

Tinjauan Unjuk Kerja Sintesis Gliserol Karbonat Melalui Reaksi Karbonilasi Gliserol Dengan Urea

Gema Fitriyano^{1*}, Sukirno², Sarah Fauziah¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta 10510, Indonesia

²Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

*Corresponding Author : gema.fitriyano@ftumj.ac.id

Abstrak

Penelitian terkait sintesis gliserol karbonat dari gliserol dan urea terus berkembang dengan kondisi operasi yang bervariasi dan penggunaan katalis yang berbeda. Hasil dari masing-masing penelitian menampilkan unjuk kerja sintesis dengan karakteristik produk yang beragam. Perkembangan tersebut memicu perlunya dilakukan penyelarasan informasi agar dapat dengan mudah menampilkan perbandingan memakai unit yang seragam dengan cara merangkum hasil dari beberapa penelitian terdahulu. Pada tinjauan ini dilakukan analisis dari beberapa hasil penelitian terdahulu, uraian ini terkait perbandingan produk dari reaksi karbonilasi gliserol dengan urea yang menggunakan katalis yang berbeda dan kondisi operasi yang variatif. Selain hal tersebut, ulasan ini juga membahas informasi tentang faktor yang mempengaruhi performa reaksi karbonilasi gliserol dari beberapa penelitian terkait. Berdasarkan kajian ini dapat disimpulkan bahwa katalis yang menampilkan unjuk kerja terbaik pada sintesis gliserol karbonat melalui reaksi karbonilasi gliserol dengan urea adalah Zn/Al/HTC dengan *yield* 92%.

Kata kunci: gliserol, urea, reaksi karbonilasi, gliserol karbonat

Abstract

Research related to the synthesis of glycerol carbonate from glycerol and urea continues to develop with varied operating conditions and the use of different catalysts. The results of each works show synthesis performance with diverse product characteristics. These developments trigger the need for information alignment to easily display comparisons with uniform units, by summarizing the results of several previous studies. In this review an analysis of some of the previous studies results is carried out, this description relates to the comparison of products from the carbonylation of glycerol with urea using different catalysts and varied operating conditions. Beside that, in this review also discusses information about factors that influence the performance of glycerol carbonylation from several related studies. Based on this study, it can be concluded that the catalyst that show the best performance in the synthesis of glycerol carbonate through carbonylation of glycerol with urea is Zn / Al / HTC with a yield of 92%.

Keywords : glycerol, urea, carbonylation reaction, glycerol carbonate

PENDAHULUAN

Gliserol karbonat merupakan salah satu produk turunan gliserol yang memiliki nilai tambah yang cukup tinggi. Harga 25 gram gliserol karbonat dengan kemurnian 90% mencapai 58 Dollar Amerika atau berdasarkan kurs bulan Juli 2019 nilai tersebut setara dengan Rp. 810.000. (Tokyo Chemical Industry Co. Ltd., 2019)

Jika dibandingkan dengan gliserol teknis dengan kemurnian 98% yang harga satu literanya sekitar Rp. 215.000. (Toko Ilmu Kimia, 2019)

Gliserol karbonat sangat menjanjikan untuk diteliti dan dikembangkan teknologi produksinya. Perbandingan harga jual gliserol karbonat dengan jumlah yang sama jauh lebih tinggi sekitar dua ratus kali lipat dari harga gliserol.

Sudah banyak penelitian yang menjelaskan bahwa gliserol sangat berlimpah produksinya. Hal tersebut terjadi karena bahan ini merupakan hasil samping dari produksi biodiesel, dimana pertumbuhan produksinya

dari 2017 hingga 2027 diperkirakan meningkat sebesar 9%. (FAO, 2018)

Jalur sintesis gliserol karbonat berbahan baku gliserol memiliki banyak variasi, pilihan tersebut diantaranya reaksi karboksilasi dengan bantuan bahan baku gas karbon dioksida, jalur lainnya yaitu reaksi karboksilasi oksidatif dengan bahan baku karbon monoksida dan oksigen, selain itu ada juga reaksi phosgenasi yang tentunya menggunakan bahan baku phosgen, reaksi transesterifikasi dengan bantuan etilen karbonat atau dimetil karbonat juga menjadi pilihan yang banyak diteliti, serta yang terkahir reaksi gliserolisis atau juga dikenal sebaga reaksi karbonilasi menggunakan bahan baku urea. (Ochoa-Gómez, et al., 2012; Sonnati et al., 2013)

Saat ini secara komersil produksi gliserol karbonat lebih didominasi melalui reaksi transesterifikasi dikarenakan lebih ramah lingkungan dan memiliki risiko kecil dalam penanganan serta menghasilkan produk samping yang tidak berbahaya. (Teng, 2014)

Akan tetapi belakangan ini penelitian dan pengembangan terkait produksi gliserol karbonat melalui reaksi gliserolisis dengan urea juga mulai berkembang. Hal tersebut disebabkan harga bahan baku etilen karbonat atau dimetil karbonat yang cukup tinggi jika sintesis dilakukan melalui jalur reaksi transesterifikasi.

Penelitian sintesis gliserol karbonat melalui jalur gliserolisis dengan urea memiliki kelebihan dan kekurangan yang harus ditelaah bersumber dari beberapa hasil penelitian terkait yang telah dicapai hingga saat ini.

Proses penyeragaman unit perlu dilakukan agar mempermudah penyamaan persepsi sehubungan data hasil beberapa penelitian terdahulu agar memudahkan penelitian berikutnya untuk meningkatkan performa produk dan mencegah terjadinya kesalahan yang sama dengan peneliti terdahulu terkait pemilihan katalis maupun kondisi operasi.

Pada ulasan ini akan dibahas unjuk kerja dari reaksi karbonilasi gliserol dengan urea yang menggunakan katalis yang berbeda dan kondisi operasi yang variatif. Selain hal tersebut, ulasan ini juga membahas informasi tentang faktor

yang mempengaruhi performa reaksi karbonilasi gliserol dari beberapa penelitian terkait.

METODE

Metode penulisan karya ilmiah dalam bentuk tinjauan dilakukan dengan mengutip artikel ilmiah seperti jurnal, prosiding, data teknik dan paten terkait sintesis gliserol karbonat melalui reaksi karbonilasi gliserol dengan urea.

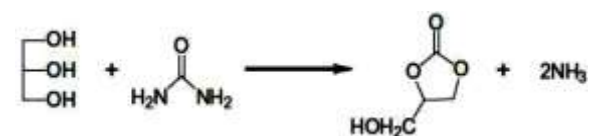
Cara analisis data dilakukan penyelarasan unit dari masing-masing hasil penelitian sebelumnya sehingga akan didapatkan tampilan tabel yang lebih mudah untuk dibandingkan dan dibahas lebih lanjut.

Penyelarasan yang dilakukan diantaranya penyamaan satuan suhu, tekanan, massa, mol, konversi, selektivitas dan yield. Selain itu juga dilakukan penyelarasan informasi seperti metode analisis dan informasi lainnya.

Penyelarasan tersebut bertujuan agar dapat mempermudah dalam melakukan perbandingan antara metode dan jenis katalis. Dimana informasi tersebut akan sulit dibandingkan jika langsung membaca masing-masing artikel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi karbonilasi gliserol dengan urea telah ditampilkan pada berbagai artikel ilmiah terkait, adapun mekanisme reaksinya adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Reaksi karbonilasi gliserol dengan urea

Mengacu pada artikel ilmiah, dilakukan pengumpulan data dan informasi menjadi rangkuman dengan kondisi operasi yang sudah disetarakan. Rangkuman tersebut ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 1. Perbandingan kondisi operasi dan katalis reaksi karbonilasi gliserol dengan urea dari beberapa penelitian terdahulu

No	Peneliti, tahun	Kondisi Operasi	Analisis Produk	Katalis	Unjuk Kerja (K, S, Y)	
1	(Kondawar, 2017)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1 Rasio katalis ^a = 5% massa Waktu = 5 jam Suhu = 140 °C Tekanan = 1 atm Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> • Massa gliserol 4.6 g • Massa urea 3.08 g • Laju Nitrogen 20 mL/jam 	GC Shimadzu 2025 (konversi gliserol) ^f Titrasi volumetric dengan HCl 0.5 M (gas ammonia terbentuk)	MCM-41 ^b	K = 51% S = 92% Y = 47%	
				10% Zn/MCM-41	K = 84 % S = 98 % Y = 82 %	
				5% Zn/SiO ₂	K = 20% S = 97% Y = 19%	
				5% Zn/Al ₂ O ₃	K = 50% S = 67% Y = 33%	
				5% Zn/ZrO ₂	K = 57% S = 67% Y = 38%	
2	(Claude, 2000)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1 Rasio katalis ^a = 8.6% massa Waktu = 2 jam Suhu = 150°C Tekanan = 0.039 atm Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> • Massa gliserol 27.6 g • Massa urea 18 g • Ammonia terbentuk dibuang menggunakan pompa vakum 	Kromatografi gas pada “Carbo Wax 20 M” kolom kapiler (12 m) dengan tetraethylene glykol sebagai standar internal. (Yield gliserol karbonat)	MnSO ₄ (terkalsinasi 450°C, selama 3 jam)	K = - S = - Y = 61%	
					Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1 Rasio katalis ^a = 2.7% massa Waktu = 6 jam Suhu = 150°C Tekanan = 0.039 atm Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> • Massa gliserol 27.6 g • Massa urea 18 g • Ammonia terbentuk dibuang menggunakan pompa vakum 	K = - S = - Y = 73%
						Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1 Rasio katalis ^a = 8.6% massa Waktu = 2 jam Suhu = 150°C Tekanan = 0.039 atm Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> • Massa gliserol 27.6 g • Massa urea 18 g • Ammonia terbentuk dibuang menggunakan pompa vakum
		FeSO ₄ ·7H ₂ O		K = - S = - Y = 37%		
		ZnSO ₄ (terkalsinasi 550 °C, selama 3 jam)		K = - S = - Y = 80%		
		3		(OKUTSU, 2005)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1	kromatografi gas

		Rasio katalis ^a = 10% massa Waktu = 6 jam Suhu = 120-14°C Tekanan = 1 atm Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> • Massa gliserol 92 g • Massa urea 60 g Mengalirkan gas nitrogen selama rekasi			Y = 66%
		Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1 Rasio katalis ^a = 7.6% massa Waktu = 6 jam Suhu = 120°C Tekanan = 1 atm Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> • Massa gliserol 92 g • Massa urea 60 g Mengalirkan gas nitrogen selama rekasi		ZnO	K = 62% S = 93% Y = 57%
4	(Hammond, 2011)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1.5 Rasio katalis ^a = 1.8% massa Waktu = 4 jam Suhu = 150°C Tekanan = 1 atm Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> • Massa gliserol 13.8 g • Massa urea 13.5 g Mengalirkan gas nitrogen selama rekasi	NMR Bruker DPX 500 (yield gliserol karbonat) ^h Jasco FTIR660 Plus (konversi gliserol) ^j	ZnSO ₄ MgO 2.5wt% Au/ZnO 2.5wt% Au/MgO 2.5wt% Au/TiO ₂ 2.5wt% Au/SiO ₂	K = 83% S = 58% Y = 48% K = 69% S = 37% Y = 26% K = 88% S = 56% Y = 49% K = 81% S = 68% Y = 56% K = 77% S = 37% Y = 29% K = 73% S = 29% Y = 23%
5	(OPRESCU, 2012)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1.05 Rasio katalis ^a = 5% massa Waktu = 4 jam Suhu = 140°C Tekanan = 0.059 atm Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> • Rasio Zn/Al = 3/1 • Ammonia terbentuk dibuang menggunakan pompa vakum 	GC-MS/MS (analisis katalis Zn-Al-SO ₄) ⁱ	Zn/Al/HTC ^c	K = 93% S = 98% Y = 92%
6	(Chen et al., 2015)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1.5 Rasio katalis ^a = 1.8% massa Waktu = 4 jam Suhu = 150°C	H-NMR (Konversi & Yied) ^h	[EMIm][PF6] ^d	K = 62% S = 75% Y = 47%

		Tekanan = 1 atm Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> Mol gliserol 50 mmol Mol urea 75 mmol Mengalirkan gas nitrogen selama rekasi 		[HOEMIm][PF6] ^c	K = 71% S = 66% Y = 47%
7	(Sukirno, 2018)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1 Rasio katalis ^a = 5% massa Waktu = 3 jam Suhu = 160°C Tekanan = 1 atm Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> Ammonia terbentuk tidak dibuang 	GC-MS (konversi) ^g Titration volumetric dengan HCl 0.5 M (gas ammonia terbentuk)	CaO	K = 92% S = - Y = -
8	(Adhitasari, 2017)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 1 : 1 Rasio katalis ^a = 5% Waktu = 5 jam Suhu = 130°C Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> Ammonia terbentuk tidak dibuang 	Metode titrasi iodometri (Analisis gliserol bebas)	Resin Indion 225 Na	K = 48% S = - Y = -
9	(Senania, 2017)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 0.5: 1 Rasio katalis ^a = 3% Waktu = 5 jam Suhu = 120°C Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> Ammonia terbentuk tidak dibuang 	Metode titrasi dengan Na ₂ SO ₃ (Analisis kuantitatif gliserol bebas) GC-MS (Analisis kualitatif) ^g	Amberlyst 36	K = 55% S = - Y = -
10	(Suyatmo, 2017)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 0.5: 1 Rasio katalis ^a = 3% Waktu = 5 jam Suhu = 120°C Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> Ammonia terbentuk tidak dibuang 	Metode titrasi dengan Na ₂ SO ₃ (Analisis kuantitatif gliserol bebas) GC-MS (Analisis kualitatif) ^g	Amberlyst 15	K = 62% S = - Y = -
11	(Damayanti, 2012)	Rasio mol bahan baku reaksi (gliserol : urea) = 2.36 : 2.83 Rasio katalis ^a = 5% Waktu = 4 jam Suhu = 150°C Keterangan lain = <ul style="list-style-type: none"> Ammonia terbentuk tidak dibuang 	Metode titrasi (Analisa gliserol bebas)	Ni / γAl ₂ O ₃	K = 43% S = - Y = -

Keterangan Tabel :

K = Konversi gliserol, S = Selektivitas katalis membentuk gliserol karbonat, Y = Yield gliserol karbonat

^a Rasio massa katalis = (massa katalis / massa gliserol) x 100%

^b MCM-41 = Mobil Composition of Matter No. 41

^c HTC = Hydrotalcite like

^d [EMIm][PF6] = 1-Ethyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate

^e [HOEMIm][PF6] = 1-(2-Hydroxyethyl)-3-methylimidazolium hexafluorophosphate

^f GC = Gas chromatography

^g GC-MS = *Gas chromatography–mass spectrometry*

^h NMR = *Nuclear magnetic resonance*

ⁱ GC-MS/MS = *Gas chromatography coupled to tandem mass spectrometry*

^j FTIR = *Fourier-transform infrared spectroscopy*

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang telah ditampilkan pada tabel di atas, katalis yang menampilkan unjuk kerja yang optimum diantaranya Zn/Al/HTC dengan *yield* 92%, 10% Zn/MCM-41 dengan *yield* 82%, ZnSO₄ (terkalsinasi 550°C, selama 3 jam) dengan *yield* 80%, dan MnSO₄ (terkalsinasi 450°C, selama 3 jam) dengan *yield* 73%.

Kondisi operasi yang lebih dipilih dari adalah pada rentang suhu 140°C sampai 150°C, waktu reaksi antara 2 sampai 6 jam, tekanan vakum antara 0.039 atm sampai 0.059 atm atau menggunakan aliran gas N₂ dengan laju alir 20 mL/jam.

Rasio massa katalis terhadap gliserol lebih dipilih antara 2.7% sampai 8.6%. Pemilihan rasio mol bahan baku gliserol dengan urea antara 1 : 1 hingga 1 : 1.05 lebih disukai.

Pemilihan metode analisis produk dan katalis menjadi penting untuk diperhatikan agar didapatkan karakteristik produk dan untuk kerja yang akurat dan sesuai kebutuhan.

Dari beberapa metode analisis pada tabel dapat dilihat bahwa metode NMR dan GC-MS dipilih untuk penentuan *yield* gliserol karbonat yang terbentuk.

Adapun metode FTIR, GC dan titrasi digunakan untuk menentukan nilai konversi berdasarkan bahan baku gliserol atau urea yang tersisa, dapat juga dengan menentukan jumlah gas amonia yang terbentuk.

Beberapa faktor yang harus diperhatikan pada sintesis gliserol karbonat melalui reaksi karbonilasi gliserol dengan urea diantaranya :

1. Temperatur reaksi

Suhu lebih tinggi (di atas 160°C) mengakibatkan gliserol yang sudah terkonversi lebih selektif untuk menjadi produk samping sehingga *yield* gliserol karbonat menjadi sedikit menurun dibandingkan suhu 120°C.

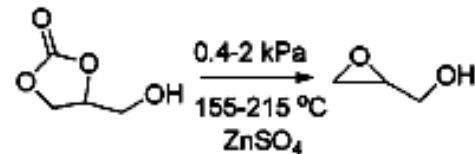
Nilai konversi gliserol meningkat antara 56% hingga 95% seiring kenaikan suhu reaksi pada rentang 120 -160 °C. (Kondawar et al., 2017)

2. Pembentukan produk samping

100 g gliserol karbonat ditambah 10 g NaSO₄ direaksikan pada suhu 200 – 210°C dengan tekanan rendah 0.033 atm dengan pengadukan terus menerus akan didapatkan *glycidol* dengan *yield* 85%.

Suhu tinggi dan tekanan rendah akan mengakibatkan gliserol karbonat yang sudah terbentuk akan terkonversi menjadi *glycidol*. (Hammond et al., 2011)

Cara lainnya menggunakan katalis ZnSO₄ pada tekanan 0.004 hingga 0.02 atm dengan rentang suhu antara 155 sampai 215°C, reaksi pembentukan *glycidol* ditampilkan pada gambar berikut :



Gambar 2. Sintesis *glycidol* dari gliserol karbonat (Bai et al., 2013)

3. Dampak keberadaan gas ammonia

Keberadaan gas ammonia pada reaktor menyebabkan terbentuknya produk samping yaitu (*R*)-4-Hydroxymethyloxazolidine-2-one. (Sukirno, 2018)

Oleh karena hal itu maka reaktor harus dipasangkan pompa vakum atau dialirkan gas nitrogen selama reaksi berlangsung untuk membuang gas ammonia yang terbentuk. (Claude, 2000)

Aliran gas N₂ pada labu reaksi jika terlalu banyak tidak memberikan dampak terhadap peningkatan selektivitas dan hanya akan terbuang. Laju alir N₂ optimum 20 mL/jam dengan selektivitas 98%. (Kondawar et al., 2017)

4. Karakteristik katalis

Katalis Zn/Al/HTC yang disintesis pada penelitian tersebut tidak larut dalam gliserin dan gliserol karbonat. Memungkinkan untuk menggantikan ZnO atau ZnSO₄ yang sulit didaur ulang, yang biasanya digunakan sebagai katalis pada reaksi sintesis gliserol karbonat. (OPRESCU et al., 2012)

Beberapa katalis dari penelitian terdahulu menunjukkan unjuk kerja yang kurang memuaskan. Kondisi tersebut dapat dimungkinkan karena belum tercapainya kondisi operasi yang optimum dari masing-masing jenis katalis.

SIMPULAN DAN SARAN

Berbagai jenis katalis yang digunakan untuk sintesis gliserol karbonat dengan nilai *yield* yang tinggi melalui reaksi karbonilasi gliserol dengan urea diantaranya MnSO_4 (terkalsinasi 450°C , selama 3 jam) *yield* 73%, ZnSO_4 (terkalsinasi 550°C , selama 3 jam) *yield* 80%, 10% Zn/MCM-41 *yield* 82% dan Zn/Al/HTC *yield* 92%.

Hal yang perlu menjadi perhatian adalah penerapan dari kondisi operasi pada produksi gliserol karbonat sangat tergantung pada jenis katalis yang digunakan. Kondisi operasi optimum berada pada rentang suhu $140 - 150^\circ\text{C}$, tekanan $0.039 - 0.059$ atm, waktu reaksi $4 - 5$ jam dan rasio katalis $2.7 - 8.6\%$.

Pemilihan metode analisis menentukan keberhasilan sintesis gliserol karbonat melalui jalur ini, metode titrasi hanya mampu menunjukkan jumlah gliserol yang terkonversi atau gas ammonia yang terbentuk.

Untuk melakukan konfirmasi secara kualitatif dan kuantitatif produk hasil reaksi harus diuji menggunakan metode NMR atau GC-MS, serta datanya dibandingkan dengan hasil dari sampel gliserol karbonat standar komersil.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta dalam pendanaan publikasi karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adhitasari, A., Sulistyono, H., & Prasetya, A. (2017). Sintesis Gliserol Karbonat dari Gliserol dan Urea Menggunakan Katalis Resin Indion 225 Na. *Reaktor*, 17(3), 139–143.

Bai, R., Zhang, H., Mei, F., Wang, S., Li, T., Gu, Y., ... Guangxing. (2013). One-pot synthesis of glycidol from glycerol and dimethyl carbonate over a highly efficient

and easily available solid catalyst NaAlO_2 . *Green Chemistry*, 15, 2929–2934.

Chen, J., Wang, C., Dong, B., Leng, W., Huang, J., Ge, R., & Gao, Y. (2015). Ionic liquids as eco-friendly catalysts for converting glycerol and urea into high value-added glycerol carbonate. *Chinese Journal of Catalysis*, 36(1), 336–343.

Claude, S., Mouloungui, Z., Yoo, J.-W., & Gaset, A. (2000). 6,025,504. France: United States Patent.

Damayanti, O., Gustanti, Y., & Roesyadi, A. (2012). Pembuatan Gliserol Karbonat Dari Gliserol Dengan Katalis Berbasis Nikel. *JURNAL TEKNIK ITS*, 1(1), F30–F33.

FAO. (2018). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027 (Chapter 9 Biofuels)*. Retrieved from http://www.fao.org/3/i9166e/i9166e_Chapter9_Biofuels.pdf

Hammond, C., Lopez-Sanchez, J. A., Rahim, M. H. A., Dimitratos, N., Jenkins, R. L., Carley, A. F., ... Hutchings, G. J. (2011). Synthesis of glycerol carbonate from glycerol and urea with gold-based catalysts. *Dalton Transactions (An International Journal of Inorganic Chemistry)*, 40(15), 3761–3996.

Kondawar, S. E., Mane, R. B., Vasishtha, A., More, S. B., Dhengale, S. D., & Rode, C. V. (2017). Carbonylation of glycerol with urea to glycerol carbonate over supported Zn catalysts. *Appl Petrochem Res*, 7, 41–53.

Ochoa-Gómez, J., Gómez-Jiménez-Aberasturi, O., Ramírez-López, C., & Belsué, M. A. (2012). Ochoa-Gómez JR, Gómez-Jiménez-Aberasturi O, Ramírez-López C, Belsué M. A brief review on industrial alternatives for the manufacturing of glycerol carbonate, a green chemical. *Org Process Res Dev*, 16, 389–399.

OKUTSU, M., & KITSUKI, T. (2005). *EP 1 156 042 B1*. EUROPEAN PATENT.

OPRESCU, E.-E., STEPAN, E., ROSCA, P., RADU, A., & ENASCUTĂ, C.-E. (2012). Synthesis of Glycerol Carbonate over Hydrotalcite Catalyst. *Revista de Chimie*, 63(6), 621–625.

Senania, A., Sulistyono, H., & Prasetya, A. (2017). The Synthesis of Glycerol Carbonate from Biodiesel Byproduct Glycerol and Urea over Amberlyst 36. *Jurnal Bahan Alam*

- Terbarukan*, 6(1), 1–5.
<https://doi.org/10.15294/jbat.v6i1.7691>
- Sonnati, M., Amigoni, S., Taffin de Givenchy, E., Darmanin, T., Choulet, O., & Guittard, F. (2013). Glycerol carbonate as a versatile building block for tomorrow: synthesis, reactivity, properties and applications. *Green Chem*, 15, 283–306.
- Sukirno, & Fitriyano, G. (2018). Carbonylation Reaction between Glycerol and Urea using CaO Catalyst. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 21(4), 211–217.
- Suyatmo, R. I. D., Sulistyono, H., & Sediawan, W. B. (2017). The Synthesis of Glycerol Carbonate from Biodiesel By product Glycerol and Urea over Amberlyst 15. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 6(2), 143–149.
<https://doi.org/10.15294/jbat.v6i2.8904>
- Teng, W. K., Ngoh, G. C., Yusoff, R., & Aroua, M. K. (2014). A review on the performance of glycerol carbonate production via catalytic transesterification: Effects of influencing parameters. *Energy Conversion and Management*, 88, 484–497.
- Toko Ilmu Kimia. (2019). Harga Bahan Kimia. Retrieved July 17, 2019, from <http://www.ilmukimia.co.id/p/harga-bahan-kimia.html>
- Tokyo Chemical Industry Co. Ltd. (2019). Glycerol 1,2-Carbonate (CAS RN : 931-40-8 Product Number : G0279). Retrieved July 17, 2019, from <https://www.tcichemicals.com/eshop/en/ap/commodity/G0279/>