

# STUDI POLIMERISASI ESTER DARI ASAM LEMAK SAWIT DISTILAT (ALSD) MENGGUNAKAN INISIATOR BENZOIL PEROKSIDA 0,1%

Widya Dwifirman<sup>1</sup>, Zultiniar, Bahrudin

Laboratorium Teknologi Bahan Alam dan Mineral  
Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293  
<sup>1</sup>widyadwifirman@gmail.com / 081275619480

## ABSTRACT

*Polyesters are polymers which contain the ester functional group in their main chain. In this research, used raw materias were Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) and methanol. PFAD as a byproduct of the processed of palm oil has great potential to be used as raw material for polyester products. The purpose of this research was study polymerization of ester from Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) using initiator of benzoyl peroxide 0,1%. There are two steps in this research, esterification reaction in the presence of sulfuric acid and the polymerization reaction with the help of benzoyl peroxide as initiator. Fixed variable used is the reactant composition of 1:8, speed of stirred 150 Rpm, composition of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1% (w/w) PFAD and composition of benzoyl peroxide 0,1% (w/w) of methyl ester, while changed variable is the polymerization reaction time 3, 4 and 5 hours and polymerization reaction temperatures of 120, 130 and 140° C. Results of research on the esterification stage is obtained methyl ester with density 0,779 g/ml, viscosity 0,03746 cp and GC-MS analysis showed that the purity of methyl esters is 88,9%. GC-MS analysis sample after polymerization reaction showed that purity of methyl ester is 3,47%.*

**Keywords :** esterification, methyl ester, pfad, polymerization

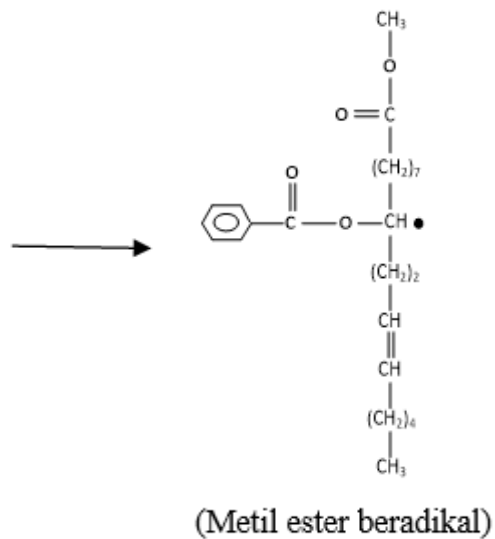
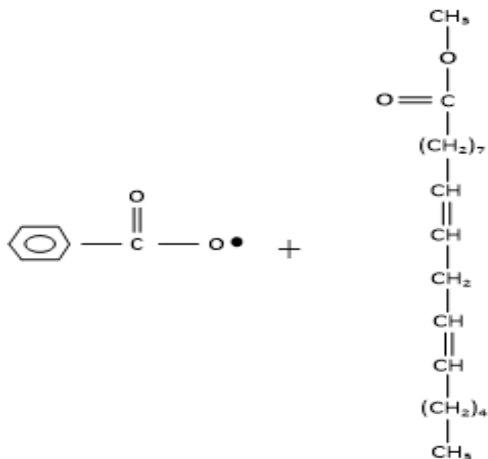
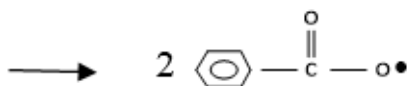
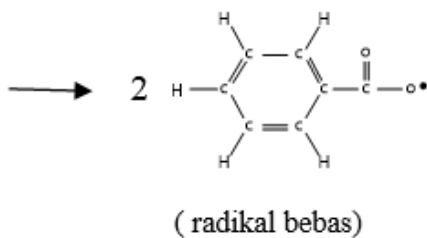
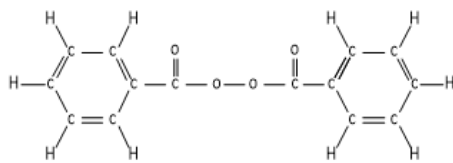
## I. PENDAHULUAN

Produksi sawit di Indonesia khususnya di Riau mengalami peningkatan setiap tahunnya. Tahun 2008 luas perkebunan sawit mencapai 1.673.771 ha dan tahun 2012 menjadi sekitar 2.372.402 ha. Peningkatan luas area perkebunan menyebabkan peningkatan produksi sawit dari 5.764.201 ton Tandan Buah Segar (TBS) pada tahun 2008 menjadi 7.340.809 ton TBS pada tahun 2012 (Badan Pusat Statistik, 2012). Seiring meningkatnya produksi sawit, konsumsi minyak sawit pun meningkat. Dengan meningkatnya produksi sawit, peluang untuk peningkatan pemanfaatan sawit dan turunannya pun dilakukan berbagai pihak untuk menambah daya guna dan nilai ekonomi bagi negara kita.

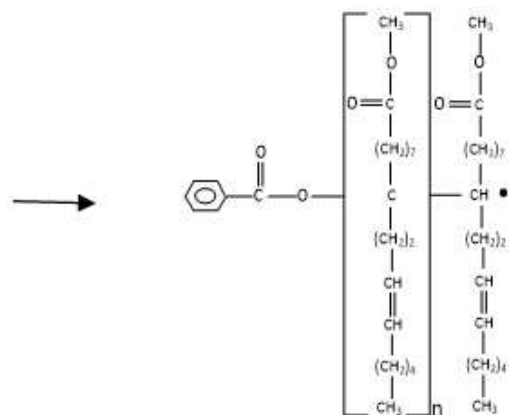
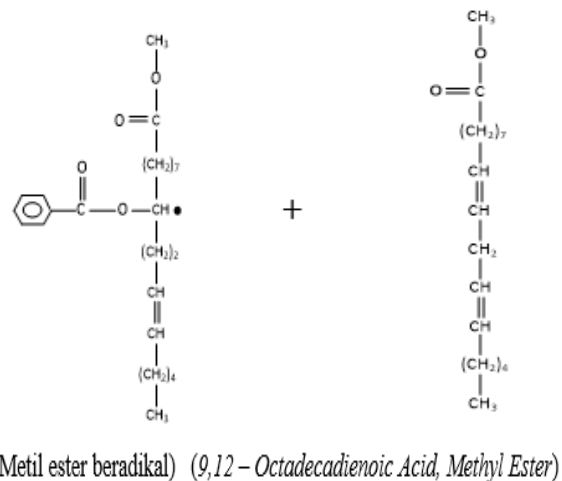
Pengolahan CPO sebagai bahan baku industri hilir berbasis oleokimia diawali dengan proses pemurnian CPO sehingga diperoleh *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO). Proses pemurnian terdiri dari beberapa tahap, yaitu penghilangan pospatida, penghilangan warna yang tidak disukai dan penghilangan bau. Tahap proses penghilangan bau (*deodorizing*) dilakukan secara fisika yaitu *steam stripping*. Pada tahap ini akan terpisah asam lemak sawit (ALSD/Asam Lemak Sawit Distilat) sebanyak 6% dari CPO umpan (Yelmida *et al*, 2012). Salah satu turunan dari proses pengolahan minyak sawit adalah ALSA. Dengan meningkatnya produksi minyak sawit memberikan gambaran bahwa perolehan ALSA turut meningkat. Meskipun ALSA merupakan hasil samping, namun masih berpotensi

untuk dimanfaatkan tanpa harus mengganggu ketersediaan pangan, sehingga pemanfaatan hasil samping proses minyak sawit semakin luas. ALSD sebagai hasil samping ini memiliki potensi yang cukup besar untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan produk poliester (Tanjung *et al*, 2013).

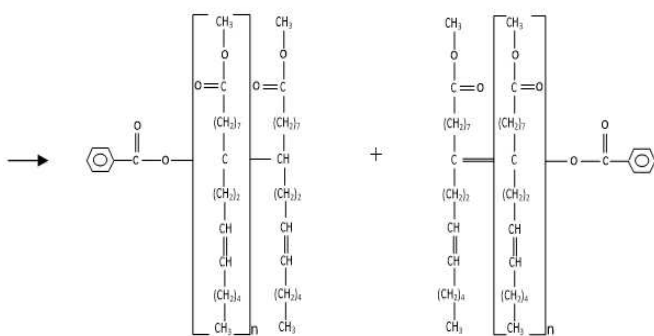
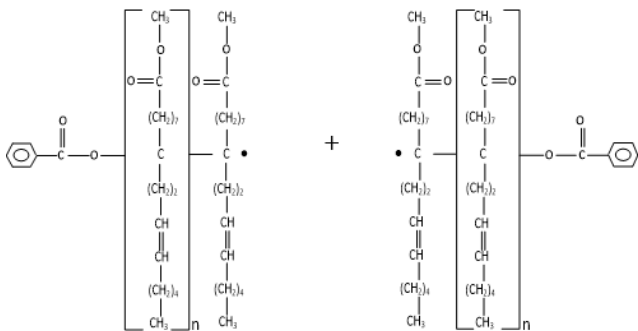
**Tahap Inisiasi :**



**Tahap Propagasi :**

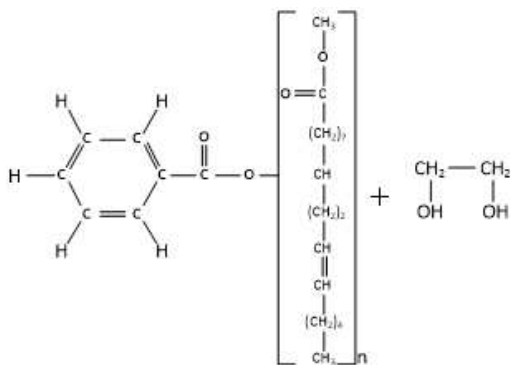


**Tahap Terminasi :**



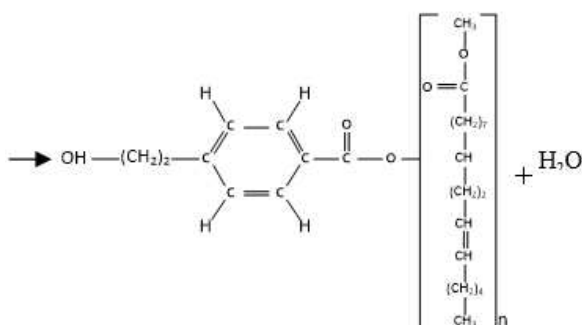
(Metil ester terpolimerisasi)

(Metil ester terpolimerisasi)



(Metil ester terpolimerisasi)

(Etilen glikol)



(Poliester)

Resin poliester biasanya digunakan pada aplikasi yang menggunakan suhu tinggi terutama pada aplikasi elektrik dan ketahanan korosi. Selain itu, resin poliester juga dibutuhkan dalam aplikasi yang memiliki ketahanan kimia selama puluhan tahun. Poliester bersifat polar, sehingga pada kondisi yang semakin polar korosi akan semakin berkurang menyerang komponen yang terbuat dari poliester tidak jenuh (Bramantyo, 2008). Tujuan Penelitian ini adalah mempelajari polimerisasi ester dari Asam Lemak Sawit Distilat (ALSD) menggunakan inisiator benzoil peroksida 0,1%.

**II. METODE PENELITIAN**

**2.1 Bahan**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Asam Lemak Sawit Distilat (ALSD) dari PT. Wilmar Bioenergi, metanol sebagai reaktan, asam sulfat MERCK 1% (b/b) ALSD sebagai katalis reaksi esterifikasi, benzoil peroksida MERCK 0,1% (b/b) metil ester sebagai inisiator reaksi polimerisasi, etilen glikol MERCK sebagai reaktan polimerisasi.

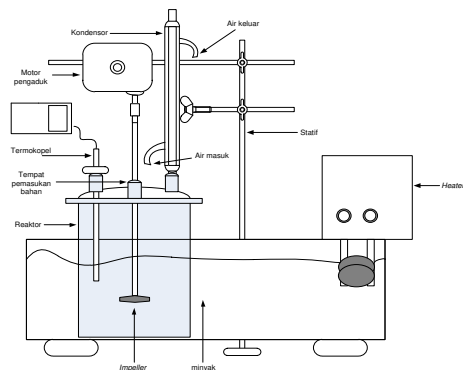
**2.2 Reaksi Esterifikasi**

Reaksi esterifikasi diawali dengan mereaksikan ALSD yang sudah diuji komposisi kandungannya menggunakan uji GC-MS dan metanol dengan penambahan katalis asam sulfat pada reaktor yang dilengkapi kondensor refluks terbalik dan pengaduk dengan suhu 70° C. Rasio molar ALSD dan gliserol merupakan variabel tetap 1:8 dengan katalis asam sulfat 1% berat ALSD. Produk yang terbentuk diharapkan adalah FAME (*Fatty Acids Methyl Esters*).

**2.3 Reaksi Polimerisasi**

Selanjutnya dilakukan reaksi polimerisasi dengan mereaksikan FAME di dalam reaktor menggunakan komposisi inisiator benzoil peroksida sebesar 0,1% berat pada variasi suhu 120, 130 dan 140° C dan dalam variasi waktu 3, 4 dan 5 jam.

Setelah reaksi polimerisasi, ditambahkan etilen glikol dengan perbandingan 1:1 ke dalam reaktor berlangsung pada temperatur 175-200° C dan waktu reaksi 4 jam.



**Gambar 1** Rangkaian Alat Esterifikasi dan Polimerisasi

Untuk mengetahui reaksi polimerisasi sudah terjadi, dianalisis dengan menggunakan uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk mengetahui karakteristik molekular struktur gugus fungsinya dan uji GC-MS (*Gas Chromatography and Mass Spectrometry*) untuk mengetahui komposisinya. Untuk mengetahui sifat fisik dari poliester yang terbentuk akan dihitung viskositas pada masing-masing sampel.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

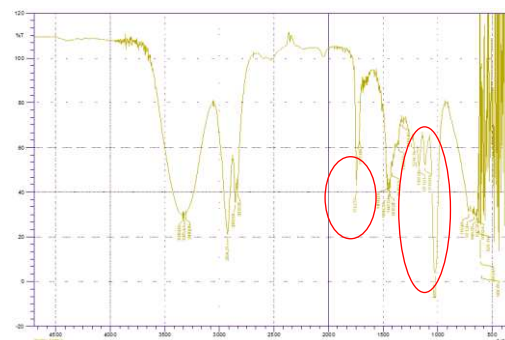
#### 3.1 Hasil Analisa Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi terjadi antara ALSD (Asam Lemak Sawit Distilat) dan metanol dengan perbandingan mol 1 : 8 menggunakan katalis asam sulfat sebesar 1% (b/b) ALSD. Reaksi ini berlangsung selama dua jam dengan temperatur 70° C. Untuk mengetahui komposisi dan kemurnian dari metil ester yang terbentuk digunakan uji GC-MS (*Gas Chromatography and Mass Spectrometry*). Adapun hasil dari uji GC-MS metil ester dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa kemurnian total metil ester dari keseluruhan komposisi yaitu sebesar 88,42% dan sisanya adalah komponen asam lemak yang belum ikut bereaksi menjadi ester.

**Tabel 1** Hasil uji GC-MS Metil ester

Komposisi Metil Ester	Jenis	%area
<i>Dodecanoic Acid</i>	Asam Laurat (asam lemak jenuh)	8,56
<i>Tetradecanoic Acid, Methyl Ester</i>	Asam Miristat (asam lemak jenuh)	1,61
<i>Tetradecanoic Acid</i>	Asam Miristat (asam lemak jenuh)	1,35
<i>Hexadecanoic Acid, Methyl Ester</i>	Asam Palmitat (asam lemak jenuh)	51,09
<i>7 - Octadecanone</i>	Oleat Alkohol (asam lemak tak jenuh)	1,68
<i>9,12 - Octadecadienoic Acid, Methyl Ester</i>	Asam Linoleat (asam lemak tak jenuh)	5,06
<i>11 - Octadecenoic Acid, Methyl Ester</i>	Asam Oleat (asam lemak tak jenuh)	27,67
<i>Octadecanoic Acid, Methyl Ester</i>	Asam Linoleat (asam lemak tak jenuh)	2,99
		100

Handayani dkk (2006) menghasilkan metil ester pada tahap reaksi esterifikasi sebanyak 93,75%. Tanjung dkk (2013) dan Manurung dkk (2013) mendapatkan kemurnian metil ester yang sama yaitu 82,23%. Untuk membuktikan terbentuknya metil ester juga dilakukan uji analisa lainnya yaitu analisa FT-IR (*Fourier Transform Infrared*). Adapun hasil uji FT-IR dari metil ester dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2** Hasil Analisa FTIR (*Fourier Transform Infrared*) Metil Ester

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat pada panjang gelombang 1742,76  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus ester (C=O) pada rentang 1730-1750  $\text{cm}^{-1}$  (Pavia dkk, 2009). Selain itu, terdapat pada panjang gelombang 1024,25  $\text{cm}^{-1}$ , 1115,87  $\text{cm}^{-1}$ , 1171,81  $\text{cm}^{-1}$ , 1197,85  $\text{cm}^{-1}$  dan 1244,14  $\text{cm}^{-1}$  masuk dalam rentang 1000-1300  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus *acid* (C=O) (Pavia dkk, 2009).

**Tabel 2** Bilangan Gelombang Metil Ester

Sampel	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Gugus Fungsi	Tipe Senyawa
Metil ester sebelum reaksi polimerisasi	3336,03 – 3308,06	O-H	Asam Karboksilat
	1717,68		
	2924,21 – 2833,55	C-H	Alkena
	719,48 – 602,78		
	2026,92 - 1990,27	X=C=	Isosianat, isotiosianat ester
	1742,76	Y	
	1464,03 – 1418,71	C=O	
		CH <sub>2</sub> -C=O	
	1362,77 – 1116,83	C-X,	Florida, klorida, bromide, iodida
	1025,21	C-O	

**Sebelum Reaksi Polimerisasi**

Hasil uji viskositas dari metil ester yang didapat yaitu sebesar 0,00374 poise. Data kemurnian dari metil ester ini sangat dibutuhkan dalam perhitungan komposisi benzoil peroksida pada tahap polimerisasi. Dalam uji GC-MS produk hasil reaksi esterifikasi, tidak terdapat kandungan metanol lagi sehingga dapat diasumsi metanol sudah habis bereaksi atau sebagian menguap.

**3.2 Analisa Reaksi Polimerisasi**

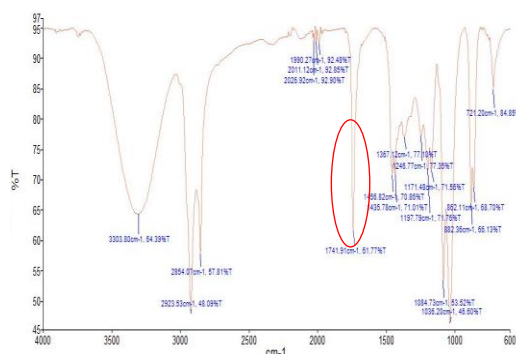
Metil ester yang telah terbentuk dilanjutkan ke tahap polimerisasi dengan bantuan benzoil peroksida sebanyak 0,1% (b/b) metil ester. Benzoil peroksida dimasukkan dalam fasa padat (serbuk). Benzoil peroksida yang digunakan memiliki titik leleh yaitu pada temperatur 102-105° C. Reaksi polimerisasi akan dilangsungkan pada temperatur 120-140° C sehingga benzoil peroksida sudah meleleh pada temperatur reaksi polimerisasi. Benzoil peroksida merupakan molekul yang tidak stabil sehingga dapat terdekomposisi menjadi radikal bebas saat diberi panas pada temperatur 80-95° C sehingga ikatan O-O terlepas secara homolitik (Odiان, 2004). Metil ester yang merupakan monomer akan terinisiasi dengan radikal bebas benzoil peroksida pada ikatan rangkap yang dimiliki monomer sehingga mempermudah berikatan antara monomer membentuk dimer, trimer, dan seterusnya. Reaksi polimerisasi menggunakan inisiator

benzoil peroksida termasuk pada reaksi polimerisasi adisi radikal yang memiliki tiga tahap yaitu inisiasi, propagasi dan terminasi (Fried, 2003).

Selanjutnya metil ester terpolimerisasi direaksikan dengan etilen glikol. Reaksi polimerisasi antara etilen glikol dan metil ester yang terpolimerisasi adalah reaksi polimerisasi kondensasi. Berdasarkan Manurung dkk (2013), penambahan etilen glikol pada reaksi polimerisasi adalah salah satu usaha meminimalisir kadar air yang terbentuk. Selain itu, penambahan etilen glikol juga berfungsi sebagai pemanjangan rantai polimer (Budi dkk, 2009). Dengan bertambah panjangnya rantai polimer akan menambah berat molekul pada produk reaksi polimerisasi, sehingga terjadi perubahan berat molekul dari reaktan menjadi produk akhir.

**Tabel 3** Bilangan Gelombang Metil Ester Setelah Reaksi Polimerisasi

Sampel	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Gugus Fungsi	Tipe Senyawa
Metil ester setelah reaksi polimerisasi	3303,8	O-H	Asam Karboksilat
	2854,07 dan 2923,53		
	882,36 – 862,11	C-H	Alkena
	721,20		
	2026,92 - 1990,27	X=C=Y	Isosianat, isotiosianat ester
	1741,91	C=O	
	1456,82 dan 1435,78	CH <sub>2</sub> -CH=O	
		1367,12 – 1171,48	
	1084,73 – 1036,20		



**Gambar 3** Hasil Uji FT-IR Sampel pada T = 130 °C dan t = 5 Jam

Hal ini juga menunjang syarat terjadinya reaksi polimerisasi kondensasi yang membutuhkan minimal dua atau lebih gugus aktif pada sebuah monomer, sehingga reaksi polimerisasi (pengulangan unit monomer) dapat terjadi (Fried, 2003). Produk akhir reaksi polimerisasi yang telah terbentuk dilakukan uji analisa FT-IR untuk mengetahui gugus ester (C=O) yang merupakan gugus aktif dari monomer. Gambar 3 merupakan salah satu hasil uji FT-IR dari beberapa sampel yang diuji. Berdasarkan Gambar 3 terdapat pada panjang gelombang  $1741,91\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus ester (C=O) pada rentang  $1730-1750\text{ cm}^{-1}$  (Pavia dkk, 2009).

**Tabel 4** Hasil Uji GC-MS Sampel  
T =  $130^{\circ}\text{C}$ , t = 5 Jam

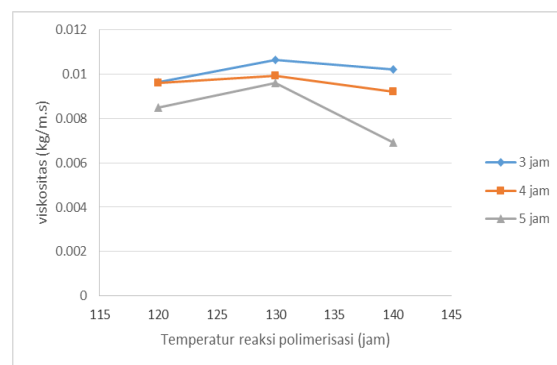
Komposisi	% Area
Acetone glycol	0,12
1,2-Ethandiol, Ethylene glycol	93,99
5-Hydroxy-2-decenoic acid lactone	0,24
Dodecanoic acid, Methyl ester	0,16
Dodecanamide	0,17
Tetradecanoic acid	0,28
Hexadecanoic acid, Methyl ester	0,56
Heptadecene (8)-carbonic acid	0,15
Hexadecanoic acid	0,78
Dodecanoic acid, Methyl ester	0,24
9-Octadecanoic, Methyl ester	2,23
Octadecanoic acid, Methyl ester	0,28
Heptadecene-(8)-carbonic acid	0,47
Octadecanoic acid	0,14
Tricyclo(2,9)Hexadeca-3,15-Diene, Trans-2,9-Transoid-9,10-Trans-1,10	0,2
<b>Total</b>	<b>100</b>

Berdasarkan uji FT-IR yang telah dilakukan produk akhir pada tahap polimerisasi dengan variabel temperatur  $130^{\circ}\text{C}$  dan waktu polimerisasi lima jam juga dilakukan uji GC-MS untuk mengetahui komposisi ester yang tersisa setelah reaksi polimerisasi dilakukan. Adapun komposisi dari hasil uji GC-MS

produk akhir pada tahap polimerisasi dapat dilihat pada Tabel 4. Total jumlah metil ester yang tersisa adalah sebesar 3,47%. Berdasarkan hasil uji GC-MS komposisi terbesar yang terkandung adalah etilen glikol sebesar 93,99%.

### 3.3 Pengaruh Waktu dan Temperatur pada Reaksi Polimerisasi

Dalam penelitian ini, waktu dan reaksi polimerisasi menjadi variabel berubah. Berdasarkan hasil uji viskositas didapatkan kondisi temperatur optimum. Kenaikan nilai viskositas cenderung terjadi hingga temperatur  $130^{\circ}\text{C}$ , namun dari temperatur  $130^{\circ}\text{C}$  menuju temperatur  $140^{\circ}\text{C}$  terjadi penurunan dikarenakan semakin menurun dengan semakin bertambahnya waktu reaksi polimerisasi disebabkan dengan semakin tingginya temperatur densitas tidak mampu mampat (*incompressible*) sehingga tidak menyebabkan terjadinya perubahan densitas yang berarti (Handayani dkk, 2013).



**Gambar 4** Hubungan Temperatur dan Waktu Reaksi Polimerisasi terhadap Viskositas

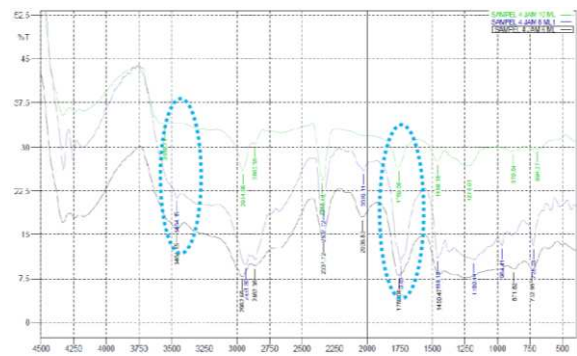
Pengaruh waktu terhadap hasil uji viskositas adalah dengan semakin lamanya waktu reaksi polimerisasi maka semakin menurun nilainya. Tanjung dkk (2013) dan Manurung dkk (2013) mendapatkan hubungan waktu reaksi polimerisasi terhadap nilai viskositas dengan semakin lamanya waktu reaksi maka nilai viskositas semakin meningkat pula. Penurunan nilai

viskositas dengan semakin lamanya waktu reaksi disebabkan oleh telah terjadinya pemutusan ikatan rangkap dan kemungkinan telah terjadi reaksi perengkahan (rantai karbon semakin pendek) sehingga mengakibatkan rendahnya nilai viskositas sampel setelah reaksi polimerisasi (Handayani dkk, 2014). Pengaruh waktu dan temperatur reaksi polimerisasi terhadap viskositas dapat dilihat pada Gambar 4.

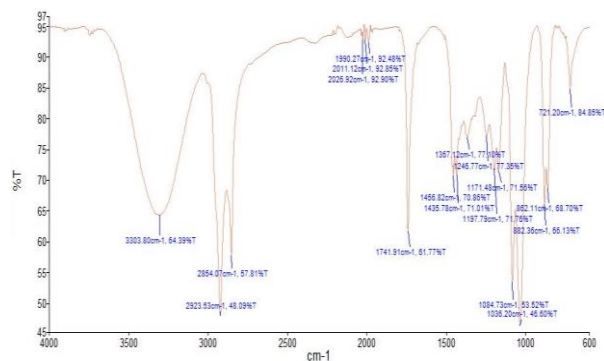
Berdasarkan hasil uji viskositas, sampel pada waktu reaksi polimerisasi 3 jam memiliki nilai viskositas yang maksimum, sedangkan pada sampel hingga waktu reaksi 5 jam cenderung memiliki nilai viskositas menurun sehingga sifat fisik dari sampel setelah reaksi polimerisasi yang dihasilkan berwarna sedikit lebih terang dan tidak terlalu kental. Tanjung dkk (2013) melihat pengaruh waktu reaksi polimerisasi dengan variasi 3, 4, dan 5 jam. Didapatkan waktu reaksi optimum yaitu 4 jam. Menurut Bird dkk (2002), untuk viskositas cairan biasanya menurun dengan meningkatnya temperatur.

Hasil uji analisa FT-IR adalah berupa grafik hubungan panjang frekuensi gugus terhadap persen transmitter dari monomer gugus ester (C=O) seharusnya memiliki intensitas yang kuat sehingga pada grafik yang curam ke bawah mendekati terhadap sumbu x rentang 1730-1750  $\text{cm}^{-1}$  (Mudzakir, 2010). Berdasarkan keseluruhan hasil uji analisa FT-IR semua sampel rentang 1730-1750  $\text{cm}^{-1}$ , temperatur 130 $^{\circ}$ C memiliki intensitas kuat pada grafik. Peningkatan intensitas pada gugus ester (C=O) hingga temperatur 130 $^{\circ}$ C sesuai dengan temperatur yang digunakan oleh Tanjung dkk (2013) dan Manurung dkk (2013), tahap reaksi polimerisasi dilakukan rentang temperatur 126-132 $^{\circ}$ C.

Berdasarkan hasil uji FT-IR seluruh sampel dapat dilihat pengaruh waktu pada reaksi polimerisasi. Intensitas monomer gugus ester pada rentang 1730-1750  $\text{cm}^{-1}$  semakin kuat dengan waktu polimerisasi yang divariasikan.



(a)



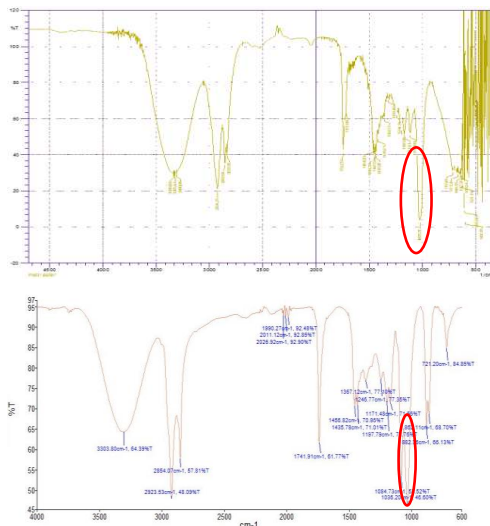
(b)

**Gambar 5** Grafik Perbandingan Hasil Uji FTIR (a) Grafik Uji FTIR pada Penelitian Sebelumnya (Manurung dkk, 2013), (b) Grafik Uji FTIR sampel T = 130 $^{\circ}$ C, t = 5 jam

Menurut Handayani dkk (2006) hal ini disebabkan semakin lama waktu reaksi maka kemungkinan kontak antar zat semakin besar. Jika kesetimbangan reaksi sudah tercapai maka dengan bertambahnya waktu reaksi tidak akan menguntungkan karena tidak akan memperbanyak ke arah produk atau hasil (Handayani dkk, 2006). Selain itu berdasarkan hasil uji FT-IR, metil ester masih terdapat pita serapan gugus vinil (-CH=CH<sub>2</sub>) rentang 900-1040  $\text{cm}^{-1}$  pada panjang gelombang 1024,25  $\text{cm}^{-1}$ . Namun, setelah reaksi polimerisasi berlangsung pita serapan gugus vinil masih terdapat panjang gelombang 1035,2  $\text{cm}^{-1}$ . Hal ini dikarenakan masih belum terjadinya reaksi polimerisasi, dengan adanya gugus vinil mengindikasikan adanya ikatan rangkap (Suirta, 2012).

Selanjutnya sampel pada temperatur 130 $^{\circ}$ C dan waktu reaksi polimerisasi 5 jam

dilakukan uji GC-MS. Berdasarkan hasil uji komposisi dari metil ester saat reaksi polimerisasi terjadi pengurangan komposisi dibandingkan saat setelah terjadinya reaksi esterifikasi dan berdasarkan berat molekul dari ester saat reaksi polimerisasi sedikit terjadi perubahan terjadi perubahan berat molekul.



**Gambar 6** Grafik Perbandingan Hasil Uji FTIR Gugus Vinil ( $-\text{CH}=\text{CH}_2$ ) pada Sampel Sebelum dan Sesudah Reaksi Polimerisasi

Hal utama yang diperkirakan menyebabkan sedikitnya terjadi perubahan berat molekul yaitu karena kemungkinan pada reaksi dengan temperatur lebih tinggi lagi kemungkinan telah terjadi perengkahan sehingga struktur alkil dari ester yang hanya bergeser atau berubah ke rantai utama lainnya sehingga tidak akan berdampak terhadap perubahan berat molekulnya.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil reaksi esterifikasi didapatkan total kemurnian metil ester yang terbentuk sebesar 88,9% berat dengan densitas 0,779 gr/ml dan viskositas 0,03746 cp. Berdasarkan hasil reaksi polimerisasi diperoleh produk akhir yang berwarna gelap dan sedikit kental dan memiliki viskositas 0,6927-1,0648 cp. Berdasarkan hasil uji FT-IR keseluruhan sampel setelah

reaksi polimerisasi, masih terdapat pita serapan gugus vinil ( $-\text{CH}=\text{CH}_2$ ) yang mengindikasikan masih terdapat ikatan rangkap yang belum terputus. Berdasarkan hasil uji GC-MS sampel setelah reaksi polimerisasi yang didapatkan, komposisi metil ester berkurang dari 88,42% menjadi 3,47%

#### V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada teman-teman sekelompok dalam penelitian ini, Direktorat Pendidikan Tinggi (DIKTI) Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai kegiatan penelitian dalam program PKM-P tahun 2013-2014, Laboratorium TBAM (Teknologi Bahan Alam dan Mineral) Universitas Riau serta Bang Donny dan Kak Lili Saktiani atas segala bantuan selama penelitian dan penyelesaian laporan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2012. Riau dalam Angka. <http://riau.bps.go.id/publikasi-online/riau-dalam-angka-2010/perkebunan.html> (tanggal akses 3 Januari 2014)
- Bramantyo, Amar. 2008. Pengaruh Konsentrasi Serat. FT UI
- Budi, F. S., Anggoro, D. D., Suprihanto, A. .2009. Optimasi Proses Polimerisasi *Diphenyl Methane Diisocyanate* dengan Polyalkohol Minyak Goreng Bekas menjadi Busa *Polyurethane*. FT UNDIP
- Fried, J.R. . 2003. Polymer Science and Technology 2<sup>nd</sup> Edition. New York: Pretince Hall
- Handayani, A.S., Sidik M., M. Nasikin, M. Sudibandriyo. 2006. Reaksi Esterifikasi Asam Oleat dan Gliserol Menggunakan Katalis Asam. Jurnal Sains Materi Indonesia : Hal. 102-105.
- Lestari, Dewi Yuanita. 2012. Pemilihan Katalis yang Ideal. Prosiding



- Seminar Nasional Penelitian  
Fakultas MIPA UNY
- Manurung, R., Ahmad R.T, Ida A. 2013. Effect of Concentration of Catalyst (BF<sub>3</sub>-Diethyl Etherate) on Synthesis of Polyester from Palm Fatty Acid Distillate (PFAD). International Journal of Science and Engineering (IJSE). Department of Chemical Engineering, University of Sumatera Utara, Indonesia.
- Mudzakir, A. .2010. Metode Spektroskopi Inframerah Untuk Analisis Material. UPI Bandung
- Odian, George. 2004. Principle of Polymerization Fourth Edition. Wiley and Sons.
- Pavia, D.L., Gary M.L., George S.K., James R.V. 2009. Introduction To Spectroscopy 4<sup>th</sup> Ed. USA. PrePress PMG
- Suirta, I.W., Rustini N.L., Prakasa, T.I. . 2012. Sintesis Polieugenol dari Eugenol dengan Katalis Asam Nitrat Pekat dan Media Natrium Klorida. ISSN 1907-9850, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana
- Tanjung, A.R., Renita M., Ida A. 2013. Pengaruh Waktu Polimerisasi Pada Proses Pembuatan Poliester Dari Asam Lemak Sawit Distilat (ALSD). Medan: Universitas Sumatera Utara
- Yelmida, Ida Z., Fajril A. 2012. Perengkahan PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) dengan Katalis Zeolit Sintesis untuk Menghasilkan Biofuel. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan. Vol. 9, No. 1, hal. 45-50