Jurnal Penelitian Kelapa Sawit, 2007, 15(3): 137 - 149

PENYEDIAAN POLIGLISEROL ASETAT DARI RESIDU GLISEROL PABRIK BIODIESEL SEBAGAI PLASTISISER YANG TIDAK BERACUN DAN BERSAHABAT DENGAN LINGKUNGAN

Basuki Wirjosentono[1], Tjahjono Herawan, Darnoko, Luqman Erningpraja, and Muhammad Yusuf Hasibuan[2]

ABSTRAK

Residu gliserol pabrik biodiesel berbahan baku minyak sawit mentah (CPO) belum dapat dimanfaatkan secara optimal karena masih mengandung air dan kotoran lainnya sampai 30%. Proses pemurnian residu gliserol tersebut telah dilakukan oleh Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) di Medan dan menghasilkan gliserol kualitas komersial dengan kemurnian mencapai 88%. Akan tetapi, nilai ekonomis gliserol komersial tersebut juga tidak menjanjikan yang disebabkan oleh keterbatasan pemanfaatannya, yang berakibat pada rendahnya kelayakan pabrik biodiesel tersebut.

Dalam hal lain, bahan plastisiser komersial berbasis minyak mineral, yang terbukti bersifat racun dan karsinogenik, serta tidak terbarukan dan tidak terdegradasi dalam alam, masih digunakan secara luas bahkan untuk berbagai barang yang berhubungan langsung denga makanan dan tubuh manusia, seperti: kemasan, alat-alat memasak, peralatan rumah tangga, mainan anak-anak, serta peralatan kesehatan dan kedokteran. Oleh karena itu, bahan plastisiser yang sehat dan bersahabat dengan lingkungan yang berbasis minyak nabati dan terbarukan, bukan saja layak secara ekonomi tetapi juga merupakan alternatif yang aman dari pada plastisiser yang berbasis minyak mineral.

Poligliserol telah disiapkan menggunakan bahan baku residu gliserol pada kondisi optimum, yaitu: menggunakan katalis eterifikasi NaOH (2%) pada suhu 200^{O}C selama 120 menit dalam vakum, yang telah meningkatkan angka hidroksil dari 657 menjadi 765 dan berat jenis dari 1,16 menjadi 1,24. Kemungkinan struktur : linear, bercabang atau siklis dari hasil poligliserol belum dapat dikonfirmasikan. Hasil eterifikasi ini, kemudian, diesterifikasi dengan asam asetat glasial dan katalis asam sulfat pekat, diekstraksi dalam khloroform dan dianalisis dengan metode spektroskopi inframerah Fourier Transform (FTIR), yang menunjukkan puncak serapan gugus karbonil ester pada 1728 cm^{-1}. Spektra FTIR hasil esterifikasi masih menunjukkan serapan gugus hidroksil pada 3425 cm^{-1} karena tidak semua gugus hidroksil poligliserol teresterifikasi dengan gugus asetat.

Kata kunci: *poligliserol, residu pabrik biodiesel, esterifikasi, plastisiser tidak racun, bersahabat dengan lingkungan.*

[1] Departemen Kimia, Universitas Sumatera Utara, Medan
[2] Sekolah Pascasarjana, Universitas Sumatera Utara, Medan

Basuki Wirjosentono, Tjahjono Herawan, Darnoko, Luqman Erningpraja, dan Muhammad Yusuf Hasibuan

ABSTRACT

Glycerol residue of biodiesel plant using crude palm oil (CPO) as raw material has not been utilised optimally due to its high water and other impurities contents upto 30%. Purification process of the glycerol residue has been done by the Indonesian Oil Palm Research Institute (IOPRI) in Medan and produced commercial grade of 88% glycerol content. However economic value of the commercial glycerol is also not promising because its utilisation as industrial raw material is limited, which in turn lowers feasibility of the biodiesel plant.

On the other hand, commercial plastisisers of mineral oil-based, which is sometimes revealed toxic and carcinogenic, as well as non-renewable and non-degradable in nature, are still widely used even for various products directly related to foods and human contact consumer goods, such as: packagings, crockeries, households, toys and children health, as well as medical appliances. Therefore, healthy and environment-friendly plastisisers, which are vegetable or animal oil-based and renewable, are not only economically feasible but also safer alternatives for the mineral-oil based plastisisers.

Polyglycerols have been prepared in optimised condition, i.e. using NaOH as etherification catalyst (2% to glycerol) at 200°C for 120 minutes under vacuum, with improved hydroxyl number from 657 to 765 and density from 1.16 to 1.24. Possibility of linear, branched, or cyclic chemical structures of the polyglycerols has not been confirmed. These were then esterified using acetic acid and sulfuric acid, extracted in chloroform and analysed by FTIR spectroscopy which showed ester carbonyl absorption peak at 1728 cm^{-1}. The FTIR spectra also showed hydroxyl absorption peak at 3425 cm^{1} due the remaining unesterified hydroxyl group of the polyglycerols.

Keywords: *polyglycerols, biodiesel plant residue, esterification, non-toxic plastisisers, environment-friendly.*

PENDAHULUAN

Pemanfaatan Gliserol dan Turunannya

Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) di Medan telah membangun Pabrik Biodiesel berbahan baku minyak sawit mentah dengan kapasitas 2 ton/hari dengan rendemen mencapai lebih dari 95%. Namun kelayakan ekonomi pabrik biodiesel ini masih rendah, karena residu gliserol yang dihasilkan masih belum dimanfaatkan secara optimal. Melalui penelitian kerjasama antara PPKS dan Universitas Sumatera Utara (USU), Herawan dkk. (6) telah berhasil mengolah residu gliserol pabrik biodiesel untuk mendapatkan gliserol komersial dengan kadar mencapai 88%. Dalam hal lain, sehubungan dengan struktur gliserol yang mempunyai gugus alkohol sekunder dan dua gugus alkohol primer, maka akan memberikan banyak kemungkinan terjadinya reaksi untuk mengembangkan senyawa turunan alkohol ini (Finar, 1980). Misalnya, dengan menambahkan gugus asetal pada struktur gliserol akan dihasilkan senyawa surfaktan yang dapat terdegradasi oleh pengaruh bahan kimia atau dalam air dan oleh kegiatan mikroba

(4). Senyawa poliol dari eterifikasi gliserol minyak nabati dapat diperbaharui, sumbernya mudah diperoleh, dan juga akrab dengan lingkungan karena mudah terdegradasi dalam alam (5). Mengingat hasil produksi gliserol yang melimpah serta sifatnya yang tidak racun dan dapat terurai secara alami dengan adanya mikroba, maka gliserol akan direaksikan menghasilkan plastisiser atau produk yang bernilai tambah lainnya yang ramah dengan kesehatan dan lingkungan.

Sintesis Poligliserol

Senyawa poligliserol telah dapat dibentuk dengan cara pencampuran gliserol dengan katalis logam alkali seperti natrium dan kalium hidrokida dan kemudian dipanaskan pada temperatur yang tinggi (12). Reaksi ini disebabkan oleh adanya kondensasi atau dehidrasi antara dua atau lebih molekul gliserol melalui gugus α-hidroksi yang menghasilkan ikatan eter dengan membebaskan air. Beberapa peneliti telah melaporkan metode sintesis dan analisis produk poligliserol dari bahan baku gliserol berbasis hasil industri petrokimia maupun oleokimia. Cassel dkk. (2), telah melaporkan prosedur sintesis berbagai standar oligomer gliserol dengan struktur: linear, bercabang dan siklis, menggunakan sistem katalisis homogen.

Peningkatan efisiensi dan selektifitas reaksi oligomerisasi gliserol telah dilakukan menggunakan teknik katalisis heterogen dalam padatan mesopori yang mengandung cesium. Selektifitas reaksi, yang menghasilkan di- dan tri-gliserol melebihi 90%, terutama disebabkan oleh padatan mesoposi yang dapat memicu regioselektifitas berbeda menurut jenis logam katalisnya (1). Untuk memproduksi senyawa ester parsial dari poliol, seperti: gliserol, poligliserol, dan sorbitol yang merupakan surfaktan nonionik dan digunakan sebagai emulsifier dalam produk makanan, detergen dan industri kosmetika, Ma´rquez-Alvarez dkk. (9) telah mengembangkan sistem katalisis padat berbasis material Zeolite MCM-41 dan mesostruktur lainnya dengan diameter pori antara 2-10 nm.

Pemanfaatan Poligliserol sebagai Plastisiser

Cutter dkk. (3), menggunakan gliserol dan propilenaglikol sebagai bahan plastisiser matriks polietilena dan polietilena oksida pada penyediaan film layak makan. Prosedur penyediaan film kemasan layak makan berbasis matriks hidroksipropil metilselulosa, untuk bahan makanan dekorasi, telah dipatenkan di Amerika (13), dengan menggunakan plastisiser polipropilenaglikol. Locke (8) menginformasikan bahwa pelapis makanan layak makan yang disediakan dari serum dan produk susu berkandungan protein dapat dibentuk menjadi film plastik atau pelapis tipis yang lembut dan berkilat untuk mencegah tumpahan berbagai produk makanan, dan mengurangi kapasitas limbah kemasan. Pelapis layak makan tersebut dapat melindungi bahan makanan seperti: sereal sarapan pagi, ikan salmon, dan daging kalkun, yang mungkin ditambah dengan anti-bakteri alami. Selanjutnya, Liu dkk (7), menggunakan gliserol sebagai plastisiser

(dengan kandungan antara 20-70%), untuk film layak makan berbasis campuran pati (starch), gelatin dan natrium alginat. Solvay Chemicals, (11), juga melaporkan penggunaan poligliserol sebagai plastisiser untuk polivinilalkohol (PVA) dan pati, sedangkan turunan alkiloil dari digliserol dapat digunakan sebagai plastisiser untuk poliolefin atau PVC.

METODOLOGI

Pemurnian Residu Gliserol Pabrik Biodiesel (6)

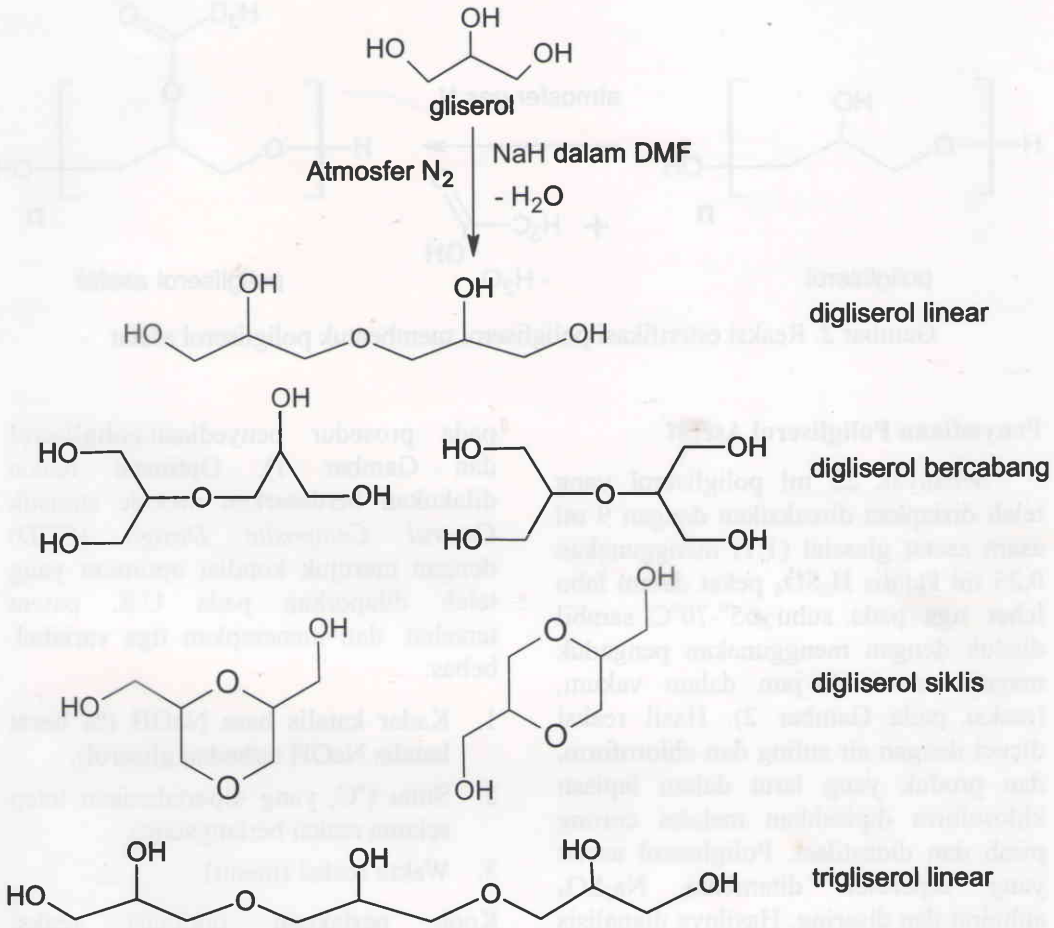
Residu gliserol dari pabrik biodiesel PPKS Medan, diuapkan pada suhu 65°C selama 4 jam untk menghilangkan kandungan metanolnya. Cairan sisa diencerkan dengan air suling sampai volume 2 kali semula dan ditambahi asam posfat 85% tetes demi tetes sampai pH = 2, dan didiamkan selama 1 jam agar endapan dapat disaring dengan sempurna. Filtrat dinetralkan dengan NaOH 30% dan uapkan airnya dalam rotavapor sampai berat tetap. Tambahkan methanol secukupnya dan dinginkan pada suhu 15°C selama 30 menit, untuk kemudian disaring. Filtrat dalam metanol diuapkan dalam rotavapor dan diputihkan dengan karbon aktif.

Penyediaan Poligliserol (13)

Gliserol yang telah dimurnikan ditimbang dalam labu volume 250 ml kemudian ditambahi katalis Natrium Hidroksida padat sebanyak 2 % dan diaduk dengan menggunakan pengaduk magnit. Labu dihubungkan dengan pompa vakum tekanan 150 mmHg, dan suhu reaksi diatur pada 200°C serta dipanaskan selama 2 jam, (reaksi seperti pada Gambar 1). Hasil reaksi dipisahkan dari bagian atas (poligliserol) menggunakan cara dekantasi. Hal yang sama dilakukan dengan variasi katalis, suhu dan waktu yang berbeda. Produk dianalisis melalui pengukuran angka hidroksil, densitas dan indeks bias, sedangkan struktur kimia produk dielusidasi menggunakan metode spektroskopi FT-IR.

Penentuan Angka Hidroksi

Sebanyak sekitar 1 g sampel dimasukkan ke dalam erlenmeyer bertutup yang dihubungkan dengan kondensor dan ditambahi 10 ml piridin dan 5 ml piridin asetat anhidrat (A). Campuran kemudian direfluks selama 1 jam di atas plat pemanas, ditambahi 10 ml H_2O, dilanjutkan refluks selama 10 menit. Hasil reaksi didinginkan pada suhu kamar dan kondensor dibilas dengan 10 ml butanol netral dan ditampung ke dalam erlenmeyer. Selanjutnya, erlenmeyer dibilas lagi dengan 10 ml butanol netral. Setelah ditambahi 3 tetes indikator fenolftalein, campuran dititrasi dengan larutan standar KOH (Etanol) 0,5 N sampai terjadi perubahan warna menjadi merah (B). Pada tempat yang berbeda ditimbang sekitar 1 g sampel ke dalam erlenmeyer bertutup, ditambahi piridin 10 ml dan 3 tetes indikator fenolftalein tanpa direfluks (C) , kemudian dititrasi dengan larutan KOH (Etanol) 0,5 N sampai terjadi perubahan warna (D). Prosedur (A) diulangi tanpa menggunakan sampel (E). Selanjutnya, angka

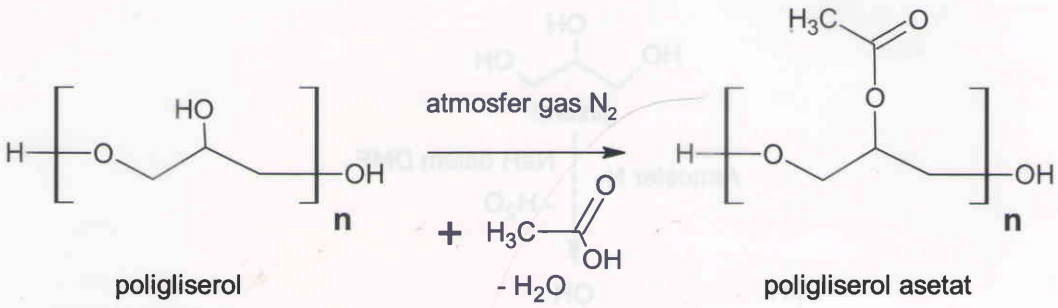


Gambar 1. Reaksi eterifikasi katalisis homogen gliserol membentuk campuran di-, tri-, dan tetragliserol, dengan struktur rantai yang linear, bercabang, maupun siklis.

hidroksil (OHV) dihitung menggunakan persamaan:

$$OHV = \left(E + \left(\frac{A \times D}{C} \right) - B \right) \times N \times 561$$

A = berat sampel pada prosedur (A), B = volume titrasi pada prosedur (B), C = berat sampel pada prosedur (C), D = volume titrasi pada prosedur (D), E = volume titrasi pada prosedur (E), dan N = normalitas larutan KOH (Etanol).



Gambar 2. Reaksi esterifikasi poligliserol membentuk poligliserol asetat

Penyediaan Poligliserol Asetat

Sebanyak 25 ml poligliserol yang telah disiapkan direaksikan dengan 9 ml asam asetat glassial (1:1) menggunakan 0,25 ml katalis H_2SO_4 pekat dalam labu leher tiga pada suhu 65°-70°C sambil diaduk dengan menggunakan pengaduk magnit selama 8 jam dalam vakum, (reaksi pada Gambar 2). Hasil reaksi dicuci dengan air suling dan chloroform, dan produk yang larut dalam lapisan khloroform dipisahkan melalui corong pisah dan didestilasi. Poligliserol asetat yang diperoleh ditambahi Na_2SO_4 anhidrat dan disaring. Hasilnya dianalisis dengan uji densitas, indeks bias dan struktur kimianya dielusidasi menggunakan spektroskopi FT-IR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Poligliserol Menggunakan Katalis Homogen

Preparasi poligliserol dilakukan menurut prosedur eterifikasi pada U.S. Patents 6620904 tahun 2003, (seperti pada prosedur penyediaan.poligliserol dan Gambar 1). Optimasi reaksi dilakukan berdasarkan metode statistik *Central Composite Design* (CCD) dengan merujuk kondisi optimum yang telah dilaporkan pada U.S. patent tersebut dan menerapkan tiga variabel bebas:

1. Kadar katalis basa NaOH (% berat katalis NaOH terhadap gliserol),
2. Suhu (°C, yang dipertahankan tetap selama reaksi berlangsung),
3. Waktu reaksi (menit).

Kode perlakuan optimasi reaksi eterifikasi dirancang seperti pada Tabel 1. Dari Tabel 1 tersebut terdapat 15 kondisi reaksi yang akan dioptimasikan.

Penentuan Angka Hidroksil (OHV) Poligliserol

Efisiensi reaksi eterifikasi diuji dengan mengamati angka hidroksil, (prosedur penentuan angka hidroksi), dari hasil reaksi pada berbagai kondisi yang divariasi. Diperoleh bahwa angka hidroksil yang maksimum (OHV = 764.99 ml KOH/g) adalah pada

perlakuan reaksi dengan katalis NaOH 2%, waktu 120 menit dan suhu 200 °C sehingga dijadikan sebagai titik acuan, (terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 3).

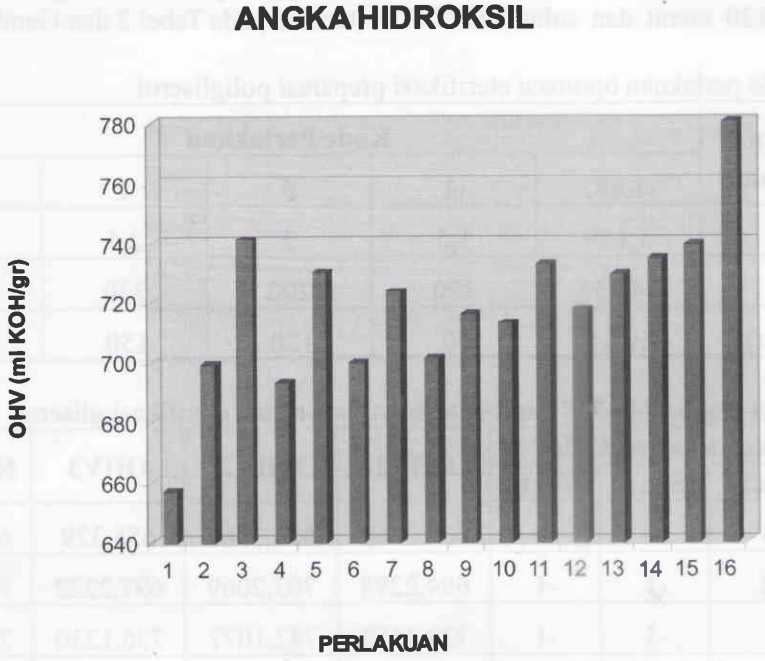
Tabel 1. Kode perlakuan optimasi eterifikasi preparasi poligliserol

Variabel Perlakuan	Kode Perlakuan				
	-1,682	**-1**	**0**	**1**	**1,682**
Katalis (%)	1,159	1,5	2	2,5	2,841
Suhu (°C)	149,54	170	200	230	250,46
Waktu (menit)	69,54	90	120	150	170,46

Tabel. 2. Data angka hidroksil dari berbagai variasi reaksi eterifikasi gliserol

No	Perlakuan terkode*)			OHV1	OHV2	OHV3	Rata-rata
	Katalis	Suhu	Waktu				
1	0	---	---	664,3061	652,3366	655,329	657,3239
2	-1	-1	-1	694,2298	703,2069	697,2222	698,2190
3	1	-1	-1	739,1153	742,1077	736,1230	739,1153
4	-1	1	-1	679,2679	694,1253	697,0296	690,1409
5	1	1	-1	715,1764	728,9767	734,7853	726,3128
6	-1	-1	1	688,2451	700,2145	697,2220	695,2272
7	1	-1	1	727,1459	714,4553	711,5510	717,7174
8	-1	1	1	679,4924	702,8381	699,9338	694,0881
9	1	1	1	706,1993	714,4553	702,8381	707,8309
10	-1,682	0	0	712,2229	697,0296	702,8381	704,0302
11	1,682	0	0	745,1001	705,7424	717,3596	722,7340
12	0	-1,682	0	703,2069	710,6878	706,1993	706,6980
13	0	1,682	0	721,0654	712,2079	718,2166	717,1633
14	0	0	-1,682	715,1764	725,6497	724,1535	721,6598
15	0	0	1,682	730,1382	718,1688	727,1459	725,1509
16	0	0	0	751,0666	770,6326	773,2843	764,9945

*) Lihat Tabel 1.



Gambar 3. Angka hidroksi hasil reaksi eterifikasi pada kondisi reaksi yang divariasi

Angka hidroksi (OHV) dari sampel kontrol, yaitu: campuran bahan baku gliserol dengan katalis NaOH 2% tanpa pemanasan (tidak terjadi reaksi polimerisasi eterifikasi) adalah 657,3239 ml KOH/g. Selama optimasi kondisi reaksi eterifikasi diperoleh harga angka hidroksil yang berfluktuasi. Hal ini disebabkan adanya saling keterkaitan antara ketiga faktor penentu kenaikan angka hidroksil tersebut. Kondisi optimum diperoleh pada perlakuan dengan katalis NaOH 2%, waktu 120 menit, dan suhu 200°C, dengan angka hidroksi yang diperoleh adalah 764,9945 ml KOH/g.

Angka hidroksi (OHV) merupakan ukuran yang penting dari efisiensi reaksi eterifikasi. Kenaikan yang signifikan dari OHV hasil reaksi dibandingkan OHV reaktan sebelum reaksi menunjukkan tingginya efisiensi reaksi eterifikasi. Produk poligliserol yang diperoleh langsung digunakan sebagai bahan baku penyediaan poligliserol asetat.

Penyediaan Poligliserol Asetat

Poligliserol asetat disediakan dengan cara esterifikasi poligliserol dengan asam asetat glassial menggunakan katalis asam sulfat pekat, (lihat prosedur penyediaan

Tabel 3. Perbandingan berat jenis (g/ml), dan indeks bias gliserol, poligliserol dan poligliserol asetat.

No	Senyawa	Berat Jenis (g/ml)	Indeks Bias
1.	Gliserol	1,1631	1,4260
2.	Poligliserol	1,2434	1,4410
3.	Poligliserol Asetat	1,1735	1,4130

poligliserol asetat. dan Gambar 2). Poligliserol asetat yang terbentuk diekstraksi dalam khloroform dan toluena. Sifat fisika dan kimia serta struktur poligliserol asetat yang dihasilkan dianalisis (Tabel 3) untuk selanjutnya digunakan sebagai plastisiser matriks polivinil khlorida (PVC).

Dibandingkan dengan bahan baku gliserol (berat jenis 1,1631 g/ml), berat jenis poligliserol yang dihasilkan meningkat sebesar 1,2434 g/ml. Hal ini sesuai dengan struktur poligliserol yang terdiri dari digliserol maupun trigliserol (linear, bercabang atau siklis, lihat Gambar 1).

Poligliserol asetat memiliki berat jenis (yaitu 1,1735 g/ml) lebih rendah dari poligliserol, yang disebabkan adanya gugus asetat ester yang menurunkan efisiensi interaksi antara molekul polimernya. Kenaikan indeks bias poligliserol (1,4410) bila dibandingkan dengan untuk gliserol (1,4260), juga berhubungan dengan terbentuknya struktur polimer dari poligliserol yang meningkatkan berat jenis dan indeks biasnya.

Analisis spektroskopi inframerah Fourier-Transform (FT-IR)

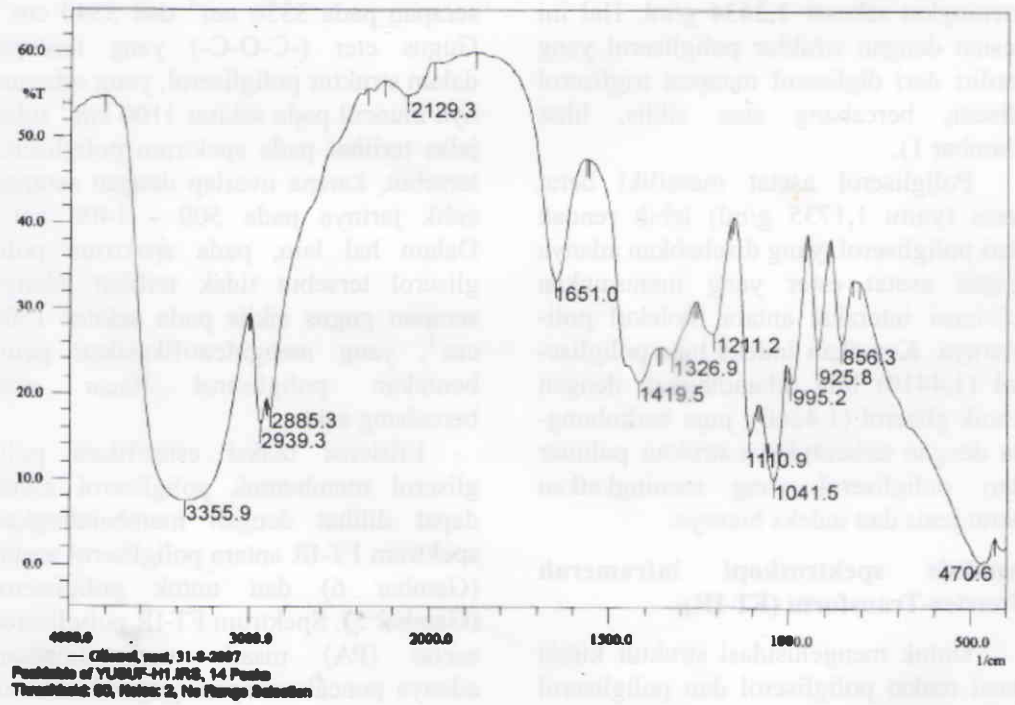
Untuk mengelusidasi struktur kimia hasil reaksi poligliserol dan poligliserol asetat, serta mengamati kemungkinan terjadinya perubahan struktur kimia plastisiser maupun rantai polimer bahan termoplastik, perlu dilakukan analisis spektroskopi FT-IR. Dibandingkan dengan spektrum gliserol (Gambar4), spektrum FT-IR poligliserol (Gambar 5) tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Hal ini terutama disebabkan bahwa antara gliserol dan poligliserol mempunyai gugus hidroksil (-OH) yang tidak jauh berbeda dengan puncak serapan pada 3356 cm^{-1} dan 3340 cm^{-1}. Gugus eter (-C-O-C-) yang terdapat dalam struktur poligliserol, yang seharusnya muncul pada sekitar 1100 cm^{-1} tidak jelas terlihat pada spektrum poligliserol tersebut, karena overlap dengan serapan sidik jarinya pada 500 - 1400 cm^{-1}. Dalam hal lain, pada spektrum poligliserol tersebut tidak terlihat adanya serapan gugus siklis pada sekitar 1500 cm^{-1}, yang mengidentifikasikan pembentukan poligliserol linear atau bercabang saja.

Efisiensi reaksi esterifikasi poligliserol membentuk poligliserol asetat dapat dilihat dengan membandingkan spektrum FT-IR antara poligliserol asetat (Gambar 6) dan untuk poligliserol (Gambar 5). Spektrum FT-IR poligliserol asetat (PA) masih memperlihatkan adanya puncak serapan gugus hidroksil (-OH) pada 3425 cm^{-1}, yang

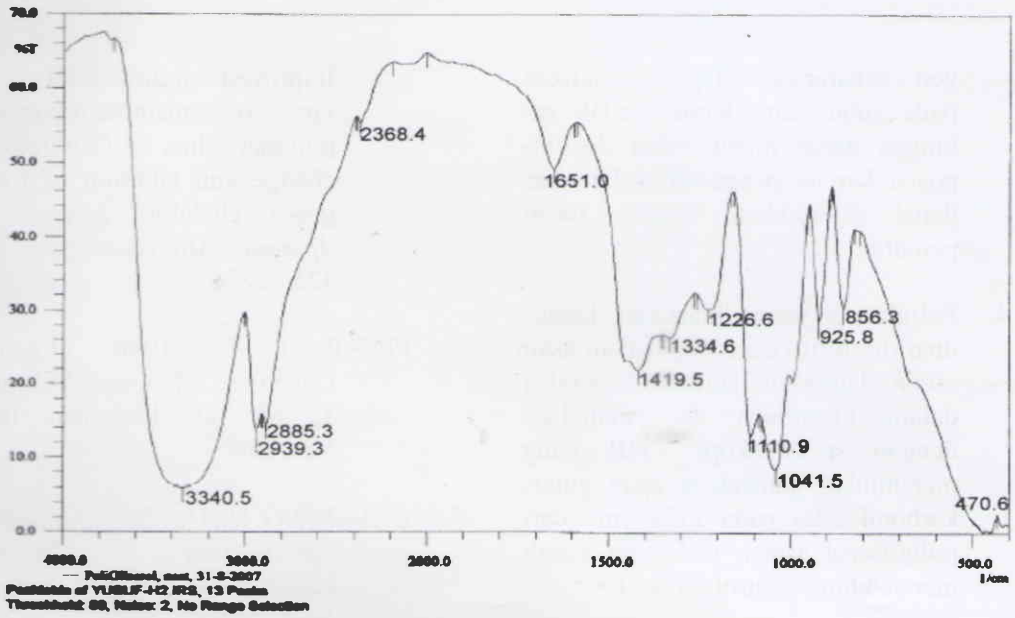
menunjukkan bahwa tidak semua gugus hidroksil dalam struktur molekul PA dapat teresterifikasi dengan gugus asetat. Dalam hal lain, spektrum FT-IR PA menunjukkan puncak serapan gugus karbonil (-CO-) yang intensif pada 1728 cm^{-1} dari ester asetat. Ini merupakan indikasi bahwa telah terjadi proses esterifikasi poligliserol dengan asam asetat, walaupun tidak semua gugus hidroksilnya teresterifikasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

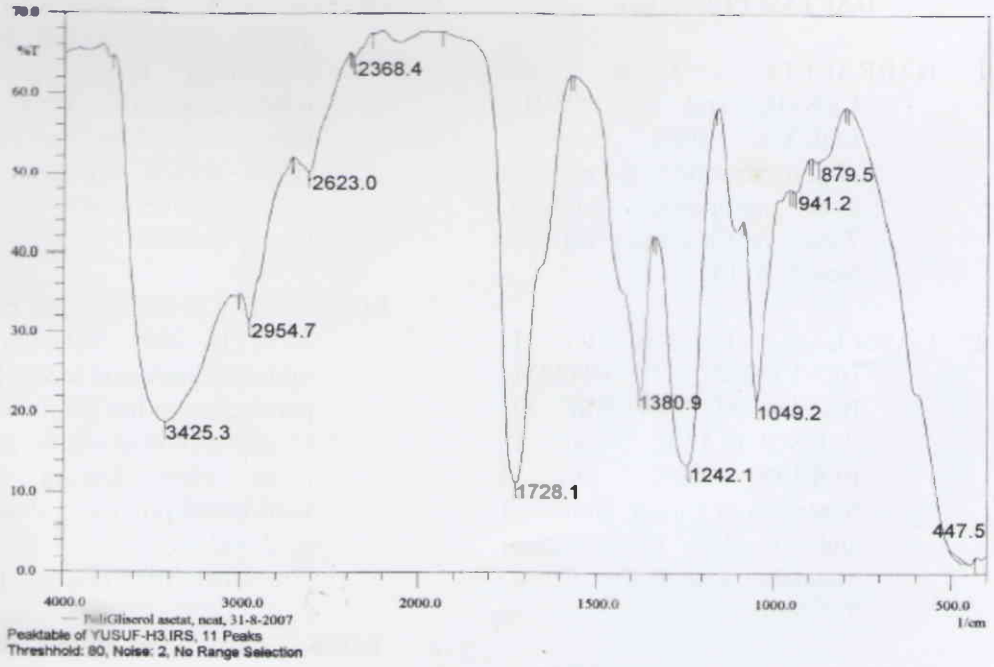
1. Preparasi poligliserol dilakukan pada kondisi optimum, yaitu: menggunakan KOH sebagai katalis eterifikasi (rasio 2/10 terhadap gliserol) pada 200°C selama 120 menit dalam vakum, dengan kenaikan angka hidroksi dari 657 menjadi 765 dan densitas 1,16 menjadi 1,24.
2. Hasil poligliserol yang diperoleh mempunyai struktur: linear, bercabang dan siklis maka hendaknya dilakukan penelitian selanjutnya untuk penyediaan poligliserol linear menggunakan katalis heterogen yang lebih selektif.
3. Pada penelitian ini warna poligliserol dan poigliserol asetat yang dihasilkan masih kekuningan dan belum sesuai dengan standar warna plastisiser komersial. Sintesis poligliserol menggunakan katalis hetero-



Gambar 4. Spektrum FT-IR gliserol (film cairan)



Gambar 5. Spektrum FT-IR poligliserol (film cairan)



Gambar 6. Spektrum FT-IR poligliserol asetat (film cairan)

gen diharapkan dapat dilakukan pada suhu yang lebih rendah sehingga dapat menghindari dekomposisi karena pengaruh suhu dan dapat dijernihkan dengan tanah pemutih.

4. Poligliserol yang dihasilkan, kemudian diesterifikasi mengunakan asam asetat dan asam sulfat, diekstraksi dalam kloroform dan dianalisis dengan spektroskopi FTIR yang menunjukan puncak serapan gugus karbonil ester pada 1728 cm^{-1} dari poligliserol asetat, walaupun masih mengandung gugus hidroksil.

DAFTAR PUSTAKA

1. BARRAULTA J., J. M. CLACENSB, and Y. POUILLOUXA. 2004. Selective oligomerization of glycerol over mesoporous catalysts. *Topics in Catalysis,* Vol. 27, Nos. 1–4, 137.

2. CASSEL S., C. DEBAIG, T. BENVEGNU, P. CHAIMBAULT, M. LAFOSSE, D. PLUSQUELLEC, and P. ROLLIN. 2001. Original Synthesis of Linear, Branched and Cyclic Oligoglycerol Standards. *Eur. J. Org. Chem*, 875-896.

3. CUTTER C. N. , J. L. WILLETT, and G. R. SIRAGUSA. 2001. Improved antimicrobial activity of nisin-incorporated polymer ®lms by formulation change and addition of food grade chelator. *Letters in Applied Microbiology,* 33, 325-328.

4. FINAR I. L., 1986. *Organic Chemistry*. Mc Graw. Volume 1, 6th Ed. Longman Inc. NewYork.

5. GOUDUNG D. U., 2004. Catalytic Epoxydation of Methyl Lindeate. *J. Am. Oil. Chem. Socs.*, Vol. 81. No. 4.

6. HERAWAN T., B. WIRJOSENTONO, dan U. RAHMI. 2006. Pemurnian residu gliserol pabrik biodiesel dengan cara pengasaman. *Penelitian PPKS -USU,* PPKS - Departemen Kimia, Universitas Sumatera Utara, Medan.

7. LIU L., J. F. KENNEDY, and P. K. JOSEPH. 2005. Selection of optimum extrusion technology parameters in the manufacture of edible/biodegradable packaging films derived from food-based polymers, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, Vol.3 (3&4), 51.

8. LOCKE M.., 2004. Edible packaging could reduce plastic food packaging; Scientists use

food to protect other foods", http://www.usatoday.com/tech/science/2004-12-16-edible-packaging_x.htm.

9. MA´RQUEZ-ALVAREZ C., E. SASTRE, and J. PE´REZ-PARIENTE. 2004. Solid catalysts for the synthesis of fatty esters of glycerol, polyglycerols and sorbitol from renewable resources. *Topics in Catalysis*, Vol. 27, Nos. 1–4, 105.

10. PIASECKI B., 2000. Synthesis and Surface Properties of Chemo-degradable Anionic Surfactans Diastreomeric (2-N-alkyl-1,3-dioxan-5-yl) Sulfates, *J. Am. Oil. Chem. Socs.*, Vol. 74, No. 1.

11. SOLVAY CHEMICALS. 2005. Polyglycerols General Overview; Product Data Sheet .http://www.solvaychemicals.us.

12. UNITED STATE PATENT 6620904. 2003. Process for Preparing Linear Polyglycerols and Polyglycerol Esters.

13. UNITED STATES PATENT 6616958. 2003. Method of making and using an edible film for decorating foodstuffs.