

# SINTESIS KATALIS LOGAM BERPENYANGGA DENDRIMER POLIGLISEROL BERBASIS TURUNAN KELAPA SAWIT

(THE SYNTHESIS OF METAL CATALYST SUPPORTED DENDRIMER POLYGLYCEROL BASED DERIVATIVE PALM OIL)

Dwinna Rahmi, Retno Yunilawati, dan Arief Riyanto

Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian RI  
Jl. Balai Kimia I Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur

E-mail: dwinna2002@yahoo.com

Received: 5 Juli 2016; revised: 15 Agustus 2016; accepted: 29 Agustus 2016

## ABSTRAK

Pembuatan katalis logam dengan payangga *dendrimer* poligliserol telah dilakukan dengan beberapa tahapan proses yaitu polimerisasi, tosifikasi amination dan pengikatan logam (Ni atau Cu). Penelitian ini dimaksudkan untuk meningkatkan nilai tambah gliserol turunan kelapa sawit serta mendapatkan katalis dengan payangga bahan agro lokal. Produk poligliserol amin ditandai dengan munculnya puncak pada spectrum *FTIR* yang mengindikasikan adanya gugus fungsi C=O atau C-O-O dan N=O. Dari spektrum massa *LC-MS* diketahui bahwa poligliserol dihasilkan pada menit ke 5,7. Selanjutnya dari percobaan penggunaan katalis Ni ini untuk proses hidrogenasi menghasilkan minyak terhidrogenasi dengan *slip melting point* pada 33 °C dan bilangan peroksida sebesar 0,25 mek/kg.

Kata kunci : *Dendrimer* poligliserol, Katalis logam, Hidrogenasi

## ABSTRACT

*Polyglycerol dendrimer was synthesized through the glycerol polymerization with the added base catalyst. A catalyst with polyglycerol dendrimer as supporting agent was made through a process tocilation, amidation and attactent Ni and Cu. The analysis results by FTIR has showed a products has functional group of C=O or C-O-C and N=O. Moreover, a mass spectrum of LC-MS indicated polyglycerol appeared at 5.7 minutes. The result of hydrogenated-oil process which produced catalyst Ni polyglycerol dendrimer were hyrogenated oil with slip melting point in 33 °C and peroxide value 0.25 mek/kg.*

Key words : *Polyglycerol dendrimer, Metal catalyst, Hydrogenation*

## PENDAHULUAN

Dalam proses kimia, katalis adalah bahan yang ditambahkan dengan jumlah sedikit dan sangat berperan (Wijngarden *et al.* 2000). Pentingnya katalis ditunjukkan oleh kenyataan bahwa lebih dari 75% proses produksi bahan kimia di industri disintesis dengan bantuan katalis. Kebutuhan katalis Indonesia mencapai 2000 ton/tahun dengan masa aktif 1 tahun sampai dengan 2 tahun. Kebutuhan katalis yang cukup besar ini sebagian besar dipenuhi dengan katalis impor karena sampai saat ini masih terbatasnya industri katalis lokal (Lestari 2006), pada tahun 2014 dimulai produksi katalis untuk kebutuhan PT. Pertamina (Republika 2015).

Gliserol merupakan produk samping utama proses industri oleokimia dimana secara

ekonomi sangat berperan karena jumlahnya yang banyak. Sejak produksi biodisel dari minyak nabati digalakkan lebih dari satu dekade, kira-kira 2 ton gliserol ada di pasaran (Ciriminna *et al.* 2014). Ditambah dengan pertumbuhan produk asam lemak, *fatty alcohol*, produk gliserol semakin meningkat dari tahun ke tahun. Gliserol ada berbagai tipe tergantung dari kemurniannya. Kemurnian gliserol ditentukan oleh sifat fisik seperti higroskopis, tidak bewarna, tidak berbau, kental, rendah titik didih, dan spesifikasi kimianya seperti tidak beracun, emolien dan larut dalam air. Gliserol mentah mempunyai kemurnian sekitar 86%. Pada umumnya gliserol mentah masih mengandung metanol dan asam lemak bebas yang tinggi. Gliserol yang tersedia

dipasar pada umumnya mempunyai kemurnian 99,5%. Penggunaan gliserol sangat banyak sebagai bahan tambahan produksi turunan oleokimia lainnya seperti bahan pengemulsi makanan, poliuretan, obat dan kosmetik. Upaya yang sudah dilakukan untuk mengembangkan produk dari gliserol adalah *glycidol* (2,3-epoxypropanol), gliserol karbonat, dan poligliserol (Gunstone and Heming 2004). Poligliserol ada bermacam-macam yaitu merupakan polimer linear, bercabang dan star polimer. Star polimer dikenal juga dengan nama *dendrimer* (Trollsås and Hedrick 1998).

*Dendrimer* berbasis *uniform* molekul, multifungsi permukaan yang biasanya reaktif dan dengan adanya rongga pada internal berpotensi diterapkan diberbagai bidang. Bentuk yang spesifik dan unik ini menjadikan *dendrimer* dapat diterapkan pada bidang farmasi (Cheng et al. 2007) dan non farmasi (Klajnert and Bryszewska 2000). Salah satu penerapan dibidang non farmasi adalah sebagai katalisis. Dengan keunikan struktur *dendrimer* dapat berfungsi sebagai penyangga katalis dengan reaksi kompleks dengan logam yang bersifat selektif (Hajji and Haag 2006, Jiang and Gao 2006). *Dendrimer* poligliserol adalah *dendrimer* yang berbasis gliserol. Salah satu fungsinya adalah sebagai penyangga katalis karena gugus fungsi dapat mengikat logam seperti Ni, Cu, Pt dan lain-lain. Selama ini katalis logam dibuat dengan peyangga mineral seperti Ni (Purwanto, 2010). Mineral termasuk bahan yang tidak dapat terbarukan, dilain pihak ketersediaan bahan yang dapat diperbarui seperti bahan agro tersedia banyak di Indonesia. Salah satu bahan agro adalah turunan kelapa sawit seperti gliserol.

Ketersediaan gliserol dapat dilihat dari tumbuhnya industri biodisel dan industri oleokimia. Gliserol merupakan hasil samping proses pembuatan biodiesel menggunakan proses transesterifikasi (Rahayu 2005) dan proses hidrolisis minyak nabati. Karena ketersediaan gliserol yang banyak, pada penelitian ini dilakukan pembuatan katalis yang berbasis turunan kelapa sawit.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah gliserol yang diperoleh dari PT. Ecogreen, gas nitrogen dan gas hidrogen dari PT. Windu, KOH, piridin, p-toluensulfonil klorida/tosil klorida ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{SO}_2\text{Cl}$ ), dietil amina ( $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$ ), Ni ( $\text{NO}_3$ )<sub>2</sub> 6H<sub>2</sub>O, Cu(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 3H<sub>2</sub>O dari PT. Merck dan Minyak Kelapa dari Barco

Alat-alat yang digunakan adalah *Stand Floor Reactor* kapasitas 1 L dari PARR USA dan *Pressure Products Industries (PPI)* yang dilengkapi dengan pengatur suhu, tekanan, dan aliran gas nitrogen, gas ammonia dan gas hidrogen serta pengaduk. *Hot plate stirrer* dari Thermo Scientific serta alat gelas dari *pyrex*. Alat instrumen untuk uji struktur kimia produk dilakukan menggunakan *liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) Mariner Biospectrometry* dengan *binary pump* dan kolom *Supelco 5 $\mu$  C18, 250  $\times$  2 mm i.d., dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*. Sedangkan karakteristik permukaan katalis diuji dengan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* dan kandungan material katalis dengan *X-ray Diffraction (XRD)*.

### Metode

Beberapa tahapan yang dilakukan untuk menghasilkan katalis berpenyangga *dendrimer* poligliserol metal poligliserol (M-PG) yaitu; polimerisasi gliserol menjadi poligliserol/Pg-OH, aminasi Pg-OH menjadi Pg-amin/Pg-NR<sub>2</sub>, sintesis katalis dari Pg-NR<sub>2</sub> menjadi katalis Pg-M.

Pembuatan *dendrimer* poligliserol diambil dari metode penelitian terdahulu (Rahmi et al. 2014). Sebanyak 700 g gliserol dimasukkan kedalam reaktor PARR lalu ditambahkan katalis KOH 7 g dan pemanasan selama 20 jam pada suhu 250°C sambil diaduk dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Produk Pg-OH yang dihasilkan kemudian dianalisa dengan *FTIR* untuk melihat gugus fungsi yang terbentuk. Untuk pembuatan penyangga katalis, tosil klorida (TCl) dalam piridin ditambahkan kedalam Pg-OH dengan perbandingan mol TCl dan Pg-OH sebesar 2 : 1, kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnet pada suhu ruang selama 16 jam. Produk yang dihasilkan dituang kedalam air dingin yang sudah diberi HCl 10% dan diaduk. Selanjutnya dilakukan ekstraksi produk Pg-O-Tos dengan kloroform. Ekstrak kloroform yang sudah dihilangkan pelarutnya kemudian diaminasi dengan menambahkan 10 mL dietilamin (NHR<sub>2</sub>) dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 24 jam. Untuk mendapatkan katalis Pg-M maka ditambahkan larutan Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O atau Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6 H<sub>2</sub>O 10 % kedalam Pg-NR<sub>2</sub> lalu stirer selama 1 jam. Endapan berupa katalis Pg-Cu atau Pg-Ni yang diperoleh diambil dan dikeringkan.

Percobaan penerapan katalis Pg-Ni dilakukan dengan proses hidrogenasi minyak kelapa menjadi minyak kelapa terhidrogenasi. Katalis Pg-Ni sebanyak 1 % dimasukkan kedalam reaktor PPI lalu *purging* dengan

nitrogen selama 30 menit pada suhu 200°C. Kemudian dilanjutkan dengan proses reduksi dengan mengalirkan gas hidrogen dengan *flowrate* kurang lebih 0,2 L/menit selama 3 jam. Setelah itu sampel dimasukkan kedalam reaktor dan dihidrogenasi dengan gas H<sub>2</sub> pada tekanan 80 bar suhu 200 C selama 60 menit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Poligliserol (PG-OH)

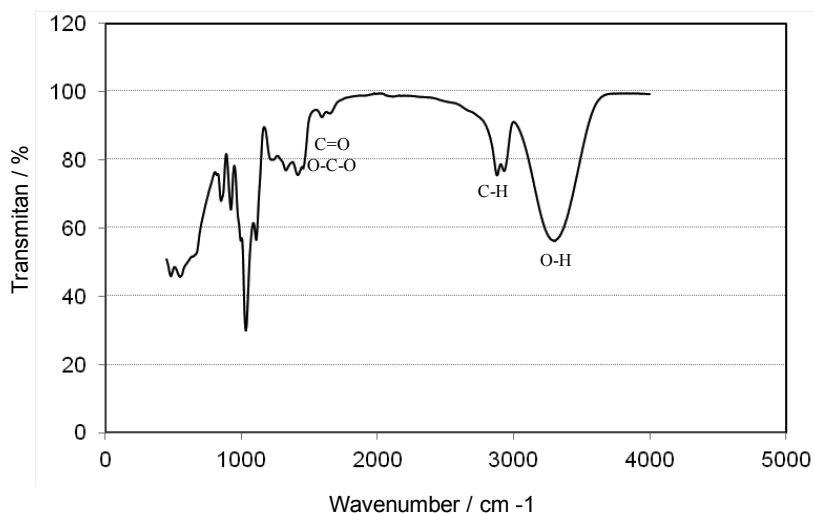
Polimerisasi gliserol menjadi poligliserol dilakukan dengan kehadiran katalis basa untuk membentuk struktur *dendrimer*. Reaksi terjadi karena adanya serangan nukleofilik ke gugus hidroksi. Poligliserol *dendrimer* mempunyai struktur bercabang dan banyak gugus hidroksi tiap ujung strukturnya (de Queiroz *et al.* 2006). Gambar 1 menampilkan spektrum FTIR dari produk dendrimer poligliserol. Beberapa puncak terlihat keluar pada spektrum ini. Spektrum berupa lembah yang luas pada bilangan gelombang antara 3500 cm<sup>-1</sup> sampai dengan 3700 cm<sup>-1</sup> mengindikasikan adanya gugus hidroksi (O-H). Spektrum yang keluar adalah pada bilangan gelombang tinggi, sedangkan bilangan gelombang untuk ikatan hidrogen pada OH adalah pada bilangan gelombang 3400 cm<sup>-1</sup> sampai dengan 3200 cm<sup>-1</sup> tergantung kekuatan dari ikatannya yaitu kemampuan membentuk intra dan inter-molekul dari ikatan hidrogen oleh kelompok OH (Mamiński *et al.* 2011). Pada bilangan gelombang antara 2600 cm<sup>-1</sup> sampai dengan 2700 cm<sup>-1</sup> merupakan spektrum tajam dengan terbelah dibagian ujung mengindikasikan adanya gugus C-H.

Karakterisasi *dendrimer polyamidoamine* (PAMAM) puncak pada bilangan gelombang

2700 cm<sup>-1</sup> sampai dengan 2940 cm<sup>-1</sup> mengindikasikan adanya gugus C-H (Kesharwani and Jain 2014). Selanjutnya spektrum kecil pada bilangan gelombang 1600 cm<sup>-1</sup> mengindikasikan adanya gugus C=O atau O-C-O. Spektrum ini diperkuat dengan adanya spektrum yang tajam pada bilangan gelombang 1100 cm<sup>-1</sup> dan 1200 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan adanya struktur C-O-C (Boudou *et al.* 2013). Pada PAMAM juga keluar puncak pada bilangan gelombang 1595 cm<sup>-1</sup> (Kesharwani, *et al.* 2014). Dari spektrum FTIR ini terlihat adanya struktur yang mempunyai gugus O-H diujung ikatan struktur dan gugus O-C-O dan C-O-C di tengah ikatan struktur poligliserol (Rahmi *et al.* 2014). Gugus hidroksi dengan permukaan yang paling luas mengindikasikan bahwa gugus O-H mempunyai persentase yang lebih tinggi dibanding gugus yang lain.

Dari perkiraan gugus fungsi selanjutnya dilakukan analisa berat molekul dengan LC-MS. Dari hasil analisa menggunakan LC-MS dihasilkan beberapa puncak kromatogram (Gambar 2). Dari kromatogram ini dapat diketahui bahwa produk belum homogen, ada 3 puncak yaitu pada waktu retensi 1,8 menit; 2,4 menit; dan 5,7 menit.

Ada beberapa struktur yang akan terbentuk dari proses polimerisasi ini yaitu gliserol, digliserol, trigliserol, tetragliserol dan multigliserol. Digliserol dan seterusnya di namai poligliserol, sementara *dendrimer* yang merupakan poligliserol dengan banyak cabang yaitu terdiri dari 1 inti dan 3 cabang. Gliserol (C<sub>3</sub>O<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) dengan m/z 92, m/z digliserol (C<sub>6</sub>O<sub>5</sub>H<sub>14</sub>) 166, m/z (C<sub>9</sub>O<sub>7</sub>H<sub>20</sub>) trigliserol 240, tetragliserol (C<sub>11</sub>O<sub>9</sub>H<sub>26</sub>) 302 dan multigliserol (C<sub>29</sub>O<sub>21</sub>H<sub>50</sub>) m/z 734.



Gambar 1. Spektrum FTIR dendrimer poligliserol

Dari spektrum massa produk poligliserol didapatkan menit 1,8 puncak utama terlihat ion positif  $[M + 2Na]^+$  pada berat molekul ( $m/z$ ) 137,  $[2M + 4H]^+$ ,  $[M4 + Na]^+$  pada  $m/z$  masing-masing 236 dan 325. Spektrum pada menit ke 2,4 terlihat ion positif  $[2M]$  pada  $m/z$  166,  $[2M + Na]^+$  pada  $m/z$  189,  $[2M + 2K + H]^+$   $m/z$  245 dan ion negatif  $[2M + 2K + H]^-$  pada  $m/z$  319. Sedangkan pada menit ke 5,7 terlihat puncak utama terlihat pada  $m/z$  285 sebagai ion negatif  $[4M - Cl^- - 3H]^-$  dan  $[4M + CO_2^- - 2H]^-$  pada  $m/z$  256, serta ion positif pada  $m/z$  304  $[4M + 2H]^+$ .

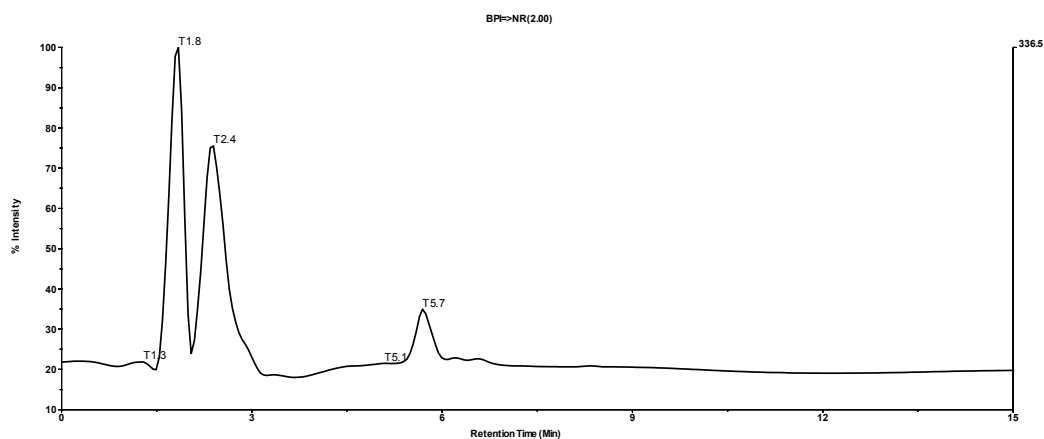
Berdasarkan nilai  $m/z$  dari spektrum massa pada Gambar 3a dengan rumus kimia  $C_3O_3H_8$  maka puncak pertama yang keluar pada kromatogram yang diperkirakan sebagai senyawa gliserol. Pada puncak berikutnya yaitu keluar pada menit ke 2,4 dengan rumus kimia  $C_6O_5H_{14}$  sebagai senyawa digliserol. Sedangkan puncak yang keluar pada menit ke 5,7 dengan rumus kimia  $C_{11}O_9H_{26}$  yang diperkirakan sebagai tetragliserol. Tetragliserol ini sebagai *dendrimer* terdiri dari 1 gugus gliserol sebagai inti dan 3 gugus gliserol sebagai kulit.

#### **Katalis Berpenyangga Poligliserol (Katalis PG-M)**

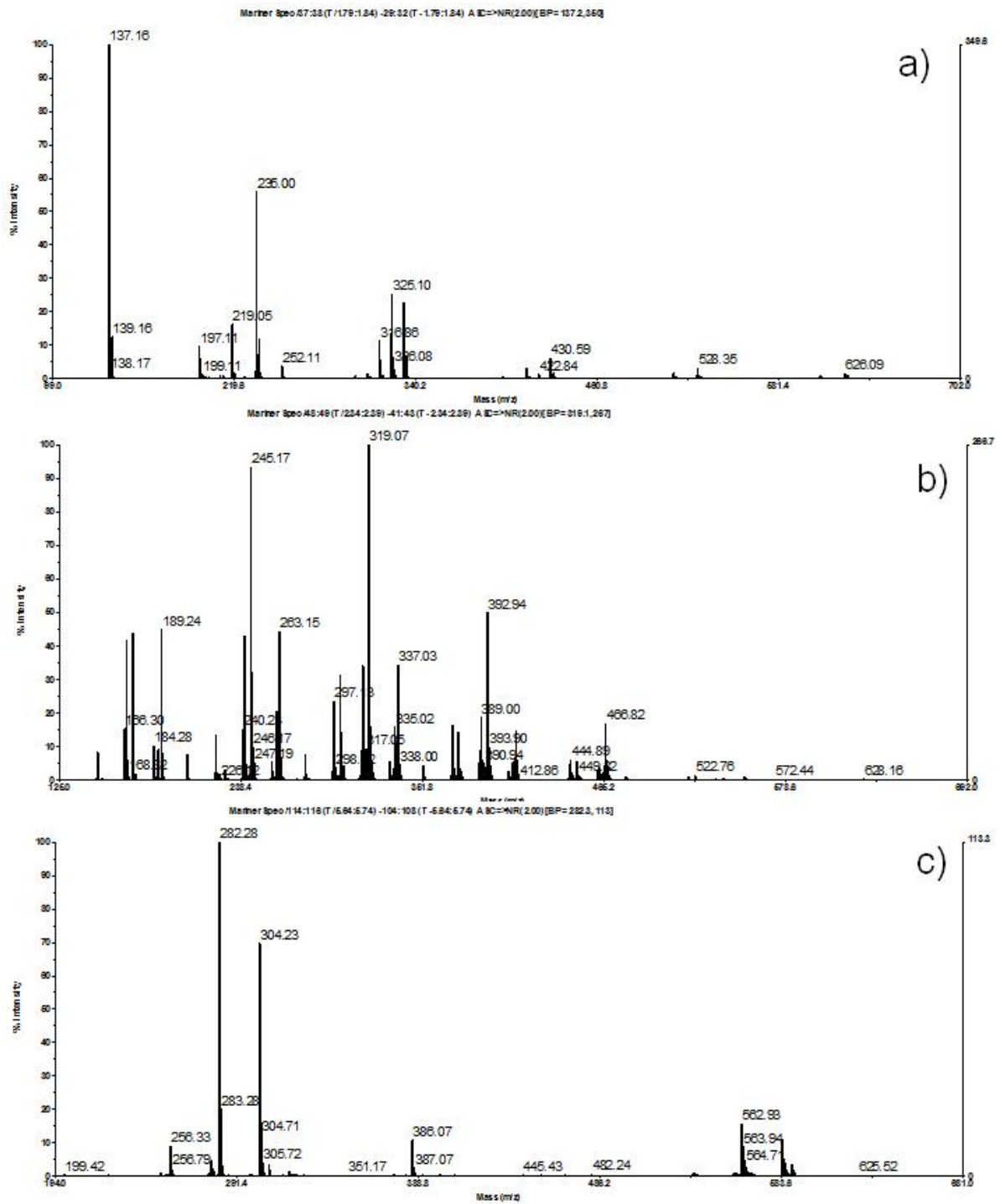
Penyangga katalis disintesis dari poligliserol dengan terlebih dahulu melalui proses tosilasi gugus hidroksi dengan pelarut piridin (Slagt *et al.* 2004). PG-Tos diekstrak dengan kloroform, lalu ekstrak poligliserol-tos

diaminasi dengan dietilamin. PG-amin ini lalu direaksikan dengan logam yaitu Ni dan Cu untuk mendapatkan katalis. Katalis dihasilkan dari reaksi antara hidrokarbon dengan logam membentuk *organometal*. *Organometal* yang dihasilkan adalah *organocopper* dan *organonickle* dimana PG-amin sebagai hidrokarbon. Ikatan yang terjadi adalah ikatan kovalen dengan *organometal* untuk menghasilkan katalis (Hajji and Haag 2006). PG-amin sebagai ligan dengan gugus hidroksi terikat dengan logam yang teroksidasi (Hajji and Haag 2006). Gugus hidroksi dan gugus fungsi lainnya dapat dilihat pada Gambar 4. Adanya puncak pada bilangan gelombang  $3400\text{ cm}^{-1}$  menandakan adanya gugus O-H katalis Ni maupun katalis Cu yang berasal dari poligliserol. Puncak tajam pada bilangan gelombang  $1652\text{ cm}^{-1}$  sampai dengan  $1648\text{ cm}^{-1}$  dan puncak  $1303\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya gugus amin berikatan dengan C=O (Schmitt and Flemming 1998).

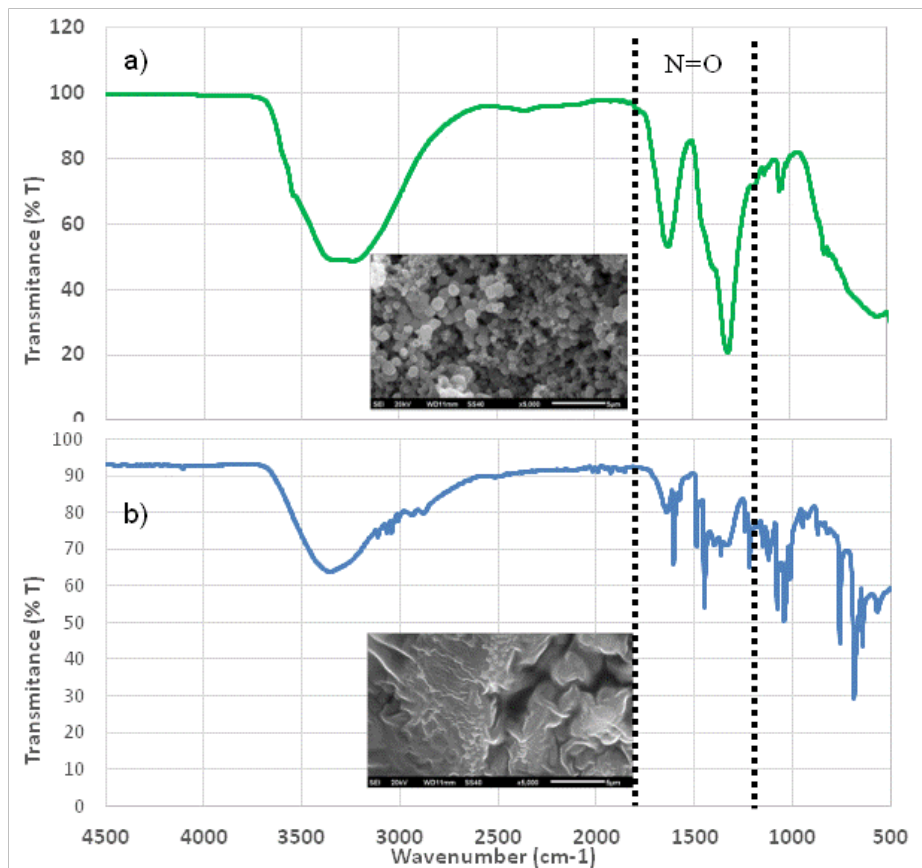
Pada katalis Ni puncak pada bilangan gelombang amin terlihat jelas sedangkan puncak yang keluar dari katalis Cu kurang tajam. Hal ini terjadi karena permukaan katalis Ni yang lebih seragam dibanding katalis Cu. Dari hasil foto dengan SEM juga terlihat bahwa katalis Ni bentuknya lebih seragam dan konsisten. Cu yang berikatan dengan gugus hidroksi bersifat amfoterik (larut dalam asam dan basa) sehingga bentuknya menjadi tidak seragam



Gambar 2. Kromatogram LC-MS dari *dendrimer* poligliserol



Gambar 3. Spektrum massa produk poligliserol a) T 1,8 menit b) T 2,4 menit c) T 5,7 menit



Gambar 4. Spektrum FTIR katalis dan foto permukaan dengan SEM a) katalis PG-Ni dan b) katalis PG-Cu

Dari hasil analisa komposisi kandungan material dalam katalis diperoleh hasil seperti pada Tabel 1. Katalis PG-Ni mengandung 5,58 % logam Ni sedangkan katalis PG-Cu mengandung 4,95 % logam Cu. Hidrokarbon (CHON) berupa PG-amin untuk katalis PG-Ni sebanyak 94,3 %, CHON katalis PG-Cu lebih rendah yaitu 85,7 %. Dari hasil ini terlihat bahwa katalis PG-Cu mengandung Cl sebesar 8,8 % dan S 0,27 %. Pada katalis PG-Cu ada S dan Cl yang jumlahnya cukup besar bisa disebabkan reaksi yang belum sempurna antara tosilat dengan dietilamina sehingga masih ada tosilat klorida nya (S, Cl). Hal ini yang menyebabkan bentuk katalis (Gambar 4b) tidak berbentuk. Sementara pada katalis PG-Ni hanya mengandung 0,08 % Cl dan mengandung logam lain dalam jumlah sedikit < 0,02 % sehingga permukaan katalis lebih bulat dan seragam (Gambar 4a).

#### Hidrogenasi dengan Katalis PG-Ni

Katalis PG-Ni selanjutnya diaplikasikan pada proses hidrogenasi minyak kelapa (CNO) untuk melihat peran dari katalis yang dibuat.

Kondisi proses adalah pada suhu 200°C, tekanan 100 bar, reduksi selama 3 jam pada suhu 200°C dan hidrogenasi 1 jam (Rahmi *et al.* 2015). Dengan kondisi yang sama dilakukan juga tanpa penambahan katalis. Produk yang dihasilkan berupa minyak kelapa terhidrogenasi (CNO-H) dapat dilihat pada Gambar 5b. Produk CNO-H dengan katalis PG-Ni berupa lemak padat dan berwarna putih. Lemak padat terjadi karena hampir semua ikatan rangkap yang ada pada minyak kelapa menjadi jenuh dengan reaksi hidrogenasi. Sebaliknya hidrogenasi minyak tanpa penambahan katalis tidak dapat mengubah wujud dari minyak menjadi lemak padat (Gambar 5a).

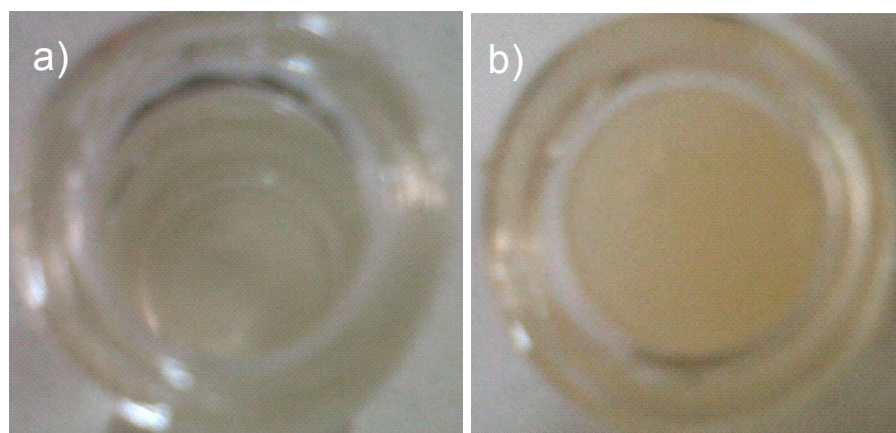
Hasil analisa mutu yaitu dengan parameter slip *melting point*, kadar air, dan bilangan peroksida dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil analisa dibandingkan dengan standar industri (salah satu industri penghasil CNO terhidrogenasi). Dihasilkan hampir semua parameter memenuhi standar industri kecuali kandungan air masih lebih tinggi dari standar yaitu lebih tinggi 0,05 %. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan optimalisasi kondisi proses.

Tabel 1. Komposisi kandungan material dalam katalis Ni dan katalis Cu

Material	Katalis PG-Ni / %	Katalis PG-Cu / %
Al	0	0,04
Si	0	0,09
P	0	0,26
S	0	0,27
Cl	008	<b>8,80</b>
K	0	0,04
Ca	0,02	0,03
Cr	0,004	0
Fe	0,003	0
<b>Ni</b>	<b>5,58</b>	0
Cd	0,03	0
<b>Cu</b>	0	<b>4,95</b>
Tb	0	0,003
<b>CHON</b>	<b>94,3</b>	<b>85,7</b>

Tabel 2. Hasil analisa mutu produk CNO terhidrogenasi

Parameter	Satuan	Standar	CNO terhidrogenasi
Penampakan	-	Jernih ketika meleleh	Jernih
Bau	-	Netral	Netral
<i>Slip melting point</i>	°C	30 - 34	33
Kadar air	%	Maks. 0,05	0,1
Bilangan peroksida	Mek/kg	Maks. 1,0	0,25



Gambar 5. CNO terhidrogenasi a) tanpa katalis b) dengan katalis PG-Ni

## KESIMPULAN

*Dendrimer* dengan bentuk unik dimana disetiap ujung struktur melekat gugus fungsi yang aktif dapat dijadikan sebagai penyangga katalis logam. Produk gliserol dari turunan kelapa sawit yang tersedia banyak di Indonesia dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuat *dendrimer* poligliserol. Pada penelitian ini dari hasil uji dengan *LC-MS* diketahui bahwa produk poligliserol yang dihasilkan berupa tetrapoligliserol (satu inti dan tiga gugus fungsi). Dari hasil uji dengan *FTIR* diketahui bahwa terbentuknya poligliserol ditandai dengan munculnya

puncak pada panjang gelombang  $1600\text{ cm}^{-1}$  yang mengindikasikan gugus C=O atau O-C-C dan poligliserol amin pada panjang gelombang  $1303\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus N=O.

Dari foto *SEM* diketahui katalis Ni yang dihasilkan berbentuk bulat seragam bentuknya dibanding katalis Cu. Hal ini karena kandungan klorin yang tinggi pada katalis Cu. Pada percobaan penerapan katalis Ni pada proses hidrogenasi menunjukkan bahwa katalis Ni dapat berfungsi dengan menghasilkan minyak terhidrogenasi yang mendekati standar industri.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Industri Kemenperin dan Kepala Balai Besar Kimia dan Kemasan yang sudah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih yang dalam kepada rekan-rekan analis yang sudah membantu dalam terlaksananya penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Boudou, J., M.O David, V. Joshi, H. Eidi, and A.A Curmi. 2013. Hyperbranched polyglycerol modified fluorescent nanodiamond for biomedical research. *Diamond and Related Materials* 38:131-138.
- Cheng, Y., J. Wang, T. Rao, X. He, and T Xu. 2007. Pharmaceutical applications of dendrimers: promising nanocarriers for drug delivery. *Frontiers in bioscience: a journal and virtual library* 13:1447-1471.
- Ciriminna, R., C.D Pina, M. Rossi, and M. Pagliaro. 2014. Understanding the glycerol market. *European Journal of Lipid Science and Technology* 116 (10):1432-1439.
- de Queiroz., A.A. Alencar, G.A Abraham, M.A.Pires Camillo, O.Z. Higa, G.S. Silva, M. Del Mar Fernández, and J.S. Román. 2006. Physicochemical and antimicrobial properties of boron-complexed polyglycerol–chitosan dendrimers. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition* 17 (6):689-707.
- Gunstone, F., and M. Heming. 2004. Glycerol-an important product of the oleochemical industry. *Lipid Technology* 16 (8):177-179.
- Hajji, C., and R. Haag. 2006. Hyperbranched polymers as platforms for catalysts. In *Dendrimer Catalysis*, 149-176. Springer.
- Jiang, Y., and Q. Gao. 2006. Heterogeneous hydrogenation catalyses over recyclable Pd (0) nanoparticle catalysts stabilized by PAMAM-SBA-15 organic-inorganic hybrid composites. *Journal of the American Chemical Society* 128 (3):716-717.
- Kesharwani, P., K. Jain, and N. K. Jain. 2014. Dendrimer as nanocarrier for drug delivery. *Progress in Polymer Science* 39 (2):268-307.
- Klajnert, B., and M. Bryszewska. 2000. Dendrimers: properties and applications. *Acta biochimica polonica* 48 (1):199-208.
- Lestari, H.D. 2006. *Sintesis Katalis Ni/Mo untuk Hydrotreating Coker Nafta*, Tesis, Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Mamiński, M., P.G. Parzuchowski, A. Trojanowska, and S. Dziejulski. 2011. Fast-curing polyurethane adhesives derived from environmentally friendly hyperbranched polyglycerols–The effect of macromonomer structure. *biomass and bioenergy* 35 (10):4461-4468.
- Rahayu, M. 2005. Teknologi Proses Produksi Biodiesel. *Proses Pengembangan Biofuel Sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak* :17-28.
- Schmitt, J., and H.C Flemming. 1998. FTIR-spectroscopy in microbial and material analysis. *International Bio-deterioration & Biodegradation* 41 (1):1-11.
- Slagt, M. Q., S. E. Stiriba, H. Kautz, R JM. K. Gebbink, H. Frey, and G. van Koten. 2004. Optically active hyperbranched polyglycerol as scaffold for covalent and noncovalent immobilization of platinum (II) NCN-pincer complexes. Catalytic application and recovery. *Organometallics* 23 (7):1525-1532.
- Trollsås, M., and J. L Hedrick. 1998. Dendrimer-like star polymers. *Journal of the American Chemical Society* 120 (19):4644-4651.
- Wijngarden, RJ., A. Kronberg, K.R. Westerterp, and E Schwab. 2000. Industrial Catalysis. *Angewandte Chemie-International Edition In English* 39 (2):418-418.
- Republika. 2015. Indonesia tak Perlu Impor Katalis. Senin, 02 March 2015, <http://www.republika.co.id/berita/ekonomi/korporasi/15/03/02/nkkt88-indonesia-tak-perlu-impor-katalis>
- Purwanto, W., M. Nasikin, E. Saputra, dan L. Song. 2010. Production Hydrogen And Nanocarbon Via Methane Decomposition Using Ni-Based Catalysts; Effect Of Acidity and Catalyst Diameter. *Makara, Teknologi*, 9 (2), hal 48-52.
- Rahmi, D., E. Ratnawati, R. Yunilawati, and A. Riyanto. 2014. The Synthesis Of Dendrimer Tetraglycerol From Glycerol Oil Palm Based For Catalysis Process. *Proceedings of International Oil Palm Conference, Bali Nusa Dua Convention Center - Indonesia IOPC* .