasis Silika Sekam Padi yang Diperoleh dengan Teknik Sol-Gel, Di dalam : Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II, Universitas Lampung 17-18 Nopember 2008, Bandar Lampung.
- [6] Harlia, Usman, T., Wahyuni, N., dan Rahmalia, W., 2009, Esterifikasi Asam Lemak Bebas Dari Limbah Minyak Sawit Mentah Dengan Metanol Dan Katalis AlCl_3 , Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia, UNNES-UNDIP-UNS, Bandung.

- [7] Padmaningsih, A. T., Trisunaryanti, W. dan Tahir, I., 2006, Kajian Pengaruh Konsentrasi Katalis Nb₂O₅-ZAA terhadap Konversi Biodiesel Total pada Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas, *Indonesian Journal Chemistry*, Vol: 6(3), 268-274.
- [8] Sunardi, Yateman. A dan Sutarno, 2009, Adsorpsi Asam Giberelin pada Kaolin Alam Asal Tatakalan Kalimantan Selatan, *Indo. J. Chem.*, 9(3):373-379.
- [9] Linssen, T., Cool, P., Baroudi, M., Cassier, K., Vansant, E.F., Lebedev, O., and Landuyt, V.J., 2002, Leached Natural Saponite as the Silicate Source in the Synthesis of Aluminium Hexagonal Mesoporous Materials, *J. Am. Chem. Soc.*
- [10] Wahyuni, N., Arryanto, Y., dan Kartini, A., 2004, Modifikasi Lempung Alam dengan Pemilar Besi Oksida dan Surfaktan Benzalkonium Klorida : Sintesis dan Karakterisasi dengan Spektrofotometer Inframerah (FTIR), Prossiding Seminar Nasional Kimia X, Jurusan Kimia FMIPA, UGM, Yogyakarta.
- [11] Carrado, K. A., Xu, L., Csenesits, R and Muntean, J. V., 2001, Use of Organo and Alkoxysilanes in the synthesis of Grafted and Pristine Clays, *J. Chem. Mater.*, 13:3766-3773.
- [12] Tan, K. H., 1995, Dasar-Dasar Kimia Tanah, Goenadi, D. H. (alih bahasa), Radjagukguk, B. (ed), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [13] Sinta, L.P., dan Gunadi, D.H., 2010, Pemanfaatan *Bio-Char* Sebagai Pembawa Mikroba untuk Pemantap Agregat Tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung, *Jurnal Menara Perkebunan*, 78(2), hal 49-57.