STUDI POLIMERISASI ESTER DARI ASAM LEMAK SAWIT DISTILAT (ALSD) MENGGUNAKAN INISIATOR BENZOIL PEROKSIDA 0,4%

Fitra Annisa*, Zuchra Helwani, Bahruddin

Laboratorium Teknologi Bahan Alam dan Mineral
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
*fitraannisa.fa@gmail.com / 085278671971

ABSTRACT

Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) is a byproduct from palm oil processing industry that used as raw material for synthesis polyester based vegetable oil. The purpose of the research is to study polymerization reaction of ester from PFAD using inisiator benzoyl peroxide 0,4%. There are three step reaction in this research that was esterification, polymerization, and polyesterification. The esterification stage was done at temperature 70^oC, reaction time 2 hours, reactant ratio 1:8 (ALSD : metanol), and concentration catalyst H_2SO_4 1% (w/w) ALSD. Polymerization stage was done at variation of temperature 120, 130, and 140^oC and variation reaction time 3, 4, and 5 hours using initiator benzoyl peroxide 0,4% (w/w) methyl ester. Polyesterification stage was done at temperature 175-200^oC, reaction time 4 hours, and ratio reactant 1:1 (polymerized methyl ester : ethylene glikol). Product was analyzed by using FT-IR, GC-MS, and viscosity. The result of FT-IR showed that vinyl group was presence who indicated double bonding was presence and polymerization was not occur. The result of GC-MS showed there had no change of molecular weight. And product with temperature 130^oC and reaction time 5 hours has higher viscosity value.

***Keyword** : benzoyl peroxide, esterification, PFAD, polymerization*

I. PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas ekonomi paling penting di Indonesia, khususnya di Provinsi Riau. Indonesia merupakan salah satu penghasil *crude palm oil* (CPO) terbesar di dunia. Perkebunan kelapa sawit, yang cara pengelolaannya terdiri atas perkebunan rakyat, perkebunan negara atau Badan Umum Milik Negara (BUMN), dan perkebunan swasta pada tahun 2012 mempunyai luas 9,07 juta hektar. Total produksinya mencapai 23,52 juta ton CPO atau produksi rata-rata dari setiap hektar perkebunan sawit adalah 2,59 ton. Luas lahan kelapa sawit diasumsikan terus bertambah 6,7% per tahun hingga mencapai 29,26 juta hektar di tahun 2030 dengan produksi rata-rata 3,5 ton CPO per hektar [BPPT, 2013]. Seiring dengan peningkatan produksi sawit maka produksi CPO juga akan meningkat. Konsumsi minyak sawit di dalam negeri hanya digunakan sebagai bahan baku industri minyak goreng, margarin, sabun, serta industri oleokimia yang memproduksi asam lemak sawit, metil ester, dan *fatty* alkohol

Pengolahan pada industri minyak goreng terdapat proses refining yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas minyak goreng yang dihasilkan. Pada tahap ini, selain dihasilkan produk utama berupa minyak goreng, juga dihasilkan produk samping. Produk samping dari industri ini yaitu Asam Lemak Sawit Distilat (ALSD) atau *Palm Fatty Acid Ditillate* (PFAD) sebesar ±5% dari pengolahan CPO, atau setara dengan 850.000 ton ALSD/tahun ketika produksi CPO Indonesia mencapai

±17 juta ton/tahun pada tahun 2013 [Badan Pusat Statistik, 2013]. Meskipun ALSD merupakan hasil samping, namun masih berpotensi untuk dimanfaatkan tanpa harus mengganggu ketersediaan pangan, sehingga pemanfaatan hasil samping proses minyak sawit semakin luas. Salah satunya yaitu ALSD dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku proses polimerisasi pembuatan poliester dari monomer ester. Polimerisasi merupakan reaksi penggabungan monomer-monomer menjadi suatu molekul polimer.

Reaksi polimerisasi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu polimerisasi adisi dan kondensasi. Dalam penelitian ini reaksi polimerisasi yang terjadi adalah polimerisasi adisi. Reaksi adisi membutuhkan inisiator yang akan membentuk pusat aktif tumbuhnya polimer, dan pada penelitian ini digunakan inisiator benzoil peroksida. Polimerisasi adisi menggunakan radikal bebas dari inisiator benzoil peroksida untuk memicu terjadinya reaksi polimerisasi. Polimerisasi dengan menggunakan radikal bebas, sangat dipengaruhi oleh suhu, nilai pH, konsentrasi monomer dan media polimerisasi [Handayani, 2010].

Poliester adalah suatu kategori polimer yang mengandung gugus fungsional ester dalam rantai utamanya. Poliester merupakan resin yang paling banyak digunakan sebagai matriks pada fiber glass untuk badan kapal, mobil, tendon air dan sebagainya [Sukatik, 2012]. Poliester digunakan pula secara luas sebagai penghalus (finish) pada produk kayu berkualitas tinggi seperti gitar, piano, dan bagian dalam kendaraan/perahu pesiar. Kegunaan lain dari poliester adalah untuk membuat botol, film, tarpaulin, kano, tampilan kristal cair, hologram, penyaring, serat dan sebagainya [Tanjung dkk, 2013].

Poliester saat ini umumnya disintesis dari senyawa hidrokarbon yang tidak dapat diperbaharui. Saat ini, minyak nabati diharapkan dapat diterapkan sebagai bahan baku alternatif polimer berbasis minyak. Polimer-polimer ini mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan polimer yang dibuat berbasis monomer minyak bumi yaitu sifatnya yang *biodegradable* [Tanjung dkk, 2013]. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses polimerisasi ester dari ALSD menggunakan inisiator benzoil peroksida 0,4%.

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 0,4% (b/b) metil ester sebagai inisiator reaksi polimerisasi, etilen glikol MERCK sebagai reaktan poliesterifikasi.

2.2 Prosedur Penelitian

Reaksi Esterifikasi

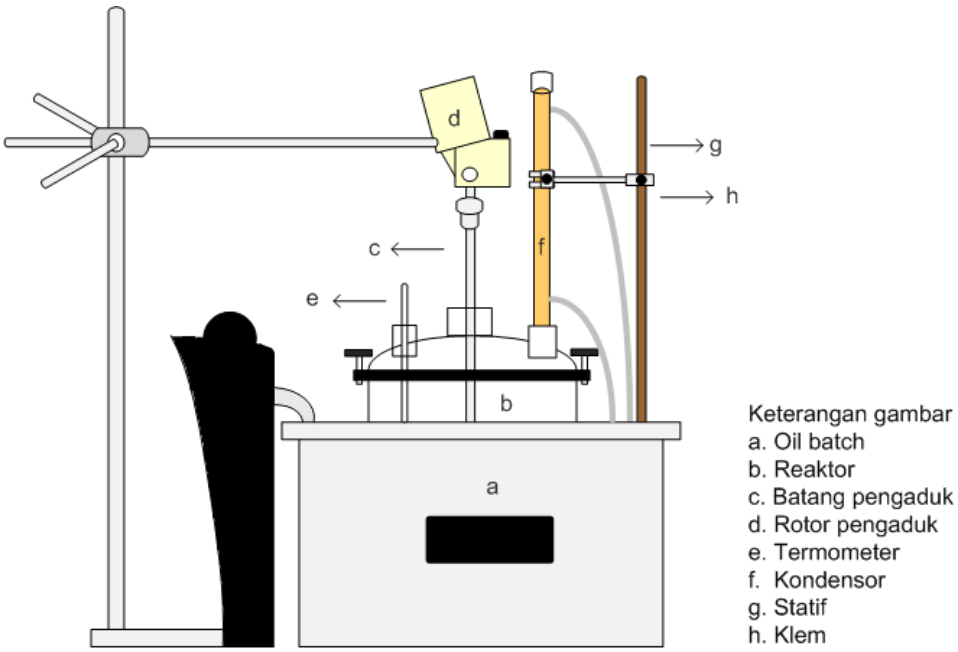
Pada tahap awal percobaan dilakukan proses esterefikasi dengan mereaksikan ALSD dengan metanol dalam reaktor selama 2 jam dengan rasio 1:8 pada suhu 70^{o}C menggunakan katalis asam sulfat sebanyak 1% (w/w) ALSD dengan kecepatan pengadukan 150 rpm. Produk yang diharapkan dari reaksi esterefikasi ini yaitu metil ester.

Reaksi Polimerisasi

Selanjutnya dilakukan reaksi polimerisasi metil ester dengan menggunakan inisiator benzoil peroksida dengan konsentrasi 0,4% (w/w) metil ester dengan variasi suhu 120^{o}C, 130^{o}C, dan 140^{o}C dan variasi waktu 3 jam, 4 jam, dan 5 jam dengan kecepatan pengadukan 150 rpm

Reaksi Poliesterifikasi

Tahap terakhir yaitu reaksi poliesterifikasi dengan penambahan etilen glikol dengan perbandingan 1:1 ke dalam reaktor pada temperatur 175-200^{o} C dan waktu reaksi 4 jam.



Gambar 1 Rangkaian Alat

Untuk mengetahui sudah terjadinya reaksi polimerisasi di analisa dengan menggunakan FT-IR (*Fourier Transform Infra Red)* untuk mengetahui karakteristik molekular struktur gugus fungsinya, GC-MS (*Gas Cromatography and Mass Spectrometry*) untuk mengetahui komposisinya, dan uji viskositas.

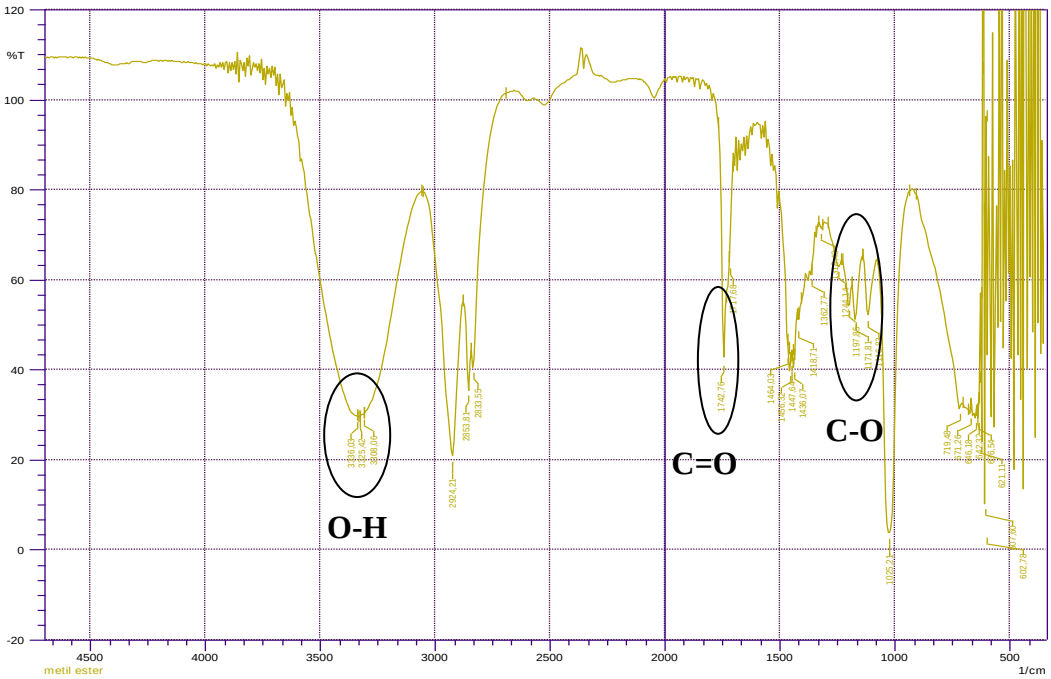
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Reaksi Esterifikasi

Esterifikasi merupakan tahap awal proses antara Asam Lemak Sawit Distilat (ALSD) dan metanol dengan rasio mol 1 : 8. Esterifikasi dilangsungkan dengan menggunakan katalis asam sulfat (H_2SO_4) 1% berat ALSD pada suhu 70^oC selama 2 jam. Pada tahap esterifikasi akan dihasilkan produk yaitu metil ester yang selanjutnya akan direaksikan pada tahap polimerisasi dengan penambahan inisiator benzoil peroksida dan dengan variasi suhu dan waktu polimerisasi. Metil ester yang diperoleh dari reaksi esterifikasi berwarna kuning, transparan, dan encer Metil ester di analisa dengan menggunakan FT-IR untuk mengetahui struktur gugus fungsinya dan untuk mengetahui sudah terbentuknya ester Hasil uji FT-IR metil ester dapat dilihat pada Gambar 2.

Penerapan spektroskopi infra merah dalam penelitian ini menekankan aspek kualitatif, karena berupa penentuan struktur dengan cara mengamati dan membandingkan frekuensi-frekuensi yang khas dari gugus fungsi spektra FT-IR yang didapat. Hasil spektra FT-IR senyawa yang dihasilkan bersifat khas, artinya senyawa yang berbeda memiliki spektrum yang berbeda pula.

Gugus fungsi yang akan dianalisa pada FT-IR adalah gugus fungsi ester. Suatu senyawa ester dicirikan dengan adanya serapan ulur C=O, C-O dan OH yang khas. Terbentuknya ester ditandai dengan terbentuknya puncak vibrasi pada panjang gelombang antara 1750-1730 cm^{-1} dengan intensitas kuat [Pavia, 2009]. Pada Gambar 2, puncak vibrasi ester terbentuk pada panjang gelombang 1742, 76 cm^{-1} dengan intensitas kuat. Terbentuknya ester juga dapat dilihat dari adanya gugus C-O pada panjang gelombang sekitar 1300-1000 cm^{-1} [Pavia, 2009]. Pada produk, gugus C-O terlihat pada panjang gelombang 1197,85 cm^{-1}, 1171,81 cm^{-1}, dan 1116,83 cm^{-1}.



Gambar 2 Spektrum FTIR Metil Ester

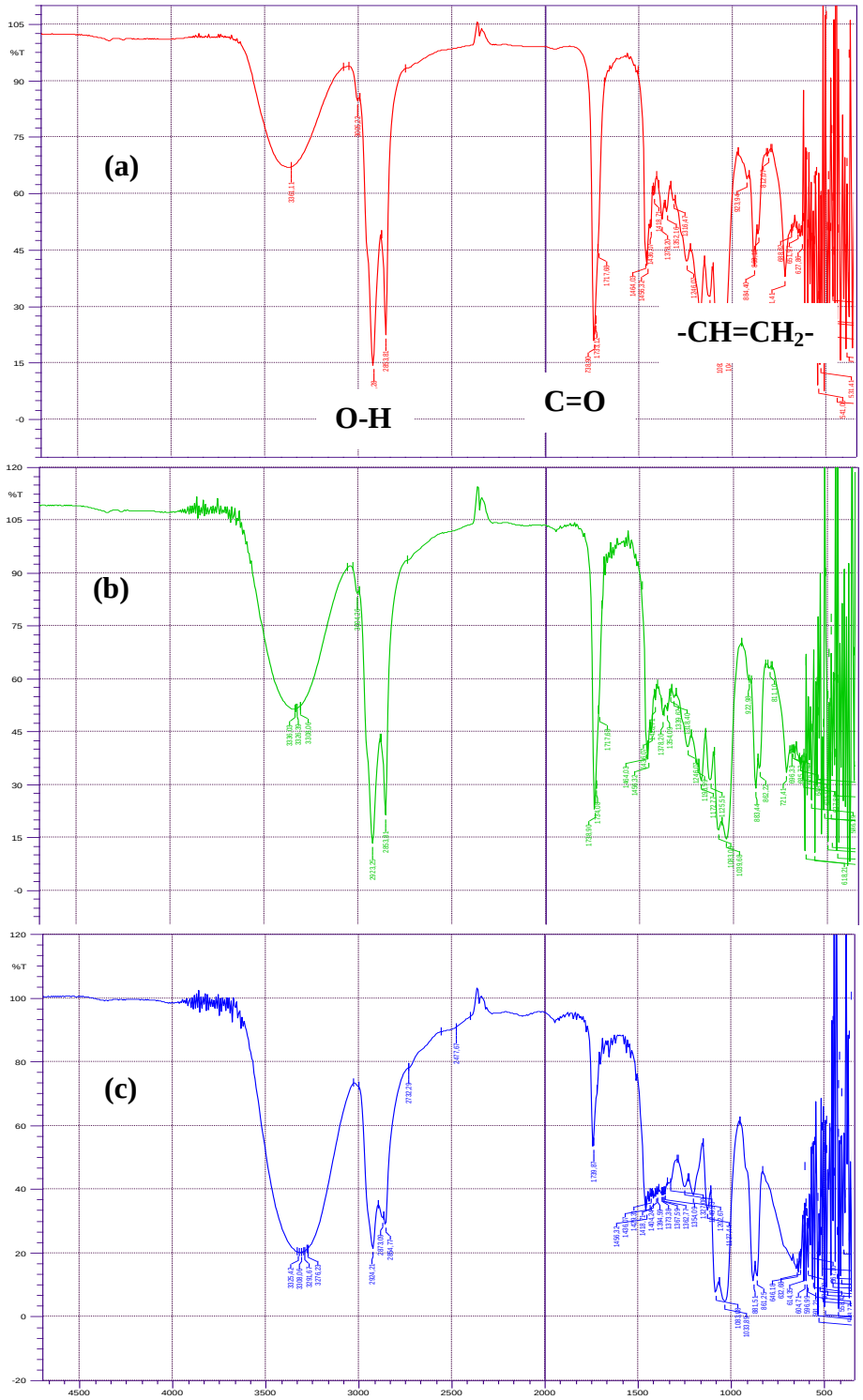
Bukti lain telah terbentuknya ester adalah melemahnya spektra karakteristik dari gugus OH ikatan hidrogen yang membentuk pita yang melebar pada bilangan gelombang sekitar 3400-3200 cm^{-1} [Pavia, 2009]. Pada Gambar 2 terlihat bahwa melemahnya karakteristik dari gugus OH membentuk pita yang melebar pada panjang gelombang 3336,03 cm^{-1}, 3325,42 cm^{-1}, dan 3308,06 cm^{-1}. Berdasarkan Dwifirman [2014], kemurnian metil ester yang didapat yaitu sebesar 88,42%.

3.2 Analisa Reaksi Polimerisasi

Pada tahap polimerisasi, metil ester yang terbentuk selanjutnya direaksikan dengan benzoil peroksida 0,4% berat metil ester. Titik leleh benzoil peroksida yaitu 103-106^oC dan benzoil peroksida tidak stabil secara termal sehingga akan mengalami dekomposisi pada suhu tertentu. Reaksi polimerisasi ester dengan melibatkan benzoil peroksida merupakan reaksi polimerisasi adisi dimana benzoil peroksida berfungsi sebagai inisiator untuk menginisiasi molekul monomer yaitu ester menjadi polimer. Polimerisasi adisi ini terjadi dalam tiga tahap, yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi.

Produk dari reaksi polimerisasi yaitu metil ester terpolimerisasi selanjutnya direaksikan dengan etilen glikol dengan rasio 1:1 pada tahap poliesterifikasi pada suhu 175-200^oC selama 4 jam. Penambahan etilen glikol pada reaksi polimerisasi adalah salah satu usaha meminimalisir kadar air yang terbentuk [Manurung dkk, 2013]. Selain itu, penambahan etilen glikol juga berfungsi sebagai pemanjangan rantai polimer [Budi dkk, 2009]. Dengan bertambah panjangnya rantai polimer maka berat molekul juga semakin bertambah besar sehingga produk akhir polimer dapat terbentuk.

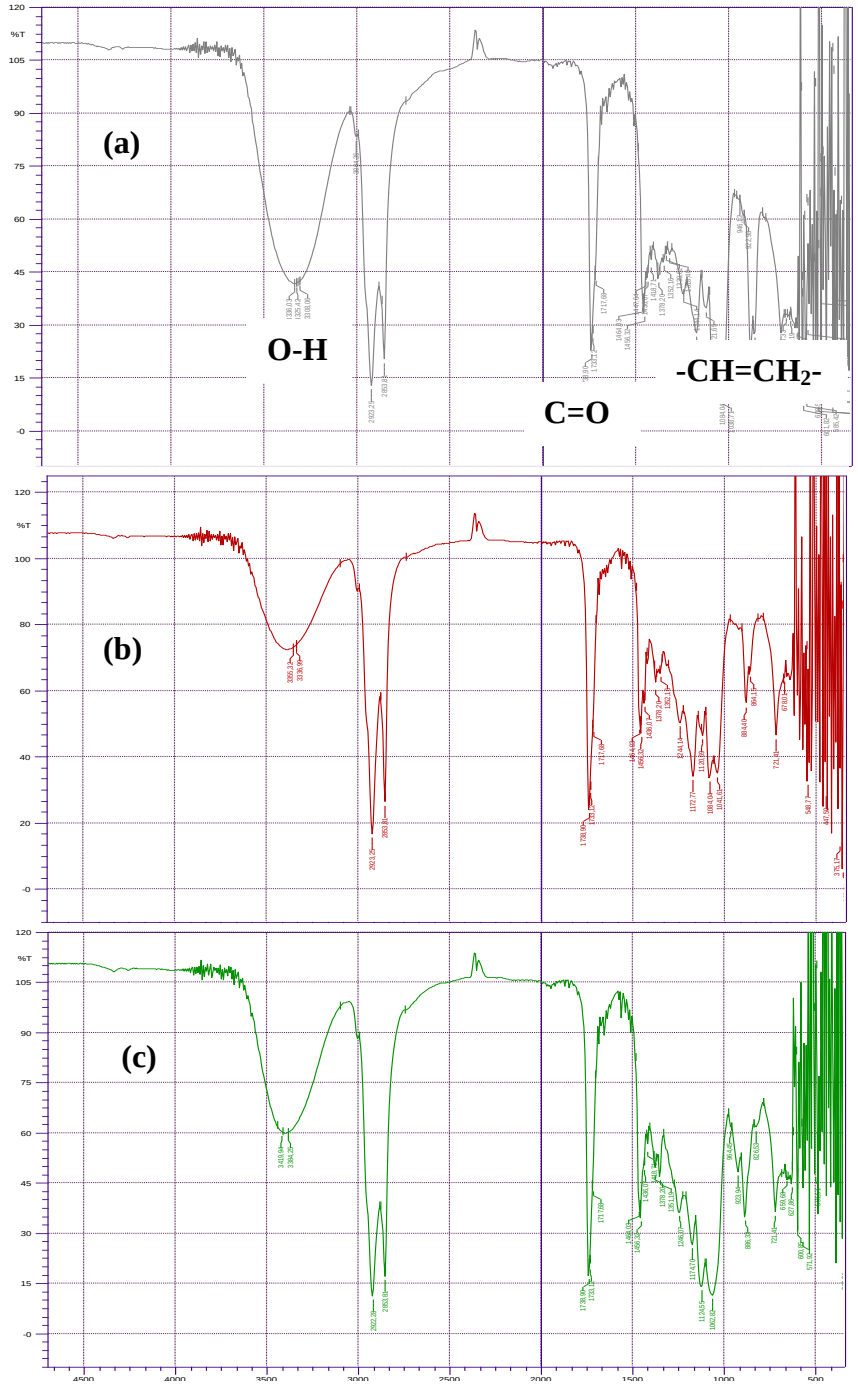
Produk hasil polimerisasi yang dihasilkan selanjutnya diidentifikasi dengan menggunakan uji FT-IR untuk melihat gugus fungsi dan untuk mengetahui sudah terjadinya reaksi polimerisasi dan uji GC-MS untuk mengetahui berat molekul produk dan komposisi metil ester yang tersisa. Hasil uji FT-IR produk dapat dilihat pada Gambar 3, 4, dan 5.



Gambar 3 Spektra FT-IR Produk pada Suhu 120 ^{o}C dan Waktu a) 3 jam b) 4 jam c) 5 jam

Terbentuknya ester ditandai dengan terbentuknya puncak vibrasi dengan intensitas kuat pada panjang gelombang 1750-1730 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus ester (C=O) [Pavia, 2009]. Pada Gambar 3 dapat dilihat produk pada suhu 120^{o}C dan waktu 3 dan 4 jam terbentuk puncak vibrasi pada panjang gelombang 1738,90 cm^{-1} dengan intensitas kuat. Sedangkan pada suhu 120^{o}C dan waktu 5 jam puncak vibrasi terbentuk pada panjang gelombang 1739,87 cm^{-1}. Pada Gambar 4

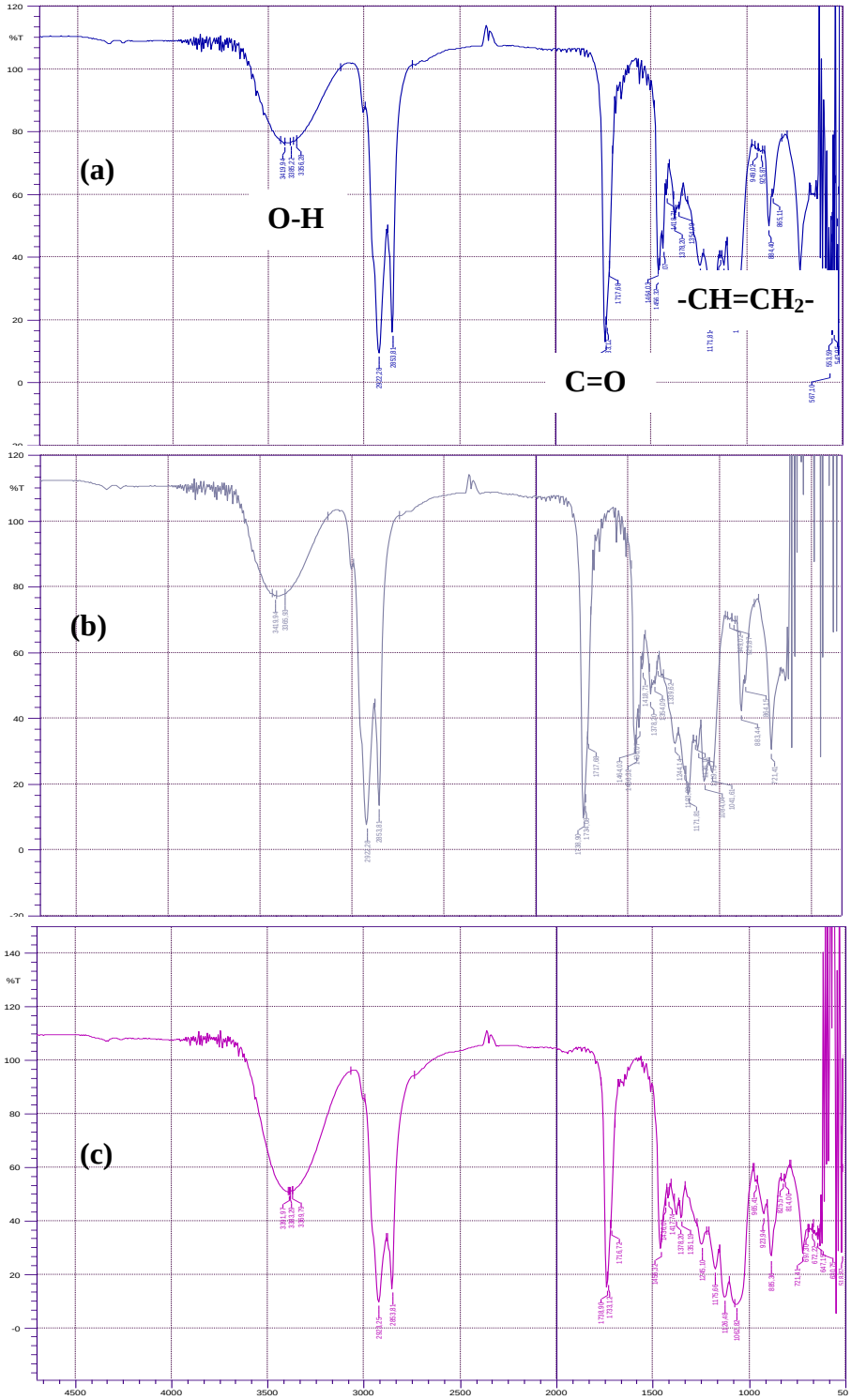
dapat dilihat puncak vibrasi produk pada suhu 130^{o}C dan waktu 3, 4, dan 5 jam terbentuk pada panjang gelombang 1738, 90 cm^{-1} dengan intensitas yang kuat. Pada Gambar 5 juga dapat terlihat puncak vibrasi produk pada suhu 140^{o}C dan waktu 3, 4, dan 5 jam terbentuk pada panjang gelombang yang sama yaitu 1738,90 cm^{-1} dengan intensitas yang kuat



Gambar 4 Spektra FT-IR Produk pada Suhu 130 ^{o}C dan Waktu a) 3 jam b) 4 jam c) 5 jam

Bukti lain telah terbentuk ester adalah melemahnya spektra karakteristik dari gugus OH ikatan hidrogen yang membentuk pita yang melebar pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm^{-1} - 3200 cm^{-1} karena reaksi poliesterifikasi [Tanjung dkk, 2013]. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa melemahnya spektra

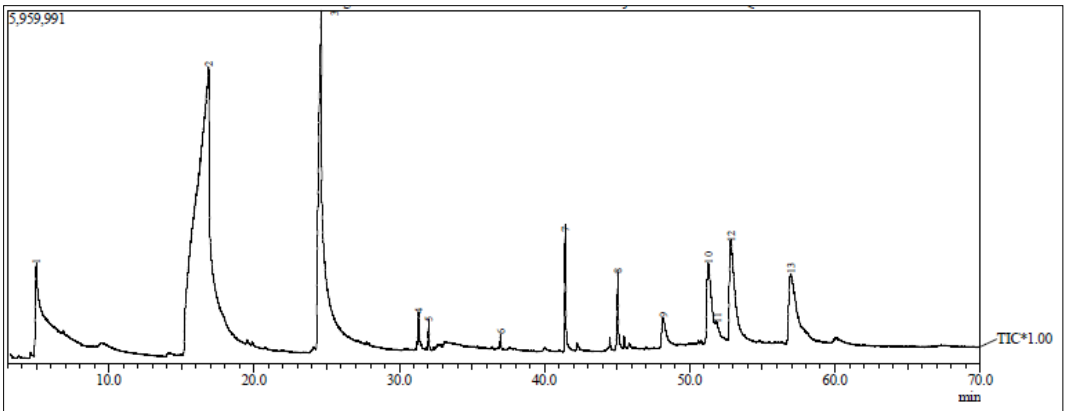
karakterisitik OH membentuk pita yang melebar dari produk pada suhu 120^{o}C dan waktu 3, 4, dan 5 jam yaitu pada panjang gelombang 3361,11-3276,23 cm^{-1}. Pada Gambar 4, produk pada suhu 130^{o}C dan waktu 3, 4, dan 5 jam terbentuk pita yang melebar pada panjang gelombang 3384,25-3308,06 cm^{-1} dan pada Gambar 5 poduk pada suhu 140^{o}C dan waktu 3, 4, dan 5 jam pita yang melebar terbentuk pada panjang gelombang 3391,97-3356,93 cm^{-1}.



Gambar 5 Spektra FT-IR Produk pada Suhu 140 ^{o}C dan Waktu a) 3 jamb) 4 jam c) 5 jam

Terjadinya reaksi polimerisasi ditandai dengan tidak adanya pita serapan vinil (-CH=CH_2-) pada pada bilangan gelombang 1040 cm^{-1} - 910 cm^{-1}. Hal ini menandakan bahwa pada reaksi polimerisasi terjadi pemutusan ikatan rangkap [Tanjung dkk, 2013]. Sedangkan pada hasil uji produk masih terdapat pita serapan vinil pada panjang gelombang 922,98-1039,68 cm^{-1} kecuali produk pada suhu 130^oC dan waktu 4 jam sudah tidak terdapat pita serapan vinil lagi.

Produk hasil polimerisasi yang terbentuk memiliki sifat fisik berwarna hitam dan kental. Produk juga diidentifikasi menggunakan GC-MS. Uji GC-MS terbatas hanya pada satu sampel saja yang memiliki viskositas terbesar yaitu sampel pada suhu 130^oC dan waktu 5 jam. Hasil uji GC-MS poliester dapat dilihat pada Gambar 6.



Peak Report TIC

Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Name
1	5.004	4.885	5.505	21910055	3.38	1425556	
2	16.872	15.155	18.845	347592510	53.62	4686687	
3	24.628	24.285	26.205	134488017	20.75	5543863	
4	31.330	31.065	31.665	5476460	0.84	610428	
5	32.033	31.665	32.245	2748840	0.42	474307	
6	36.978	36.885	37.145	1049016	0.16	235744	
7	41.440	41.325	41.805	10958593	1.69	2033335	
8	45.053	44.865	45.325	8182694	1.26	1245611	
9	48.175	47.965	48.725	9040095	1.39	463971	
10	51.277	51.005	51.745	29484591	4.55	1323945	
11	51.885	51.745	52.265	4705188	0.73	277401	
12	52.842	52.605	53.745	40195570	6.20	1654153	
13	56.967	56.685	57.705	32407403	5.00	1078180	
				648239032	100.00	21053181	

Gambar 6 Kromatogram GC-MS Produk pada T = 130 ^oC dan t = 5 jam

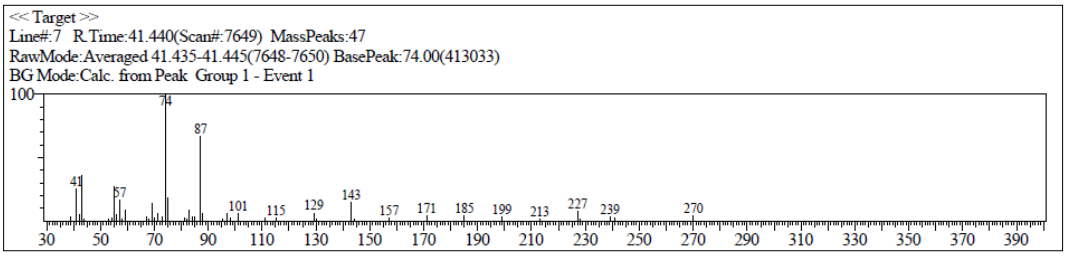
Dari kromatogram pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa produk mengandung tiga belas komponen senyawa. Komponen-komponen tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa komponen terbesar adalah *triethylene glycol* sebesar 53,62% dan metil ester yang tersisa sebanyak 2,95%. Dan juga sebelum reaksi polimerisasi dan setelah reaksi polimerisasi berat molekul produk tetap, yaitu sebesar 270 yang dapat dilihat pada Gambar 7.

Dengan tidak terjadinya perubahan berat molekul maka produk yang berupa poliester masih belum terbentuk. Hal ini diduga disebabkan karena kandungan ALSD yang didominasi oleh asam lemak jenuh yang berikatan tunggal yaitu asam palmitat. Asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (tidak mudah bereaksi) daripada asam lemak jenuh (ikatan rangkap) yang menyebabkan reaksi tidak berjalan dengan sempurna sehingga ikatan rangkap belum terputus dan reaksi polimerisasi belum terjadi dilihat dari tidak adanya perubahan berat molekul.

Tabel 2 Hasil Uji GC-MS Produk

Komposisi	Jenis Asam Lemak	% Area
1,2-*Ethanediol (CAS) Ethylene glycol*	-	3,38
Diethylene glycol	-	20,75
Triethylene glycol	-	53,62
5-*Hydroxy*-2-*Decenoic acid lactone*	Asam lemak tak jenuh	0,84
Dodecanoic acid, methyl ester	Asam laurat (jenuh)	0,42
Methyl tetradecanoate	-	0,16
Hexadecanoic acid, methyl ester	Asam palmitat (jenuh)	1,69
11-*Octadecanoic acid, methyl ester*	Asam oleat (tak jenuh)	1,26
Hexadecanoic acid, 2-*hydroxyethyl ester*	Asam palmitat (jenuh)	1,39
9-*Octadecanoic acid* (Z)-, 2-*hydroxyethyl ester*	Asam oleat (tak jenuh)	4,55
Octadecanoic acid, 2-*hydroxyethyl ester*	Asam stearat (jenuh)	0,73
Hexadecanoic acid, 1,2-*ethanedyl ester*	Asam palmitat (jenuh)	6,20
9-*Octadecanoic acid* (Z)-, 2-*hydroxyethyl ester*	Asam oleat (tak jenuh)	5,00

Komponen produk hasil polimerisasi ini dapat diketahui dengan membandingkan spektrum MS sampel dengan spektrum MS standar dengan pola fragmentasi yang paling mirip. Pola fragmentasi yang paling mendekati yaitu spektrum MS produk dengan komponen terbesar yaitu *hexadecanoic acid, methyl ester* yang dapat dilihat pada Gambar 7.



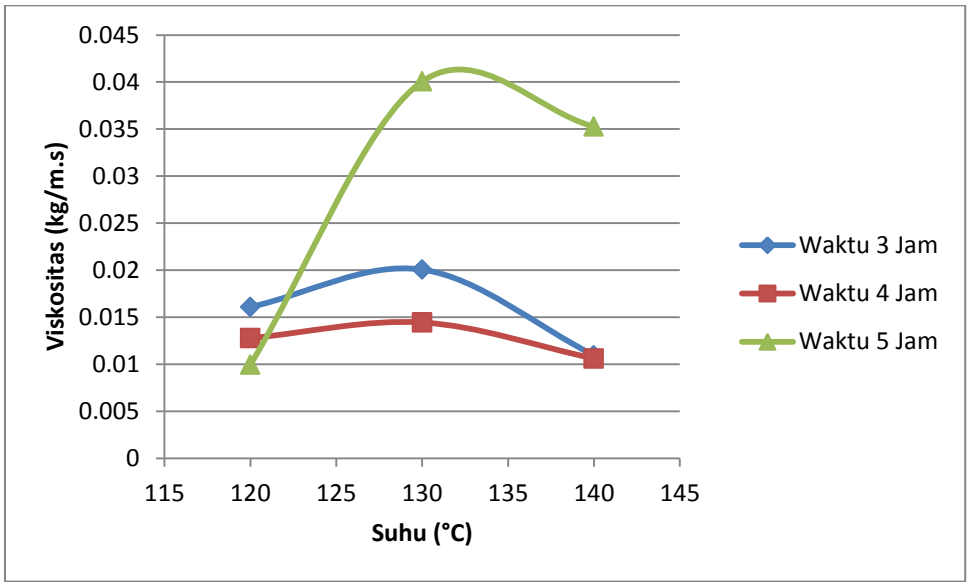
Gambar 7 Spektrum MS Standar *Hexadecanoic Acid, Methyl Ester*

Poliester dengan berat molekul tinggi yaitu antara 10.000-30.000 g/mol dan poliester dengan berat molekul rendah yaitu antara 500-7000 g/mol [Tanjung dkk, 2013].

3.3 Pengaruh Suhu dan Waktu pada Proses Polimerisasi

Parameter reaksi seperti suhu dan waktu reaksi sangat berpengaruh terhadap pembentukan produk. Semakin lama waktu reaksi maka kontak antar zat semakin besar sehingga akan menghasilkan konversi dan berat molekul yang tinggi [Tanjung dkk, 2013]. Namun jika kesetimbangan reaksi sudah tercapai maka dengan bertambahnya

waktu reaksi tidak akan menguntungkan karena tidak akan memperbesar hasil. Begitu juga dengan suhu reaksi, semakin tinggi suhu maka reaksi terjadi semakin cepat sehingga meningkatkan viskositas dan berat molekul. Viskositas produk diukur dengan menggunakan viskometer *Ostwald*. Alat ini bekerja berdasarakan *friction* yang ditimbulkan polimer terhadap luas area pipa tabung yang digunakan. Pengaruh suhu dan waktu polimerisasi terhadap viskositas produk dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Viskositas Produk pada Variasi Waktu Reaksi

Pada Gambar 8 diatas, dapat dilihat viskositas meningkat dengan meningkatnya suhu reaksi dan mengalami penurunan setelah mencapai suhu optimum. Viskositas pada suhu 120^{o}C dan waktu 3, 4, dan 5 jam berturut-turut yaitu 16,082, 12,774, dan 9,953 cp. Pada suhu 130^{o}C viskositas pada waktu 3, 4, dan 5 jam yaitu 20,057, 14,438, dan 40,049 cp. Dan pada suhu 140^{o}C viskositas pada waktu 3, 4, dan 5 jam yaitu 10,944, 10,61, dan 32,254 cp. Peningkatan nilai viskositas menunjukkan bahwa telah terjadi penggabungan rantai baik melalui reaksi kondensasi maupun reaksi adisi yaitu ALSD akan bergabung dengan metanol menjadi ester dan masing-masing ester saling bergabung karena penambahan inisiator dan mengakibatkan meningkatnya harga viskositas.

Viskositas produk mengalami penurunan pada suhu 140^{o}C, hal ini kemungkinan disebabkan karena pada suhu 140^{o}C telah terjadi reaksi perengkahan yang mengakibatkan rantai karbon menjadi lebih pendek sehingga menyebabkan rendahnya harga viskositas [Handayani dkk, 2010]. Viskositas tertinggi terdapat pada suhu 130^{o}C dengan waktu reaksi 5 jam yaitu sebesar 40,049 cp. Sedangkan viskositas terendah terdapat pada suhu 120 dengan waktu 5 jam yaitu sebesar 9,953 cp.

IV. KESIMPULAN

Hasil polimerisasi diperoleh produk berwarna gelap dan kental yang memiliki viskositas antara 9,953-449 cp. Hasil uji FT-IR semua produk memperlihatkan masih terdapat pita serapan vinil (CH_2=CH_2), kecuali produk pada suhu reaksi 130^{o}C dan waktu 4 jam. Hasil uji GC-MS memperlihatkan tidak terjadi perubahan berat molekul antara reaksi sebelum polimerisasi dan sesudah

polimerisasi. Selain ester, senyawa-senyawa lain yang terdapat pada hasil uji GC-MS yaitu *ethylene glycol, methyl tetradecanoate,* dan *decenoic acid*.

IV. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan 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, dan Laboratorium TBAM (Teknologi Bahan Alam dan Mineral) Universitas Riau.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2013. *Outlook Energy* Indonesia 2013 "Pengembangan Energi dalam Mendukung Sistem Transportasi dan Industri Pengolahan Mineral". Jakarta.

Badan Pusat Statistik. 2013. Produksi Perkebunan Besar menurut Jenis Tanaman, Indonesia, 1995 - 2012. Http://www. bps.go.id /tab_sub /view.php?kat=3&tabel=1& daftar=1&id_subyek=54& notab=2, diakses pada 9 November 2014, Pkl 14.30.

Budi, F. S., Anggoro, D. D., Suprihanto, A. .2009. Optimasi Proses Polimerisasi *Diphenyl Methane Diisocynate* dengan Polyalkohol Minyak Goreng Bekas menjadi Busa *Polyurethane*. FT UNDIP

Dwifirman, W. 2014. Studi Polimerisasi Ester dari Asam Lemak Sawit Distilat (ALSD) Menggunakan Inisiator Benzoil Peroksida 0,1%. Skripsi Teknik Kimia Universitas Riau.

Dwisatria, Y. 2012. Sintesis Polimer Core-Shell Stirena-Butil Akrilat : Pengaruh Jenis Inisiator dan Pengikat Silang Glisidil Metakrilat terhadap Ukuran dan Distribusi Ukuran Partikel. Skripsi Universitas Indonesia.

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.

Manurung, R., Ahmad R.T, Ida A. 2013. Effect of Concentration of Catalyst (BF3-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.

Pavia, D.L., Gary M.L., George S.K., James R.V. 2009. Introduction To Spectroscopy 4th Ed. USA. PrePress PMG

Sukatik. 2012. Laleks Polystyrena Graft Maleat Anhidrida dan Lateks Polyester Tak Jenuh Yukalac 157 BQTN-EX dengan Lateks Pekat Karet Alam sebagai Perekat Material Jalan *(Soil Stabilizer)*. Disertasi Universitas Sumatera Utara.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.