

## SINTESIS *CRUDE PALM OIL METHYL ESTER* MELALUI REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN METANOL

Nur Ulya Fajriyah<sup>1</sup>, Nanik Wijayati<sup>2</sup>, Eka Susanti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi (STIFAR) Semarang

<sup>2</sup> Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Email: nanik\_unnes@yahoo.com

### ABSTRAK

*Crude Palm Oil Methyl Ester* (CPOME) adalah senyawa metil ester yang berasal dari reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit (CPO) dengan metanol. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan sintesis CPOME melalui reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol menggunakan variasi katalis HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

Reaksi dilakukan dengan cara merefluk pada suhu 60-64°C selama 6 jam dengan rasio molar metanol/minyak kelapa sawit sebesar 6:1. Konsentrasi katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,5% b/b terhadap berat minyak kelapa sawit. Senyawa yang telah terbentuk dari reaksi didiamkan selama 1 malam agar lapisan CPOME dan lapisan gliserol dapat memisah. Lapisan CPOME dicuci dengan air hangat sampai netral lalu disaring. Selanjutnya dilakukan pengeringan dengan menambahkan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidrat.

Berdasarkan hasil reaksi diperoleh cairan jernih berwarna orange dengan bau yang khas. Senyawa hasil reaksi memiliki kerapatan 0,8935 g/ml dan indeks bias 1,4624. Hasil perhitungan rendemen menunjukkan bahwa persentase rendemen tertinggi diperoleh pada penambahan HCl (45,71%) kemudian H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (34,07%) dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (28,43%). Berdasarkan data kromatogram GC, persentase produk CPOME yang terbentuk pada penambahan HCl diperoleh hasil yang paling tinggi (75,68%) lalu diikuti H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (70,80%) dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (59,08%). Hasil Spektra Massa menunjukkan munculnya 5 puncak utama senyawa CPOME, yaitu metil tetradekanoat, metil heksadekanoat, metil *cis*-9, *cis*-12-oktadekadienoat, metil *cis*-9-oktadekanoat, dan metil oktadekanoat.

**Kata kunci** : Transesterifikasi, *Crude Palm Oil Methyl Ester*.

### ABSTRACT

Crude Palm Oil Methyl Ester (CPOME) is a methyl ester compound from transesterification reaction Crude Palm Oil (CPO) with methanol. The aims of this reseach were to transesterification CPO with methanol using HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> as various acid catalyts.

Reaction carried 60-64°C, about 6 hours with methanol/crude palm oil molar ratio of 6:1. The concentration of acid catalyst used 0.5% w/w acid catalyst/crude palm oil. Product from reaction leave for overnight so that CPOME phase can

separated from glicerol phase. CPOME phase washed with warm water until neutral and filtered. Then, its drying with addition  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhydrous.

Based on reaction result that product is clear orange liquid with characteristic odor. This product have density 0.8935 g/ml and refractive index 1.4624. Rendement of product result that product with addition HCl was higher (45.71%) than  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (34.07%) and  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (28.43%). Based on Chromatogram of GC, the addition of HCl on product CPOME was highest (75.68%) then followed  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (70.80%) and  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (59.08%). Structural approach using GC-MS instrument showed 5 peaks as main CPOME products, namely methyl tetradecanoate, methyl hexadecanoate, methyl *cis*-9, *cis*-12-octadecadienoate, methyl *cis*-9-octadecenoate and methyl octadecanoate.

**Keyword :** Transesterification, Crude Palm Oil Methyl Ester.

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan penghasil minyak kelapa sawit nomor dua terbesar di dunia, yaitu sekitar 16% kebutuhan dunia. Selama ini minyak kelapa sawit banyak digunakan untuk minyak makan. Dengan begitu besarnya sumber daya kelapa sawit yang dimiliki Indonesia, sangatlah disayangkan apabila minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil / CPO*) hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga saja. Untuk itu perlu dilakukan suatu upaya penelitian untuk dapat menemukan cara dalam memanfaatkan minyak kelapa sawit menjadi suatu produk yang dapat memberikan manfaat lebih bagi kehidupan manusia. Salah satu penelitian yang sedang dikembangkan adalah menghasilkan metil ester dari CPO melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati (trigliserida) dengan metanol (Arbianti, 2007).

Senyawa alkil ester ternyata dapat diaplikasikan sebagai bahan baku pembuatan surfaktan non-ionik, *emulsifying*, *plastifying agents*, *emolient* dan masih banyak lagi (Schuchardt, *et al.*, 1998). Metil ester dapat dibuat baik melalui reaksi transesterifikasi trigliserida minyak/lemak maupun esterifikasi asam lemak (Choo *et al.*, 1990; Goh and Choo, 1992; Lotero, *et al.*, 2006). Reaksi transesterifikasi adalah reaksi antara minyak (trigliserida) dan alkohol (Darnoko dan Cheryan, 2000). Reaksi transesterifiksasi antara minyak kelapa sawit dan metanol dengan dibantu katalis akan membentuk *methyl ester* dengan produk sampingan berupa gliserol. *Methyl ester* inilah yang disebut *Crude Palm Oil Methyl Ester* (CPOME). Katalis yang bisa digunakan dapat berupa katalis asam, basa maupun enzim (Choo, 2004; Schuchardt, *et al.*, 1998).

Penelitian tentang preparasi karakteristik senyawa metil ester dari minyak kelapa sawit telah dilakukan oleh Hamid dan Yusuf (2002). Penggunaan Minyak kelapa sawit dalam menghasilkan metil ester melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis Padatan Campuran Oksida Mg/Al hidrotalsit telah dilaporkan oleh Wibowo (2006). Zillillah (2008) telah melaporkan reaksi transesterifikasi *in situ* dan hidrogenasi dari biji kapok untuk menghasilkan senyawa metil ester dengan variasi katalis asam sulfat dan kalium metoksida, dari hasil yang diperoleh ternyata katalis asam sulfat lebih cocok digunakan untuk reaksi transesterifikasi. Selain itu, F Ma (1998) juga telah melaporkan efek jenis katalis pada reaksi transesterifikasi lemak sapi. Oleh karena itu dilakukan penelitian tentang sintesis CPOME menggunakan variasi katalis asam, sehingga dari penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan minyak kelapa sawit dan meningkatkan nilai ekonomis minyak kelapa sawit.

## **METODE PENELITIAN**

### **Bahan**

Minyak kelapa sawit, Metanol (p.a, *E. Merck*), Asam sulfat (p.a, *E. Merck*), Asam klorida (p.a, *E. Merck*), Asam fosfat (p.a, *E. Merck*), Kertas indikator universal, Kertas whatman, Natrium sulfat anhidrat (p.a, *E. Merck*) dan aquadest.

### **Alat**

Neraca digital Sartorius, Seperangkat alat refluks (*pyrex*), Refraktometer, Pipet mikroliter, Alat-alat gelas seperti corong pisah, gelas ukur, beaker glass, batang pengaduk, corong kaca, vial, Penangas air, *Hot plate*, Selang plastik, Spektrofotometri Inframerah (Shimadzu FTIR-8201 PC), Kromatografi Gas (Shimadzu, GC-2014) dan Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (Shimadzu, QP-2010S).

### **Prosedur Kerja**

Minyak Kelapa Sawit yang diperoleh dari PT Bonanza Megah Ltd. dianalisis menggunakan Spektrofotometer IR dan kromatografi gas (GC), untuk mengetahui komponen asam lemak dalam trigliserida. Selanjutnya dilakukan reaksi transesterifikasi dengan cara merefluks pada suhu 60-64°C selama 6 jam dengan penambahan metanol dan katalis asam. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan

perbandingan mol metanol terhadap mol trigliserida sebesar 6:1 menggunakan variasi katalis asam yakni asam klorida, asam sulfat dan asam fosfat dengan konsentrasi katalis 0,5% b/b terhadap berat minyak. Senyawa CPOME yang terbentuk diisolasi kemudian diuji kemurniannya yang meliputi uji organoleptis, uji berat jenis dan uji indeks bias, setelah itu dianalisis dengan GC (Shimadzu, GC-2014), IR (Shimadzu FTIR-8201 PC), dan GC-MS (Shimadzu, QP-2010S).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Senyawa hasil sintesis diuji kemurniannya menggunakan beberapa teknik uji kemurnian bahan yang meliputi : organoleptis, indeks bias dan berat jenis. Pengujian pertama terhadap senyawa hasil sintesis adalah pengujian organoleptis. Berdasarkan hasil pengujian organoleptis senyawa hasil sintesis diperoleh data yang disajikan pada tabel 1.

**Tabel 1. Perbandingan Organoleptis Senyawa Hasil Sintesis dan Minyak Kelapa Sawit**

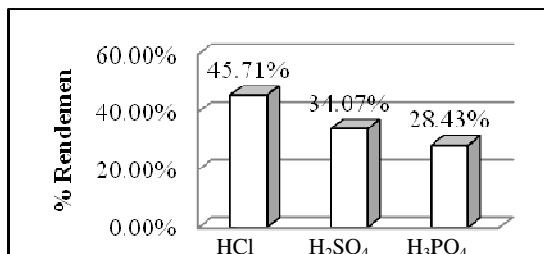
Bahan	Katalis	Bentuk	Warna	Bau
Minyak kelapa sawit	-	Cairan keruh	<i>Orange</i>	Khas kelapa sawit
Senyawa hasil sintesis	HCl	Cairan jernih	<i>Orange</i> tua	Khas
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Cairan jernih	<i>Orange</i> tua	Khas
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Cairan jernih	<i>Orange</i> tua	Khas

Berdasarkan hasil pengamatan organoleptis terdapat perbedaan antara sampel minyak kelapa sawit dengan senyawa hasil sintesis. Selanjutnya dilakukan pengujian indeks bias. Berdasarkan hasil pengujian indeks bias diperoleh indeks bias senyawa hasil sintesis sebesar 1,4624 dan indeks bias minyak kelapa sawit sendiri sebesar 1,4890. Pada pengujian berat jenis senyawa hasil sintesis diperoleh data yang disajikan pada tabel 2.

**Tabel 2. Perbandingan Kerapatan Dan Berat Jenis Senyawa Hasil Sintesis Dan Minyak Kelapa Sawit**

Hasil pengujian	Minyak kelapa sawit	Senyawa hasil sintesis
Kerapatan (g/ml)	0,9144	0,8935
Berat jenis	0,9263	0,9051

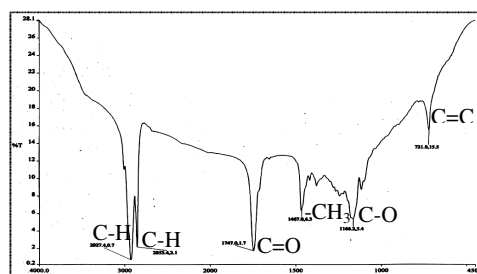
Selanjutnya dapat dilanjutkan dengan perhitungan persentase rendemen. Grafik hubungan reaksi dengan variasi katalis asam versus persentase rendemen. disajikan pada gambar 1.



**Gambar 1. Hubungan Variasi Katalis dengan Persentase Rendemen**

Berdasarkan grafik di atas diketahui bahwa pada reaksi transesterifikasi dengan variasi katalis asam yang dilakukan dengan penambahan katalis HCl menunjukkan rendemen yang tertinggi yakni 45,71%. Sedangkan reaksi dengan penambahan katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menghasilkan rendemen sebesar 34,07% dan reaksi dengan katalis H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> menghasilkan rendemen sebesar 28,43%. Hal ini berarti reaksi transesterifikasi dengan penambahan katalis HCl lebih optimal dibanding dengan katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

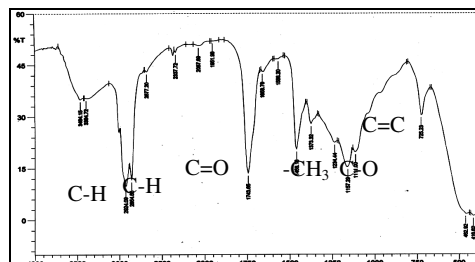
Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak kelapa sawit (CPO) yang diperoleh dari pabrik Bonanza Megah Ltd diidentifikasi dengan spektrofotometri Inframerah yang bertujuan untuk mengetahui keberadaan gugus-gugus fungsional. Spektrum Inframerah Minyak kelapa sawit dan senyawa hasil sintesis disajikan pada gambar 11 dan gambar 12.



**Gambar 2. Spektrum Inframerah Minyak Kelapa Sawit.**

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa pada spektrum dari minyak kelapa sawit muncul pita tajam pada bilangan gelombang 2927,07 cm<sup>-1</sup> dan 2853,21 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan adanya ikatan C-H alkana. Pita 1747,17 cm<sup>-1</sup> muncul pada spektrum yang mengindikasikan adanya gugus C=O. Selanjutnya, adanya gugus metil (-CH<sub>3</sub>) ditunjukkan pada bilangan gelombang 1467,63 cm<sup>-1</sup> dan gugus C-O ditunjukkan pada bilangan gelombang 1166,54 cm<sup>-1</sup> dengan intensitas tajam. Adanya senyawa alkena juga muncul pada bilangan gelombang 721,15 cm<sup>-1</sup> dengan

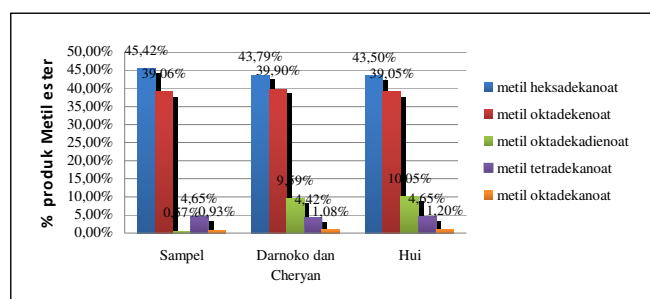
intensitas tajam. Munculnya pita-pita penting diatas semakin mempertegas adanya senyawa ester trigliserida dari asam lemak jenuh maupun asam lemak tak jenuh.



**Gambar 3. Spektrum Inframerah Senyawa Hasil Sintesis**

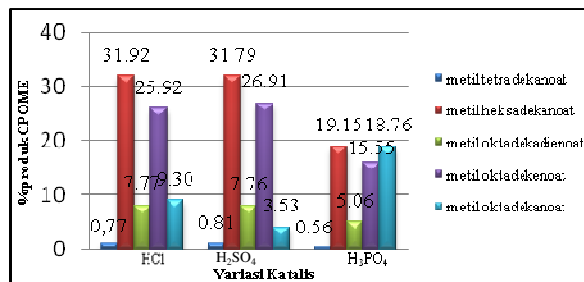
Berdasarkan Gambar 3 yang merupakan spektrum inframerah salah satu senyawa hasil sintesis, menunjukkan bahwa terdapat gugus C=O pada bilangan gelombang  $1743,63 \text{ cm}^{-1}$ . Pita dengan intensitas tajam pada bilangan gelombang  $1157,29 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan terdapat gugus C-O. Adanya gugus metil ( $-\text{CH}_3$ ) ditunjukkan pada bilangan gelombang  $1373,32 \text{ cm}^{-1}$  dengan intensitas tajam. Pita dengan intensitas tajam pada bilangan gelombang  $2854,65$  dan  $2924,09 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus C-H alkana.

Analisis GC terhadap sampel minyak kelapa sawit menunjukkan bahwa asam lemak yang dominan dalam minyak kelapa sawit adalah asam palmitat (45,42%) dan asam oleat (39,06%). Bila dibandingkan dengan komposisi kimia minyak kelapa sawit hasil penelitian Darnoko dan Cheryan (2000) serta Hui (1996) maka secara umum mempunyai kemiripan seperti yang dicantumkan dalam gambar 4.



**Gambar 4. Grafik perbandingan komposisi kimia minyak kelapa sawit dari sampel dengan hasil penelitian Darnoko dan Cheryan serta Hui**

Analisis kromatografi gas senyawa hasil sintesis melalui reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dan metanol dengan variasi katalis asam dapat dibuat grafik hubungan reaksi dengan variasi katalis asam versus persentase produk. Grafik tersebut disajikan pada gambar 5.



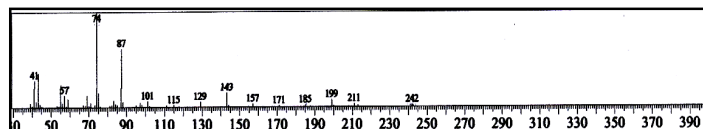
**Gambar 5. Hubungan Variasi Katalis dengan Persentase Produk CPOME.**

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui total jumlah persentase konversi minyak kelapa sawit menjadi produk CPOME tertinggi berada pada grafik yang menunjukkan reaksi transesterifikasi dengan penambahan katalis HCl yaitu sebesar 75,68%. Sedangkan pada reaksi transesterifikasi yang dikatalisis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> berturut-turut menghasilkan persentase Produk CPOME sebesar 70,80% dan 59,08%.

Berdasarkan hasil kromatografi gas selanjutnya dilakukan analisis GC-MS untuk mengetahui masing-masing senyawa yang terkandung dalam produk hasil sintesis.

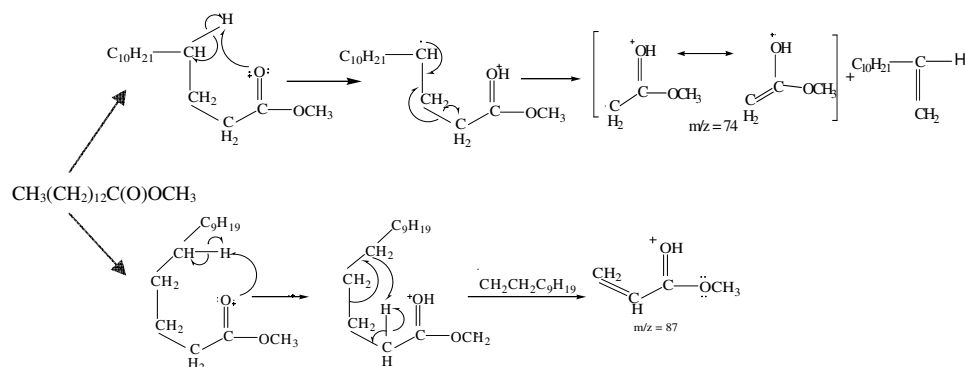
### 1. Senyawa Metil Tetradekanoat

Spektra massa dari senyawa metil ester dengan waktu retensi 28.183 disajikan seperti pada gambar 6.



**Gambar 6. Spektra massa dari senyawa Metil Tetradekanoat.**

Fragmentasi senyawa Metil Tetradekanoat dapat disajikan pada gambar 7.

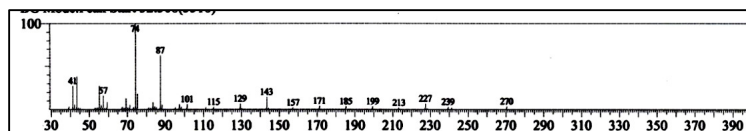


**Gambar 7. Fragmentasi Metil Tetradekanoat.**

Senyawa Metil tetradekanoat ditembak oleh elektron tinggi sebesar 70 eV menghasilkan ion molekuler  $m/z=242$  yang dengan terlepasnya molekul  $C_{12}H_{24}$  menghasilkan puncak dengan  $m/z=74$ . Puncak  $m/z = 74$  muncul kuat sebagai puncak dasar yang mempunyai kelimpahan relatif yang tinggi disebabkan karena ion ini distabilkan oleh adanya penataan ulang McLafferty. Pemecahan selanjutnya dengan lepasnya radikal  $C_{11}H_{23}$  menghasilkan puncak dengan  $m/z=87$ .

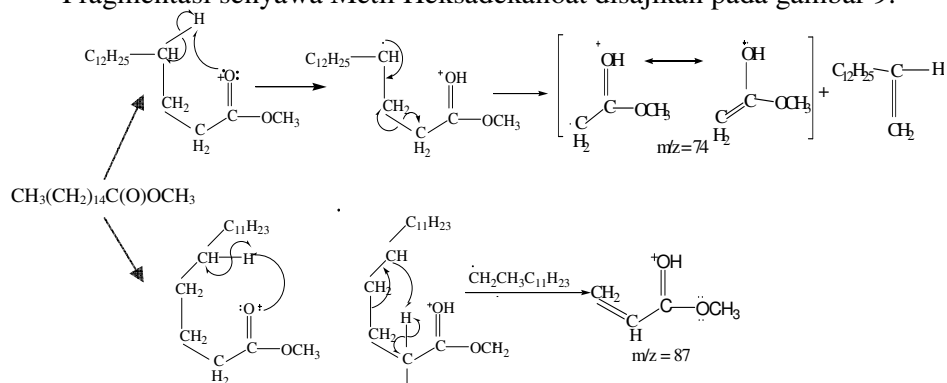
## 2. Senyawa Metil Heksadekanoat

Spektra massa senyawa metil ester dengan waktu retensi 32,608 ditampilkan pada gambar 8.



**Gambar 8. Spektrum massa senyawa Heksadekanoat.**

Fragmentasi senyawa Metil Heksadekanoat disajikan pada gambar 9.



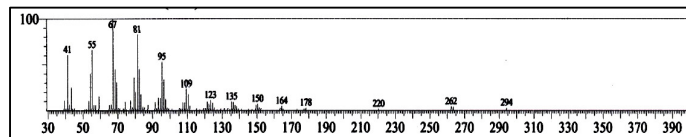
**Gambar 9. Fragmentasi Metil Heksadekanoat.**

Molekul Senyawa Metil heksadekanoat ditembak oleh elektron berenergi tinggi (70 eV) menghasilkan ion molekuler  $m/z=270$ , dengan terlepasnya radikal  $C_{14}H_{28}$  menghasilkan puncak dengan  $m/z=74$  (100%) yang merupakan puncak dasar disebabkan karena ion ini distabilkan oleh adanya penataan ulang McLafferty. Pemecahan selanjutnya dengan lepasnya radikal  $C_{13}H_{27}$  menghasilkan puncak dengan  $m/z=87$ .

## 3. Senyawa Metil *cis*-9, *cis*-12-Oktadekadienoat

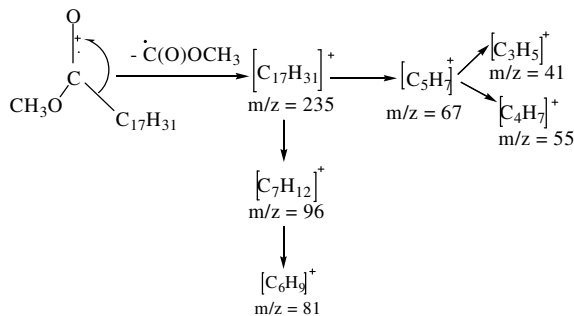
Spektra massa senyawa metil ester dengan waktu retensi 36.033 tampak seperti pada Gambar 10.





**Gambar 10. Spektra massa senyawa Metil *cis*-9, *cis*-12-Oktadekadienoat.**

Fragmentasi senyawa Metil *cis*-9, *cis*-12-Oktadekadienoat disajikan pada gambar 11.

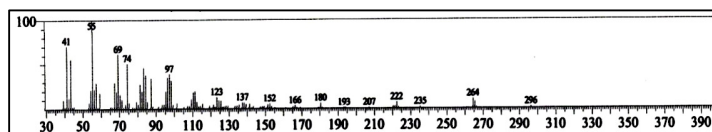


**Gambar 11. Fragmentasi Metil *cis*-9, *cis*-12-Oktadekadienoat**

Senyawa Metil *cis*-9, *cis*-12-Oktadekadienoat ditembak oleh elektron tinggi sebesar 70 eV menghasilkan ion molekuler  $m/z=294$ . Pecahan dengan  $m/z=67$  dan  $m/z=96$  dihasilkan dari pemecahan  $m/z=235$  dengan melepaskan radikal  $\text{C}(\text{O})\text{OCH}_3$ .

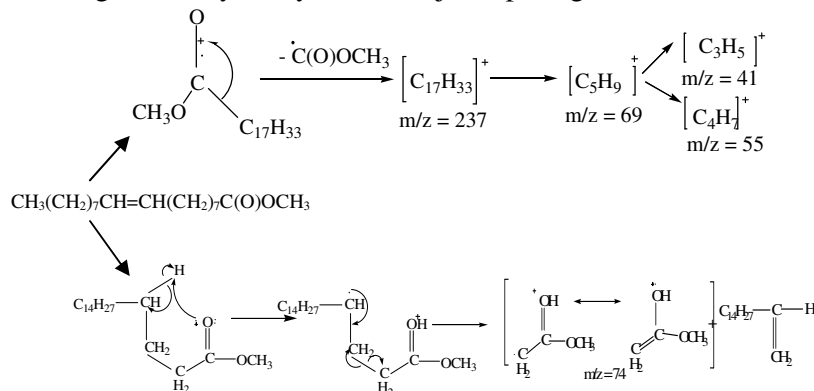
#### 4. Senyawa Metil *cis*-9-Oktadekenoat

Spektra massa senyawa metil ester dengan waktu retensi 36.150 nampak pada gambar 12.



**Gambar 12. Spektra massa senyawa Metil Oktadekenoat.**

Fragmentasinya senyawa 4 disajikan pada gambar 13.

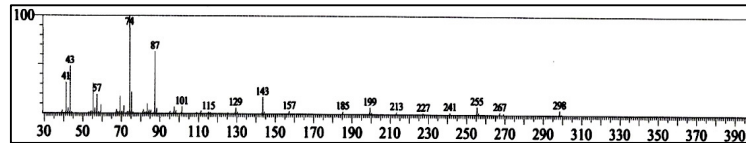


**Gambar 13. Fragmentasi Metil *cis*-9-Oktadekenoat**

Senyawa Metil *cis*-9-Oktadekadienoat ditembak oleh elektron tinggi sebesar 70 eV menghasilkan ion molekuler  $m/z=296$ . Pecahan dengan  $m/z=69$  dihasilkan dari pemecahan  $m/z=237$  dengan melepaskan radikal  $C(O)OCH_3$ . Selanjutnya dengan terlepasnya molekul  $C_{16}H_{32}$  menghasilkan puncak dengan  $m/z=74$

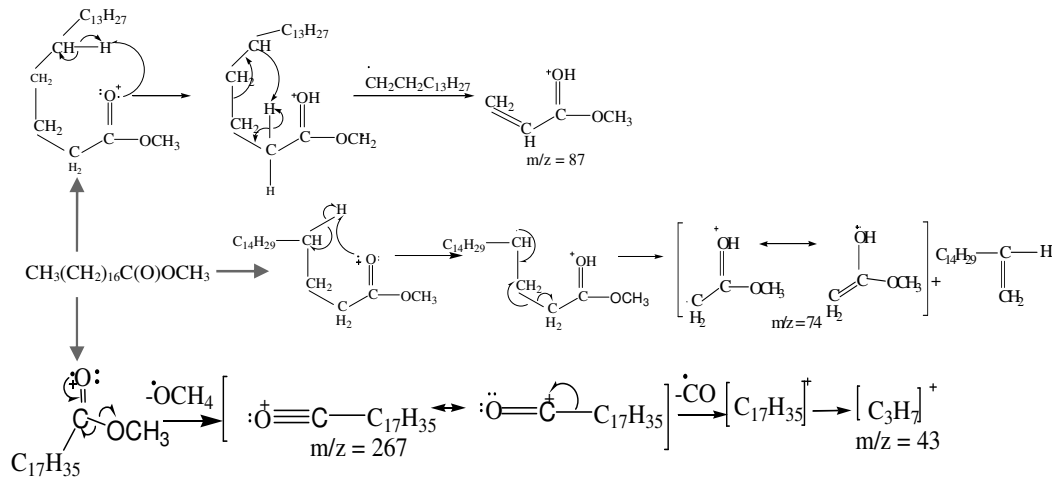
### 5. Senyawa Metil Oktadekanoat

Spektra massa senyawa metil ester dengan waktu retensi 36.592 tampak seperti pada gambar 14.



Gambar 14. Spektra Massa Senyawa Metil Oktadekanoat.

Fragmentasi senyawa Metil Oktadekanoat disajikan pada gambar 15.



Gambar 15. Fragmentasi Metil *cis*-9, *cis*-12-Oktadekadienoat

Senyawa Metil oktadekanoat ditembak oleh elektron berenergi tinggi sebesar 70 eV menghasilkan ion molekuler  $m/z=298$ , dengan terlepasnya radikal  $C_{16}H_{32}$  menghasilkan puncak dengan  $m/z=74$  yang muncul sebagai puncak dasar yang mempunyai kelimpahan relatif yang tinggi disebabkan karena ion ini distabilkan oleh adanya penataan ulang McLafferty. Pemecahan selanjutnya dengan lepasnya radikal  $C_{17}H_{35}$  menghasilkan puncak dengan  $m/z=87$ . Fragmen ion  $m/z=43$  muncul dari pemecahan  $m/z=269$  dengan melepaskan gugus metoksi ( $OCH_3$ ).

## SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Senyawa CPOME dapat disintesis dari minyak kelapa sawit dengan metanol menggunakan variasi katalis asam menghasilkan rendemen CPOME yang tertinggi pada pemakaian katalis HCl yakni menghasilkan rendemen sebesar 45,71% diikuti dengan katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 34,07% dan dengan katalis H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebesar 28,43%. Komponen senyawa CPOME terdiri dari 5 senyawa utama meliputi metil tetradekanoat, metil heksadekanoat, metil *cis*-9, *cis*-12-oktadiedekanoat, metil *cis*-9-oktadekanoat dan metil oktadekanoat.

### 5.2 Saran

1. Bagi penelitian selanjutnya disarankan dengan menggunakan katalis basa dengan terlebih dahulu melakukan esterifikasi guna mengurangi kadar asam lemak dengan katalis asam sulfat agar diperoleh hasil konversi CPOME yang lebih maksimal.
2. Bagi penelitian selanjutnya dapat dilakukan reaksi transesterifikasi ataupun sulfonasi terhadap senyawa CPOME yang diperoleh.
3. Disarankan pula penelitian sejenis dengan menggunakan variasi konsentrasi katalis, lama pengadukan dan temperatur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arbianti, R., Tania S. U., Doddy N. 2007. Pengaruh Kondisi Reaksi Transesterifikasi CPO terhadap Produk Metil Palmitat dalam Reaktor Tumpak dan Reaktor Tumpak Sirkulasi dalam *Risalah Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia 2007*. Surabaya : FTI-ITS
- Choo Yuen May. 2004. Transesterification of Palm Oil : Effect of Reaction Parameters. *Journal of Oil Palm research Vol.16 No. 2 December 2004 p. 1-11*. Choo, Y M., Goh, S H., Ong, A S H and Khor, H T. 1990. *Transesterification of fats and oils*. U.K. patent No. 2188057.
- Darnoko, D., Cheryan, M. 2000. Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor *JAACS. Vol :77, no 12 (2000)*.
- F, Ma.,L. D. Clement., M. A. Hanna. 1998. The Effects of Catalyst, Free Fatty Acid and Water on Transesterification of Beef Tallow. *American Society of Agriculture Engineers 0001-2351/98/4105-1261 Vol 41(5): 1261-1264*.

- Goh, S H and Choo, Y M .1992. *Production of alkyl esters from oils and fats*. Australian patent No.43519/89.
- Hamid, T dan Yusuf, R. 2002. Preparasi Karakteristik Biodiesel dari Kelapa Sawit. *Makara, Teknologi, Vol. 6, No. 2*.
- Hui, Y.H. 1996. Bailey's Industrial Oil and Fat Products: *Edible Oil and Fat Products Processing Technology*, New York : Jhon Willey & Sons, Inc. Vol 2.
- Lotero, E., Goodwin, J G., Bruce, D. A., Swannakarn, K., Liu, Y., Lopez, D. E. 2006. The Catalysis of Biodiesel Syntesis. *The Royal Society of Chemistry-Catalysis Volume 19*.
- Schuchard, U., Serchelia, R., Vargas, R. M. 1998. Transesterication of Vegetable Oil : a Review. *Journal of Brazillian Chemical Society. Vol. 9. No. 1.199-210*.
- Wibowo, W., Wahyuni, P., Serlie. 2006. Studi Reaksi Transesterifikasi Trigliserida dengan Metanol Menggunakan Katalis Padatan Campuran Oksida Mg/Al hidrotalsit. *Sains Indonesia Vol. 11, No.1 (2006) 1-5*.
- Zillillah. 2008. Pembuatan Biodiesel Halphen Negatif Secara Langsung dari Biji Kapok. *Skripsi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.