PENGARUH PELARUT KLOROFORM DALAM PEMURNIAN GLISEROL DENGAN PROSES ASIDIFIKASI ASAM KLORIDA

Windi Monica Surbakti*, Gerson Rico M.H, Mersi Suriani Sinaga
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara,
Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155, Indonesia
*Email : windisurbakti@gmail.com

Abstrak
Gliserol sebagai hasil samping produksi biodiesel rata-rata terbentuk 10 % dari berat biodiesel. Impuritis yang terkandung dalam gliserol seperti katalis, sabun, methanol, air, garam dan material organik non gliserol (MONG) memberikan pengaruh signifikan pada konsentrasi gliserol. Untuk itu diperlukan beberapa perlakuan terutama untuk menghilangkan impuritisnya. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh kloroform terhadap proses pemurnian gliserol yang diawali dengan proses *pretreatment* asam klorida. Percobaan diawali dengan penambahan asam pada gliserol untuk menetralkan katalis basa yang digunakan dan memecah sabun yang terbentuk, menjadi asam lemak bebas dan garam yang lebih mudah dipisahkan dari gliserol. Kemudian dilanjutkan dengan ekstraksi menggunakan pelarut kloroform dengan variabel uji rasio volume (v/v) pelarut (1:1, 1:1,5; 1:2) dan waktu ekstraksi (20 menit, 40 menit, 60 menit). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak volume pelarut yang digunakan, maka semakin sedikit waktu ekstraksi yang dibutuhkan untuk menghasilkan gliserol dengan kemurnian yang tinggi. Hasil kemurnian tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 90,9082% yang diperoleh pada rasio volume pelarut (v/v) 1:1 dengan lama esktraksi 60 menit.

Kata kunci : gliserol, asidifikasi, ekstraksi, kloroform.

Abstract
Glycerol as a byproduct of biodiesel production was approximately formed 10% of the biodiesel weight. Impurities which contained in the glycerol such as catalyst, soap, methanol, water, salt, and matter organic non glycerol (MONG) have a significant effect on the glycerol concentration. So, it is necessary to treat the impurities. The purpose of this study is to know the effect of chloroform to glycerol purification process with acidification method using hydrochloric acid as pretreatment process. This research was begun with acid addition to the glycerol to neutralize the base content and to split the soap content into free fatty acid and salt, that are more easily separated from glycerol. Then the process was continued with extraction by the solvent chloroform using the variable of test volume ratio (v/v) (1:1, 1:1.5, 1:2) and the extraction time (20, 40, and 60 minutes). The results showed that the more volume of solvent used, gave less extraction time to produce high purity of glycerol. The highest purity produced in this study amounted to 90,9082% is obtained at the ratio of the volume solvent (v/v) 1:1 with extraction time 60 minutes.

Keywords : *glycerol, acidification, extraction, chloroform*

Pendahuluan

Produksi biodiesel semakin meningkat dari tahun ke tahun sebagai sumber energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil yang semakin menipis [14]. Dari 2008 sampai 2011, total produksi gliserol dunia meningkat dari 2,06 sampai 2,88 juta ton [8].

Reaksi transesterifikasi antara trigliserida dan alkohol akan menghasilkan gliserol dan biodiesel yang akan terbentuk dua fasa, dimana fasa gliserol dan fasa biodiesel terpisah [17]. Gliserol sebagai hasil samping produksi biodiesel ini rata-rata terbentuk 10 % dari persen berat biodiesel. Gliserol ini memiliki harga yang rendah akibat impuritis yang terkandung di dalamnya [9]. Impuritis yang terkandung dalam gliserol seperti sabun, methanol, air, garam dan material organik non gliserol (MONG) memberikan pengaruh signifikan pada konsentrasi gliserol [17]. Gliserol hasil samping biodiesel memiliki karakteristik berwarna coklat gelap, pH tinggi, viskositas dan densitas yang rendah dengan kandungan kontaminan yang tinggi [2].

Gliserol memiliki banyak sekali kegunaan dalam bidang industri, baik dalam bidang makanan, farmasi, kosmetik, tekstil, otomotif, *pulp and paper*, dan juga sebagai solven ramah lingkungan [2, 5]. Gliserol juga dapat dikonversi menjadi produk yang bernilai tinggi, seperti biosintesis 1,3 propanadiol dari gliserol, produksi *hydrogen*, pembuatan gliserol asetat dan acrolein [14, 20,4]. Umumnya, gliserol dengan konsentrasi tinggi (di atas 99%) digunakan untuk industri makanan, obat – obatan, atau kosmetik serta dapat juga dengan mudah dioksidasi, direduksi, dihalogenasikan, dieterifikasi, dan diesterifikasi untuk menjadi komoditas alternatif sebagai bahan baku proses kimia [18, 1]. Akan tetapi, pemurnian *crude* gliserol untuk mencapai konsentrasi tinggi memerlukan biaya operasi yang tinggi, untuk itu,

diperlukan metode yang lebih murah dengan efisiensi tinggi [11]. Cara umum yang digunakan untuk meningkatkan kemurnian gliserol diantaranya adalah dengan distilasi, filtrasi, perlakuan kimia, adsorpsi, resin penukar ion, ekstraksi, filtrasi, dekantasi dan kristalisasi, dimana berbagai metode yang digunakan tergantung pada karakteristik gliserol yang akan dimurnikan [21]. Ada pula dengan mengombinasikan beberapa proses diatas, seperti pemurnian dengan proses ekstraksi dan distilasi dan proses ekstraksi dan adsorpsi [3, 6]. Sebagai *pre-treatment* awal, perlunya dilakukan asidifikasi yaitu dengan penambahan asam pada bahan baku gliserol. Ooi, et al., 2001, melaporkan bahwa perlakuan kimia dengan pH yang rendah lebih baik karena meningkatkan gliserol dan mengurangi kadar abu dalam proses rekoveri gliserol [24].

Kongjao, et al., pada tahun 2009 melaporkan proses pemurnian gliserol dengan menggunakan ekstraksi pelarut dengan pelarut pelarut polar yaitu ethanol dengan didahului proses asidifikasi, didapat gliserol dengan tingkat kemurnian hingga 93,34 %. Penggunaan pelarut polar menyebabkan kuantitas air dan MONG masih lebih tinggi dari yang diperbolehkan. Untuk meningkatkan kemurnian gliserol dan menurunkan kandungan air dan MONG, penggunaan pelarut non polar diperlukan untuk mengeliminasi asam lemak bebas [13]. Sedangkan Andrade, et al., pada tahun 2015 memurnikan gliserol dengan mengombinasikan metoda ekstraksi bertingkat dan juga adsorpsi. Proses ekstraksi dilakukan dengan menggunakan dua pelarut non polar, petroleum eter dan toluen. Penggunaan pelarut petroleum eter ditemukan tidak terlalu efektif dalam poses ekstraksi gliserol ini [7]. Oleh sebab itu, perlunya dilakukan percobaan untuk melihat kinerja pelarut non polar lain dalam proses pemurnian gliserol.

Tahapan terakhir dari proses pemurnian gliserol ini adalah adsorpsi. Manosak, et al., 2011 melaporkan bahwa semakin tinggi penggunaan dosis adsoprsi, maka semakin tinggi pula warna yang dapat direduksi mencapai 99,7 % yaitu dengan dosis 200 g/l [19].

Dalam penelitian ini, beberapa proses tersebut dikombinasikan yaitu dengan menggunakan perlakuan asidifikasi dengan asam klorida sebagai *pretreatment* awal dan ekstraksi dengan pelarut non polar yaitu kloroform kemudian dilanjutkan dengan adsorpsi diharapkan akan didapat gliserol dengan kemurnian yang tinggi dan juga warna yang bersih.

Teori

Gliserol yang merupakan produk sampingan dari transesterifikasi minyak nabati dan lemak hewan menjadi biodiesel memiliki efek negatif bagi lingkungan apabila dibiarkan menumpuk [12]. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kontaminan yang terkandung didalam gliserol segar, seperti sabun/asam lemak bebas (ALB), garam, serta reaktan sisa yang terikut, serta perlakuan sewaktu reaksi transesterifikasi (seperti menggunakan katalis alkalin) menyebabkan pH yang tinggi (di atas 10) [18].

Gliserol segar umumnya tidak memiliki komposisi yang sama disebabkan oleh keragaman umpan masuk prosedurnya [18]. Bagaimanapun juga, semua *crude* gliserol mengandung gliserol, sabun, solven ringan, (seperti air, metanol, dan/atau etanol), *fatty acid methyl esters* (FAMEs), gliserida (seperti monogliserida, digliserida, dan trigliserida), beberapa jenis asam lemak bebas (ALB), serta debu dalam jumlah yang beragam [23]. Untuk itu diperlukan proses pemurnian yang berbeda tergantung pada karakteristik gliserol tersebut [17].

Masing-masing proses memiliki kekurangan dan kelebihannya masing-masing. Proses ekstraksi dipilih karena beberapa keuntungan yaitu operasi yang mudah, biaya operasi yang rendah dibandingkan dengan yang lain, efisiensi yang tinggi dan juga kemungkinan untuk menggunakan kembali pelarut yang dipakai [13]. Sebagai *pretreatment* awal, dilakukan asidifikasi yaitu dengan penambahan asam pada bahan baku gliserol. Ooi, et al., 2001, melaporkan bahwa perlakuan kimia dengan pH yang rendah lebih baik karena meningkatkan gliserol dan mengurangi kadar abu dalam proses rekoveri gliserol [24].

Gliserol ditambahkan asam untuk menetralkan katalis basa yang digunakan dan memecah sabun yang terbentuk menjadi asam lemak bebas dan garam [10]. Saat asam ditambahkan ke dalam gliserol, maka akan terbentuk tiga lapisan, dimana pada lapisan atas merupakan lapisan yang mengandung asam lemak bebas, lapisan berikutnya adalah lapisan yang kaya akan gliserol, dan lapisan bawah merupakan garam-garam inorganik yang mengendap [13]. Ini disebabkan karena penambahan asam menyebabkan terjadinya reaksi netralisasi basa dan juga pemecahan sabun.

Untuk meningkatkan kemurnian gliserol dan menurunkan kandungan air dan MONG, penggunaan pelarut non polar diperlukan untuk mengeliminasi asam lemak bebas [13]. Ekstraksi dengan menggunakan pelarut non polar ini menyebabkan tidak adanya kehilangan dari gliserol, namun menghilangkan sisa biodiesel, asam lemak bebas, FAME, digliserida,

monogliserida dan juga impuritis-impuritis minor lainnya [7].

Metodologi Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *crude* gliserol hasil samping pembuatan biodiesel dengan kemurnian 74,7161 %, asam klorida (HCl) pekat (p.a), natrium hidroksida (NaOH) (p.a) 12,5 M, kloroform ($CHCl_3$) (p.a), *aquadest* (H_2O), karbon aktif. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer, *magnetic stirrer*, *hot plate*, corong pemisah, *beaker glass*, gelas ukur, neraca digital, batang pengaduk, termometer, corong gelas, pipet tetes, *stopwatch*, pH meter, kertas whatman no.41.

.

Prosedur Penelitian

***Pretreatment* Bahan Baku**

Sebagai langkah *pretreatment*, dimasukkan gliserol dengan berat 30 gram ke dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan asam klorida dengan rasio yang telah ditentukan. Campuran dipanaskan hingga mencapai suhu 70^oC dan dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm selama 1 jam, kemudian dimasukkan ke dalam corong pemisah dan didiamkan hingga terbentuk tiga lapisan. Dilfiltrasi untuk menghilangkan garam yang mengendap. Lapisan gliserol diambil dan dilakukan penetralan dengan NaOH. Setelah itu gliserol dievaporasi untuk menghilangkan kadar air.

Prosedur Ekstraksi dengan Kloroform

Dimasukkan kloroform : gliserol dengan rasio volum (v/v) tertentu. Campuran dipanaskan di atas *hot plate* hingga mencapai suhu 50^oC dengan pengadukan 200 rpm selama selang waktu yang ditentukan, kemudian didiamkan hingga terpisah menjadi 2 fasa. Diambil lapisan atas yang merupakan fasa gliserol. Gliserol dievaporasi dengan suhu 95^oC

Analisis Produk

Analisis terhadap gliserol yang telah dimurnikan yang dihasilkan meliputi analisis komposisi bahan baku dan produk dengan kromatograf gas, kadar air, kadar abu, kadar MONG (*Matter Organic Non Glycerol*), pH, dan kadar gliserol.

Hasil

Karakterisasi Kromatograf Gas

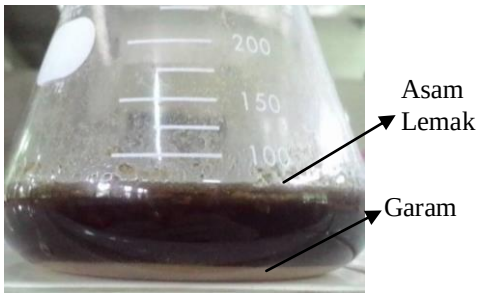
Tabel 1 adalah hasil analisis kromatograf gas untuk sampel gliserol yang telah dimurnikan.

Tabel 1. Hasil Analisis Kromatograf Gas untuk Sampel Gliserol yang telah Dimurnikan

Peak #	Ret. Time	Area %	Cmpnd. Name
1	2,386	23,4101	Gliserol
2	2,697	4,2725	Gliserol
3	2,830	0,6626	Gliserol
4	3,734	28,7457	Gliserol
5	3,918	23,2310	Gliserol
6	4,883	10,5863	Gliserol
7	8,147	1,4258	Ester
8	26,085	2,3720	Internal
9	30,404	0,6379	Dg
10	35,216	3,0946	Tg
11	35,360	1,5988	Tg
Total		100,0000	

Asidifikasi Asam Klorida

Asidifikasi dilakukan sebagai tahap *pretreatment crude* gliserol sebelum dilakukan ektraksi. Dalam penelitian ini, asam yang digunakan adalah asam klorida. Saat asam ditambahkan ke dalam gliserol, maka akan terbentuk tiga lapisan, dimana pada lapisan atas merupakan lapisan yang mengandung asam lemak bebas, lapisan berikutnya adalah lapisan yang kaya akan gliserol, dan lapisan bawah merupakan garam-garam inorganik yang mengendap [24].



Gambar 1. Lapisan Gliserol yang Terbentuk Setelah Proses Asidifikasi

.Percobaan diawali dengan penambahan asam pada gliserol untuk menetralkan katalis basa yang digunakan dan memecah sabun yang terbentuk, menjadi asam lemak bebas dan garam yang lebih mudah dipisahkan dari gliserol.

Reaksi penguraian sabun dengan bantuan asam klorida menjadi asam lemak dapat dilihat sebagai berikut:

HCl + RCOOK → RCOOH + KCl
(asam klorida) (sabun) (asam lemak) (garam)

Selain terjadinya penguraian asam, terjadi penetralan katalis basa yang berasal dari reaksi pembuatan biodiesel yang terkandung dalam *crude* gliseol. Katalis bereaksi dengan asam

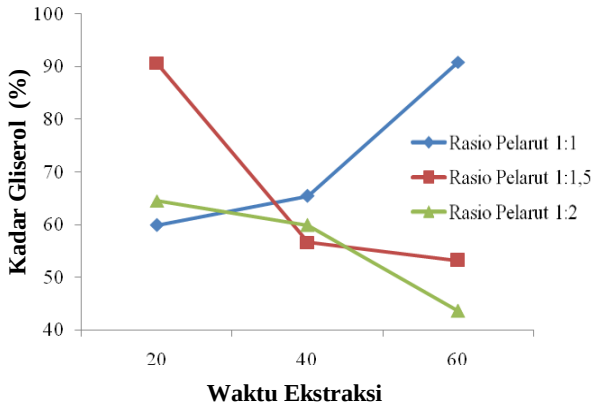
klorida membentuk garam-garam klorida, dimana reaksinya dapat dilihat sebagai berikut :

HCl + KOH → KCl + H_2O
(asam klorida) (katalis) (garam) (air)

Setelah dilakukan asidifikasi, selanjutnya dilakukan filtrasi untuk menyaring garam-garam yang mengendap. pH gliserol saat asidifikasi berada pada kondisi asam yaitu 2. Untuk itu perlu dilakukan netralisasi dengan NaOH 12,5 M. Setelah dilakukan penetralan, dilakukan pemanasan untuk menghilangkan air yang terbentuk dari reaksi penetralan, dan juga untuk mempercepat terbentuknya endapan garam.

Pengaruh Rasio Volume Pelarut (v/v) Dan Waktu Ekstraksi Terhadap Kemurnian Gliserol

Hubungan jumlah rasio volume pelarut (v/v) dengan lamanya waktu ekstraksi terhadap kemurnian gliserol yang dihasilkan dapat dilihat dalam grafik berikut ini. Ekstraksi dilakukan pada kondisi suhu 70°C dan pengadukan 200 rpm dengan variasi waktu dan juga rasio volume pelarut (v/v) yang digunakan.



Gambar 2. Hubungan Rasio Volume pelarut (v/v) dan Waktu Ekstraksi Terhadap Kemurnian Gliserol

Untuk meningkatkan kadar gliserol, maka perlu dilakukan ekstraksi pelarut setelah dilakukan tahap asidifikasi [19]. Dari grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan kloroform sebagai pelarut dalam ekstraksi gliserol, dengan rasio pelarut yang rendah, dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk mendapatkan kadar gliserol yang terbaik. Dan dengan rasio pelarut yang lebih tinggi, hanya dibutuhkan waktu ekstraksi yang singkat. Namun, dengan rasio volume pelarut (v/v) 1:2, ekstraksi gliserol dengan pelarut kloroform tidak efektif lagi karena menyebabkan penurunan kadar gliserol. Dapat dilihat dari rendahnya kadar gliserol yang didapat dengan rasio volume pelarut (v/v) 1:2 untuk berbagai kondisi waktu reaksi.

Penggunaan pelarut non polar menyebabkan tidak adanya kehilangan kandungan gliserol dibandingkan dengan penggunaan pelarut polar. Namun menimbulkan adanya kandungan air dalam ekstrak gliserol [7]. Pada penggunaan pelarut polar, yaitu metanol, didapat bahwa kondisi terbaik untuk ekstraksi adalah dengan rasio volume pelarut (v/v) 1:2 dengan waktu ekstraksi yang sama. Hunsom, dkk (2013) dalam penelitiannya memperoleh bahwa dengan menggunakan pelarut heksana dan dietil eter, terjadi peningkatan kadar gliserol seiring bertambahnya rasio pelarut, walapun hanya terjadi sedikit peningkatan [16]. Perbedaan rasio terbaik yang didapatkan dikarenakan kondisi perlakuan dan jenis pelarut yang berbeda dengan yang digunakan oleh peneliti karena jenis dan rasio pelarut yang digunakan sangat berpengaruh dalam pemurnian gliserol untuk meningkatkan kadar gliserol.

Karakteristik Gliserol Murni

Dari tabel 2 berikut ini dapat dilihat perbandingan antara karakteristik *crude* gliserol dan gliserol yang telah dimurnikan, serta standard gliserol yang ditetapkan berdasarkan *British Standard* 2621 : 1979.

Tabel 2. Sifat Fisika *Crude* Gliserol, Gliserol Hasil Pemurnian, dan Gliserol Standard

Sifat Fisika	*Crude* Gliserol	Gliserol Standard BS 2621 : 1979 [3]	Gliserol Hasil Pemurnian
Warna	Kuning Kecoklatan	Bening	Bening
Kadar Gliserol	74,7161 %	>80%	90,9082 %
Densitas	1,2 gr/cm^3	1,2671 gr/ cm^3	1,2710 gr/ cm^3
Kadar abu	12%	<10%	8%
Kadar air	1,98%	<10%	0,2183 %
MONG	11,3099 %	<2,5%	1,1357 %

Dapat dlihat dari tabel diatas, bahwa gliserol hasil pemurnian dalam penelitian ini telah memenuhi standard yang ditetapkan untuk gliserol komersil. Maka metode yang telah dipilih cukup efektif untuk memurnikan *crude* gliserol sisa pembuatan biodiesel, dimana *crude* gliserol dengan kemurnian 74,7161 % meningkat menjadi 90,9082 %.

.

Kesimpulan

Hasil kemurnian tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 90,9082% yang diperoleh pada rasio volume pelarut (v/v) 1:1 dengan lama esktraksi 60 menit. Hasil analisa gliserol yang sudah dimurnikan baik densitas, kadar air, kadar abu, kadar gliserol dan juga

MONG (*Matter Organic Non Glycerol*) memenuhi standard gliserol komersil berdasarkan *British Standard* 2621 : 1979.

Daftar Pustaka

[1] A. Javani, M. Hasheminejad, K. Tahvildari and M. Tabatabaei, High quality potassium phosphate production through step-by-step glycerol purification: a strategy to economize biodiesel production. Biores. Technol, 104: 788-790, 2012.

[2] Aziati, A.A Nik Nor, A M. Sakinah. Review: glycerol residue and pitch recovered from oleo chemical and biodiesel waste industries, 2012.

[3] E. N. Hidawati and A. M. M. Sakinah, Treatment of glycerin pitch from biodiesel production, International Journal of Chemical and Environmental Engineering, Vol. 2, No. 5, 2011.

[4] Fan X H, Burton R, Zhou Y C, Glycerol (by product of biodiesel production) as a source for fuels and chemicals-mini review, The Open Fuels and Energy Science Journal, 17–22, 2010.

[5] Gu, Yanlong, F. Jerome. Glycerol as a sustainable solvent for green chemistry, Green Chem, 12, 1127–1138, 2010.

[6] H. Mali, P. Saila, P. Chaiyakam, W. Kositnan, Comparison and combination of solvent extraction and adsorption for crude glycerol enrichment, International Journal Of Renewable Energy Research, Vol. 3, No. 2, 2013.

[7] I. C. Andrade, E. A Moreno, J. F. Sierra-Cantor, C. A. Guerrero-Fajardo, J. R. Sodré, Purification of glycerol from biodiesel production by sequential extraction monitored by H NMR, *Fuel* Processing Technology, 132, 99-104, 2015.

[8] Isahak, N. R Wan, Z. A. C Ramli, M. Ismail, J. M. Jahim, M. A Yarmo. Recovery and purification of crude glycerol from vegetable oil transesterification: a review, Separation and Purification Reviews, 2014.

[9] J Thompson, He B, Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks, Appl Eng Agric, 22:261, 2006.

[10] J. V. Gerpen, Biodiesel processing and technology, Fuel Processing Technology, 86: 1097 – 1107, 2005.

[11] Johnson, D. T. and K. A. Taconi, The glycerin glut: options for the value-added conversion of crude glycerol resulting from biodiesel production. Eng. Prog., 26: 338-346. 2007.

[12] Kolesarova N, Hutnan M, Bodık I, Spalkova V, Review article, utilization of biodiesel by-products for biogas production, J Biomed Biotechnol, 2011.

[13] Kongjao S, Damronglerd S, Hunsom M, Purification of crude glycerol derived from waste used-oil methyl ester plant, Korean J Chem Eng, 27 : 944–9, 2010.

[14] L. Bingchuan, K. Christiansen, R. Parnas, Z. Xu, B. Li, Optimizing the production of hydrogen and 1,3- propanediol in anaerobic fermentation of biodiesel glycerol, International Journal of Hydrogen Energy, 38, 3196-3205, 2013.

[15] Lestari, M. Arsa, I. W. Suirta, Pengaruh konsentrasi asam fosfat dan berat semen putih sebagai adsorben dalam pemurnian crude gliserol, Jurnal Kimia 9 (2), 279-288, 2015.

[16] M. Hunsom and C. Autthanit, Adsorptive purification of crude glycerol by sewage sludge-derived activated carbon prepared by chemical activation with H_3PO_4, K_2CO_3 and KOH, Chemical Engineering Journal, 229, 334-343, 2013.

[17] M.S Ardi, M. K. Aroua, N. A. Hashim, Progress, prospect and challenges in glycerol purifcation process : a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 42, 1164-1173, 2015.

[18] Nanda, M. R., Yuan Z, Qin W, Poirier MA dan Chunbao X, Purification of crude glycerol using acidification: effects of acid types and product characterization, Research Article Austin Chemical Engineering, Department of Chemical and Biochemical, Western University, London, 2014.

[19] R Manosak, S. Limpattayanate, M. Hunsom. Sequential-refining of crude glycerol derived from waste used – oil methyl ester plant via a combined process of chemical and adsorption, Fuel Process Techno, 92 : 92–9, 2011.

[20] Seokhyeon Oh dan Chulhwan Park, Enzymatic Production Of Glycerol Acetate From Glycerol, Enzyme and Microbial Technology 69 19–23, 2015.

[21] Tan, H. W, A. R. Abdul Aziz dan M.K Aroua, Glycerol production and its applications as a raw material: a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27, 118–127, 2013.

[22] U. Rahmi, Skripsi, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, 2002.

[23] X Yang, G. Xiao, and A.Varma, A universal procedure for crude glycerol purification from different feedstocks in biodiesel production: experimental and simulation

study, Industrial and Engineering Chemistry Research, 1520-5045, 2013.

[24] Yong K, Ooi T, Dzulkefly K, Wan Yunus W, Hazimah A, Characterization of glycerol residue from a palm kernel oil methyl ester plant, J Oil PalmRes, 13(2):1–6, 2001.