



Pengaruh Jumlah Katalis CaO terhadap Karakteristik Produk pada Sintesis Gliserol Karbonat

Gema Fitriyano*, Syamsudin A. B., Adiwarna Adiwarna, Sarah Fauziah

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

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

DOI: 10.20961/alchemy.16.2.38375.211-217

Received 24 December 2019, Accepted 29 June 2020, Published 01 September 2020

Kata kunci:

CaO;
gliserol;
gliserolisis;
urea.

ABSTRAK. Senyawa gliserol karbonat merupakan turunan gliserol yang saat ini masih berkembang pemanfaatannya. Sintesis gliserol karbonat menggunakan gliserol dan urea menjanjikan untuk diaplikasikan karena bahan baku yang lebih mudah didapatkan, penanganan lebih sederhana dan lebih murah dibandingkan proses sintesis lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi terhadap produk hasil reaksi gliserolisis urea yang dioperasikan pada kondisi operasi suhu 140 °C, tekanan 0,7 atm selama 4 jam dengan variasi jumlah katalis CaO 1, 2, 3, 4, dan 5% mol. Bahan hasil reaksi dianalisis gugus fungsinya menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* dan komposisi senyawanya menggunakan instrumen *Gas Chromatography Mass Spectrophotometry (GC-MS)*. Analisis yang dilakukan terhadap produk menyimpulkan bahwa kondisi optimum diperoleh dari hasil reaksi gliserolisis urea dengan jumlah penggunaan katalis 5% mol dengan menghasilkan nilai konversi 23%.

Keywords:

CaO;
glycerol;
glycerolysis;
urea.

ABSTRACT. The Influence of the Catalyst Amount of CaO on the Product Characteristics in Glycerol Carbonate Synthesis. Glycerol carbonate is a glycerol derivative that is currently still developing its use. The synthesis of glycerol carbonate using glycerol and urea promises to be applied because raw materials are easier to obtain, handling is simpler and cheaper than other synthesis processes. This study aims to characterize the product of the urea glycerolysis reaction in the operating conditions of 140 °C, the pressure of 0,7 atm for 4 hours with variation in the amount of CaO catalyst 1, 2, 3, 4, and 5% mol. Characterization of the reaction products was analyzed by functional groups using the FTIR instrument and compound composition analysis using the GC-MS instrument. The product analysis concluded that the optimum condition was obtained from the reaction of urea glycerolysis with 5% mol catalyst resulting in a conversion of 23%.

PENDAHULUAN

Gliserol karbonat merupakan bahan yang memiliki dua gugus fungsi, dimana keduanya menjadikan bahan ini dapat berperan sebagai pelarut berbagai bahan organik atau bahan anorganik (diaplikasikan pada industri kosmetik, cat, dan akumulator). Pelarut polar protik ini sangat diminati karena bersifat tidak beracun dan memiliki titik didih yang tinggi (Claude *et al.*, 2000). Perkembangan penelitian dan produksi gliserol karbonat masih terus berlanjut untuk mendapatkan jenis katalis dan kondisi operasi yang optimum. Beberapa pilihan bahan baku untuk sintesis gliserol karbonat diantaranya fosgen, urea, karbon dioksida, alkil karbonat, dan dialkil karbonat. Salah satu reaksi yang saat ini diminati untuk dijalankan adalah reaksi gliserolisis urea karena menggunakan bahan baku yang harganya relatif lebih murah dan mudah didapatkan.

Akan tetapi terdapat tantangan saat melakukan reaksi gliserolisis urea dimana gas amonia yang terbentuk harus dikeluarkan dari sistem, hal ini bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terbentuknya produk samping senyawa siklik yang mengandung nitrogen seperti (*R*)-4-Hydroxymethylloxazolidine-2-one (Sukirno and Fitriyano, 2018). Ada dua cara menghilangkan gas amonia yaitu dengan mengalirkan gas nitrogen secara konstan dengan laju alir 20 mL/jam atau dilakukan pembuangan menggunakan pompa vakum dengan tekanan 0,039 – 0,059 atm untuk mendapatkan hasil yang optimum (Claude *et al.*, 2000).

Tantangan lain muncul dari metode analisis produk untuk memastikan gliserol karbonat sudah terbentuk dan memperlihatkan jumlah produk yang dihasilkan. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk analisis gliserol karbonat diantaranya adalah menggunakan *NMR (Nuclear Magnetic Resonance)* dimana spektrum sampel akan dibandingkan dengan data literatur spektrum bahan (Chiappe and Rajamani, 2012). Metode lain adalah menggunakan *GC-MS* dengan cara membandingkan spektrum *GC-MS* antara sampel dan basis data

internal pada perangkat lunak *GC-MS data analysis* yang disediakan oleh Instrumen. Suhu aliran masuk *GC-MS* harus cukup tinggi untuk memastikan semua sampel menguap sempurna, tapi tidak terlalu tinggi karena akan menyebabkan dekomposisi termal. Sebaliknya jika suhu terlalu rendah menyebabkan bahan tidak menguap sempurna dan terjadi perluasan puncak kromatografi (Stashenko *and* Martínez, 2014).

Penentuan konversi gliserol dapat dilakukan dengan beberapa pilihan, yang pertama analisis menggunakan metode titrasi iodometri untuk menentukan jumlah gliserol bebas dan dilakukan perhitungan konversi. Cara berikutnya menggunakan *FTIR* membandingkan antara sampel dengan standar yang konsentrasi bervariasi. Cara lainnya adalah dengan *GC-MS*, dimana dilakukan pengukuran jumlah gliserol yang terbaca pada hasil reaksi dengan acuan basis data pada perangkat lunak alat tersebut (Adhitasari *et al.*, 2017; Hammond *et al.*, 2011).

Kondisi operasi reaksi gliserolisis urea didapatkan dari hasil tinjauan beberapa penelitian terdahulu, dimana suhu optimum berada pada rentang suhu 140–150 °C, tekanan 0,039 – 0,059 atm, waktu reaksi 4 – 5 jam dan rasio katalis 2,7 – 8,6%. Pemilihan metode analisis memperlihatkan keberhasilan sintesis gliserol karbonat melalui reaksi gliserolisis urea, metode titrasi iodometri atau asam basa 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 data analisis dari sampel gliserol karbonat standar (Fitriyano *et al.*, 2019).

Sintesis gliserol karbonat melalui reaksi gliserolisis urea pada beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan dengan berbagai jenis katalis, salah satu diantaranya adalah MCM-41 atau *Mobil Composition of Matter No. 41* yang memiliki nilai konversi 84% dan yield 82% ketika dioperasikan pada suhu 140 °C selama 5 jam pada tekanan 1 atm dengan aliran gas nitrogen untuk mendorong keluar ammonia terbentuk dari reaktor selama reaksi berlangsung (Kondawar *et al.*, 2017). Katalis lainnya adalah $MnSO_4$ terkalsinasi yang dioperasikan pada suhu 150 °C selama 6 jam pada tekanan vakum 0,039 atm menghasilkan nilai yield 73%. Katalis $ZnSO_4$ terkalsinasi terbukti menghasilkan yield 80% telah dioperasikan pada suhu 150 °C selama 2 jam pada tekanan vakum 0,039 atm (Claude *et al.*, 2000).

Pada sintesis gliserol karbonat melalui reaksi transesterifikasi dengan bahan baku gliserol dan dimetil karbonat menggunakan katalis CaO menghasilkan konversi optimum sebesar 96%. Kondisi tersebut dicapai menggunakan katalis CaO sebesar 8% mol, dimana pada reaksi tersebut kondisi basa dijaga agar dapat meningkatkan jumlah konversi (Praikaew *et al.*, 2018). Penggunaan katalis CaO juga terbukti pada penelitian lainnya dengan nilai konversi 94% melalui reaksi transesterifikasi menggunakan bahan baku gliserol dan dimetil karbonat dengan jumlah katalis sebesar 3% mol CaO yang mengandung LiCl 10% (Teng *et al.*, 2014). Pada penelitian ini dilakukan pencarian data baru terkait dampak jumlah katalis CaO terhadap karakteristik produk gliserol karbonat. Studi ini menerapkan kondisi operasi suhu 140 °C, tekanan 0,7 atm selama 4 jam dengan variasi jumlah katalis CaO 1, 2, 3, 4, dan 5% mol terhadap mol gliserol.

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya gliserol (kemurnian 90%, tanpa merek), urea (teknis), CaO (teknis), gliserol karbonat (kemurnian > 96%, merek TCI). Peralatan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya plat pemanas dengan pengaduk magnet (merek IKA ® C-MAG HS7), labu leher tiga Pyrex 250 cc, labu erlenmeyer, termometer 250 °C, tutup labu dari karet, kondensor, pompa vakum, statif, klem, *FTIR* Agilent Cary 630, dan *GC-MS* Agilent 5973 (kondisi operasi : gas pembawa Helium 1 mL/menit, rasio split 50 : 1, suhu awal 50 °C, penigkatan suhu 20 °C/menit, suhu akhir 280 °C, waktu retensi 35 menit).

Proses Sintesis dan Pemisahan Produk

Sintesis gliserol karbonat melalui reaksi gliserolisis dengan memvariasikan jumlah katalis CaO 1, 2, 3, 4, 5% mol terhadap mol gliserol menggunakan bahan baku gliserol 51 g dan urea 30 g. Reaksi tersebut dilakukan pada suhu 140 °C, tekanan 0,7 atm selama 4 jam dengan kecepatan pengadukan level 4 pada alat IKA ® C-MAG HS7. Proses pemisahan dilakukan menggunakan kertas saring Whatman No. 93 dan corong kaca dengan wadah labu erlenmeyer. Pemisahan dilakukan selama 15 jam dimana dihasilkan padatan katalis CaO pada kertas saring dan filtrat pada labu kaca. Setelah dilakukan proses sintesis dan pemisahan bahan hasil reaksi, produk yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi. Metode analisis yang dilakukan terhadap produk diantaranya pengukuran densitas (Piknometer), gugus fungsi (*FTIR*), komposisi bahan (*GCMS – ChemStation E.02.02.1431*).

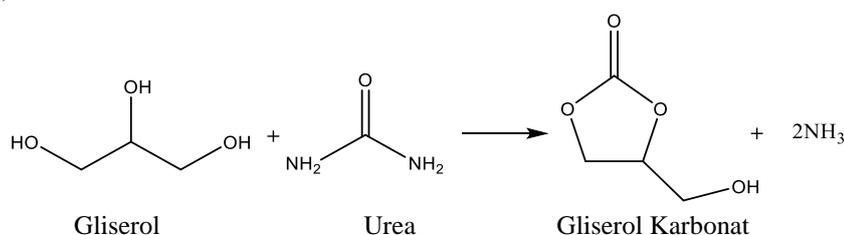
Untuk mendapatkan persen komposisi campuran, pertama-tama tambahkan semua area puncak. Kemudian, untuk menghitung persentase senyawa apapun dalam campuran, selanjutnya membagi area individualnya dengan

area total dan mengalikan hasilnya dengan 100. Metode ini sangat berguna karena memberikan hasil yang cukup akurat (Wahl *and* Gallardo-Williams, 2011). Konversi bahan pada reaksi setara dengan jumlah mol bahan yang bereaksi dibandingkan dengan jumlah mol bahan yang sama pada saat awal reaksi. Dalam penelitian ini gliserol sebagai basis konversi dihitung menggunakan persamaan 1.

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol gliserol awal} - \text{mol gliserol sisa}}{\text{mol gliserol awal}} \quad (1)$$

HASIL PEMBAHASAN

Reaksi antara gliserol dengan urea pada sintesis gliserol karbonat dapat dilihat pada Gambar 1. (Kondawar *et al.*, 2017).



Gambar 1. Reaksi gliserolisis urea.

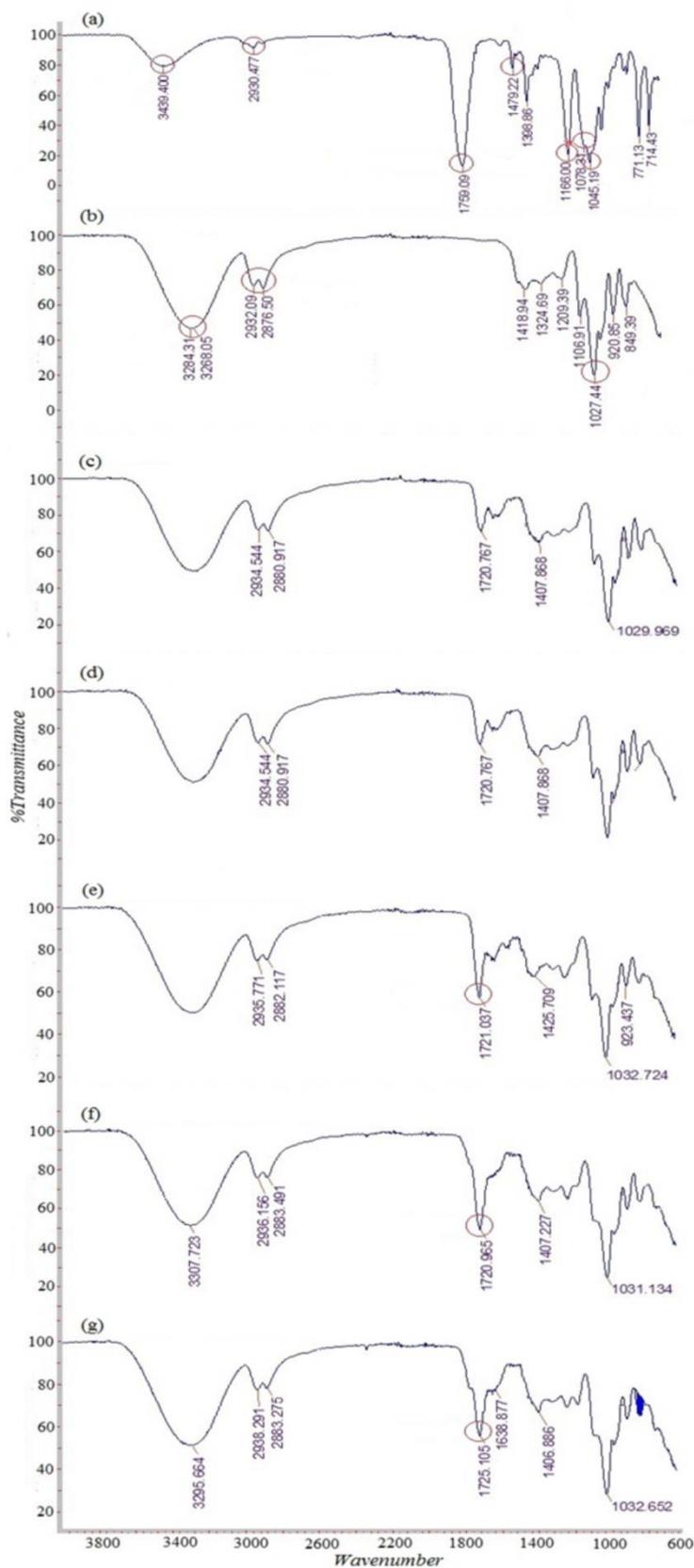
Bahan hasil reaksi dipisahkan dari katalis dengan cara penyaringan di suhu ruangan. Densitas bahan dari hasil reaksi gliserolisis urea dengan variasi katalis seperti ditampilkan pada Tabel 1. Berdasarkan referensi diketahui densitas gliserol adalah 1,261 g/mL, urea memiliki densitas sebesar 1,32 g/mL (padat), 1,11 g/mL (larutan urea 40%), 1,175 g/mL (larutan urea 70%), dan densitas gliserol karbonat komersil yaitu 1,4 g/mL. Jika dibandingkan dengan data tersebut, dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa hasil reaksi dengan katalis 2% mol merupakan bahan yang densitasnya paling mendekati gliserol karbonat yaitu dengan nilai 1,38 g/mL (CF Industries, 2015; Rossi *and* Pagliaro, 2008; TCI, 2018).

Tabel 1. Densitas bahan hasil reaksi.

Jumlah Katalis (% mol)	Densitas (g/mL)
1	1,3052
2	1,3872
3	1,2633
4	1,3124
5	1,3522

Densitas bahan hasil reaksi lebih rendah dibandingkan dengan densitas gliserol karbonat komersil hal ini dimungkinkan karena adanya gliserol yang belum terkonversi. Untuk memperlihatkan adanya gliserol yang terkonversi menjadi produk yang diinginkan yaitu gliserol karbonat maka dilakukan analisis terhadap gugus fungsi menggunakan instrumen *FTIR*. Gambar 2 merupakan spektra infra merah dari gliserol karbonat standar, gliserol standar serta bahan hasil reaksi gliserolisis urea. Spektrum *FTIR* dari gliserol karbonat standar komersil terlihat adanya gugus fungsi C=O pada bilangan gelombang 1759 cm⁻¹ dengan area yang besar, selain itu juga ada gugus fungsi C-O-C pada bilangan gelombang 1078 dan 1106 cm⁻¹ (Merck, 2019). Hasil analisis produk reaksi menggunakan spektrum *FTIR* menunjukkan bahwa pada penggunaan katalis 1 dan 2% mol memperlihatkan adanya pembentukan gugus karbonat akan tetapi areanya masih sedikit.

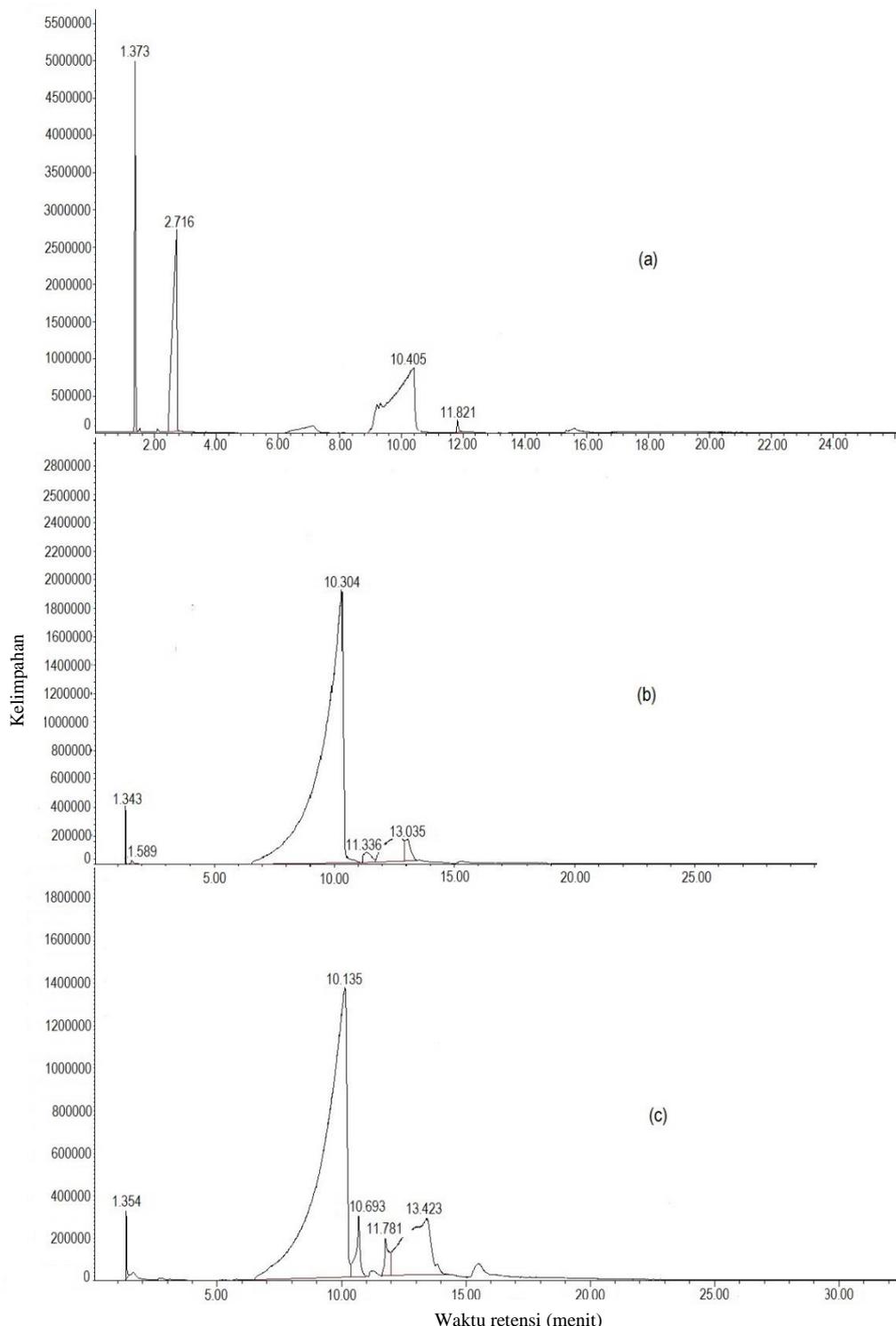
Area yang memperlihatkan terbentuknya gugus C=O lebih besar terlihat pada spektrum *FTIR* dengan bilangan gelombang 1720 hingga 1760 cm⁻¹ pada penggunaan katalis 3, 4, dan 5% mol. Untuk area pada spektrum lainnya masih memperlihatkan kemiripan dengan spektrum *FTIR* milik gliserol komersil di Gambar 3. Sehingga dapat diketahui bahwa sudah ada gliserol yang terkonversi membentuk senyawa dengan gugus karbonat dan masih terdapat sejumlah gliserol yang belum terkonversi pada produk. Berdasarkan data densitas produk dan analisis *FTIR*, maka hasil reaksi yang dipilih untuk uji *GC-MS* adalah produk dengan penggunaan 2% mol dan 5% mol katalis CaO. Berdasarkan analisis *GC-MS* didapatkan tampilan spektra komposisi senyawa dari hasil reaksi yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Spektra *FTIR* (a) gliserol karbonat kemurnian > 96% merek TCI, (b) gliserol kemurnian 90% dan (c – g) hasil reaksi dengan variasi katalis 1 hingga 5% mol.

Pada analisis bahan hasil reaksi dengan instrument *GC-MS*, tersedia data internal pada perangkat lunak *GC-MS data analysis* yang mampu memberikan informasi waktu retensi, rumus kimia, dan kualitas. Dari

kromatogram *GC* dapat dilihat terbentuknya senyawa *Glycidol* pada produk hasil reaksi yaitu pada tR 10.693 dan gas karbon dioksida pada tR 1.354. Jumlah gliserol masih terlihat cukup banyak di kedua sampel produk, hal ini diperlihatkan pada area yang besar dengan rentang tR antara 7.00 hingga 10.00. Serta terlihat pembentukan senyawa siklik *1,3-Dioxol-2-one* pada rentang tR 14.00 hingga 16.00.



Gambar 3. Kromatogram *GC* (a) gliserol karbonat kemurnian > 96% merek TCI, (b) hasil reaksi dengan katalis 2% mol dan (c) 5% mol.

Dampak dari penggunaan pompa vakum selama reaksi menghasilkan produk yang sudah tidak mengandung gas amonia terlarut, akan tetapi masih terbentuk senyawa siklik yang mengikat nitrogen terlihat pada senyawa *N-Ethylrhodanine*. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kemampuan pompa vakum yang digunakan berada pada

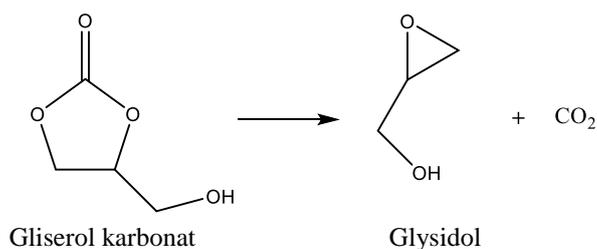
tekanan 0,7 atm, dimana berdasarkan referensi seharusnya rentang tekanan berada diantara 0,039 – 0,059 atm (Oprescu *et al.*, 2012). Pada penelitian lainnya pembuangan ammonia yang terbentuk selama reaksi berlangsung dilakukan dengan cara mengalirkan gas nitrogen sebagai gas *inert* (Chen *et al.*, 2015). Berdasarkan buku literatur tentang kromatografi gas, diketahui bahwa area di bawah puncak kromatografi gas sebanding dengan jumlah (mol) senyawa yang dielusi. Oleh karena itu, komposisi persentase molar suatu campuran dapat diperkirakan dengan membandingkan area puncak relatif. Metode analisis ini mengasumsikan bahwa detektor sama sensitifnya terhadap semua senyawa yang dielusi dan memberikan respon linier berkaitan dengan jumlah senyawa.

Tabel 2. Komposisi senyawa gliserol karbonat kemurnian > 96% merek TCI, hasil reaksi dengan katalis 2% mol dan 5% mol.

Nama Komponen	Gliserol Karbonat		
	Kemurnian > 96% merek TCI (% mol)	2% mol Katalis CaO (% mol)	5% mol Katalis CaO (% mol)
<i>Carbon dioxide</i>	13,74	0,37	0,4
<i>Glycerol</i>	-	90,12	77,24
<i>Glycidol</i>	86,26	-	2,86
<i>N-Ethylrhodanine</i>	-	-	1,73
<i>1,3-Dioxol-2-one</i>	-	9,51	17,76

Pada penggunaan katalis CaO 2% mol, nilai konversi hanya sekitar 9,88% dan pada produk sudah mulai terlihat adanya pembentukan gugus siklik yang dibuktikan dengan adanya senyawa *1,3-Dioxol-2-one* sebanyak 9,51%. Pada penggunaan katalis CaO 5% mol, nilai konversi meningkat menjadi 23% dan pada produk sudah mulai terlihat peningkatan pembentukan gugus siklik yang dibuktikan dengan adanya senyawa *1,3-Dioxol-2-one* sebanyak 17,76% dan *N-Ethylrhodanine* 1,73%. Selain itu juga terdapat senyawa *Glycidol* sebanyak 2,86%, dimana senyawa ini merupakan hasil reaksi pemecahan gliserol karbonat dengan hasil samping karbon dioksida.

Instrumen analisis *GC-MS* masih belum mampu menampilkan struktur produk utama yang diinginkan yaitu gliserol karbonat, akan tetapi dengan terbentuknya senyawa *1,3-Dioxol-2-one* dan *N-Ethylrhodanine* menunjukkan bahwa reaksi sudah mengkonversi gliserol ke dalam bentuk senyawa siklik yang memiliki gugus fungsi karbonat. Penggunaan instrumen *GC-MS* untuk analisis gliserol karbonat kurang tepat karena jika dioperasikan pada suhu rendah menyebabkan tekanan uap tidak tercapai dan tidak terbentuk uapnya. Sedangkan jika dioperasikan pada suhu tinggi gliserol karbonat yang menguap akan mengalami dekomposisi termal dan menghasilkan senyawa *glysidol* dan karbondioksida.



Gambar 4. Reaksi pembentukan glisidol (Bartoli *et al.*, 2018).

Hal ini dibuktikan dengan hasil uji *GC-MS* senyawa gliserol karbonat standar TCI yang menampilkan hasil analisis yaitu kedua senyawa tersebut. Pada beberapa penelitian digunakan *NMR* dengan sampel standar sehingga didapatkan perbandingan antara spektra bahan hasil reaksi dengan spektra bahan standar dan data literatur bahan. Tentu saja hal ini memungkinkan untuk dilakukan, akan tetapi ada beberapa kendala yang harus dipertimbangkan jika ingin menggunakan instrumen tersebut. Prosedur uji yang tidak tersedia khusus untuk gliserol karbonat sehingga masih harus dilakukan uji coba metode analisis dan biaya analisis yang cukup tinggi untuk setiap sampelnya.

KESIMPULAN

Sintesis gliserol karbonat melalui reaksi gliserolisis urea dengan penggunaan katalis CaO 5% mol memiliki nilai konversi 23% dan karakteristik produk lebih optimum pada penelitian ini dibandingkan produk lainnya. Hal

ini didukung oleh hasil pengujian karakteristik produk yang diantaranya densitas, analisis gugus fungsi, dan analisis komposisi senyawa hasil reaksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Pusat Afiliasi Kajian dan Riset Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta (PAKARTI FT UMJ) atas dukungannya dalam pendanaan penelitian ini dengan nomor surat perjanjian 360/F.4-UMJ/IX/2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhitasari, A., Sulistyono, H., and Prasetya, A., 2017. Sintesis Gliserol Karbonat dari Gliserol dan Urea Menggunakan Katalis Resin Indion 225 Na. *Reaktor* 17(3), 139-143. doi: 10.14710/reaktor.17.3.140-144.
- Bartoli, M., Zhu, C., Chae, M., and Bressler, D.C., 2018. Value-Added Products from Urea Glycerolysis Using a Heterogeneous Biosolids-Based Catalyst. *Catalysts* 8(9), 373. doi: 10.3390/catal8090373.
- Urea Liquor Safety Data Sheet*, 2015. CF Industries. Illinois.
- Chen, J., Wang, C., Dong, B., Leng, W., Huang, J., Ge, R., and 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(3), 336–343. doi: 10.1016/S1872-2067(14)60257-6.
- Chiappe, C. and Rajamani, S., 2012. Synthesis of Glycerol Carbonate from Glycerol and Dimethyl Carbonate in Basic Ionic Liquids. *Pure and Applied Chemistry* 86(3), 755–762. doi: 10.1351/PAC-CON-11-07-06.
- Claude, S., Mouloungui, Z., Yoo, J.-W., and Gaset, A., 2000. *U.S. Patent No. 6,025,504*. United States Patent, Washington DC.
- Fitriyano, G., Sukirno, S., and Fauziah, S. 2019. Tinjauan Unjuk Kerja Sintesis Gliserol Karbonat Melalui Reaksi Karbonilasi Gliserol dengan Urea. In: FT UMJ (Ed.), *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2019*. Semnastek, 16 Oktober 2019, Jakarta. FT UMJ, Jakarta, pp. 1-8.
- Hammond, C., Lopez-Sanchez, J.A., Rahim, M.H.A., Dimitratos, N., Jenkins, R.L., Carley, A.F., He, Q., Kiely, C.J., Knight, D.W., and Hutchings, G.J., 2011. Synthesis of Glycerol Carbonate from Glycerol and Urea with Gold-Based Catalysts. *Dalton Transactions* 40(15), 3927–3937. doi: 10.1039/C0DT01389G.
- Kondawar, S.E., Mane, R.B., Vasishta, A., More, S.B., Dhengale, S.D., and Rode, C.V., 2017. Carbonylation of Glycerol with Urea to Glycerol Carbonate Over Supported Zn Catalysts. *Applied Petrochemical Research* 7, 41–53. doi: 10.1007/s13203-017-0177-2.
- Merck., 2019. IR Spectrum Table and Chart. <<https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/biology/ir-spectrum-table.html>> (diakses pada 12 Desember 2019).
- Oprescu, E.-E., Stepan, E., Rosca, P.A.U.L., Radu, A., and Enascuță, C.-E., 2012. Synthesis of Glycerol Carbonate over Hydrotalcite Catalyst. *Revista de Chimie* 63(6), 621–625.
- Praikaew, W., Kiatkittipong, W., Kiatkittipong, K., Laosiripojana, N., Viriya-empikul, N., Boonyasuwat, S., Aiouache, F., Najdanovic, V., and Assabumrungrat, S., 2018. The Synthesis of Glycerol Carbonate from Dimethyl Carbonate and Glycerol Using Cao Derived from Eggshells. In: *MATEC Web of Conferences*. ICEAST 2018, 4-7 Juli 2018, Phuket, Thailand. EDP Sciences, Les Ulis, France, pp. 1-4. doi: 10.1051/mateconf/201819203045.
- Rossi, M. and Pagliaro M., 2008. *The Future of Glycerol*, second ed. Royal Society of Chemistry Publishing, Washington DC (Chapter 1). doi: 10.1039/9781849731089.
- Stashenko, E. and Martínez, J. R., 2014. *Advances in Gas Chromatography*. IntechOpen, London (Chapter 1). doi: 10.5772/57492.
- Sukirno, S. and Fitriyano, G., 2018. Carbonylation Reaction between Glycerol and Urea using CaO Catalyst. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi* 21(4), 211–217. doi: 10.14710/jksa.21.4.211-217.
- Glycerol 1,2-Carbonate Safety Data Sheet*, 2018. TCI. Tokyo.
- Teng, W.K., Ngoh, G.C., Yusoff, R., and 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. doi: 10.1016/j.enconman.2014.08.036.
- Wahl, G. and Gallardo-Williams, M., 2011. Dehydration of Alcohols-Gas Chromatography. In: *Microscale Experiments in Organic Chemistry 1 1st edition* Custom Labs. <https://webassign.net/sample/ncsumeorgchem1/lab_4/manual.html>