

SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER ALKID POLIGLISEROL BANYAK CABANG

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF HYPERBRANCHED POLYGLYCEROL ALKYD POLYMER

Dwinna Rahmi¹, Retno Yunilawati¹, Mangala Tua Marpaung¹, Chicha Nuraeni¹, Nur Hidayati¹, Emmy Ratnawati¹, Arief Riyanto¹, Dicky Lasenda Setiaji², Septian Nugroho², Jauharotul Arifah², Martina Indri Hastuti², Rochmi Widjajanti²

¹Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian RI
Jl. Balai Kimia I Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur
²Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI
Jl. Letjen Suprpto No.26 Cempaka Putih, Jakarta 10510

E-mail: dwinna2002@yahoo.com

Received : 2 September 2019; revised : 3 September 2019; accepted : 20 September 2019

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER ALKID POLIGLISEROL BANYAK CABANG. Polimer alkid baru telah disintesis menggunakan alkid minyak rantai panjang (*long oil*) dan poligliserol banyak cabang. Alkid poligliserol banyak cabang/alkid HPG merupakan salah satu alkid banyak cabang (*hyperbranched alkyd polymer/HBRA*). Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan sintesis dan karakterisasi HBRA baru dari HPG. Sintesis dilakukan dengan memanaskan campuran 77% minyak kedelai dan 23% polioliol (gliserol atau HPG) pada suhu 240 °C sampai dengan 250 °C selama 3 jam dilanjutkan dengan penambahan 23% asam phtalat atau asam maleat dan diproses pada suhu 180 °C - 200 °C selama 3 jam. Spektrum FTIR menunjukkan munculnya gugus fungsi ester C=C pada panjang gelombang 3050 cm⁻¹ dan gugus C=O pada panjang gelombang 1350 cm⁻¹ - 1730 cm⁻¹. Viskositas 40 °C alkid phtalat HPG adalah 1255 cSt (mm²/s) dan alkid phtalat gliserol adalah 1668 cSt, sedangkan viskositas produk alkid maleat tidak dilakukan karena produk berbentuk padat. Bilangan hidroksi alkid phtalat gliserol dan alkid phtalat HPG tidak berbeda signifikan. Bilangan hidroksi alkid maleat gliserol dan alkid maleat HPG berbeda signifikan karena gugus hidroksi pada polioliol tidak teresterifikasi sempurna.

Kata kunci : Polimer alkid, poligliserol banyak cabang, alkid banyak cabang, gugus fungsi, bilangan hidroksi

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF HYPERBRANCHED POLYGLYCEROL ALKYD POLYMER. A new alkyd polymer was formulated using long oil alkyd and hyperbranched polyglycerol/HPG. Hyperbranched polyglycerol alkyd/HPG alkyd is one of the hyperbranched alkyd polymer/HBRA. The purpose of this research is to synthesize and characterize of a new HBRA from HPG. HPG alkyd were synthesized by heating mixture 77% soybean oil and 23% polyol (glycerol or HPG) at 240 °C - 250 °C for 3 hours, then followed by addition of 23 % phthalic acid or maleic acid and processed at 180 °C - 200 °C for 3 hours. Infrared/FTIR spectrum shows the intensity of functional group of C = C ester at a wavelength of 3050 cm⁻¹ and the C = O group at a wavelength of 1350 cm⁻¹ - 1730 cm⁻¹. The viscosity of 40 °C phthalate HPG alkyd was 1255 cSt (mm²/s) and the phthalate glycerol alkyd was 1668 cSt, while the viscosity of the maleic alkyd product was not performed because it was solid. The hydroxy value of phthalates glycerol alkyd and phthalates HPG alkyd were not significant different. The hydroxy value of glycerol maleic alkyd and HPG maleic alkyd were differed significantly, because the hydroxy groups in polyols were not completely esterified.

Keywords: Alkyd polimer, hyperbranched polyglycerol, hyperbranched alkyd polimer, functional groups, hydroxy value

PENDAHULUAN

Alkid merupakan poliester yang dimodifikasi melalui ikatan tak jenuh dari minyak nabati yang dapat mengering (*drying oil*). Pada industri pelapis (*coating*) seperti cat, alkid termasuk bahan yang penting karena sumber bahan baku utamanya yaitu *drying oil* dapat diperbaharui. Alkid diklasifikasi berdasarkan jumlah *drying oil* yang digunakan yaitu *short alkid* dengan kandungan minyak nabati 30% sampai dengan 42%, *medium alkid* dengan kandungan 43% - 54% *drying oil*, *long alkid* dengan kandungan *drying oil* 55% - 68% dan *very long* dengan *drying oil* diatas 68% (Alam et al. 2014). Alkid pada industri pelapis digunakan terutama pada pengecatan dekoratif pada kayu dan besi karena mempunyai daya rekat baik, lebih gloss, lentur dan tahan terhadap alkali (Carmody 1959).

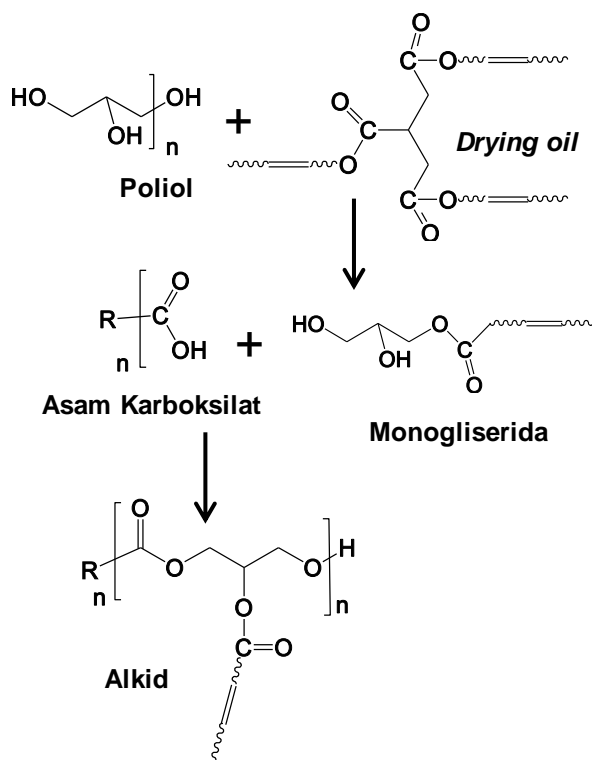
Secara umum, alkid disintesis dengan cara memanaskan poliol, minyak nabati (*drying oil*) dan asam karboksilat pada suhu 230 °C – 280 °C secara bersamaan (Lum 1953). Poliol yang banyak dipakai adalah gliserol, minyak nabati adalah minyak kedelai sedangkan asam karboksilat yang umum adalah asam phtalat. Mekanisme reaksi diilustrasikan seperti terlihat pada Gambar 1 (Velayutham et al. 2009) (Liang et al. 2014). Akan tetapi, dalam proses reaksi tersebut alkid memiliki kelemahan yaitu daya kering membutuhkan waktu yang lama yaitu mencapai lebih 1 minggu. Beberapa peneliti mencoba memperbaiki kualitas alkid dengan melakukan modifikasi bahan baku seperti memvariasikan jenis minyak nabati. Penggunaan minyak biji karet menghasilkan alkid dengan ketahanan cukup tinggi terhadap air, air asin, dan asam, tapi tidak tahan terhadap alkali (Ikhuoria, Aigbodion, and Okieimen 2004). Penggunaan minyak castor menghasilkan alkid lebih tahan terhadap asam namun pada proses sintesisnya membutuhkan tahapan yang panjang menggunakan dua jenis katalis yaitu NaOH dan PbO (Hlaing and Oo 2008). Penggunaan minyak sawit menghasilkan alkid dengan daya rekat yang lebih kuat dan sifat melindungi lebih lama walaupun waktu kering lebih lama (Issam and Cheun 2009). Selain modifikasi terhadap minyak nabati, pembuatan alkid juga dilakukan dengan memodifikasi asam karboksilatnya. Penggunaan asam isosianat sudah dilakukan tahun 1950. Alkid isosianat dengan pelarut organik mempunyai kelebihan menjadikan cat lebih mengkilat dan tahan gesekan (Axtmann 1983), namun kurang ramah lingkungan.

Pada tahun 2002, alkid dengan struktur banyak cabang (*hyperbranched alkyd polymer/HBRA*) mulai dikenalkan. Alkid *HBRA* dapat berwujud padat maupun cair tergantung bahan yang digunakan. Alkid *HBRA* padat dihasilkan

dengan asam karboksilat *trimethylpropane* dan *dimethylolpropionic acid*.

Penggunaan alkid *HBRA* pada formula cat menghasilkan cat yang lebih lembut, cepat mengering serta dapat mengurangi penggunaan pelarut organik (K. Mańczyk and Szewczyk 2002). Penggunaan *hydroxylates hyperbranched* menghasilkan alkid *HBRA* dengan daya kilap (*gloss*) dan daya rekat lebih tinggi dan juga lebih fleksibel, waktu kering cepat, dan tahan terhadap bahan kimia (Murillo, Vallejo, and López 2010). Daya kilap dan daya kering lebih tinggi pada *HBRA* karena adanya rantai cabang yang menjadikan viskositanya lebih rendah walaupun berat molekul sama dengan rantai linear (Lindeboom 1997). Kombinasi *butylmetacrylate* dengan *maleic anyidrida* juga menghasilkan alkid yang lebih fleksibel, daya kilap tinggi, tahan terhadap bahan kimia juga lebih keras (Murillo and López 2011). Akan tetapi modifikasi poliol banyak cabang belum banyak dikembangkan.

Pada penelitian ini akan dikembangkan *HBRA* menggunakan poliol banyak cabang (*hyperbranched polyglycerol/HPG*).



Gambar 1. Reaksi poliol, *drying oil*, asam karboksilat menghasilkan alkid

HPG merupakan salah satu polimer banyak cabang yang disintesis dengan proses polimerisasi gliserol (Ciriminna and Pagliaro

2013). Selama ini *HPG* digunakan dalam bidang farmasi sebagai pengantar obat (Boudou et al. 2013), sebagai perekat kayu (Mamiński et al. 2013), sebagai salut katalis (Lang et al. 2003) (Rahmi, Yuniawati, and Riyanto 2016). Pada penelitian ini *HPG* dikembangkan menjadi polimer alkid.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan sintesis alkid dengan menggunakan *HPG* sebagai polioliol untuk menghasilkan alkid dengan viskositas lebih rendah. *HPG* merupakan polimer banyak cabang yang disintesa dari gliserol turunan kelapa sawit yang merupakan bahan yang dapat diperbaharui dan lebih ramah lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Gliserol diperoleh dari PT. Wilmar Nabati, CaO alam dari PT. Sari Bumi Sidayu, minyak kedelai produksi PT. Kimia Farma. Asam phtalat dan asam maleat dari PT. Merck. Ethanol yang digunakan untuk uji performa adalah ethanol teknis dari Bratachem. Adapun alat yang digunakan untuk proses polimerisasi gliserol dan sintesis polimer alkid adalah reaktor tertutup merk PARR yang dilengkapi dengan pengaduk, pemanas dan aliran gas nitrogen. Timbangan dan alat gelas lainnya juga digunakan dalam preparasi sampel.

Sintesis Alkid

HPG diproses dengan memanaskan gliserol pada suhu 240 °C - 250 °C dengan penambahan katalis CaO selama 20 jam. Selama pemanasan, bahan diaduk dengan kecepatan 100 rpm pada reaktor tertutup (Rahmi, Yuniawati, and Riyanto 2016). Produk *HPG* lalu dipakai pada proses pembuatan alkid.

Sintesis alkid dilakukan dalam dua tahap yaitu proses alkoholisis dan esterifikasi. Pada proses alkoholisis minyak kedelai direaksikan dengan polioliol yaitu gliserol atau poligliserol menghasilkan produk alkohol. Selanjutnya dilakukan proses esterifikasi (Krzysztof Mańczyk and Szewczyk 2002) dengan cara mereaksikan produk monoglisierida dengan asam karboksilat yaitu asam phtalat atau asam maleat. Proses dilakukan tanpa penambahan katalis.

Minyak kedelai, *HPG*, asam phtalat atau asam maleat berturut-turut dengan perbandingan berat 77%, 23%, dan 23% disiapkan pada tempat terpisah. Masukkan minyak kedelai dan polioliol kedalam reaktor lalu ditutup. Alirkan gas nitrogen sambil diaduk dengan kecepatan 100 rpm. Panaskan reaktor pada suhu 240 °C -250 °C selama 1 jam - 4 jam. Dinginkan reaktor lalu lanjutkan dengan proses esterifikasi dengan penambahan asam phtalat atau asam maleat kedalam reaktor. Panaskan reaktor pada suhu 180 °C - 200 °C selama 1 jam

- 4 jam. Alirkan produk samping berupa air keluar reaktor. Lalu ambil produk alkid untuk dilakukan analisa.

Karakterisasi

Karakteristik produk hasil proses alkoholisis dilakukan dengan cara melihat larut atau tidak larutnya produk di dalam alkohol (etanol/methanol) (Hlaing and Oo 2008). Penentuannya dengan cara menempatkan 1 gram produk ke dalam gelas piala, lalu masukkan etanol sebanyak 5 mL. Selanjutnya diaduk (*stirrer*) selama 5 menit lalu produk diamati kelarutannya dengan melihat sudah menyatu atau masih ada pemisahan.

Pengujian gugus fungsi produk alkid dilakukan dengan *FTIR* Spectrometer merk Nicolet IS 5 *Thermo Fisher Scientific*. Karakterisasi produk alkid dilakukan dengan menguji bilangan hidroksi berdasarkan ASTM E 222 (2017) serta viskositas 40 °C sesuai ASTM D445-17a (2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh waktu proses terhadap performan produk alkid

Pada proses alkoholisis, *drying oil* yaitu minyak nabati dan polioliol dipanaskan pada suhu 240 °C – 250 °C dengan kecepatan aduk 100 rpm selama variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam. Proses alkoholisis menghasilkan monoglisierida (Gambar 2) (Prakoso 2016) yang larut didalam alkohol. Penentuan sudah terbentuknya produk monoglisierida adalah dengan melihat kelarutan produk di dalam alkohol, dalam penelitian ini alkohol yang digunakan adalah ethanol. Kelarutan produk monoglisierida dalam ethanol dapat dilihat pada Tabel 1. Produk yang dihasilkan dengan waktu proses alkoholisis selama 1 jam dan 2 jam menghasilkan produk yang belum larut di dalam ethanol, hal ini diketahui dengan masih terlihat adanya pemisahan antara produk dan ethanol. Produk yang larut sempurna di dalam ethanol menandakan reaksi alkoholisis sudah sempurna (Hlaing and Oo 2008). Produk yang dihasilkan dengan waktu proses selama 3 jam dan 4 jam juga larut sempurna dalam ethanol. Dari hasil ini didapatkan waktu proses alkoholisis adalah 3 jam atau 4 jam. Namun, dari penampakan/warna produk terlihat ada perbedaan. Produk yang dihasilkan dengan waktu proses 3 jam bewarna kuning bening, sedangkan produk yang diproses 4 jam bewarna lebih coklat. Hal ini kemungkinan terjadinya oksidasi sehingga meningkatkan bilangan peroksida yang mengakibatkan perubahan warna menjadi lebih gelap. Berbeda dengan waktu proses alkoholisis minyak castor dan gliserol dengan penambahan katalis PbO komplit membutuhkan waktu 4 jam untuk

menghasilkan produk yang larut dalam alkohol (Hlaing and Oo 2008).

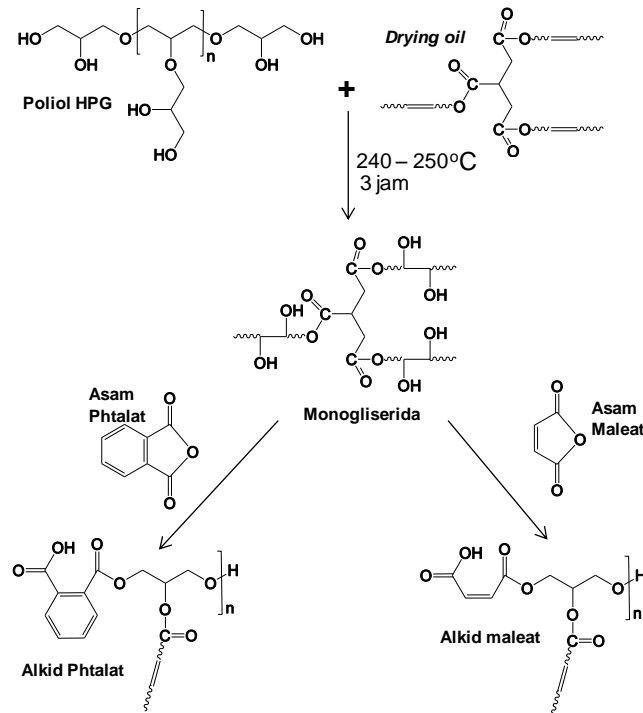
Proses esterifikasi monogliserida dengan asam karboksilat (asam phtalat atau asam maleat) mengacu pada Gambar 1 menghasilkan phtalat alkid atau maleat alkid. Phtalat alkid dan maleat alkid diilustrasikan pada Gambar 2.

Proses esterifikasi pada penelitian ini dilakukan dengan variabel waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam pada suhu proses 180 °C – 200 °C dan kecepatan aduk 100 rpm menghasilkan produk alkid. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1, alkid phtalat yang dihasilkan dari proses esterifikasi selama 1 jam dan 2 jam menghasilkan alkid berbentuk larutan dan padatan.

Alkid phtalat yang diproses selama 3 jam dan 4 jam menghasilkan alkid berbentuk cairan. Namun, warna alkid phtalat yang dihasilkan pada proses selama 4 jam berwarna lebih gelap dibanding alkid phtalat yang dihasilkan selama 3 jam proses. Alkid maleat yang dihasilkan dari proses esterifikasi selama 1 jam sampai 4 jam

menghasilkan produk masih berbentuk padat, ini menandakan pembentukan alkid belum sempurna (Hlaing and Oo 2008). Bentuk padat pada produk alkid maleat merupakan bahan maleat yang belum bereaksi dengan minyak kedelai.

Suhu dan waktu proses sangat mempengaruhi terbentuknya alkid. Suhu proses tetap 180 °C dengan kondisi vakum dan waktu yang lebih lama kemungkinan akan menghasilkan alkid yang lebih sempurna (Budiman 2011). Bila dilihat pengaruh waktu proses terhadap bilangan hidroksi, terlihat jelas waktu proses mempengaruhi bilangan hidroksi. Waktu reaksi yang terlalu lama akan menurunkan bilangan hidroksi. Lamanya waktu proses menyebabkan tenaga kinetik molekul-molekul zat pereaksi yaitu asam karboksilat semakin besar sehingga kesempatan reaktan saling bertumbukan semakin besar (Abdullah 2012). Hal ini yang menyebabkan berubahnya warna alkid dari krem menjadi coklat.



Gambar 2. Skematik sintesis alkid HPG

Tabel 1. Pengaruh waktu proses terhadap produk alkohol

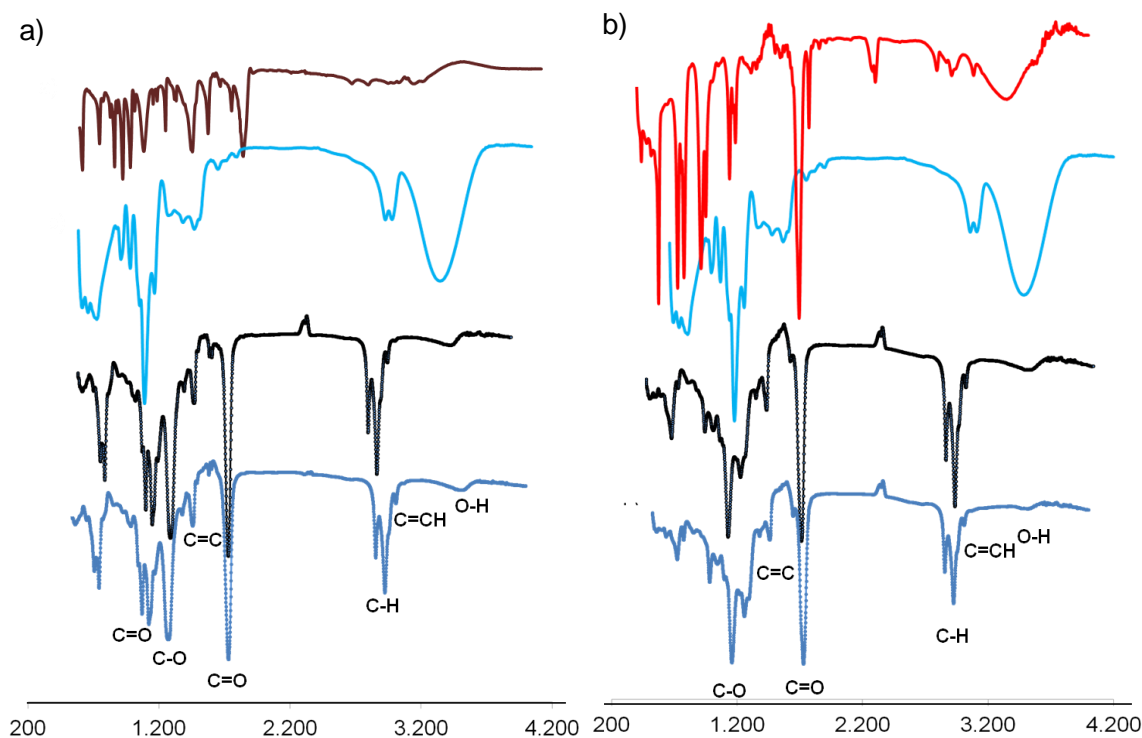
Waktu proses / jam	Kelarutan dalam etanol/methanol	Keterangan
1	Ada pemisahan	Larutan bening kekuningan
2	Ada pemisahan	Larutan bening kekuningan
3	Larut	Larutan bening kekuningan
4	Larut	Larutan coklat

Spektrum Infrared Alkid

Pengukuran gugus fungsi dengan FTIR dilakukan untuk melihat gugus yang ada pada produk alkid yang dihasilkan. Gambar 3 memperlihatkan spektrum kromatografi asam phtalat, asam maleat, HPG, alkid phtalat gliserol, alkid maleat gliserol, alkid phtalat HPG, dan alkid maleat HPG.

Gambar 3a terlihat spektrum asam phtalat, HPG, alkid gliserol, alkid HPG. Spektrum dengan panjang gelombang 3550 cm^{-1} mengindikasikan gugus hidroksi OH. Gugus OH ini terlihat besar pada HPG dan tidak terlihat pada asam phtalat. HPG merupakan poliol dengan gugus OH lebih banyak dibanding gliserol (Rahmi, Yunilawati, and Riyanto 2016). Gugus OH pada alkid terlihat lebih kecil, sedangkan gugus OH pada asam phtalat tidak ada dan pada asam maleat ada sedikit (ada dua gugus OH pada struktur asam meleat).

Spektrum yang keluar pada panjang gelombang 3050 cm^{-1} mengindikasikan gugus C=C. Gugus C=C terlihat muncul pada produk alkid dan tidak ada pada bahan baku seperti terlihat pada skematik struktur alkid phtalat dan alkid maleat di Gambar 2. Gugus OH pada HPG bereaksi menghasilkan gugus C=C dan menambah gugus C=O pada panjang gelombang 1730 cm^{-1} , mengakibatkan bilangan hidroksi berkurang. Gugus C=O pada produk alkid menandakan sudah terbentuknya produk ester. Gugus ester ini yang menentukan bahwa produk alkid sudah terbentuk. Selain itu pola gugus C-H pada alkid terlihat lebih tajam dibanding pada HPG. Pola spektrum FTIR yang sama juga terlihat pada alkid HBRA *hydroxylated hyperbranched polyester 2,2-bis(hydroxymethyl)propanoic acid dan pentaerythritol* (Murillo, Vallejo, and López 2010).



Gambar 3. Spektrum kromatografi FTIR a) asam phtalat, HPG, alkid phtalat gliserol, alkid phtalat HPG b) asam maleat, HPG, alkid maleat gliserol, alkid maleat HPG.

Tabel 2. Viskositas dan Bilangan Hidroksi Alkid

Nama	Viskositas $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ / cSt	Bilangan Hidroksi
Alkid phtalat gliserol	1668	130
Alkid phtalat HPG	1255	129
Alkid maleat gliserol	-	91
Alkid maleat HPG	-	176

Karakteristik polimer alkid

Karakteristik polimer ditentukan dengan melihat viskositas 40 °C yang dikenal dengan viskositas dinamis dan bilangan hidroksi. Viskositas merupakan ukuran yang menyatakan kekentalan dari suatu cairan atau fluida. Viskositas diperlukan untuk mengetahui berapa daya tahan dari aliran yang diberikan kepada suatu cairan. Pada alkid, viskositas diperlukan untuk pemakaian nantinya pada formula *coating*. Pada Tabel 2 ditampilkan viskositas dari alkid phtalat, sedangkan viskositas alkid maleat tidak diukur karena produk yang terbentuk masih ada yang berbentuk padatan. Viskositas alkid phtalat gliserol lebih tinggi dari viskositas alkid phtalat HPG. HPG dengan struktur rantai bercabang (Gambar 2) mempunyai viskositas lebih rendah. Ini menandakan struktur cabang dari alkid HPG lebih banyak dari alkid gliserol. Sama halnya dengan viskositas alkid HBRA *trimethylolpropane* relatif lebih rendah (K. Mańczyk and Szewczyk 2002).

Bilangan hidroksi pada polimer alkid dilakukan dengan mengukur gugus hidroksi bebas dalam polimer alkid. Pada Tabel 3 dapat dilihat bilangan hidroksi alkid phtalat HPG dan alkid phtalat gliserol tidak berbeda signifikan. Sebaliknya, bilangan hidroksi alkid maleat HPG lebih tinggi signifikan dari alkid maleat gliserol. Hal ini menandakan bahwa kandungan gugus hidroksi bebas pada alkid maleat HPG lebih banyak dari kandungan gugus hidroksi bebas alkid maleat gliserol. Kandungan hidroksi bebas pada alkid maleat HPG berasal dari gugus hidroksi HPG yang belum teresterifikasi atau reaksi belum sempurna. Hasil ini menandakan bahwa proses esterifikasi pada monogliserida dengan asam maleat belum sempurna. Banyaknya gugus hidroksi pada phtalat menghasilkan tingginya bilangan hidroksi alkid phtalat gliserol dari bilangan hidroksi alkid maleat gliserol.

KESIMPULAN

Polimer alkid dapat disintesis melalui proses alkoholisis dan esterifikasi minyak nabati dengan poliol dan asam karboksilat. Proses alkoholisis minyak nabati dan poliol (gliserol dan HPG) pada suhu 240 °C - 250 °C selama 3 jam dan dilanjutkan dengan proses esterifikasi dengan penambahan asam phtalat atau asam maleat pada suhu 180 °C - 200 °C selama 3 jam menghasilkan produk alkid berwarna lebih terang dibandingkan bila diproses selama 4 jam. Terbentuknya alkid ditandai dengan munculnya gugus C=C dan gugus ester C=O pada spektrum kromatografi FTIR. Viskositas alkid HPG lebih rendah dibanding viskositas alkid gliserol. Pada penelitian ini, bilangan hidroksi alkid phtalat HPG dan alkid phtalat gliserol tidak berbeda signifikan. Bilangan hidroksi alkid

maleat HPG lebih tinggi hampir tiga kali lipat dari alkid maleat gliserol yang menandakan proses esterifikasinya belum sempurna sehingga perlu dilakukan optimalisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S. 2012. "Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Bilangan Hidroksil Pada Pembentukan Polyol Dari Epoksidasi CPO Dan Curcas Oil." *Konversi* 1 (1): 15–24.
- Alam, M., D. Akram, E. Sharmin, F. Zafar, and S. Ahmad. 2014. "Vegetable Oil Based Eco-Friendly Coating Materials: A Review Article." *Arabian Journal of Chemistry* 7 (4). King Saud University: 469–79. doi:10.1016/j.arabj.2013.12.023.
- ASTM D445 - 17a. 2017. "Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)."
- ASTM E222 - 17. 2017. "Standard Test Methods for Hydroxyl Groups Using Acetic Anhydride Acetylation."
- Axtmann, R.C. 1983. *Desilication Of Geothermal Water*. US4378295A, issued 1983. doi:10.1016/0375-6505(85)90011-2.
- Boudou, J. Paul, M. O. David, V. Joshi, H. Eidi, and P. A. Curmi. 2013. "Hyperbranched Polyglycerol Modified Fluorescent Nanodiamond for Biomedical Research." *Diamond and Related Materials* 38. Elsevier B.V.: 131–38. doi:10.1016/j.diamond.2013.06.019.
- Budiman, A. 2011. "Pengaruh Suhu Reaksi Alkoholisis Terhadap Derajat Polimerisasi Alkyd Resin Termodifikasi Minyak Jagung," 1–6.
- Carmody, R.F. 1959. *Mixed resinous esters of oil-modified alkyd resins and of partially-esterified epoxide resins*. US2887459A, issued 1959.
- Ciriminna, R., and M. Pagliaro. 2013. *Method for the production of hyperbranched polyglycerol*. *European Patent*, issued 2013. doi:10.1210/jc.2004-1149.
- Hlaing, N.N., and M.M. Oo. 2008. "Manufacture of Alkyd Resin from Castor Oil." *World Academy of Science, Engineering and Technology* 48: 155–61.
- Ikhuoria, E.U., A.I. Aigbodion, and F.E. Okieimen. 2004. "Enhancing the Quality of Alkyd Resins Using Methyl Esters of Rubber Seed Oil." *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* 3 (June): 311–17.
- Issam, A. M., and C. Y. Cheun. 2009. "A Study of the Effect of Palm Oil on the Properties of a New Alkyd Resin" 4 (1): 42–49.
- Lang, H, R. A. May, B. L. Iversen, and B. D. Chandler. 2003. "Dendrimer- Encapsulated

- Nanoparticle Precursors to Supported Platinum Catalysts." *J. Am. Chem. Soc.* 125: 14832–36.
- Liang, L., C. Liu, X. Xiao, S. Chen, A. Hu, and J. Feng. 2014. "Progress in Organic Coatings Optimized Synthesis and Properties of Surfactant-Free Water-Reducible Acrylate-Alkyd Resin Emulsion." *Progress in Organic Coatings* 77 (11). Elsevier B.V.: 1715–23. doi:10.1016/j.porgcoat.2014.05.015.
- Lindeboom, J. 1997. "Air-Drying High Solids Alkyd Paints for Decorative Coatings." *Progress in Organic Coatings* 34 (1–4): 147–51. doi:10.1016/S0300-9440(98)00034-4.
- Lum, F. G. 1953. Long oil alkyd resins. US2627508A, issued 1953.
- Mamiński, M., S. Witek, K. Szymona, and P. Parzuchowski. 2013. "Novel Adhesive System Based on 1,3-Dimethylol-4,5-Dihydroxyethyleneurea (DMDHEU) and Hyperbranched Polyglycerols." *European Journal of Wood and Wood Products* 71 (2): 267–75. doi:10.1007/s00107-013-0680-9.
- Mańczyk, K., and P. Szewczyk. 2002. "Highly Branched High Solids Alkyd Resins." *Progress in Organic Coatings* 44 (2): 99–109. doi:10.1016/S0300-9440(01)00249-1.
- Mańczyk, K., and Pawel Szewczyk. 2002. "Highly Branched High Solids Alkyd Resins." *Progress in Organic Coatings* 44 (2): 99–109. doi:10.1016/S0300-9440(01)00249-1.
- Murillo, E. A., and B. L. López. 2011. "Progress in Organic Coatings Novel Waterborne Hyperbranched Acrylated-Maleinized Alkyd Resins." *Progress in Organic Coatings* 72 (4). Elsevier B.V.: 731–38. doi:10.1016/j.porgcoat.2011.08.004.
- Murillo, E. A., P. P. Vallejo, and B. L. López. 2010. "Synthesis and Characterization of Hyperbranched Alkyd Resins Based on Tall Oil Fatty Acids." *Progress in Organic Coatings* 69 (3). Elsevier B.V.: 235–40. doi:10.1016/j.porgcoat.2010.04.018.
- Prakoso, T. 2016. "Pembuatan Monogliserida," no. December 2007.
- Rahmi, D., R. Yunilawati, and A. Riyanto. 2016. "Sintesis Katalis Logam Berpenyanga Dendrimer Poligliserol Berbasis Turunan Kelapa Sawit." *Jurnal Kimia Dan Kemasan* 38 (2): 61. doi:10.24817/jkk.v38i2.2225.
- Velayutham, T. S., W. H. Abd Majid, A. B. Ahmad, G. Yik, and S. N. Gan. 2009. "Progress in Organic Coatings Synthesis and Characterization of Polyurethane Coatings Derived from Polyols Synthesized with Glycerol , Phthalic Anhydride and Oleic Acid" 66: 367–71. doi:10.1016/j.porgcoat.2009.08.013.