

## Pemurnian Gliserin dengan Menggunakan Metode Adsorpsi Karbon Aktif Lokal

### *Purification of Glycerin Using Local Activated Carbon Adsorption Method*

Akhmad Rifa'i<sup>a\*</sup>, Hanif Yuliani<sup>b</sup>, Fithri Nur Purnamastuti<sup>a</sup>, Eryanti Kalembang<sup>b</sup>,  
Rina Dewi Mayasari<sup>b</sup>, Diah Ayu Fitriani<sup>b</sup>, dan Ade Sholeh Hidayat<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi,  
Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, Banten 15314

<sup>b</sup>Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Gedung 224, Kawasan  
Puspiptek, Tangerang Selatan, Banten 15314

\*Surel: akhmad.rifai@bppt.go.id

---

#### INFO ARTIKEL

Diterima 10 Januari 2019  
Direvisi 29 Maret 2019  
Disetujui 20 November 2019  
Nomor Artikel 201906  
Halaman 1-6

---

#### Kata kunci:

Pemurnian  
Gliserin  
Karbon Aktif  
Adsorpsi

#### Abstract

*Purification of glycerin has been done by using three phases of reaction, i.e. acidification, polar solvent extraction, and activated carbon adsorption. Purification process optimized the effects of the types of acids (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan CH<sub>3</sub>COOH) on pH (1-6), solvent / polar solvent (CH<sub>3</sub>OH, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH and C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>OH) with ratio of solvent to glycerin (3: 1-1: 3 v / v), and adsorption process using activated carbon with ratio of activated carbon concentration to glycerin (40-200 g / l). Purification of crude glycerin (±82% PT. Wilmar Nabati) has been done by adsorption process using local activated carbon. Adsorption process using activated carbon aims to remove MONG compounds (matter organic non glycerin) and betha-carotene as color component. After adsorption process, we obtained glycerin with ±95% (<sup>b</sup>/v) in purity. To achieve purity of 99.8%, it needs to separate the water impurities using distillation process.*

**Keywords:** purification, glycerin, activated carbon, adsorption.

#### Abstrak

Pemurnian gliserin dilakukan dengan tiga tahapan reaksi yaitu: *acidification*, *polar solven extraction*, dan *activated carbon adsorption*. Proses pemurnian juga mengoptimasi pengaruh jenis asam (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan CH<sub>3</sub>COOH) pada pH (1–6), jenis pelarut / *polar solvent* (CH<sub>3</sub>OH, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH dan C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>OH) dengan rasio pelarut organik terhadap gliserin (3:1–1:3 v/v), serta proses adsorpsi karbon aktif dengan perbandingan konsentrasi karbon aktif terhadap gliserin (40–200 g/l). Pemurnian *crude glycerin* (±82% PT. Wilmar Nabati) telah dilakukan dengan proses adsorpsi karbon aktif lokal. Proses adsorpsi bertujuan untuk menghilangkan senyawa MONG (*matter organic non glycerin*) dan *betha-carotene* sebagai komponen warna. Setelah proses adsorpsi diperoleh gliserin dengan kemurnian ±96% (<sup>b</sup>/v). Untuk mendapatkan kemurnian mencapai 99,8% diperlukan proses distilasi untuk memisahkan impuritas air.

## PENDAHULUAN

Gliserol mentah (*crude*) adalah produk sampingan yang berharga dari produksi biodiesel yang bahan bakunya berasal dari limbah hewani dan nabati, seperti minyak kelapa sawit. Akan tetapi, gliserol mentah memiliki nilai ekonomi dan permintaan industri yang sangat rendah. Sebagai perbandingan, harga gliserol mentah di tahun 2014 hanya sekitar US\$240/ton sementara harga gliserol murni (USP) sebesar US\$900/ton [1]. Hal tersebut dikarenakan gliserol dengan kualitas dan kemurnian yang tinggi memiliki banyak kegunaan di berbagai bidang, seperti kosmetik, makanan, produk farmasi, zat aditif bahan bakar, dan militer [2,3]. Oleh karena itu, teknologi pemurnian gliserol telah banyak menarik para peneliti di dunia untuk dikembangkan.

Pemurnian *crude glycerol* secara umum dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu filtrasi, penambahan zat kimia, dan distilasi vakum [4]. Metode pemurnian lain dilakukan dengan *physico-chemical treatments* untuk mendapatkan gliserin dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi, yaitu pengeringan (*drying*), *saponification*, asidifikasi, penetralan, filtrasi membran, ekstraksi dengan pelarut polar dan adsorpsi [4,5]. Secara umum Pemurnian *crude glycerin* ini dilakukan untuk menghilangkan kontaminan utama, yaitu material organik selain *glycerin (matter organic non glycerin (MONG))* [6]. Senyawa MONG dihasilkan dari kontaminan sabun (*soap*), *methanol* dan *methyl esters* dalam proses produksi biodiesel. Selama proses pemurnian pada tahap asidifikasi (*first stage purification*), asam lemak rantai panjang *free fatty acid (FFA)* telah dipisahkan sebagai *soluble soap*, sementara itu *methyl ester* masih terlarut dalam suspensi gliserin. Asam lemak FFA dan *methyl esters* ini kemudian bereaksi dengan *sodium hydroxide (NaOH)* dalam proses penetralan.

Metode destilasi vakum (*vacuum distillation*) merupakan salah satu alternatif untuk menghilangkan garam anorganik (*salt*) dan material organik selain *glycerin* seperti *matter organic non glycerin (MONG)* [7]. Pemurnian dengan metode destilasi vakum dapat menghasilkan gliserol dengan tingkat kemurnian mencapai 99,5% [8]. Akan tetapi, proses destilasi ini memerlukan energi intensif tinggi untuk proses evaporasi gliserin karena tingginya nilai kapasitas panas (*specific heat capacity*) [9].

Carmona *et al* 2008 juga melaporkan metode pemurnian gliserin dengan menggunakan teknik *ion-exchange* dengan menggunakan Amberlite-252 dan Ambersep BD50 [10]. Teknik pemurnian gliserin dengan *ion-exchange* mengaplikasikan kombinasi material *adsorbent* dan *ion exchange* yang meliputi *carbon aktif*, *silica hydrogel*, *activated alumina*, *zeolite*, dan *bentonite*, serta digunakan *selulose* sebagai pengikat (*binder*). Manosak *et al.* (2011) telah melaporkan proses penghilangan warna (*de-coloring*) dan pemucatan (*bleaching*) dengan teknik adsorpsi

menggunakan adsorben karbon aktif komersial dengan konsentrasi 200 g/L [11]. Spesifikasi karbon aktif komersial yang digunakan adalah luas area (*BET surface area*) 146 m<sup>2</sup>/g, ukuran pori (*pore size*) 40,9 nm, dan volume pori (*micro-pore volume*) 0,174 cm<sup>3</sup>/g.

Pada penelitian ini digunakan *crude glycerin* lokal dari PT. Wilmar Nabati dengan kemurnian gliserin ±82% dan kandungan impuritas berupa senyawa *free fatty acid* dan *inorganic salt*. Metode purifikasi gliserin menggunakan tiga tahap reaksi, yaitu *acidification*, *polar solven extraction*, dan *activated carbon adsorption*. Hasil proses pemurnian gliserin diharapkan dapat menghasilkan senyawa gliserin dengan kemurnian tinggi (*military spec*) untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan nitrogliserin dan *double base propellant*.

## METODE PERCOBAAN

### Pemurnian Senyawa Gliserin Dengan Asidifikasi

Tahap awal pemurnian gliserin adalah pengendapan menggunakan asam, dengan variasi asam yang digunakan adalah asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), dan asam klorida (HCl). Pada tahap awal pemurnian ini adalah proses reduksi asam lemak (*free fatty acid*) dengan proses asidifikasi. Masing-masing proses menggunakan 300 g *crude glycerol* ± 82% dari PT. Wilmar Nabati, kemudian dilakukan proses asidifikasi dengan penambahan asam sulfat (98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) sebanyak 10 tetes, asam fosfat (85% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) sebanyak 25 tetes atau asam klorida sampai diperoleh pH 4–6. Setelah itu dilakukan pengadukan selama 10-15 menit, dan selanjutnya didiamkan selama 12 jam.

### Pemurnian Senyawa Gliserin Metode Polar Solvent Extraction

Tahap kedua proses pemurnian gliserin adalah ekstraksi menggunakan pelarut polar (*polar solvent extraction*). Variasi pelarut polar yang digunakan untuk proses ekstraksi adalah: etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH); 1-propanol (C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>OH), dan 2-propanol (C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>OH). Perbandingan yang digunakan dalam proses ekstraksi ini adalah 3:1 v/v sampai dengan 1:3 v/v.

### Pemurnian Senyawa Gliserin Metode Activated Carbon Adsorption

Tahap ketiga proses pemurnian gliserin adalah dengan proses adsorpsi menggunakan karbon aktif (*activated carbon*) dengan variasi konsentrasi karbon aktif pada rentang rasio karbon aktif terhadap gliserin sebesar 40- 200 g/l. Pada tahap pemurnian gliserin dengan proses adsorpsi menggunakan karbon aktif dilakukan untuk memisahkan gliserin dari berbagai impuritas, diantaranya zat warna *beta carotene*, MONG (*matter organic non glycerin*), dan senyawa-senyawa lain. Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan karbon aktif lokal dengan karakteristik

fisika luas permukaan (BET *surface area*) 146 m<sup>2</sup>/g, ukuran pori (*pore size*) 40,9 nm, dan volume pori (*micro-pore volume*) 0,174 cm<sup>3</sup>/g. Karbon aktif dipanaskan hingga suhu 105 °C selama 30 menit untuk mengurangi kelembaban (*free moisture*). Untuk proses adsorpsi 1 gram karbon aktif dicampur dengan gliserol dengan perbandingan pada rentang 40–200 g/l. Kemudian diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 3 jam dan disaring untuk memisahkan gliserin murni dari karbon aktif.

### Proses Granulasi Karbon Aktif

Proses granulasi karbon aktif dilakukan untuk menghindari terjadinya *death zone* selama proses adsorpsi. Dalam pembuatan granul selain material utama yang bersifat sebagai adsorben, juga digunakan selulosa sebagai *organic binder*. Untuk membuat granul dengan aktivitas optimal dilakukan dengan variasi komposisi granul sebagai berikut: *binder* dengan konsentrasi pada rentang 8-35%, dan senyawa aktif dengan konsentrasi pada rentang 92-65%.

Untuk mendapatkan proses adsorpsi optimal dilakukan formulasi katalis granul karbon aktif, yaitu dengan mengkombinasikan berbagai material yang bersifat sebagai *adsorbent* sekaligus *ion exchange*. Adapun formulasi katalis untuk proses *bleaching crude glycerin* ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Komposisi *activated carbon granule*.

| Material                 | Ukuran (mesh) | Persentase (%) |
|--------------------------|---------------|----------------|
| <i>Activated carbon</i>  | 400           | 65             |
| <i>Silica hydrogel</i>   | 100           | 5              |
| <i>Activated alumina</i> | 325           | 10             |
| <i>Zeolite</i>           | 325           | 10             |
| <i>Bentonite</i>         | 325           | 5              |
| <i>Selulose</i>          | 100           | 5              |

### Analisis Produk Hasil Pemurnian Gliserin

Untuk mengetahui tingkat kemurnian gliserin yang dilakukan analisis kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan instrumen *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS), *high performance liquid chromatography* (HPLC), dan *fourier transform infrared spectrometry* (FTIR). Analisis kemurnian menggunakan GC Shimadzu GCMS-QP 2010 Ultra dengan detektor MS. Kondisi operasi analisis adalah dengan menggunakan Kolom RTX-5 (*metil polisiloksine*) dan volume sampel 0,2 µL. Fasa gerak menggunakan gas helium dengan laju alir 1,5 mL/menit. Temperatur awal operasi adalah 100 °C, dan kemudian dinaikkan sampai 280 °C dengan laju kenaikan temperatur 10 °C/menit. Setelah temperatur operasi mencapai 280 °C, kemudian ditahan selama 15 menit. Analisis kemurnian gliserin dengan HPLC Waters 1525 Binary HPLC Pump dengan detector Waters 2414 *refractive index detector*. Kondisi operasi menggunakan Kolom C18, dengan fasa gerak 5 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : metanol = 96,7 : 3,3 v/v, laju alir 0,6 mL/menit, volume injeksi 10 µL, dan waktu proses

selama 12 menit. Analisis gugus fungsi menggunakan instrumen FTIR Thermo Scientific, tipe Nicolet iS50, dengan Software OMNIC, dengan metode *attenuated total reflectance* (ATR). Analisis *thermal gravimetric analysis* menggunakan instrumen TGA Setaram, dengan tipe Labsys EVO, dengan software processing Calisto *Processing*.

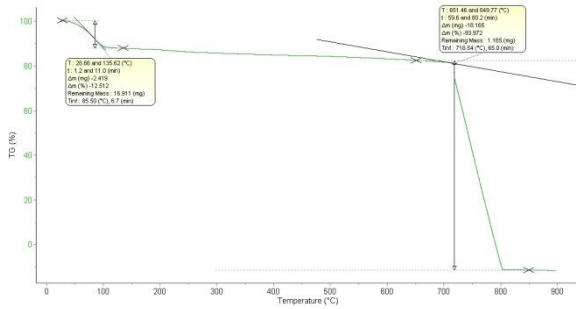
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap awal pemurnian gliserin dilakukan proses reduksi *free fatty acid* (FFA) dengan proses asidifikasi. Pada proses pengamatan asidifikasi *crude glycerol* 12 jam, diketahui bahwa larutan tetap dalam satu fasa dan tidak terbentuk lapisan dengan beda polaritas. Hal ini menunjukkan bahwa *crude glycerin* yang diperoleh dari PT. Wilmar Nabati tidak mengandung FFA dan juga garam anorganik (*inorganic salt-rich layer*) sebagai impuritas.

Tahap kedua proses ekstraksi menggunakan pelarut polar (*polar solvent extraction*). Setelah proses ekstraksi diketahui bahwa hanya terbentuk satu fasa, yaitu fasa gliserin, dan tidak terbentuk garam fasa anorganik (*crystallized salt*). Fasa garam anorganik ini umumnya berada pada fasa bawah, sedangkan fasa gliserol berada pada fasa atas (*solvent organic phase*). Dari hasil ini diketahui bahwa *crude glycerin* PT. Wilmar Nabati sudah tidak mengandung impuritas garam organik maupun impuritas asam lemak rantai panjang.

Tahap ketiga pemurnian gliserin ditujukan untuk menghilangkan impuritas zat warna *beta-carotene* dan senyawa MONG (*matter organic non glycerin*), sehingga sering disebut sebagai proses *de-colouring* atau *bleaching*. Tahap ketiga proses pemurnian gliserin adalah proses adsorpsi menggunakan karbon aktif dengan konsentrasi karbon aktif sebagai komponen utama adsorben. Tahap pemurnian ketiga ini dilakukan dengan menggunakan karbon aktif lokal dengan ukuran 400 mesh dan juga dikombinasikan dengan bahan-bahan lain yang bersifat sebagai *adsorbent* seperti *activated alumina*, *zeolite*, *bentonite*, dan *silica hydrogel*.

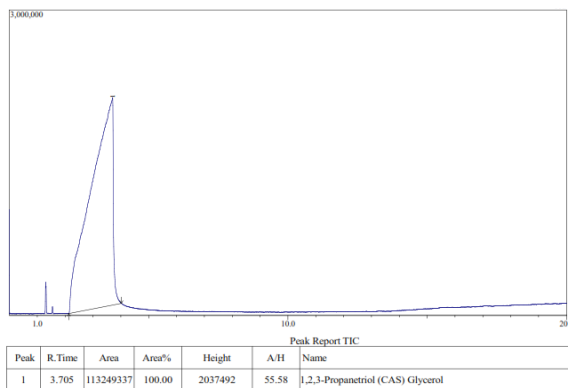
Aktivitas karbon aktif diaktivasi dengan proses kalsinasi pada suhu 600 °C. Proses aktivasi ini bertujuan untuk mendapatkan karbon aktif dengan daya adsorpsi yang tinggi. Proses kalsinasi disertai dengan mengalirkan gas inert (gas N<sub>2</sub> atau Ar) untuk mencegah terjadinya proses oksidasi selama proses kalsinasi dan untuk mendapatkan karbon aktif dengan struktur dan pori sesuai kebutuhan dalam proses *bleaching*. Gambar 1 menampilkan profil pengurangan massa terhadap suhu pada sampel karbon lokal yang merupakan hasil analisis TGA.



Gambar 1. Profil TGA sampel karbon lokal pada peningkatan suhu sampai 900 °C.

Granul karbon aktif lokal hasil aktivasi telah berhasil digunakan untuk proses *bleaching*, yang bertujuan untuk menyerap warna dan impuritas lain. Gambar 2 menampilkan hasil analisis GC-MS sampel gliserin hasil pemurnian dengan karbon aktif lokal. Dari grafik GC-MS diketahui bahwa sampel hasil pemurnian tidak mengandung senyawa MONG dan zat warna *betha-carotene* yang umumnya merupakan impuritas pada *crude glycerin*. Hal tersebut terlihat dengan tidak adanya *peak* lain yang muncul selain pada waktu retensi / *retention time* (RT) 3,705 menit yang merupakan *peak* gliserin.

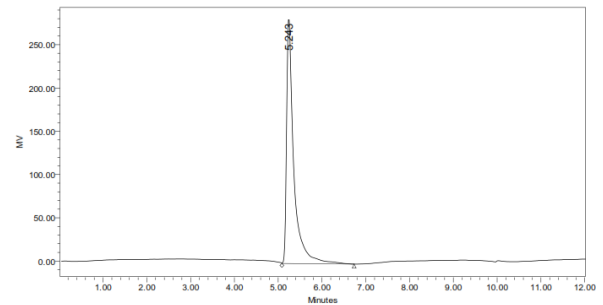
Keberhasilan proses pemurnian dengan menggunakan karbon aktif ini dikarenakan *glycerol* memiliki ukuran molekul (*molecule size*) yang lebih besar yaitu ± 0,3 nm, sementara ukuran pori (*pore size*) dari karbon aktif ± 0,239 nm [11]. Oleh karena itu, beberapa senyawa asam lemak (*fatty acids*) seperti senyawa *lauric acid* dan *myristic acid* terpisahkan pada tahap pemurnian ini. Kemurnian *glycerol* yang diperoleh oleh Manosak *et al.* mencapai ± 96,2 % ( $b/v$ ) dengan warna bening (*clear color*) [11].



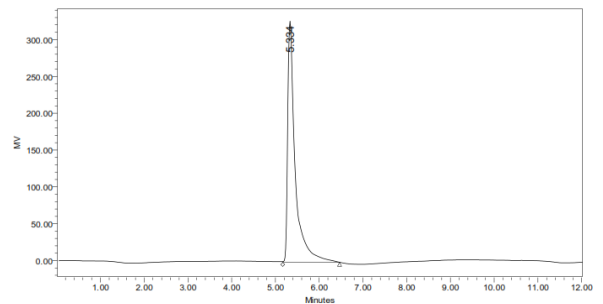
Gambar 2. Hasil analisis GC-MS sampel hasil pemurnian gliserin dengan karbon aktif lokal.

Gambar 3 menunjukkan keberhasilan proses *bleaching* dengan karbon aktif pada pemurnian gliserin *peak* yang muncul pada waktu retensi ± 5,2 menit adalah *peak* gliserin. Dengan tidak adanya *peak* lain pada hasil analisis HPLC membuktikan bahwa impuritas berupa senyawa MONG dan zat warna sudah tidak

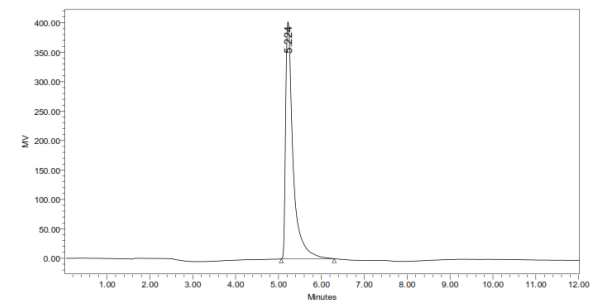
ada dalam *sampel* hasil pemurnian. Hasil yang sama yang menunjukkan tidak adanya *peak* pengotor juga diperoleh Isahak *et.al.* (2010) pada pemurnian gliserin dengan menggunakan katalis KOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [12]. Hasil ini dikuatkan dengan hasil analisis HPLC sampel *glycerin* murni dari PT. Wilmar Nabati dan PT. Permata Hijau, yang juga menunjukkan satu *peak glycerin* pada waktu retensi ± 5,2 menit, yang ditunjukkan oleh Gambar 4 dan Gambar 5 secara berturut-turut.



Gambar 3. Hasil analisis HPLC sampel hasil pemurnian gliserin dengan karbon aktif lokal.



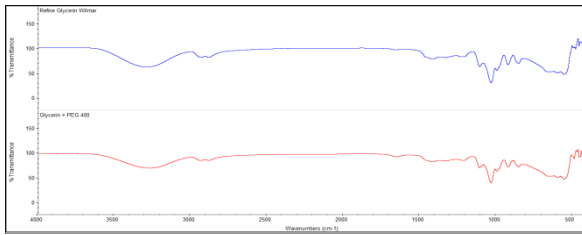
Gambar 4. Hasil Analisis HPLC *glycerin* murni PT. Wilmar Nabati.



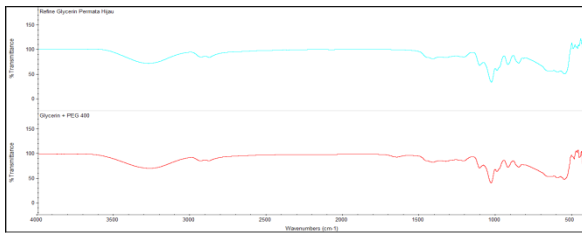
Gambar 5. Hasil analisis HPLC *glycerin* murni PT. Permata Hijau.

Keberhasilan pemurnian gliserin dengan karbon aktif lokal juga dikonfirmasi oleh hasil analisis FTIR. Gambar 6 menampilkan perbandingan profil FTIR sampel gliserin hasil pemurnian karbon aktif dan gliserin standar PT. Wilmar Nabati, sementara Gambar 7 menunjukkan perbandingan profil FTIR

sampel gliserin hasil pemurnian karbon aktif dan gliserin standar PT. Permata Hijau. Untuk mengonfirmasi hasil pemurnian gliserin secara kuantitatif dianalisa dengan menggunakan HPLC.

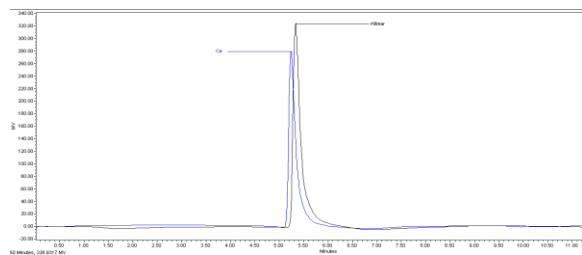


Gambar 6. Profil FTIR gliserin hasil pemurnian dan gliserin murni PT. Wilmar Nabati.

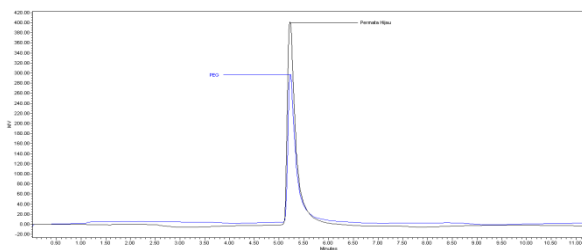


Gambar 7. Profil FTIR gliserin hasil pemurnian dan gliserin murni PT. Permata Hijau.

Grafik HPLC pada Gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa *peak* yang muncul hanyalah *peak* dari gliserin pada waktu retensi 5,2 menit dan tidak ada *peak* impuritas (pengotor). Kedua grafik HPLC tersebut juga memperlihatkan bahwa *peak* gliserin hasil pemurnian dan gliserin murni dari PT. Wilmar Nabati dan PT. Permata Hijau memiliki waktu retensi yang sama (*match*). Keduanya juga menunjukkan tidak adanya *peak* pengotor.



Gambar 8. Perbandingan hasil analisis HPLC gliserin hasil pemurnian terhadap gliserin murni standar PT. Wilmar Nabati.



Gambar 9. Perbandingan hasil analisis HPLC gliserin hasil pemurnian terhadap gliserin murni standar PT. Permata Hijau.

Hasil analisis kuantitatif HPLC diperoleh bahwa kemurnian gliserin telah mencapai  $\pm 96\%$  ( $b/v$ ). Gliserol (*vegetable-based*) dengan tingkat kemurnian 96% termasuk pada USP (*United States Pharmacopeia*) *grade* yang dapat dimanfaatkan untuk produk makanan dan farmasi [1]. Keberhasilan pemurnian gliserin hingga mencapai USP *grade* yang telah dilakukan memiliki potensi untuk meningkatkan nilai ekonomi sebesar US\$ 660/ton [1].

## KESIMPULAN

Proses pemurnian *crude glycerin* ( $\pm 82\%$  PT. Wilmar Nabati) dengan proses *bleaching* menggunakan karbon aktif lokal telah berhasil dilakukan dan diperoleh kemurnian gliserin  $\pm 96\%$  ( $b/v$ ). Gliserin hasil pemurnian juga telah dianalisis secara kualitatif dengan menggunakan GC-MS dan HPLC. Hasil analisa menunjukkan bahwa muncul *peak* gliserin pada waktu retensi / *retention time* (RT) 3,705 menit (GC-MS) dan  $\pm 5,2$  menit (HPLC) dan tidak ditemukan *peak* dari komponen kimia lain (senyawa pengotor). Keberhasilan peningkatan kemurnian gliserin  $\pm 96\%$  ( $b/v$ ) mampu menambah nilai jual produk hingga US\$660/ton.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Kemenristekdikti atas hibah riset Insentif SINAS 2017 yang telah memberikan pendanaan pada riset ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ciriminna, R., Pina, C.D., Rossi, M., and Pagliaro, M. "Understanding the Glycerol Market". *European Journal of Lipid Science and Technology*, Vol. 116, Issue 10, pp. 1432-1439, 2014.
- [2] Ardi, M.S., Aroua, M.K., and Hashim, N.A. "Progress, Prospect and Challenges in Glycerol Purification Process: a Review". *Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 42, pp. 1164-1173, 2015.
- [3] Chol, G.C., Dhabhai, R., Dalai, A.K., and Reaney, M. "Purification of Crude Glycerol Derived from Biodiesel Production Process: Experimental Studies and Techno-Economic Analyses". *Fuel Processing Technology*, Vol. 178, pp. 78-87, 2018.
- [4] Andrade, I.C., Moreno, E.A., Cantor, J.F.S., Fajardo, C.A.G., dan Sodr , J.R. "Purification of Glycerol from Biodiesel Production by Sequential Extraction Monitored by  $^1\text{H}$  NMR". *Fuel Processing Technology*, Vol. 132, pp. 99-104, 2015.
- [5] Dhabhai, R., Ahmadifeijani, E., Dalai, A.K., and Reaney, M. "Purification of Crude Glycerol Using a Sequential Physico-chemical Treatment, Membrane Filtration, and Activated Charcoal

- Adsorption”. *Separation and Purification Technology*, Vol. 168, pp. 101-106, 2016.
- [6] Yong, K.C, Ooi, T., Dzulkefly, K., Yunus, W.M.Z., and Hazimah, A.H. “Characterization of glycerol residue from a palm kernel oil methyl ester plant”. *Journal of Palm Oil Research*. Vol. 13, pp. 1–6, 2001.
- [7] Johnson, D.T., and Taconi, K.A. “The glycerin glut: options for the value-added conversion of crude glycerol resulting from biodiesel production”. *Engineering Progress*. Vol. 26, pp. 338-346, 2007.
- [8] Stojković, I.J, Stamenković, O.S., Povrenović, D.S, and Veljković, V.B. “Purification Technologies for Crude Biodiesel Obtained by Alkali-catalyzed Transesterification, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 32, pp. 1-15, 2014.
- [9] Lancrenon, X., and Fedders, J., An innovation in glycerin purification, *Biodiesel Magazine*, June 2008.
- [10] Carmona, M., Valverde, J., and Prez, A. “Purification of glycerol/water solutions from biodiesel synthesis by ion exchange: sodium removal Part I”. *Journal of Chemistry Technology & Biotechnology*. Vol. 8, pp. 4738–744, 2008.
- [11] Manosak, R., impattayate, S., and Hunsom, M. “Sequential-refining of crude glycerol derived from waste oil methy ester plant via a combined process of chemical and adsorption”. *Fuel Processing Technology*. Vol. 92, pp. 92-99, 2011.
- [12] Isahak, W.N.R.W., Ismail, M., Yarmo, M.A., Jahim, J.M., and Salimon J. “Purification of Crude Glycerol from Transesterification RBD Palm Oil over Homogeneous and Heterogeneous Catalysts for the Biolubricant Preparation”. *Journal of Applied Science*. Vol. 10, No. 21, pp. 2590-2595, 2010.