

PENGARUH KOMPOSISI KATALIS H-ZEOLIT DAN KECEPATAN PENGADUKAN PADA SINTESA PLASTISIZER BUTIL OLEAT

Wahyu Okta Rinanda¹⁾, Irdoni, HS¹⁾, Nirwana²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru Kode Pos 28293
wahyuoktarinanda@gmail.com /085355545522

ABSTRACT

Oil palm commodity has a strategic role in the national economy. In the development of the palm oil industry, the necessary diversification of oil palm products needed by using the esterification reaction. One of the products of the oil palm which on development now is a fatty acid alkyl esters. Products that include the type of fatty acid alkyl ester is plasticizer. In this study, the plasticizer is synthesized by esterification of oleic acid and butanol, using activated natural zeolite catalysts. This research aims to study the influence of H-Zeolite catalyst composition and stirring speed on synthesis plasticizer butyl oleate, and determining the characteristics of the plasticizer butyl oleate which generated through analysis of test products. The process is using the variation of H-Zeolite catalyst composition (12.5%, 15%, 17.5%) based on oleic acid and stirring speed (175 rpm, 200 rpm, 225 rpm), with a fixed variable, the reaction temperature of 110⁰ C, the process time is 6 hours and the reaction molar ratio of 1: 9. From the analysis of the results showed that the esterification of H-Zeolite catalyst composition and stirring speed affects the conversion of the resulting products. The best operating conditions obtained in this study is the H-Zeolite catalyst composition of 17.5% and a stirring speed of 200 rpm which produces a reaction conversion of 74.50%. Characteristics plasticizer generated in this study is consistent with the characteristics of commercial plasticizers which Viscosity (20⁰ C) 8.62 to 9.07 mPa.s and Specific Gravity (20⁰ C) from 0.886 to 0.901.

Keywords: Butyl Oleate, Esterification, H-Zeolite and Plasticizer

1. Pendahuluan

Komoditi kelapa sawit merupakan salah satu komoditi andalan pertanian Indonesia yang pertumbuhannya sangat cepat dan mempunyai peran strategis dalam perekonomian nasional. Salah satu hasil olahan kelapa sawit adalah minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil, CPO*) dan *Crude Palm Kernel Oil, CPKO* (Hidayat, 2010).

Hingga saat ini terdapat sekitar 23 jenis produk hilir kelapa sawit yang telah diproduksi di Indonesia. Mengingat potensi minyak sawit Indonesia yang meningkat

pada saat ini, maka perlu pengembangan untuk produksi produk hilir kelapa sawit. Penggunaan minyak sawit mentah untuk industri hilirnya di Indonesia saat ini masih relatif rendah yaitu baru sekitar 55% dari total produksi (Hidayat, 2010).

Pemanfaatan produk hilir dari minyak sawit dapat diolah dengan menggunakan beberapa proses kimia. Salah satu proses kimia yang dapat digunakan adalah esterifikasi. Reaksi esterifikasi minyak sawit menggunakan katalis asam telah banyak dilakukan untuk memperoleh *fatty acid alky*

ester. *Fatty acid alkyl ester* terdiri dari dua kategori yaitu pangan dan non-pangan. Produk pangan dapat berupa bahan pengemulsi, sedangkan produk non-pangan dapat berupa surfaktan, biodiesel dan plastisizer.

Plastisizer adalah senyawa aditif yang ditambahkan kedalam polimer untuk meningkatkan sifat morfologi polimer seperti fleksibilitas dan workabilitas (Haryono, 2006). Plastisizer komersil yang umum digunakan adalah plastisizer turunan minyak bumi yang bersifat *non-biodegradable* dan *toxic*, seperti Dioctyl Phthalate (DOP) atau Dietilheksil Phthalate (DEHP) dan Diiso Nonyl Pthalate (DINP) (Vieira, dkk., 2011).

Komponen minyak kelapa sawit terdiri dari asam lemak yang berbeda-beda yaitu asam palmitat 44,3%, asam oleat 38,7%, asam linoleat 10,5%, asam stearat 4,6%, asam miristat 1%, dan lainnya 0,9% (Kementrian Perindustrian Indonesia, 2007). Berdasarkan komposisi asam lemak pada minyak sawit tersebut, dapat disimpulkan bahwa asam palmitat dan asam oleat merupakan asam lemak yang terbesar dalam minyak sawit sehingga dapat dimanfaatkan menjadi produk hilir.

Reaksi esterifikasi pada proses sintesa plastisizer membutuhkan katalis untuk mempercepat proses pembentukan produk. Katalis yang digunakan adalah katalis asam yang dapat berupa katalis homogen atau katalis heterogen. Selama ini untuk menghasilkan plasitisizer komersil digunakan katalis homogen seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam nitrat (HNO_3) dan asam klorida (HCl). Penggunaan katalis heterogen memiliki beberapa keuntungan yaitu mempermudah proses pemisahannya karena produk yang terlarut dalam medium reaksi dapat dipisahkan dari katalisnya dengan menyaring (Leach, 1983).

Salah satu katalis heterogen yang umum digunakan adalah zeolit alam.

Menurut Nasikin, dkk (2006). Zeolit alam yang diaktifasi menjadi H-Zeolit merupakan katalis asam yang mampu mengkatalisis asam lemak dengan alkohol melalui reaksi esterifikasi.

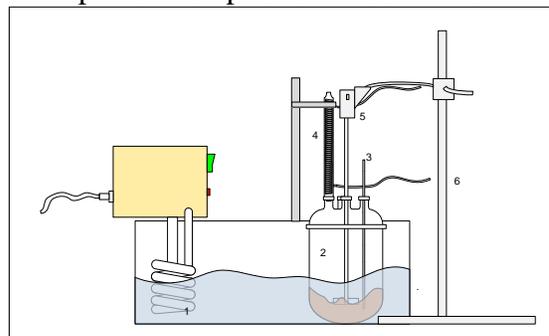
Dari uraian diatas, dipandang perlu untuk melakukan reaksi esterifikasi asam oleat dan isopropil alkohol dengan menggunakan katalis zeolit alam yang diaktifasi menjadi H-zeolit.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan dan Alat

Bahan kimia yang digunakan pada penelitian adalah asam oleat ($C_{18}H_{34}O_2$) (pro analisis dari Merck), Butanol ($C_4H_{10}O$) (pro analisis dari Merck), zeolit alam, aquades, indikator pp ($C_{20}H_{14}O_4$), asam oksalat ($C_2H_2O_4$) 0,1 N, kalium hidroksida (KOH) 0,1 N, HF 3%, asam klorida (HCl) 6 N, dan ammonium klorida (NH_4Cl) 1 N. Sedangkan alat yang digunakan terdiri dari: reaktor, *stirrer* dan *rotor*, *oil batch*, kondensor liebig, termometer, erlenmeyer, corong pisah, gelas ukur, pH meter, oven, *furnace*, piknometer, buret, *viscometer oswald*, pipet tetes, batang pengaduk dan kertas saring.

Berikut ini gambar rangkain alat reaktor untuk pembuatan plastisizer butil oleat.



Gambar 1. Rangkaian Reaktor untuk Pembuatan Butil Oleat

Keterangan :

1. Pemanas dan *Oil Batch*
2. Reaktor
3. Termometer
4. Kondenser

5. Pengaduk
6. Statif

Variabel Penelitian

- a. Variabel tetap :
 1. Suhu reaksi 108-112°C untuk reaksi pembuatan butil oleat
 2. Waktu reaksi 6 jam
 3. Rasio molar asam oleat dan butanol yang digunakan : 1: 9
- b. Variabel tidak tetap :
 1. Komposisi katalis H-Zeolit 12,5% ; 15% ; 17,5% dari massa asam oleat
 2. Kecepatan pengadukan 175 rpm ; 200 rpm ; 225 rpm

2.2. Persiapan Katalis H-Zeolit

Zeolit alam 500 gram di haluskan hingga mencapai ukuran 100 mesh. Zeolit alam yang sudah mengalami perlakuan awal di rendam dengan larutan HF 3% selama 30 menit. Kemudian dicuci dengan aquades sampai pH 7 (netral) dan di keringkan dalam oven pada temperatur 120 °C selama 24 jam. Selanjutnya zeolit di rendam dan di aduk kedalam larutan HCl 6N selama 30 menit pada temperatur 50 °C. Kemudian disaring dan di cuci dengan aquades berulang kali sampai pH 7, dikeringkan pada temperatur 130 °C selama 3 jam dalam oven. Zeolit alam di rendam dalam larutan NH₄Cl 1N pada temperatur 90 °C selama 1 minggu sambil diaduk didalam *water bath*. Lakukan penyaringan dengan kertas saring dan pompa vakum, cuci zat tersebut dengan aquades sampai air aquades mencapai pH 7. Setelah disaring, zeolit alam di keringkan pada suhu 105 – 110 °C dengan oven selama 30 menit dan di kalsinasi dengan *furnace* pada suhu 500 °C selama 5 jam (gunanya untuk mengaktifasikan zeolit alam menjadi H-Zeolit) (Trisunaryanti, dkk, 2005).

2.3. Sintesa Butil Oleat

Asam oleat sebanyak 31,5 ml berdasarkan perbandingan asam oleat dan

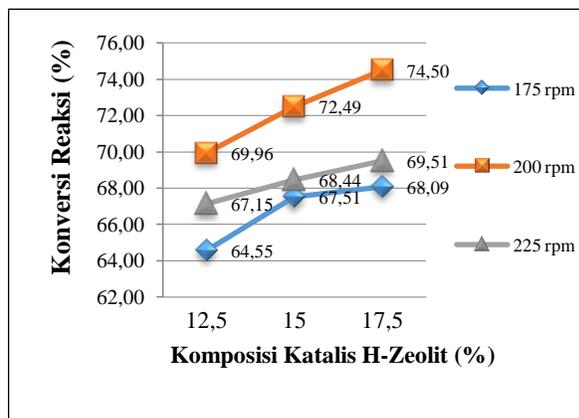
butanol 1: 9 (31,5 ml : 82,5 ml) dimasukkan kedalam reaktor. Kemudian dipanaskan sampai suhu 110 °C dengan menggunakan oil bath. Selanjutnya, tambahkan katalis H-Zeolit yang divariasikan (12,5%, 15%, 17,5%), selanjutnya tambahkan butanol sebanyak 82,5 ml kedalam reaktor tersebut. Lakukan reaksi esterfikasi pada suhu 110°C selama 6 jam dengan variasi kecepatan pengadukan (175 rpm, 200 rpm, 225 rpm). Hasil reaksi dimasukkan kedalam corong pisah dan didiamkan selama 24 jam, maka akan terbentuk dua lapisan (filtrat dan endapan). Filtrat berupa plastisizer butil oleat dan endapan berupa katalis H-Zeolit. Filtrat dicuci dengan aquades. Hasil Pencucian berupa plastiszer butil oleat kemudian dianalisa

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Komposisi Katalis Terhadap Reaksi Esterifikasi Butil Oleat

Pada proses sintesa butil oleat, jumlah komposisi katalis memiliki peran penting untuk mempercepat pembentukan produk selama proses berlangsung. Jumlah komposisi katalis akan menentukan konversi suatu produk yang dihasilkan. Katalis berfungsi untuk menurunkan energi aktivasi pada suatu reaksi, jika jumlah katalis dinaikkan, energi aktivasi akan menurun, sehingga konstanta laju reaksi akan semakin besar dan kesetimbangan reaksi akan cepat tercapai. Konversi reaksi maksimal juga akan cepat tercapai.

Hasil penelitian pengaruh komposisi katalis H-Zeolit dan kecepatan pengadukan pada sintesa plastisizer butil oleat menunjukkan adanya pengaruh komposisi katalis H-Zeolit terhadap konversi reaksi yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik pengaruh komposisi katalis terhadap konversi reaksi (%)

Gambar 2 menunjukkan bahwa dengan adanya variasi komposisi katalis dapat mempengaruhi nilai konversi reaksi yang didapat. Konversi tertinggi pada setiap kondisi yaitu pada komposisi katalis 12,5% dengan kecepatan pengadukan 200 rpm diperoleh konversi sebesar 69,96%, kemudian pada komposisi katalis 15% dengan kecepatan pengadukan 200 rpm didapat konversi sebesar 72,49 %, sedangkan pada komposisi katalis 17,5% dengan kecepatan pengadukan 200 rpm didapat konversi sebesar 74,50%.

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan komposisi katalis dapat mempercepat reaksi sehingga dapat memperbesar konversi reaksi yang ditunjukkan dengan hasil konversi tertinggi yaitu 74,50% pada komposisi katalis terbesar yaitu 17,5%. Kondisi tersebut sesuai dengan teori persamaan Arrhenius yaitu $k = Ae^{(-E_a/RT)}$ dimana penggunaan katalis dapat menurunkan energi aktivasi (E_a) sehingga laju kesetimbangan reaksi (k) akan lebih cepat tercapai. Hal ini juga dapat dilihat pada gambar 2.9 di mana terdapat perbedaan antara area energi aktivasi dengan adanya katalis dibandingkan tidak adanya katalis, bahwa dengan adanya katalis maka energi aktivasi pada suatu reaksi dapat mengalami penurunan, sehingga partikel-

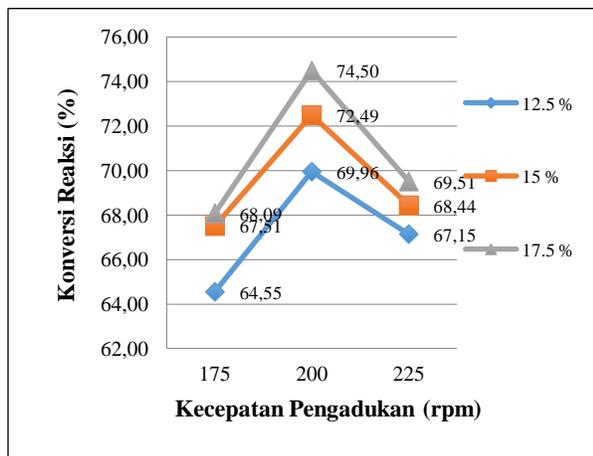
partikel dari reaktan akan mudah terbentuk menjadi produk. Katalis hanya mempengaruhi laju pencapaian kesetimbangan bukan posisi kesetimbangan, sehingga massa katalis setelah reaksi sama dengan massa katalis sebelum reaksi berlangsung (Clark, 2002).

Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah katalis H-Zeolit yang merupakan jenis katalis heterogen. Mekanisme reaksi katalisis heterogen terdiri dari dua tahap yaitu perpindahan massa (reaksi adsorpsi pereaksi dan reaksi desorpsi produk permukaan katalis) dan reaksi kimia (Satterfield, 1991). Jumlah katalis yang ditambahkan akan mempengaruhi reaksi adsorpsi maupun desorpsi. Selain itu, pada katalis H-Zeolit juga berfungsi sebagai adsorben yang dapat menyerap air, sehingga reaksi akan bergeser ke arah pembentukan produk.

3.2. Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Konversi Reaksi

Pada proses sintesa butil oleat ini menggunakan reaktan yang berbeda fasa dengan katalis, oleh karena itu untuk mencapai suatu pembentukan produk diperlukan adanya pengadukan agar terjadi tumbukan antar partikel-partikel reaktan dan katalis. Pada saat terjadi tumbukan, maka terjadi perubahan struktur secara kimia pada reaktan menjadi produk sehingga berpotensi menghasilkan konversi yang tinggi. Selain itu, pengadukan juga mampu menambah frekuensi tumbukan antar molekul zat pereaksi, sehingga dapat mempercepat tercapainya kesetimbangan.

Hasil penelitian pengaruh komposisi katalis H-Zeolit dan kecepatan pengadukan terhadap karakteristik butil oleat menunjukkan adanya pengaruh kecepatan pengadukan terhadap konversi reaksi. Pengaruh tersebut terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik pengaruh kecepatan pengadukan terhadap konversi reaksi (%)

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa dengan adanya variasi kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap nilai konversi reaksi yang diperoleh. Konversi tertinggi pada setiap kondisi terlihat pada kecepatan pengadukan 200 rpm. Pada komposisi katalis 12,5% diperoleh konversi sebesar 69,96%, kemudian pada komposisi katalis 15% didapat konversi sebesar 72,49% dan pada komposisi katalis 17,5% didapat konversi sebesar 74,50%.

Konversi reaksi tertinggi dari seluruh kondisi yang divariasikan adalah pada kecepatan pengadukan 200 rpm sebesar 74,50%. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap proses pembentukan produk, karena dengan adanya pengadukan, frekuensi tumbukan antar reaktan dan katalis serta kecepatan reaksi semakin meningkat, yang sesuai dengan teori Arrhenius. Semakin tinggi nilai konstanta kecepatan reaksi maka semakin besar nilai konversi reaksi.

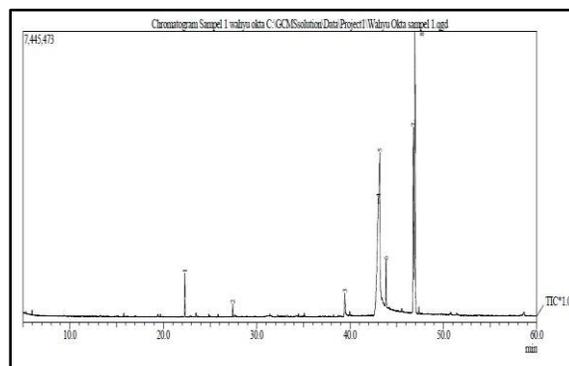
Konversi menurun pada kondisi kecepatan pengadukan 225 rpm sebesar 4,99% dari 74,50% menjadi 69,51%, hal ini terjadi karena reaksi esterifikasi merupakan reaksi bolak-balik (Fessenden, dkk., 1982).

Sehingga pada saat nilai kecepatan pengadukan dinaikkan lagi, sebahagian reaksi cenderung berbalik kearah reaktan karena adanya molekul air berupa hasil samping.

Pada asas Le Chatelier yang berbunyi: jika terhadap suatu sistem kesetimbangan dilakukan suatu aksi (tindakan) maka sistem kesetimbangan tersebut akan melakukan reaksi (pergeseran) untuk mengurangi pengaruh aksi tersebut juga. Lalu diterangkan juga apabila terjadi penambahan produk dalam suatu proses kesetimbangan, maka reaksi akan berbalik arah untuk menentralkan produk (Prakoso, dkk., 2012). Oleh karena itu, penurunan konversi dapat terjadi saat nilai kecepatan pengadukan 225 rpm untuk keseluruhan variasi komposisi katalis pada sintesa plastisizer butil oleat.

3.3. Analisa GC-MS Produk

Analisa dengan GC-MS dilakukan untuk mengetahui komponen yang terkandung di dalam produk. Hasil analisa menggunakan GC-MS untuk sampel dengan komposisi katalis 15% dan kecepatan pengadukan 225 rpm dapat dilihat pada Gambar 4.



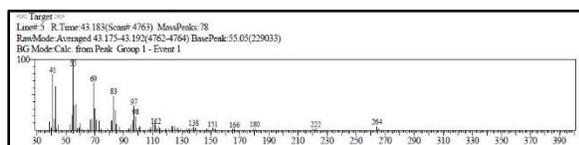
Gambar 4. Chromatogram Produk Sintesa Butil Oleat (Hasil Uji Lab.Kimia Organik FMIPA-UGM, 2015)

Secara kualitatif dan kuantitatif, GC-MS memberikan informasi kandungan hidrokarbon sesuai dengan berat molekulnya, lalu dari berbagai jenis senyawa hidrokarbon yang terdapat didalam

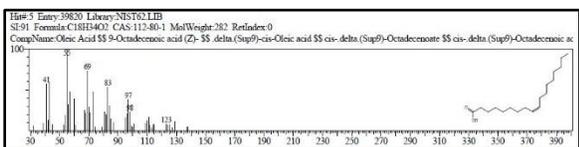
sampel tersebut dapat diklasifikasikan menurut panjang rantai hidrokarbon. Dari hasil analisis dengan GC-MS didapatkan komponen-komponen yang terdapat didalam produk tersebut, seperti terlihat pada Tabel 1, Gambar 5-8.

Tabel 1. Peak Report GC-MS Senyawa produk, komposisi katalis 15% dan kecepatan pengadukan 225 rpm (Hasil Uji Lab. Kimia Organik FMIPA-UGM, 2015)

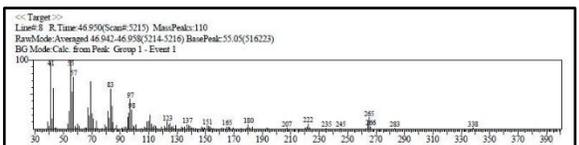
Puncak	Waktu retensi (menit)	%Area	Senyawa
1	22,298	2,81	Butane
2	27,444	0,84	Ethanedioic Acid
3	39,445	2,09	Palmitic Acid
4	43,025	21,22	Linoleic Acid
5	43,184	24,08	Oleic Acid
6	43,853	3,53	Butyl Stearate
7	46,792	18,09	9,12-Octadecanoic Acid
8	46,949	27,32	Butyl Oleic



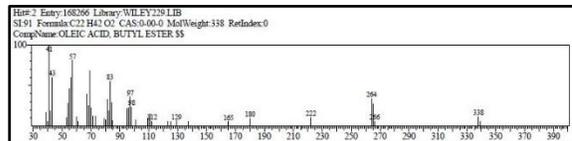
Gambar 5. Chromatogram Senyawa Hasil Sintesis Puncak Ke-8 (Hasil Uji Lab. Kimia Organik FMIPA-UGM, 2015)



Gambar 6. Chromatogram Senyawa Butil Ester (Hasil Uji Lab. Kimia Organik FMIPA-UGM, 2015)



Gambar 7. Chromatogram Senyawa Hasil Sintesis Puncak Ke-5 (Hasil Uji Lab. Kimia Organik FMIPA-UGM, 2015)



Gambar 8. Chromatogram Senyawa Oleic Acid (Hasil Uji Lab. Kimia Organik FMIPA-UGM, 2015)

Berdasarkan Gambar 4 dan melihat Tabel 1 terlihat ada delapan puncak dan terdapat satu puncak yang tajam dan tinggi. Presentase area terbesar yaitu 27,32% yang berupa senyawa butil oleat, senyawa tersebut merupakan senyawa yang diinginkan dari hasil sintesa asam oleat dengan butanol. Spektogram dari puncak tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 dan Spektogram karakteristik senyawa pada puncak kedelapan dapat dilihat pada Gambar 6 yang menyatakan bahwa senyawa hasil menampilkan butil oleat dengan berat molekul 338. Kemudian Spektogram dari puncak kelima pada Gambar 7 dan Spektogram karakteristik senyawa pada puncak kelima pada Gambar 8 menunjukkan bahwa terdapat senyawa berupa reaktan yang digunakan yaitu asam oleat dengan berat molekul 282. Hal ini terjadi karena reaksi esterifikasi merupakan reaksi bolak-balik (Fessenden, dkk., 1982). Saat nilai kecepatan pengadukan dinaikan, sebahagian reaksi cenderung berbalik kearah reaktan sehingga mengakibatkan nilai konversi produk berkurang dan jumlah reaktan bertambah.

3.4. Karakteristik Plastisizer

Karakteristik produk yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan karakteristik plastisizer komersil dengan jenis asam oleat. Karakteristik plastisizer secara komersial dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan karakteristik butil oleat yang dihasilkan dari penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Karakteristik Plastisizer Ester yang dapat di Komersilkan

Karakteristik Plastisizer	Nilai
Berat Molekul (gr/mol)	338,6 – 382,6
Titik beku, °C	-35 - -27
Titik didih, °C	395
Titik nyala, °C	185 – 198
Viskositas 20 °C, mPa s	8,2 – 9,4
Specific gravity, 20 °C	0,862-0,928

Sumber : Wypich, 2004

Tabel 3. Karakteristik Produk dengan Plastisizer Komersil

Kecepatan Pengadukan (rpm)	Komposisi Katalis (%)	Specific Gravity (20°C)	Viskositas (20°C) (mPa.s)	Konversi (%)	Karakteristik
					Plastisizer Komersil
	-	0,862-0,928	8,2 – 9,4	-	
175	12,5	0,889	8,85	64,55	
	15	0,886	8,73	67,51	
	17,5	0,886	8,92	68,09	
200	12,5	0,901	8,70	69,96	
	15	0,897	9,07	72,49	
	17,5	0,893	8,86	74,50	
225	12,5	0,882	8,63	67,15	
	15	0,89	9,03	68,44	
	17,5	0,891	8,62	69,51	

Sumber : Hasil Uji Lab. Kimia organik FT-UR, 2015

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa untuk sembilan sampel yang diuji viskositas dan uji *specific gravity* memiliki nilai yang sama dengan plastisizer komersil jenis asam oleat. Pada penelitian ini dapat membuktikan bahwa asam oleat dapat dijadikan bahan baku pembuatan plastisizer dengan mereaksikannya dengan butanol. Hal ini disebabkan karena penggunaan alkohol dalam penelitian pembuatan plastisizer ini sama seperti yang telah digunakan pada plastisizer komersil, yaitu menggunakan alkohol jenis butil seperti butanol (Wypich, 2004).

Dapat dikatakan bahwa semakin panjang rantai karbon, maka nilai massa

jenis akan semakin besar dan *specific gravity* akan semakin besar juga, hal ini juga berlaku pada viskositas. Dimana semakin panjang rantai karbon maka produk akan semakin kental sehingga nilai viskositas akan semakin besar. *needle-like*, sedangkan vaterit berbentuk bulat (*sphere*).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan simpulan yaitu :

1. Pengaruh komposisi katalis H-Zeolit pada sintesa plastisizer butil oleat dapat terlihat dengan adanya penambahan jumlah komposisi katalis. Semakin banyak komposisi

katalis yang digunakan, maka nilai konversi yang didapat juga semakin besar. Nilai konversi reaksi terbesar didapat pada komposisi katalis 17,5%, yaitu sebesar 74,50 %. Pengaruh kecepatan pengadukan pada sintesa plastisizer butil oleat terlihat pada variasi kecepatan pengadukan 200 rpm dan 225 rpm. Di mana pada kecepatan pengadukan 200 rpm terjadi proses kesetimbangan sehingga nilai konversi reaksi menurun pada kecepatan pengadukan 225 rpm. Untuk variasi kecepatan pengadukan 225 rpm dan komposisi katalis 17,5% didapatkan nilai konversi reaksi sebesar 69,51%.

2. Karakteristik plastisizer butil oleat yang dihasilkan yakni nilai Viskositas (20⁰ C) adalah 8,62 – 9,07 mPa.s dan *Specific Gravity* (20⁰ C) adalah 0,886 – 0,901. Dan berdasarkan indikasi dari analisa GC-MS. Didapatkan senyawa berupa *Butyl Oleic* dengan berat molekul 338.

Daftar Pustaka

Clark, J. 2002, *The Effect Of Catalysts On Reaction Rates*.
<http://www.chemguide.co.uk/physical/basicrates/catalyst.html>. Diakses pada 24 Maret 2015, Pkl 23.00 WIB.

Fessenden, R.J dan J.S. Fessenden. 1982, *Kimia Organik*, edisi ketiga. Erlangga : Jakarta.

Haryono, A. 2006, *Pengembangan Plastisizer Pengganti DOP dari Turunan Minyak Sawit*. Pusat

Penelitian Informatika LIPI : Bandung.

Hidayat, M.S. 2010, *Pengembangan Klaster Industri Hilir Kelapa Sawit*. Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia, Nomor : 13/M-IND/PER/1/2010. : Jakarta.

Kementrian Perindustrian. 2012, *Investasi Hilir Sawit*. Kementrian Perindustrian : Jakarta.

Leach, B.E. 1983, *Applied Industrial Catalysis*. Academic Press. Inc : New York.

Nasikin, M., Wahid, A., Iswara, G. 2006, *Perengkahan Katalitik Fasa Cair Minyak Sawit Menjadi Biogasolin*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia : Palembang.

Prakoso, T., Kurniawan, I., Nugroho H. 2012, *Esterifikasi Asam Lemak Bebas dalam Minyak Sawit Mentah untuk Produksi Metil Ester*. Bandung: Jurnal Teknik Kimia Indonesia, Vol. 6 , No. 3, pp 705-709.

Satterfield, C.N. 1991, *Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice*, edisi kedua, McGraw Hill, Inc.

Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., Sudiono, S. 2005, *Preparasi Modifikasi dan Karakteristik Katalis Ni-MO/Zeolit dan MO-Ni/Zeolit Alam*. TEKNOIN, Vol 10, No. 4, pp 269-282.

Vieira, M.G.A., Mariana, A.D.S., Licielen, O.D.S., Marisa, M.B. 2011, *Natural-Based Plasticizer And Biopolymer Films: A Review*. European Polymer Journal 47, 254-263.

Wypych, G. 2004, *Handbook of Plasticizer*. Chemtech Publishing, Inc : USA.