

## Sintesis Sebatian Hidroksi-Eter Minyak Sawit Olein (Synthesis of Palm Olein Based Hydroxy-Ether Compound)

DARFIZZI DERAWI\* & JUMAT SALIMON

### ABSTRAK

Sebatian hidroksi-eter- $PO_o$  (80% hasil) disintesis melalui pembukaan gelang oksirana minyak sawit olein terepoksida ( $EPO_o$ ) secara alkoholisis. Hasil optimum pembukaan gelang oksirana (99.2%) dicapai dengan menggunakan asid sulfurik 3% v/bt pada suhu tindak balas yang tinggi ( $80^\circ C$ ) selama 30 minit masa tindak balas. Spektrum resonan magnetik nukleus-proton ( $^1H$ -NMR) hidroksi-eter- $PO_o$  telah menunjukkan kehadiran puncak proton pada karbon eter (3.2, 3.5 ppm) dan proton pada kumpulan hidroksil (4.8 ppm). Spektrum resonan magnetik nukleus-karbon ( $^{13}C$ -NMR) hidroksi-eter- $PO_o$  telah menunjukkan kehadiran puncak karbon yang terikat dengan kumpulan hidroksil (75 ppm) dan karbon pada karbonil kumpulan eter (72 ppm). Kelikatan kinematik hidroksi-eter- $PO_o$  adalah 234.4 cSt ( $40^\circ C$ ) dan 28.1 cSt ( $100^\circ C$ ) dengan indeks kelikatan 156.

**Kata kunci:** Alkoholisis; minyak sawit olein terepoksida; pembukaan gelang oksirana

### ABSTRACT

Hydroxy-ether- $PO_o$  (80% of yield) was synthesised through oxirane cleavage of epoxidized palm olein ( $EPO_o$ ) using alcoholysis process. An optimum oxirane cleavage has been obtained with 99.2% yield using sulphuric acid 3% v/wt at  $80^\circ C$  for 30 min. The proton-nuclear magnetic resonance ( $^1H$ -NMR) spectrum of hydroxy-ether- $PO_o$  showed the presence of proton peak attached to the carbon of ether (3.2, 3.5 ppm) and proton of hydroxy (4.8 ppm). The carbon-nuclear magnetic resonance ( $^{13}C$ -NMR) spectrum of hydroxyl-ether- $PO_o$  showed the presence of carbon peak bonded to hydroxyl (75 ppm) and carbonyl carbon on ether (72 ppm). While, kinematic viscosity of Hydroxy-ether- $PO_o$  was 234.4 cSt ( $40^\circ C$ ) and 28.1 cSt ( $100^\circ C$ ) with the viscosity index of 156.

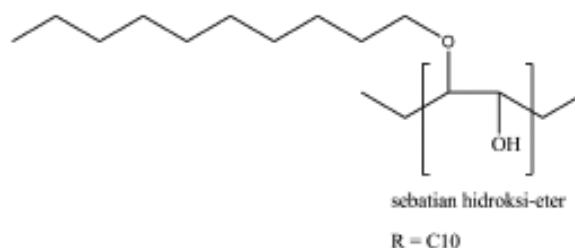
**Keywords:** Alcoholysis; epoxidized palm olein; oxirane cleavage

### PENGENALAN

Akhir-akhir ini berlakunya peningkatan dalam kajian penghasilan sebatian kimia berasaskan sumber yang boleh diperbaharui. Sebelum ini, penghasilan sebatian kimia tertumpu kepada bahan berasaskan petroleum. Akibat krisis harga minyak mentah petroleum dunia yang tidak stabil dan peningkatan suhu global, terdapat minat yang tinggi dalam penggunaan sumber yang boleh diperbaharui bagi menggantikan penggunaan sebatian terbitan petrokimia (Huang & Zhang 2002; Rozman et al. 2003; Velayutham et al. 2009). Sumber-sumber ini adalah sebahagian besarnya daripada minyak tumbuhan kerana penggunaannya yang meluas, bersifat mesra alam dan juga boleh diperbaharui (Xia & Larock 2010). Selain itu, minyak tumbuhan bersifat terbiodegradasi dan tidak mencemarkan alam sekitar (Biermann et al. 2010).

Salah satu sebatian kimia terbitan daripada minyak tumbuhan yang popular adalah minyak terepoksida. Pelbagai jenis minyak terepoksida telah dihasilkan. Minyak-minyak terepoksida tersebut telah digunakan sebagai produk pertengahan dalam menghasilkan pelbagai produk akhir yang berguna kepada industri (Dinda et al. 2008; Goud et al. 2006; Jia et al. 2011; Meyer et al. 2008; Milchert & Smagowicz 2008). Gelang oksirana

pada sebatian terepoksida boleh bertindak balas dengan sebatian beralkohol secara alkoholisis untuk menghasilkan sebatian yang mempunyai kumpulan hidroksil dan eter seperti Rajah 1. Proses pembukaan gelang bermangkai asid menggunakan sebatian beralkohol ini bergantung kepada jenis alkohol yang digunakan (Wade 2006).



RAJAH 1. Struktur molekul sebatian hidroksi-eter (berantai C10)

Malaysia adalah antara negara pengeluar utama minyak sawit mentah (CPO) di dunia dan ini dapat memberikan kelebihan kepada Malaysia untuk memajukan industri pengeluaran produk berasaskan minyak sawit olein ( $PO_o$ ).  $PO_o$  mengandungi sebanyak 31% asid oleik

dan 12% asid linoleik pada rantai triasilgliserol (TAG) dengan nilai iodin 51-61 (Gunstone 2004; O'Brien 1998; Scrimgeour 2005). Kedua-dua asid ini dalam PO<sub>o</sub> adalah perlu bagi menjalankan proses pemodifikasian struktur TAG PO<sub>o</sub> untuk menghasilkan suatu sebatian baru kerana mempunyai ikatan ganda dua, tempat berlakunya pengubahsuaian kumpulan berfungsi pada rantai ester TAG. Oleh itu, amat sesuai untuk digunakan sampel minyak sawit olein terepoksida (EPO<sub>o</sub>) dalam proses modifikasi supaya menghasilkan sebatian baru hidroksi-eter minyak sawit olein (hidroksi-eter-PO<sub>o</sub>). Proses pembukaan gelang oksirana EPO<sub>o</sub> dengan menggunakan tindak balas alkoholisis dengan asid lemak berantai sederhana masih belum pernah dijalankan.

Namun, tindak balas alkoholisis sebatian terepoksida berlainan pernah dijalankan oleh beberapa penyelidik. Erhan dan rakan penyelidikinya telah menjalankan alkoholisis dengan menggunakan mangkin asid sulfurik dan mengkaji kinetik tindak balas alkoholisis (Erhan & Perez 2002; Hwang & Erhan 2001). Kajian mendapati bahawa kinetik tindak balas amat bergantung pada jenis alkohol yang terlibat, dengan menggunakan alkohol berlainan iaitu metanol, 2-etilheksanol, butanol, sikloheksanol dan dekanol. Proses alkoholisis menggunakan alkohol yang mempunyai struktur molekul yang kompleks dan berantai panjang mempunyai kinetik tindak balas yang rendah berbanding alkohol yang berantai pendek. Campanella et al. (2010) telah menjalankan pemutusan gelang oksirana minyak kacang soya terepoksida (ESBO) dengan metanol dan etanol untuk menghasilkan sebatian termetoksilat dan teretoksilat menggunakan mangkin asid fluoroborik (HBF<sub>4</sub>) mengikut kaedah Guo et al. (2000). Manakala, proses alkoholisis melibatkan ESBO dengan alkohol Guerbet (C12, C14, C16, C18) dijalankan dengan menggunakan asid sulfurik (Hwang & Erhan 2006). Lin et al. (2008) telah menjalankan kajian kinetik tindak balas pembukaan gelang oksirana ESBO dengan metanol tanpa

sebarang mangkin pada suhu 50, 60, 65 dan 70°C untuk menghasilkan polioliol termetoksilat.

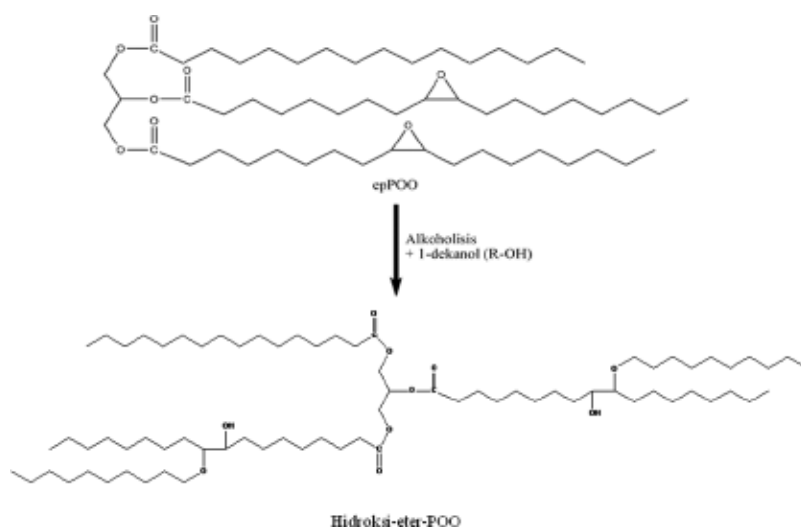
Kertas ini membincangkan kajian penghasilan hidroksi-eter-PO<sub>o</sub> menggunakan tindak balas alkoholisis antara EPO<sub>o</sub> dengan 1-dekanol. Kesan suhu dan mangkin tindak balas yang digunakan akan dibincangkan. Peratus pembukaan gelang oksirana EPO<sub>o</sub> dilaporkan dan ujian pengecaman spektroskopi resonan magnetik nukleus karbon (<sup>13</sup>C-NMR) dan proton (<sup>1</sup>H-NMR) dilakukan bagi membuktikan kehadiran kumpulan hidroksil dan kehilangan gelang oksirana pada produk akhir tindak balas.

## BAHAN DAN KAEDAH

Minyak sawit olein terepoksida (EPO<sub>o</sub>) dengan kandungan oksigen oksirana 3.61% telah disediakan daripada minyak sawit olein berjenama Seri Murni (FFM Marketing Sdn. Bhd.) (Darfizzi & Jumat 2010). 1-Dekanol diperoleh daripada Emery Oleochemicals (M) Sdn. Bhd.

Tindak balas alkoholisis EPO<sub>o</sub> (Rajah 2) dijalankan dengan menggunakan mangkin asid. Pada mulanya, parameter suhu (55 dan 80°C) dan masa tindak balas (30-120 minit) telah dimanipulasi bagi mencari pengoptimuman suhu dan masa tindak balas dengan menggunakan asid sulfurik 3% v/w (Campanella et al. 2010; Erhan & Perez 2002). Tindak balas diteruskan dengan melihat kesan peratus kepekatan mangkin asid sulfurik yang digunakan terhadap peratus pemutusan gelang oksirana. Setelah itu, kajian pengoptimum penggunaan mangkin asid yang berlainan (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, PTSA dan HClO<sub>4</sub>) pada 3 dan 5% v/w kepekatan asid.

Selepas proses penutralan dengan natrium bikarbonat 5% w/v, natrium klorida 5% w/v dan air suling dilakukan, pemisahan hasil dilakukan dengan menggunakan pelarut etil asetat dan etanol 95 bt. %. Etanol akan menyerap kandungan air, garam dan 1-dekanol yang berlebihan. Manakala, hasil polioliol akan



RAJAH 2. Tindak balas alkoholisis epPOO (sebatian major EPO<sub>o</sub>) dengan 1-dekanol

terjerap dalam etil asetat. Kemudian, proses penyejatan pelarut dijalankan dengan menggunakan mesin pemutar berwap. Sampel hasil akan dikira nilai kandungan oksigen oksirana (OOC) (AOCS Cd 9-57) (A.O.C.S. 1998; Paquot 1979) dan peratus pembukaan gelang oksirana. Nilai hidroksil (OH) dikira berdasarkan kaedah AOCS Cd 13-60 (Emery 1983). Pencirian sampel poliol yang dihasilkan melibatkan ujian kestabilan oksidatif, ujian takat kilat dan api (ASTM D 92-78), ujian kelikatan kinematik (ASTM D 445-79) (Emery 1983) dan indeks kelikatan (ASTM D2270) (Stachowiak & Batchelor 2005).

Sampel hasil dilakukan ujian pengecaman spektroskopi resonans magnetik nukleus-proton ( $^1\text{H-NMR}$ ) dan resonans magnetik nukleus-karbon ( $^{13}\text{C-NMR}$ ) bagi mengesahkan pembukaan gelang oksirana telah berlaku dan kehadiran kumpulan hidroksil dan eter bagi hidroksi-eter- $\text{PO}_o$ . Analisis  $^1\text{H-NMR}$  dan  $^{13}\text{C-NMR}$  dijalankan menggunakan FT-NMR 600 MHz Cryoprobe, berjenama Bruker, model Avance 111 600 MHz dengan menggunakan pelarut kloroform ( $\text{CDCl}_3$ ) (Darfizzi & Jumat 2013).

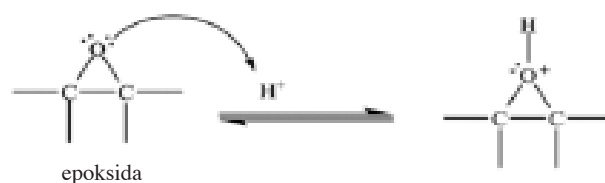
#### HASIL DAN PERBINCANGAN

Sampel  $\text{EPO}_o$  ditukarkan kepada sebatian hidroksi-eter- $\text{PO}_o$  menggunakan proses alkoholisis bermangkin asid dengan 1-dekanol. Mekanisme tindak balas pembukaan gelang dengan alkohol ditunjukkan pada Rajah 3. Sebatian 1-dekanol bertindak sebagai nukleofil. Atom oksigen

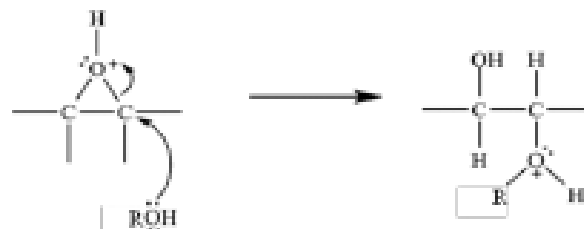
gelang oksirana akan terproton dan seterusnya berlaku serangan nukleofilik oleh 1-dekanol untuk membuka gelang oksirana dan terhasil kumpulan hidroksil. Proses nyah-proton berlaku untuk menghasilkan kumpulan eter (Wade 2006). Hasil alkoholisis mempunyai kumpulan berfungsi hidroksil dan eter.

Perbandingan spektrum  $^1\text{H-NMR}$  antara  $\text{EPO}_o$  dengan hidroksi-eter- $\text{PO}_o$  telah dilakukan seperti Rajah 4. Spektrum proton tersebut telah menunjukkan kehadiran puncak proton pada anjakan kimia 2.9 ppm bagi gelang oksirana  $\text{EPO}_o$ . Spektrum proton hidroksi-eter- $\text{PO}_o$  telah menunjukkan kehadiran puncak pada anjakan kimia 3.6 ppm bagi proton pada karbon  $\alpha$  yang terikat dengan kumpulan hidroksil ( $\text{H} - \text{C} - \text{OH}$ ). Puncak proton yang terikat pada karbon kumpulan eter ( $\text{R-O-C-H}$ ) wujud pada anjakan kimia 3.2 dan 3.5 ppm. Terdapat juga puncak proton pada anjakan kimia 4.8 ppm yang mewakili proton pada kumpulan hidroksil ( $-\text{O-H}$ ) (Pavia et al. 2001). Perbandingan spektrum  $^{13}\text{C-NMR}$  antara  $\text{EPO}_o$  dengan hidroksi-eter- $\text{PO}_o$  telah dilakukan seperti Rajah 5. Spektrum karbon tersebut telah menunjukkan kehadiran puncak karbon karbonil yang terikat pada gelang oksirana  $\text{EPO}_o$  pada anjakan kimia 57.4 dan 54.5 ppm. Bagi spektrum karbon hidroksi-eter- $\text{PO}_o$ , terdapat puncak karbon yang terikat pada kumpulan hidroksil ( $\text{HC-OH}$ ) pada anjakan kimia 75 ppm. Terdapat puncak karbon pada karbonil kumpulan eter pada anjakan kimia 72 ppm ( $\text{RH}_2\text{C-O-C}$ ) dan 82.6 ppm ( $\text{R}_2\text{-CH-OR}$ ) (Pavia et al. 2001).

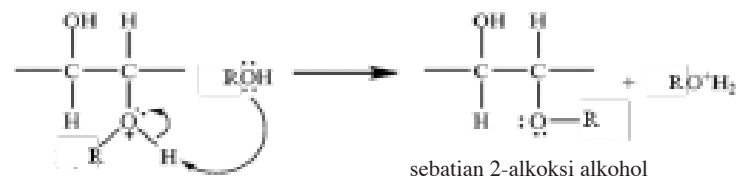
Langkah 1: Epoksida terproton untuk menghasilkan elektrofil yang kuat



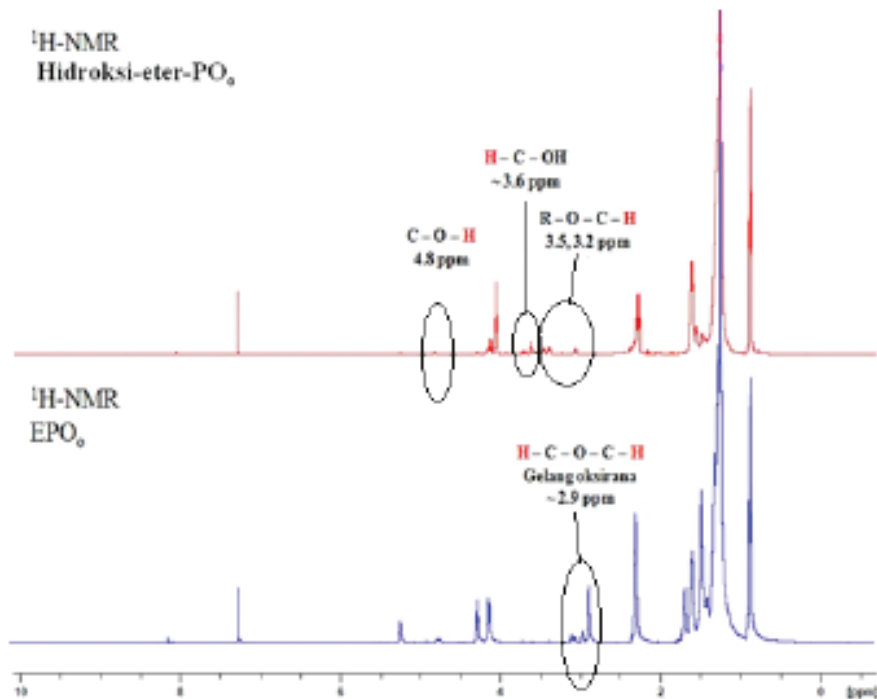
Langkah 2: Serangan elektrofilik untuk membuka gelang oksirana



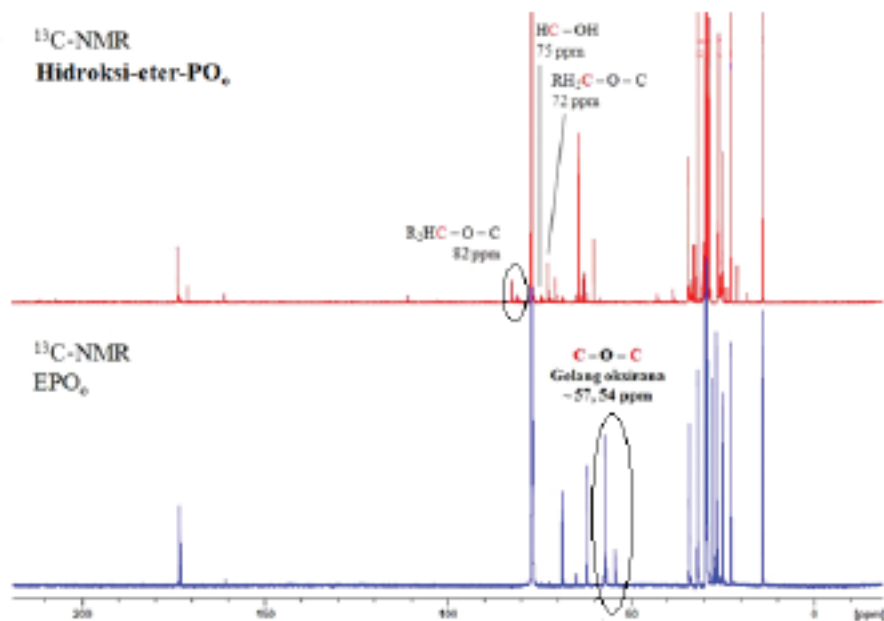
Langkah 3: Nyah-proton untuk menghasilkan sebatian 2-alkoksi alkohol



RAJAH 3. Mekanisme tindak balas pembukaan gelang bermangkin asid secara alkoholisis



RAJAH 4. Perbandingan Spektrum <sup>1</sup>H-NMR EPO<sub>e</sub> dengan hidroksi-eter-PO<sub>e</sub>



RAJAH 5. Perbandingan Spektrum <sup>13</sup>C-NMR EPO<sub>e</sub> dengan hidroksi-eter-PO<sub>e</sub>

Kesan suhu dan masa tindak balas dicatatkan seperti Rajah 6. Semakin tinggi suhu yang digunakan, pemutusan gelang oksirana juga meningkat. Begitu juga dengan masa tindak balas. Semakin lama tindak balas, semakin tinggi pembukaan gelang oksirana dicatatkan. Pada 30 minit tindak balas, nilai OOC bagi suhu 80°C adalah sebanyak 0.1% dengan 97.2% pembukaan gelang oksirana. Nilai OOC terendah yang dicatatkan pada 90 minit tindak balas bagi

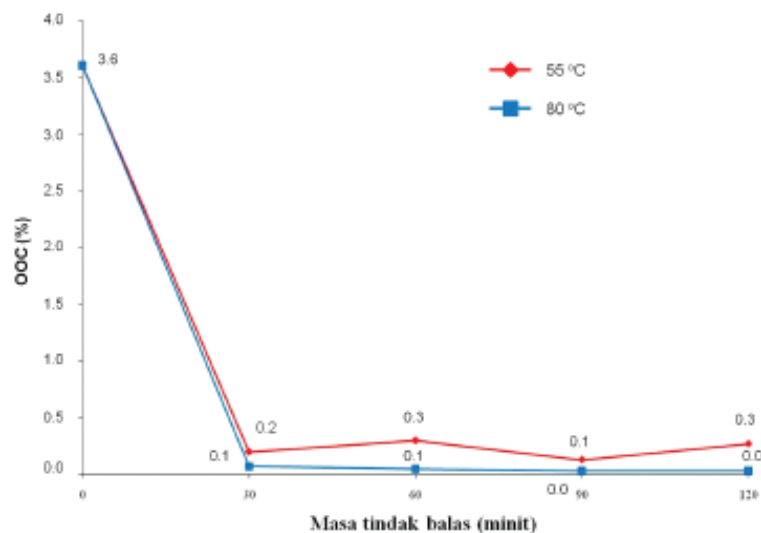
suhu 80°C iaitu sebanyak 0.0% dengan 100% pembukaan gelang oksirana. Pada suhu tindak balas 55°C, nilai OOC terendah hanya dicatatkan pada 90 minit tindak balas iaitu sebanyak 0.1% dengan 97.2% pembukaan gelang oksirana. Ini menunjukkan bahawa, suhu tindak balas yang tinggi telah mempercepatkan pembukaan gelang oksirana berlaku dan peratus pembukaan juga meningkat jika masa tindak balas bertambah. Lubguban et al. (2009)

telah menyatakan bahawa, masa tindak balas yang lebih lama akan memberikan pemutusan gelang oksirana yang lebih banyak dan penurunan nilai OOC. Gelang oksirana mempunyai kestearikan ikatan yang amat tinggi. Suhu tindak balas yang tinggi juga memainkan peranan dalam memutuskan gelang oksirana sampel terepoksida (Gunstone 2004). Keadaan ini akan menyebabkan ikatan gelang oksirana menjadi tidak stabil dan mudah terputus dengan dibantu oleh keadaan tindak balas berasid. Oleh itu, peratus pemutusan gelang oksirana yang tinggi dapat dicapai pada masa singkat dengan suhu tindak balas yang tinggi.

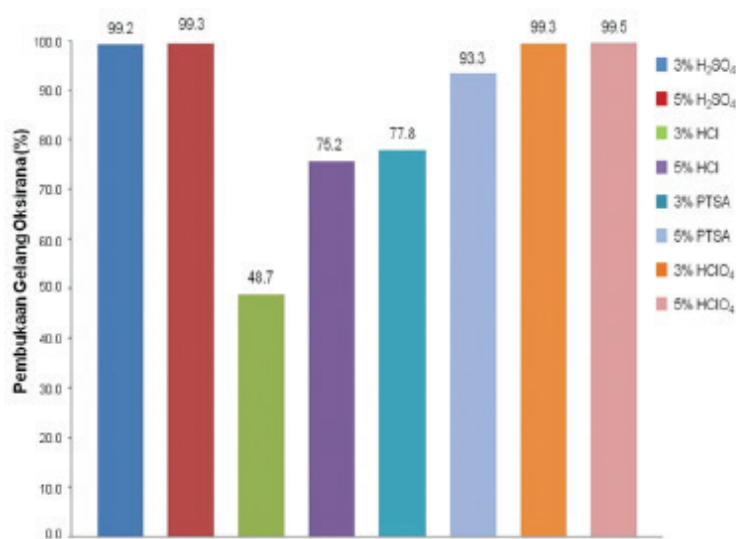
Kesan penggunaan pelbagai jenis mangkin asid pada kepekatan 3 dan 5% v/w terhadap alkoholisis telah dikaji dan dicatatkan seperti Rajah 7. Peratus pembukaan gelang oksirana terendah telah dicatatkan bagi alkoholisis

bermangkin HCl 3% v/w. Ini kerana HCl yang digunakan secara terus dari pengeluar adalah berketulenan 30%. Hanya 48.7 dan 75.7% pembukaan gelang oksirana bagi penggunaan 3 dan 5% mangkin (v/w). Mangkin PTSA telah mencatatkan 77.8 dan 93.3% bagi penggunaan 3 dan 5% mangkin (v/w). Peratus pembukaan gelang oksirana bagi mangkin  $H_2SO_4$  dan  $HClO_4$  adalah hampir sama. Walaupun  $HClO_4$  lebih reaktif berbanding  $H_2SO_4$ , namun, mangkin  $HClO_4$  lebih mahal berbanding mangkin  $H_2SO_4$ . Oleh itu, mangkin  $H_2SO_4$  lebih efektif dari segi kos dengan peratus pembukaan gelang oksirana yang tinggi dapat dicapai.

Pencirian hidroksi-eter- $PO_0$  adalah seperti Jadual 1. Sampel hasil mempunyai kelikatan kinematik dan indeks kelikatan yang sangat baik. Ini menunjukkan peningkatan suhu tidak akan menyebabkan penurunan prestasi kelikatan kinematik sampel secara mendadak. Selain itu kumpulan



RAJAH 6. Kesan suhu dan masa tindak balas terhadap nilai OOC hidroksi-eter- $PO_0$ .



RAJAH 7. Peratus pembukaan gelang oksirana bermangkin asid

JADUAL 1. Pencirian sifat fizikokimia hidroksi-eter-PO<sub>o</sub>.

Sampel	Parameter	Nilai
Hidroksi-eter-PO <sub>o</sub>	Nilai hidroksil, mgKOH/g	74
	Kestabilan oksidatif, °C	188.1
	Takat kilat, °C	220
	Takat api, °C	240
	Takat tuang, °C	19
	Kelikatan kinematik (40 °C), cSt	234.4
	Kelikatan kinematik (100 °C), cSt	28.1
	Indeks kelikatan	156
	Kedudukan (suhu bilik)	separa pepejal
	Peratus penukaran, %	99.2
	Peratus hasil, %	80

hidroksil (nilai hidroksil: 74 mgKOH/g) yang terdapat pada sebatian ini dapat memberi ruang untuk berlakunya tindak balas penambahan rantai cabang untuk menghasilkan sebatian terbitan baru yang mempunyai ciri-ciri pelinciran yang lebih baik. Penghasilan sebatian hidroksi-eter-PO<sub>o</sub> adalah sebanyak 80%.

#### KESIMPULAN

Proses alkoholisis yang optimum dan efektif dapat dicapai dengan menggunakan mangkin H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3% v/w pada suhu tindak balas yang tinggi (80°C) selama 30 minit masa tindak balas dengan peratus penukaran sebanyak 99.2%. Sebatian hidroksi-eter-PO<sub>o</sub> amat berpotensi untuk dijadikan sebagai produk perantara bagi kajian penghasilan stok asas biolubrikan berdasarkan ciri-ciri pelinciran yang telah ditunjukkan.

#### PENGHARGAAN

Ribuan terima kasih ditujukan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia dan Kementerian Pendidikan Tinggi, Malaysia atas kemudahan dan geran penyelidikan (FRGS/2/2014/ST01/UKM/02/2, GGPM-2014-033) yang disalurkan. Tidak lupa juga terima kasih kepada En. Mohd Zahid Md Yusoff dan En. Hasanudin Saleh kerana telah membantu dalam menjayakan kerja-kerja penyelidikan ini.

#### RUJUKAN

- A.O.C.S. 1998. *Official Methods and Recommended Practices of AOCS*. Illinois: AOCS.
- Biermann, U., Friedt, W., Lang, S., Luhs, W., Machmuller, G., Metzger, J.O., Klaas, M.R., Schafer, H.J. & Schneider, M.P. 2000. New syntheses with oils and fats as renewable raw materials for the chemical industry. *Angew. Chem. Int. Ed.* 39: 2206-2224.
- Campanella, A., Rustoy, E., Baldessari, A. & Baltanás, M.A. 2010. Lubricants from chemically modified vegetable oils. *Biortech.* 101: 245-254.
- Darfizzi, D. & Jumat, S. 2013. Penghasilan polioli minyak sawit olein secara hidrolisis selanjara dan berkelompok. *Sains Malaysiana* 42(8): 1121-1129.
- Darfizzi, D. & Jumat, S. 2010. Optimization on epoxidation of palm olein by using performic acid. *E-Journal of Chemistry* 7(4): 1440-1448.
- Dinda, S., Patwardhan, A.V., Goud, V.V. & Pradhan, N.C. 2008. Epoxidation of cottonseed oil by aqueous hydrogen peroxide catalysed by liquid inorganic acids. *Bioresource Technology* 99: 3737-3744.
- Emery. 1983. *Emery Analytical Testing Procedures*. USA: Emery Industries.
- Erhan, S.Z. & Perez, J.M. 2002. *Biobased Industrial Fluids and Lubricants*. IL: AOCS Press.
- Goud, V.V., Patwardhan, A.V. & Pradhan, N.C. 2006. Studies on the epoxidation of mahua oil (*Madhumica Indica*) by hydrogen peroxide. *Bioresource Technology* 97: 1365-1371.
- Gunstone, F.D. 2004. *The Chemistry of Oils and Fats: Sources, Composition, Properties and Uses*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Guo, A., Cho, Y. & Petrovic', Z.S. 2000. Structure and properties of halogenated and nonhalogenated soy-based polyols. *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.* 38: 3900-3910.
- Huang, J. & Zhang, L. 2002. Effects of NCO/OH molar ratio on structure and properties of graft-interpenetrating polymer networks from polyurethane and nitrolignin. *Polymer* 43: 2287-2294.
- Hwang, H. & Erhan, S. 2006. Synthetic lubricant basestocks from epoxidized soybean oil and Guerbet alcohols. *Indcrop.* 23: 311-317.
- Hwang, H.S. & Erhan, S.Z. 2001. Modification of epoxidized soybean oil for lubricant formulations with improved oxidative stability and low pour point. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 78: 1179-1184.
- Jia, L.K., Gong, L.X., Ji, W.J. & Kan, C.Y. 2011. Synthesis of vegetable oil based polyols with cottonseed oil and sorbitol derived from natural source. *Chinese Chemical Letters* 22(11): 1289-1292.
- Lin, B., Yang, L., Dai, H. & Yi, A. 2008. Kinetic studies on oxirane cleavage of epoxidized soybean oil by methanol and characterization of polyols. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 85: 113-117.
- Lubguban, A.A., Yuan-Chan, T., Lozada, Z.R., Fu-Hung, H. & Suppes, G.J. 2009. Noncatalytic polymerization of ethylene glycol and epoxy molecules for rigid polyurethane foam applications. *J. Appl. Polym. Sci.* 112: 2185-2194.
- Meyer, P.P., Techaphattana, N., Manundawee, S., Sangkeaw, S., Junlakan, W. & Tongurai, C. 2008. Epoxidation of soybean oil and jatrophia oil. *Thammasat. Int. J. Sc. Tech.* 13: 1-5.

- Milchert, E. & Smagowicz, A. 2008. Epoxidation of the rapeseed oil with peracetic and performic acid. *Czasopismo Techniczne* 2: 283-291.
- O'Brien, R.D. 1998. *Fats and Oils; Formulating and Processing for Applications*. Switzerland: Technomic Publishing AG.
- Paquot, C. 1979. *Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives Part-1*. 5th ed. Germany: Pergamon Press.
- Pavia, D.L., Lampman, G.M. & Kriz, G.S. 2001. *Introduction to Spectroscopy*. USA: Thomson Learning, Inc.
- Rozman, H.D., Yeo, Y.S. & Tay, G.S. 2003. The mechanical and physical properties of polyurethane composites based on rice husk and polyethylene glycol. *Polymer Testing* 22: 617-623.
- Scrimgeour, C. 2005. *Chemistry of Fatty Acids*. 6th ed. Scotland: Wiley & Sons Inc.
- Velayutham, T.S., Abd Majid, W.H., Ahmad, A.B., Kang, G.Y. & Gan, S.N. 2009. Synthesis and characterization of polyurethane coatings derived from polyols synthesized with glycerol, phthalic anhydride and oleic acid. *Porgcoat* 66: 367-371.
- Wade, L.G. 2006. *Organic Chemistry*. 6th ed. United States: Pearson Prentice Hall.
- Xia, Y. & Larock, R.C. 2010. Vegetable oil-based polymeric materials: Synthesis, properties, and applications. *Green Chem.* 12: 1893-1909.
- Darfizzi Derawi\* & Jumat Salimon  
Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan  
Malaysia
- Pengarang untuk surat-menyurat; email: darfizzi@ukm.edu.my
- Diserahkan: 22 Januari 2014  
Diterima: 25 November 2015