



Perbandingan Massa $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dengan SBA-15 terhadap Kebasaan Katalis Reaksi Gliserolisis

Alberto Krishna Ksatria Winning Kusuma , Harjito, dan Jumaeri

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Juni 2018

Disetujui Juli 2018

Dipublikasikan Agustus
2018

Keywords:

adsorpsi *o-cresol*

SBA-15

reaksi gliserolisis

Abstrak

Katalis CaO-SBA-15 telah digunakan untuk mempercepat laju reaksi gliserolisis. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perbandingan massa optimum antara $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dengan SBA-15 yang mampu mempercepat laju reaksi gliserolisis, mengetahui kebasannya serta mencari alasan kegagalan reaksi. Sintesis SBA-15 dilakukan dengan metode ultrasonik dan dikarakterisasi dengan XRD dan SAA. Katalis disintesis dengan metode impregnasi dengan 0,05000; 0,02478; dan 0,01652 g.mL⁻¹ larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Karakter katalis didapatkan dengan XRD, XRF dan SAA. Kebasaan katalis didapatkan dengan metode titrasi dan gravimetri. Uji aktivitas dilakukan sebagai konfirmasi. Karakter difraktogram XRD dan isotherm SBA-15 hasil sintesis sudah sesuai dengan penelitian terdahulu. Struktur SBA-15 tidak berubah saat impregnasi dan aktivasi. Uji aktivitas belum berhasil sebab dihasilkan bukan senyawa target dan pelarut ikut bereaksi, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang uji aktivitasnya. Analisis kebasaaan dapat disimpulkan bahwa katalis dengan konsentrasi larutan pengimpreg 0,05000 g.mL⁻¹ dinyatakan optimum apabila ditinjau dari pendekatan gliserolisis merupakan reaksi alkoholis.

Abstract

Catalyst of CaO-SBA-15 had been used to accelerate glycerolysis reaction rates. The objective of this research is looking for mass ratio between $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and SBA-15 that can accelerate reaction rates, its basicity and the reason of the reaction failure. Ultrasonic technique was used for SBA-15 synthesis and characterized using XRD and SAA. Impregnation was used for catalyst synthesis by using 0.05000, 0.02478, and 0.01652 g.mL⁻¹ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ solution. Catalysts were characterized by using XRD, XRF and SAA. Catalyst basicity were analyzed using titration and gravimetric method. Catalyst activity test still had no result because the yield was not target substance and the solvent reacted, so it was needed to have advance research about activity test. Based on basicity analysis could be concluded that catalyst that synthesized using 0.05000 g.mL⁻¹ was optimum, when the reaction reviewed from the assertion that glycerolysis is an alcoholic reaction.

© 2018 Universitas Negeri Semarang

 Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: wilbur.weasley.wizard@gmail.com

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Reaksi gliserolisis merupakan reaksi substitusi nukleofilik senyawa turunan asam karboksilat oleh gliserol. Reaksi gliserolisis ini penting dalam produksi komponen membran pemisah gas seperti gliserol karbonat (Kim *et al.*, 2014) dan senyawa-senyawa modifikasi lemak seperti monogliserida dan digliserida (Feltes *et al.*, 2013). Tetapi sintesisnya menggunakan reaksi substitusi nukleofilik trigliserida oleh gliserol memiliki laju reaksi yang lambat. Sebab gugus ester pada trigliserida kurang reaktif, sehingga diperlukan aktivasi senyawa menggunakan katalis basa (Feltes *et al.*, 2013).

Katalis yang memiliki sifat basa dan digunakan untuk mempercepat laju reaksi gliserolisis adalah cairan ionik (*ionic liquid*) 1-butyl-3-metilimidazolium imidazolida. Penggunaan 1-butyl-3-metilimidazolium imidazolida dalam gliserolisis minyak kedelai, menghasilkan digliserida yang cukup besar. Namun, produk reaksi perlu dipisahkan dari katalisnya sebelum digunakan, sehingga diperlukan proses tersendiri untuk memisahkannya (Huang *et al.*, 2015). Usaha amobilisasi cairan ionik sudah dilakukan untuk memudahkan pemisahan. Pengembangan yang digunakan antara lain adalah polistiren, silika komersial dan kitosan. Katalis dapat digunakan berulang dengan hasil reaksi yang cukup tinggi. Tetapi, pengembangan yang digunakan tidak stabil terhadap temperatur tinggi (Kim *et al.*, 2014).

Oksida logam seperti magnesium oksida dan kalsium oksida, digunakan sebagai katalis, karena memiliki keunggulan yaitu luas permukaan yang besar, situs aktif yang bersifat basa. Proses sintesis Oksida logam mudah dan prekursornya juga mudah didapatkan (Nainggolan *et al.*, 2014). Penggunaan oksida logam sebagai katalis reaksi gliserolisis memerlukan temperatur tinggi yang mengakibatkan penggunaan energi yang besar.

Kalsium oksida yang juga mampu mempercepat laju reaksi gliserolisis, diembankan pada SBA-15 untuk menurunkan energi yang digunakan dalam reaksi gliserolisis. SBA-15 (*Santa Barbara Amorphus*) dipilih sebagai pengemban karena mesoporus silika ini memiliki luas permukaan spesifik yang besar (hingga di atas $1000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$), ukuran pori yang seragam, memiliki rasio permukaan dengan volume yang besar serta kestabilannya pada temperatur tinggi (Huirache-Acuña *et al.*, 2013). Kalsium oksida yang teremban pada SBA-15 (CaO-SBA-15) memiliki sifat super basa, tetapi tidak mampu mempercepat laju reaksi gliserolisis dengan alasan yang rumit (Zhong *et al.*, 2014). Padahal, kenaikan kebasaan katalis mampu meningkatkan aktivitas katalitiknya. Artikel ini akan membahas tentang perbandingan massa optimum antara $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dengan SBA-15 yang mampu mempercepat laju reaksi gliserolisis sekaligus mencari penyebab mengapa peneliti sebelumnya memberikan alasan rumit.

Metode

Sintesis SBA-15 sesuai penelitian terdahulu dengan modifikasi (Zhong *et al.*, 2014). *Pluronic* P123 (*Sigma-Aldrich*) sebanyak 2 g dilarutkan dalam 60 mL larutan asam klorida 2 M, sambil dipanaskan pada temperatur 40°C . Larutan TEOS (*Merck*) ditambahkan sebanyak 4,5 mL ke dalam larutan *Pluronic* P123 dan diaduk selama 2 jam pada temperatur kamar. Hasil campuran dua larutan itu digetarkan dengan generator ultrasonik selama 1 jam. Campuran disaring dan dicuci hingga netral. Residu diambil, dikeringkan dan dipanaskan pada 500°C selama 6 jam. Hasil pemanasan dikarakterisasi luas permukaan dan kristalinitasnya.

Sintesis katalis CaO-SBA-15 dilakukan dengan metode impregnasi. Sumber kalsium oksida yang digunakan untuk sintesis katalis CaO-SBA-15 adalah $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (*Merck*). Perbandingan massa antara $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$: SBA-15 dijadikan variasi. Sebanyak dua setengah gram SBA-15 dilakukan impregnasi selama 24 jam dengan larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi $0,05 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Bubur dikeringkan dan diaktifkan pada temperatur 560°C selama 2 jam. Hal yang sama dilakukan untuk perbandingan 1:10 dan 1:15 dengan volume larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ yang sama. Sedangkan konsentrasinya berturut-turut adalah $0,02478$ dan $0,01652 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Dua larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dibuat dengan mengencerkan larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ $0,05 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Katalis yang dihasilkan dikarakterisasi kristalinitas unsur pada permukaan, luas permukaan dan kebasaannya.

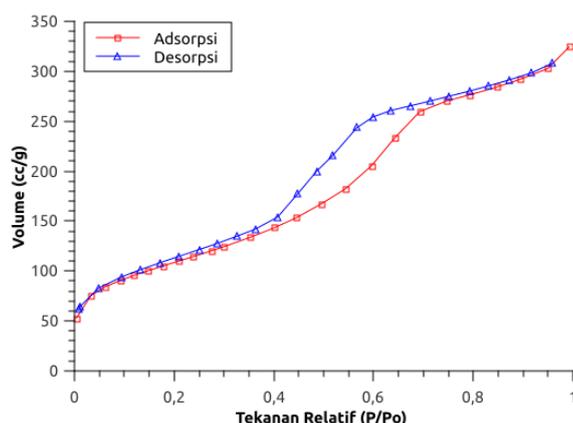
Kebasaan dilakukan dengan metode titrasi dan dikonfirmasi dengan gravimetri (Majid *et al.*, 2012). Sampel katalis direndam dan dikocok dalam larutan asam klorida yang telah diketahui konsentrasinya selama 24 jam. Larutan asam klorida pascapengocokan dipisahkan dan filtratnya dititrasi dengan larutan natrium klorida standar. Kebasaan katalis diketahui dari selisih konsentrasi asam klorida sebelum dan setelah pengocokan yang dibagi dengan massa sampel perendaman. Metode adsorpsi yang dilakukan adalah sebagai berikut. Sampel katalis dipanaskan pada 110°C selama 2 jam untuk menghilangkan uap air dan ditimbang. Selanjutnya sampel dialiri uap o-cresol dan asam klorida hingga jenuh selama 24 jam. Kebasaan katalis diketahui dari selisih massa sebelum dan sesudah adsorpsi yang dibagi dengan massa sampel sebelum adsorpsi.

Uji aktivitas dilakukan sebagai konfirmasi dengan reaktor *batch* berpendingin pada temperatur 80°C menggunakan minyak kedelai komersial dan gliserol, serta aseton sebagai pelarutnya. Perbandingan antara gliserol dengan minyak kedelai adalah 4:1 dan massa katalis adalah 4,5% massa minyak. Reaksi dalam labu leher tiga dilangsungkan selama 24 jam (Zhong *et al.*, 2014). Metode analisis dengan GC-MS sesuai dengan penelitian terdahulu (Hirschegger *et al.*, 2014).

Instrumen yang digunakan untuk mengetahui karakter SBA-15 antara lain: *Surface Area Analyzer Quantachrome Nova 1200e*, *X-Ray Diffraction Pananalytical (Version PW3050/60)*. Instrumen yang digunakan untuk mengetahui karakter katalis antara lain: *X-Ray Fluorescence*, *Surface Area Analyzer Quantachrome Nova 1200e*, *X-Ray Diffraction Pananalytical (Version PW3050/60)*. Instrumen yang digunakan untuk mengetahui karakter hasil uji aktivitas adalah GC-MS *Shimadzu QP2010S*.

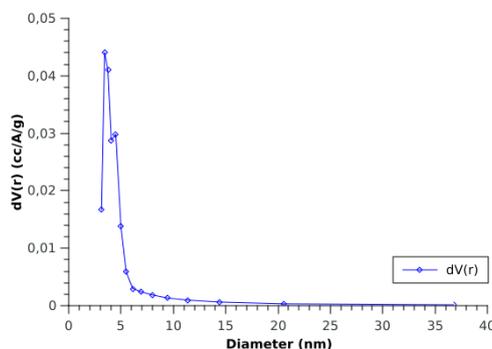
Hasil dan Pembahasan

Sintesis SBA-15 telah dilakukan dan karakternya juga sudah diselidiki. Santa Barbara Amorphous-15 memiliki bentuk pori silinder memanjang yang dibuktikan dengan isoterm adsorpsi-desorpsinya. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi menggunakan gas nitrogen disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi SBA-15

Kurva isoterm adsorpsi (kurva warna merah dengan simbol persegi pada tiap data) menunjukkan isoterm adsorpsi-desorpsi tipe IV menurut IUPAC. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi tipe IV menunjukkan zat padat memiliki pori dengan ukuran antara 15 hingga 1000 Å (1,5 hingga 100 nm) dan titik belok (*knee*) kurva adsorpsi umumnya terjadi saat hampir selesainya pembentukan lapisan gas nitrogen pertama pada permukaan padatan (Lowell & Shields, 2013). Ukuran pori antara 1,5 hingga 100 nm menunjukkan SBA-15 termasuk dalam material mesopori. Gambar 1 menunjukkan *hysteresis loop* tipe A, sehingga SBA-15 memiliki pori dengan bentuk silinder dan terbuka pada kedua ujung porinya. Deskripsi pori katalis dianalisis dengan metode BJH (*Barrett-Joyner-Halenda*) yang kurva distribusi porinya disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva distribusi pori SBA-15

Kurva distribusi pori itu menunjukkan diameter pori terbanyak adalah 3,4303 nm dan tidak memiliki mikropori. Ketiadaan mikropori disebabkan oleh tidak adanya proses aging saat sintesis, sehingga mikropori yang mungkin terbentuk runtuh saat proses kalsinasi. Data tersebut menguatkan

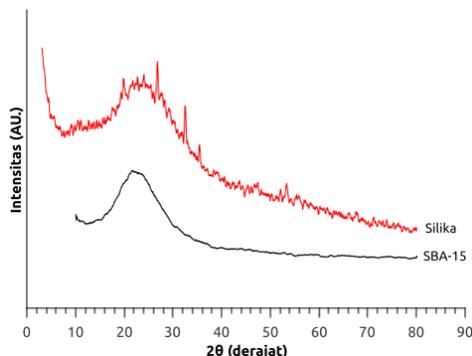
bahwa SBA-15 termasuk dalam mesopori. Deskripsi luas permukaan menurut metode BET (Brunauer-Emmett-Teller) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakter luas permukaan dan volume pori SBA-15

Karakter	Luas permukaan spesifik (m ² .g ⁻¹)	Volume pori (cm ³ .g ⁻¹)
SBA-15 hasil sintesis	385	0,50
SBA-15 metode sonikasi*	330	2,38

Sumber: *(Chareonpanich & Limtrakul, 2007)

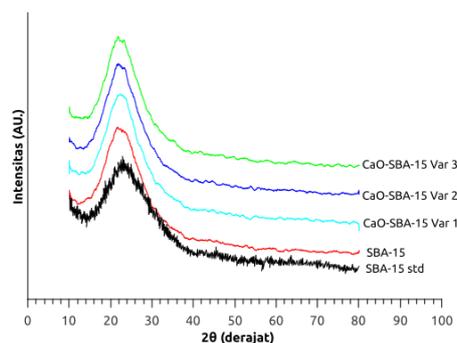
Karakter kristalinitas dijelaskan dengan difraktogram sinar X. Difraktogram sinar X SBA-15 dan silika disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Difraktogram XRD SBA-15 dan silika (Uriastanti *et al.*, 2016)

Difraktogram XRD SBA-15 menunjukkan serapan melebar dengan puncak pada 2θ sekitar 21° dan tidak ada puncak tajam lain. Difraktogram SBA-15 identik dengan difraktogram silika amorf sintetis (Uriastanti *et al.*, 2016). SBA-15 hasil sintesis merupakan material *amorf*.

Sintesis katalis telah dilakukan dan didapatkan karakternya, antara lain: unsur pada permukaan, perubahan kristal akibat impregnasi, luas permukaan dan kebiasaannya. Karakter perubahan kristal disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Difraktogram katalis dengan difraktogram SBA-15

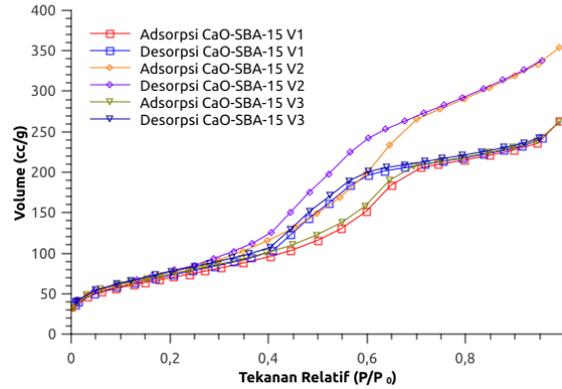
Difraktogram XRD katalis menunjukkan tidak ada puncak baru, yang artinya tidak terbentuknya kristal baru pada katalis. Hasil XRF yang disajikan pada Tabel 2, sebagai pembuktian adanya kalsium oksida.

Tabel 2. Hasil analisis katalis dengan XRF

Katalis	Konsentrasi kalsium nitrat (g.mL ⁻¹)	CaO teremban (%)
CaO-SBA-15 (I)	0,05000	3,274 ± 0,074
CaO-SBA-15 (II)	0,02478	4,011 ± 0,173
CaO-SBA-15 (III)	0,01652	1,981 ± 0,174

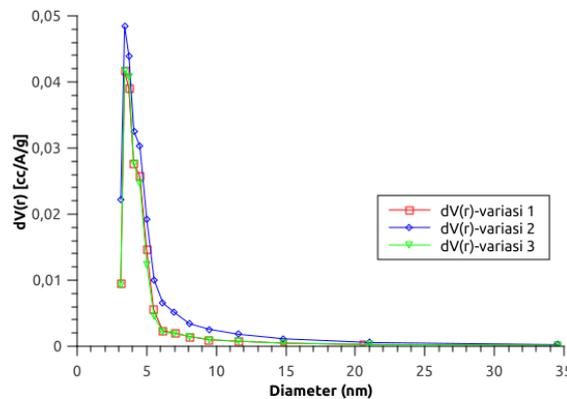
Hasil analisis XRF menunjukkan adanya kalsium oksida. Hal ini dapat diartikan bahwa kalsium oksida yang terbentuk memiliki ikatan fisik pada permukaan. Ketiadaan puncak pada difraktogram disebabkan oleh larutan kalsium nitrat yang terlalu encer dan kalsium lebih terdispersi pada permukaan

SBA-15. Ion kalsium lebih mudah berinteraksi dengan gugus silanol pada SBA-15 daripada logam lain (Sun *et al.*, 2008). Bentuk pori katalis dijelaskan dengan isoterm adsorpsi-desorpsinya dan luas permukaan diketahui dengan metode BET. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi menggunakan gas nitrogen disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi katalis

Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi menunjukkan tidak ada perubahan jenis pori, yaitu tetap berbentuk silinder memanjang dan terbuka pada kedua ujungnya. Proses impregnasi tidak membuat pori tersumbat. Semua katalis memiliki porositas yang sama kecuali katalis dengan variasi kedua yang memiliki porositas lebih tinggi daripada dua katalis lainnya. Fenomena ini dijelaskan dengan kurva distribusi pori katalis yang disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva distribusi pori katalis

Katalis variasi ke-2 menunjukkan pori yang lebih banyak untuk 3,41 hingga 11,56 nm. Perubahan ukuran pori terjadi tidak signifikan, sehingga tidak begitu berdampak pada porositas katalis. Banyaknya pori katalis ini berimplikasi pada luas permukaan katalis. Luas permukaan katalis menurut metode BET disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Luas permukaan katalis dengan metode BET

Katalis	Konsentrasi Kalsium Nitrat (g.mL ⁻¹)	Luas Permukaan Spesifik (m ² .g ⁻¹)
CaO-SBA-15 (I)	0,05000	252
CaO-SBA-15 (II)	0,02478	279
CaO-SBA-15 (III)	0,01652	268

Tabel 3 menunjukkan bahwa katalis dengan konsentrasi larutan pengemban 0,02478 g.mL⁻¹, memiliki luas permukaan terbesar dari antara ketiga katalis, namun tidak lebih besar daripada luas permukaan spesifik SBA-15. Turunnya luas permukaan spesifik katalis variasi kedua dan umumnya pada kedua jenis katalis yang lain adalah disebabkan adanya kalsium oksida yang teremban pada katalis. Sehingga keberadaan kalsium oksida membuat pori menjadi lebih kecil.

Analisis kebasaaan pada dasarnya sama dengan analisis keasaman, tetapi dengan molekul pembukti yang bersifat asam. Ada beberapa molekul yang dapat digunakan sebagai pembukti, antara lain *o*-cresol dan asam klorida. Analisis kebasaaan telah dilakukan juga dan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis kebasaaan katalis

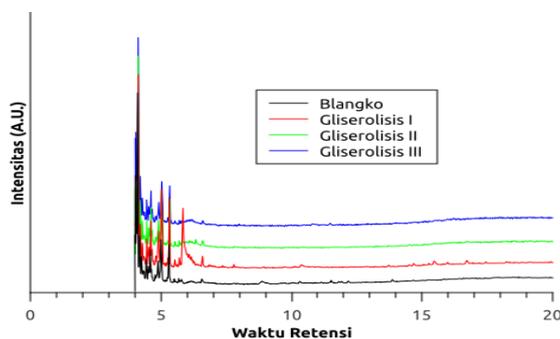
Katalis	Konsentrasi Kalsium Nitrat (g.mL ⁻¹)	mmol eq		
		Adsorpsi HCl* (mmol eq.g ⁻¹)	Adsorpsi uap HCl (mmol eq.g ⁻¹)	Adsorpsi uap <i>o</i> -cresol (mmol eq.g ⁻¹)
CaO-SBA-15 (I)	0,05000	9,84479	3,0998	0,70551
CaO-SBA-15 (II)	0,02478	7,06668	5,5864	0,72759
CaO-SBA-15 (III)	0,01652	7,00155	11,8013	0,95179

* Identifikasi dengan metode titrasi.

Hasil analisis kebasaaan katalis memperlihatkan hasil yang berbeda-beda. Analisis dengan metode titrasi menghasilkan katalis variasi pertama menjadi katalis dengan kebasaaan tertinggi, yaitu 9,84479 mmol eq.g⁻¹. Sedangkan metode adsorpsi *o*-cresol dan asam klorida menghasilkan katalis dengan variasi ketiga yang memiliki kebasaaan tertinggi, yaitu 0,95179 mmol eq.g⁻¹ dan 11,8013 mmol eq.g⁻¹.

Metode titrasi menghasilkan tren penurunan kebasaaan dari variasi pertama hingga ketiga, sedangkan metode adsorpsi menunjukkan tren kenaikan kebasaaan. Katalis yang disentuhkan dengan air berakibat pada bereaksinya kalsium oksida pada permukaan dengan air dan asam klorida, sehingga berakibat pada lepasnya kalsium oksida dari permukaan dan membentuk kalsium klorida. Tidak adanya dukungan data *Atomic Absorption Spectroscopy* membuat nilai kebasaaan pada metode titrasi pada penelitian ini agak bias.

Metode adsorpsi asam klorida dan *o*-cresol tidak mendukung metode titrasi. Sebab tren adsorpsinya justru meningkat seiring dengan semakin sedikitnya kalsium oksida pada permukaan pengemban. Fenomena ini disebabkan oleh gugus silanol SBA-15 yang tidak terlapisi kalsium oksida dan kalsium oksida yang terdapat pada permukaan SBA-15 berinteraksi dengan uap asam yang dijenuhkan dalam desikator. Proses sintesis SBA-15 dalam suasana asam, membuat jumlah ion H⁺ pada gugus silanol menjadi banyak. Ion H⁺ pada gugus silanol berperan sebagai asam bronsted dan berinteraksi dengan counter ion adsorbat (Nuryono & Narsito, 2005). Selain itu, ukuran molekul juga mempengaruhi adsorpsi; asam klorida memiliki ukuran molekul yang lebih kecil dari *o*-cresol, sehingga asam klorida lebih mudah teradsorpsi dalam pori katalis.



Gambar 7. Kromatogram hasil uji aktivitas

Gambar 7 menunjukkan hasil uji aktivitas CaO-SBA-15 dengan berbagai variasi. Terdapat puncak kromatogram baru pada reaksi gliserolisis dengan variasi katalis pertama, yaitu pada waktu retensi 5,825; 14,659; 15,436; 16,703 menit. Puncak kromatogram baru yang memiliki intensitas tertinggi adalah puncak dengan waktu retensi 5,825 menit dan bentuknya *tailing*. Berdasarkan hasil MS puncak dengan waktu retensi 5,825 menit bukan merupakan hasil reaksi gliserolisis, tetapi hasil reaksi antara pelarut dengan gliserol sebagai pereaksinya yaitu (R)-(-)-2,2 dimetil-1,3-dioksolan-4-metanol. Senyawa (R)-(-)-2,2 dimetil-1,3-dioksolan-4-metanol membentuk fragmen dengan *m/z*: 43, 57, 117, 101 dan 29 (spektrum tidak ditampilkan). Sedangkan tiga puncak lain yang memiliki intensitas kecil, juga bukan hasil reaksi gliserolisis. Ketiga puncak tersebut masing-masing adalah biodiesel atau alkil ester. Biodiesel ini terbentuk karena adanya alkohol yang ikut terlarut dalam aseton yang digunakan sebagai pelarut dan mengganggu

reaksi gliserolisis. Berdasarkan hasil uji aktivitas, secara umum masih belum berhasil. Sebab, senyawa yang didapatkan setelah uji aktivitas bukan senyawa target, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang uji aktivitasnya. Salah satu penyebab belum berhasilnya uji aktivitas ini adalah kelarutan antar bahan yang belum sempurna dan membuktikan bahwa aseton tidak cocok sebagai pelarut. Tetapi, apabila menggunakan pendekatan bahwa reaksi gliserolisis merupakan reaksi alkoholis, maka katalis variasi pertama menjadi katalis potensial yang mampu mempercepat laju reaksi gliserolisis.

Simpulan

Sintesis katalis CaO-SBA-15 telah berhasil dilakukan. Kebasaan optimum yang dianggap mampu untuk mempercepat laju reaksi gliserolisis dengan pendekatan reaksi gliserolisis adalah reaksi alkoholis adalah CaO-SBA-15 variasi pertama dengan kebasaan 9,84479 mmol eq.g⁻¹ menurut metode titrasi, 3,0998 mmol eq.g⁻¹ menurut metode adsorpsi asam klorida dan 0,70551 mmol eq.g⁻¹ menurut metode adsorpsi o-cresol. Katalis CaO-SBA-15 variasi pertama memiliki perbandingan massa Ca(NO₃)₂ dengan SBA-15 berturut-turut adalah 1:5. Penggunaan aseton tidak cocok digunakan sebagai pelarut reaksi gliserolisis.

Daftar Pustaka

- Chareonpanich, M. & Limtrakul, J. 2007. Short-Period Synthesis of Ordered Mesoporous Silica SBA-15 using Ultrasonic Technique. 61: 5153–5156
- Feltes, M.M.C., de Oliveira, D., Block, J.M. & Ninow, J.L. 2013. The Production, Benefits, and Applications of Monoacylglycerols and Diacylglycerols of Nutritional Interest. *Food and Bioprocess Technology*, 6: 17–35
- Hirschegger, L., Schober, S. & Mittelbach, M. 2014. Efficient and Sensitive Method for the Quantification of Saturated Monoacylglycerols in Biodiesel by Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(1): 89–96
- Huang, Y., Gao, Y. & Zhong, N. 2015. Selective Production of Diacylglycerols Through Glycerolysis by Ionic Liquid: 1-Butyl-3-Methylimidazolium Imidazolidide as Catalyst and Reaction Medium. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(6): 927–931
- Huirache-Acuña, R., Nava, R., Peza-Ledesma, C.L., Lara-Romero, J., Alonso-Núñez, G., Pawelec, B. & Rivera-Muñoz, E.M. 2013. SBA-15 Mesoporous Silica as Catalytic Support for Hydrodesulfurization Catalysts-Review. *Materials*, 9(6): 4139–4167
- Kim, D.W., Kim, M.J., Roshith, K., Kim, M.I., Kwak, J.Y. & Park, D.W. 2014. Comparative Catalytic Activity of Supported ZnBr₂-Containing Ionic Liquid Catalysts for Preparation of Glycerol Carbonate by Glycerolysis of Urea. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(6): 972–980
- Lowell, S. & Shields, J.E. 2013. *Powder Surface Area and Porosity*. Springer Science & Business Media
- Majid, A.B., Trisunaryanti, W., Priastomo, Y., Febriyanti, E., Hasyiyati, S. & Nugroho, A. 2012. Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalitik Zeolit Alam Indonesia pada Hidrorengkah Ban Bekas dengan Preparasi Sederhana. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa*
- Nainggolan, M., Purba, R.D. & Ritonga, M.Y. 2014. Pengaruh Jumlah Katalis Abu Cangkang Telur Ayam dan Waktu Reaksi Gliserolisis pada Pembuatan Mono dan Diasilgliserol (mdag) dengan menggunakan Co-Solvent Tert-Butanol. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(4): 25–30
- Nuryono & Narsito 2005. Effect of Acid Concentration on Characters of Silica Gel Synthesized from Sodium Silicate. *Indonesian Journal Chemical*, 5(1): 23–30
- Sun, L.B., Jia, H.K., Chun, Y., Yang, J., Fang, N.G., Wang, Y., Jian, H.Z. & Zhi, G.Z. 2008. New Attempt at Directly Generating Superbasicity on Mesoporous Silica SBA-15. *Inorganic Chemistry*, 47(10): 4199–4208
- Uriastanti, O., F.M. Mahatmanti, A.T. Prasetya, & E.P. Sari. 2016. Preparasi dan Karakterisasi Silika Limbah Leaching Zirkon sebagai Adsorben Ion Fe(III). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(3): 221–224
- Zhong, N., Deng, X., Huang, J., Xu, L., Hu, K. & Gao, Y. 2014. Low-Temperature Chemical Glycerolysis to Produce Diacylglycerols by Heterogeneous Base Catalyst. *European Journal of Lipid Science and Technology Journal Lipid Science Technology*, 116(4): 470–476