



Pengujian Karbon Teraktivasi Asam Sulfat (KA-AS) sebagai Katalis pada Reaksi Asetilasi Gliserol Menjadi Triasetin

Anisa Cahyani Aprilia, Ika Rahma Maulida, dan Nur Hidayati*

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Kartasura, Surakarta.

*E-mail: nur.hidayati@ums.ac.id

Abstract

Tri acetyl glycerol or triacetin is one of the glycerol derivative products which can be used in various industries. The reaction of triacetin formation is an esterification reaction with glycerol and acetic acid. The esterification reaction of glycerol is slow reaction, therefore catalyst is needed to speed up the reaction. In this study, the acetin synthesis was carried out through esterification reaction with glycerol and acetic acid using activated carbon catalyst. The temperature reaction was varied from 60 to 120°C and stirring speed was between 200 and 1000 rpm. The yield and conversion varied for different conditions, but in general, the conversion of acetin increased with time, temperature and stirring speed. The highest conversion was 79,18% and the selectivity is 21,31% monoacetin, 31,78% diacetin, and 46, 92%% triacetin which was obtained at a stirring speed of 1000 rpm at 120°C.

Keywords: glycerol, acetylation, triacetin, solid catalyst, activated carbon

Pendahuluan

Pemintaan dan harga bahan bakar minyak yang digunakan untuk transportasi semakin meningkat beberapa tahun terakhir seiring dengan berkembangnya energi alternatif sebagai energi berkelanjutan. Salah satu energi alternatif adalah biodiesel yang memiliki emisi rendah sehingga bersifat ramah lingkungan (Mencinger dkk., 2014). Biodiesel secara umum disintesis menggunakan proses transesterifikasi antara trigliserida dengan alkohol yang menghasilkan produk samping berupa gliserol sebesar 10% dari volume produk biodiesel (Khayoon dan Hameed, 2011). Gliserol yang dihasilkan memiliki nilai jual yang rendah, sehingga belum banyak diolah dan hanya dibiarkan saja menjadi limbah industri (Nuryoto dkk, 2010).

Pengolahan gliserol dapat disintesis menjadi turunan gliserol berupa asetin yang dapat meningkatkan nilai ekonomis, seperti monoasetin, diasetin, dan triasetin (Liao dkk., 2009). Triasetin dapat digunakan sebagai pelarut untuk mengencerkan obat dan senyawa organik, pelembab dalam kosmetik dan efektif digunakan sebagai zat aditif bahan bakar yang dapat meningkatkan angka oktana untuk mengurangi *knocking* pada mesin (Rahmat dkk., 2010; Nuryoto dkk., 2011; Setyaningsih dkk., 2018). Produk turunan gliserol dapat dilakukan dengan proses esterifikasi atau asetilasi gliserol menggunakan asam asetat dengan atau tanpa katalis homogen dan heterogen. Penggunaan katalis homogen pada asetilasi menyebabkan kontaminasi sulfur pada produk akhir dari triasetin dan membutuhkan netralisasi dengan alkali (Devitria dkk., 2013). Katalis heterogen pada proses asetilasi lebih mudah dipisahkan dengan produk dibandingkan katalis homogen.

Penelitian reaksi asetilasi gliserol dalam beberapa tahun terakhir dilakukan dengan menggunakan katalis asam padat yang bermacam-macam seperti Amberlyst-15, zirkonia, asam niob, hidrokarbon polisiklis aromatis (HPA) dan zeolit (Balaraju dkk., 2010; Reddy dkk., 2010; Silva dkk., 2010). Resin asam Amberlyst-15 ketika digunakan sebagai katalis, selektivitas yang didapat sebesar 54% dan 13% terhadap diasetin dan triasetin (Gonçalves dkk., 2008). Penggunaan katalis zirkonia tersulfat sangat kurang aktif (Dosuna-Rodríguez dkk., 2011). Katalis-katalis tersebut diantaranya tidak dapat diterapkan secara industri, karena beberapa silikat sulit difungsikan, HPA larut dalam media polar, zeolit memiliki luas permukaan rendah dan stabilitas termal, dan beberapa bahan terlalu mahal (Freese dkk., 1999; Kuang dkk., 2003; Melero dkk., 2007).

Penelitian menggunakan karbon aktif menggunakan asam sulfat menghasilkan konversi 91% dan selektivitas 34% triasetin pada suhu 120°C selama 3 jam (Khayoon dan Hameed, 2011). Penggunaan katalis karbon berpotensi untuk menjadi katalis pada produksi triasetin karena memiliki konversi yang tinggi. Katalis berbasis karbon ini menunjukkan bahwa katalis jenis ini sangat efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan serta dapat digunakan kembali beberapa kali tanpa kehilangan aktivitas yang cukup besar. Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi asetilasi gliserol seperti suhu (Balaraju dkk., 2010; Khayoon dan Hameed, 2011), rasio gliserol dengan asam asetat, (Silva dkk., 2010;



Chandrakala dkk., 2014), jumlah katalis (Khayoon dan Hameed, 2011), kecepatan pengadukan (López dkk., 2007) dan jenis katalis (Liao dkk., 2009; Sari dkk., 2015). Penelitian ini mengkaji pengaruh suhu dan kecepatan pengadukan terhadap konversi gliserol dan selektivitas asetin menggunakan katalis karbon teraktivasi-asam sulfat.

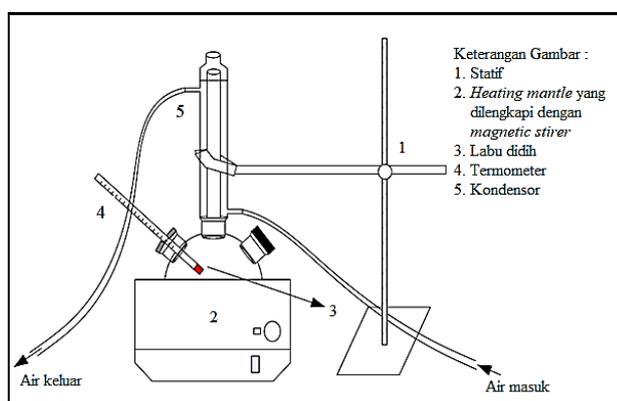
Metode Penelitian

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah gliserol 85%, asam sulfat (95-97%), asam asetat glasial (100%), asam periodat, kalium iodida, kalium dikromat, kloroform, dan natrium tiosulfat yang diproduksi oleh Merck, karbonaktif, amilum, kertas saring, dan aquades.

Alat Penelitian

Rangkaian alat pembuatan asetin dapat dilihat pada Gambar 1, selain itu alat yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas kimia, pH meter, batu didih, buret, oven, *teflon autoclave*, *Gas Chromatography Mass Spectrometer* (GC-MS) merk GCMS-QP2010 SE, dan Quantachrome Novatouch Lx4 untuk menguji luas permukaan.



Gambar 1. Rangkaian alat proses asetilasi gliserol (Silaban dkk, 2015)

Pembuatan Katalis

Penelitian dimulai dengan menyiapkan katalis terlebih dahulu. Katalis karbon disaring dengan ukuran 500-700 μm . Sebanyak 8 g katalis karbon dilarutkan menggunakan 160 mL H_2SO_4 5 M. Larutan dimasukkan ke dalam *teflon autoclave* dan dioven selama 4 jam dengan suhu 85°C. Larutan disaring dan dicuci menggunakan aquades hangat. Katalis karbon teraktivasi-asam sulfat (KA-AS) dikeringkan menggunakan oven pada suhu 120°C selama 6 jam (Khayoon and Hameed, 2011). Karakterisasi katalis diuji menggunakan metode BET untuk menguji luas permukaan katalis. Uji luas area permukaan dilakukan dengan Quantachrome Novatouch Lx4. Uji ini menggunakan Nitrogen sebagai adsorbatnya. Sampel yang diuji antara lain karbon aktif teraktivasi dan karbon aktif sebelum diaktivasi.

Asetilasi Gliserol

Aktivitas katalis diuji dengan reaksi asetilasi gliserol. Tahapannya adalah dengan menimbang gliserol sebanyak 19,13 mL, asam asetat sebanyak 113,1 mL, dan 5% katalis KA-AS direaksikan dalam rangkaian peralatan pembuatan asetin (labu leher tiga) dengan variasi suhu 60°C, 75°C, 90 °C, 105°C, dan 120 °C serta variasi kecepatan pengadukan 200 rpm, 400 rpm, 600 rpm, 800 rpm, dan 1000 rpm selama 2,5 jam. Langkah terakhir, yaitu dilakukan analisis produk dengan uji konversi gliserol dan selektivitas asetin.

Konversi gliserol dilakukan menggunakan metode (SNI, 2015). Sampel diambil sebanyak satu gram pada interval waktu tertentu. Sampel diencerkan dalam 100 mL aquades dan diambil satu gram larutan yang telah diencerkan. Larutan satu gram yang telah diencerkan dimasukkan ke dalam labu takar ukuran 500 ml dengan menggunakan kloroform 50 ml. Selanjutnya sampel ditambah 100 ml aquades. Larutan dikocok kuat kuat selama 30-60 detik. Larutan ditera dengan aquades kemudian dikocok kembali hingga homogen dan dibiarkan tenang sampai lapisan akuatik dan kloroform terpisah sempurna. 50 mL larutan akuatik diambil lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml yang berisi 2 ml larutan asam periodat, kemudian dikocok perlahan. Selanjutnya erlenmeyer ditutup dengan gelas arloji dan dibiarkan selama 30 menit. Setelah itu ditambahkan 2 ml larutan kalium iodida, dikocok perlahan kemudian dibiarkan selama 1 menit dalam tempat gelap. Lalu dilakukan titrasi dengan larutan natrium tiosulfat yang sudah distandarisasi sampai warna coklat iodium hampir hilang. Kemudian indikator amilum ditambahkan sebanyak 2 ml setelah itu dilakukan titrasi sampai warna biru hilang. Perhitungan konversi gliserol dihitung berdasarkan persamaan (1).

$$\text{Konversi Gliserol} = \frac{2,302 (B-C)N}{(a-b)} \times 100\% \quad (1)$$

Selektivitas aseton diuji menggunakan GC-MS dengan mengambil sampel reaksi sebanyak 500 μL diencerkan menggunakan 20 μL etanol sebagai standar. Sebanyak 0,2 μL sampel di injeksikan kedalam sistem GC-MS dengan suhu set kolom 80°C dengan suhu injeksi 250°C, tekanan 12 kPa, laju alir total 30,8 mL/min, laju alir kolom 0,46 mL/min dan rasio split 59,1. Perhitungan selektivitas aseton dihitung berdasarkan persamaan 2.

$$\text{Selektivitas} = \frac{\text{Jumlah massa Produk}}{\text{Jumlah massa yang bereaksi}} \times 100\% \quad (2)$$

Hasil dan Pembahasan

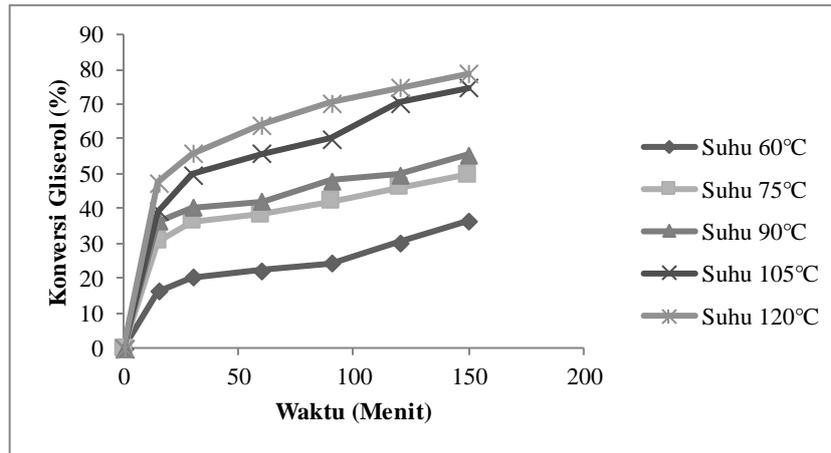
Karakteristik katalis dilakukan dengan metode Brunauer Emmett Teller (BET) menggunakan alat *Quantachrome Novatouch Lx4*. Analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui luas permukaan aktif pada katalis karbon aktif yang belum diaktivasi oleh asam sulfat dan yang telah diaktivasi menggunakan asam sulfat. Pemilihan asam sulfat 5M sebagai zat aktivasi katalis karena apabila larutan asam sulfat dengan konsentrasi lebih dari 5M dapat merusak struktur dari karbon aktif yang ditandai dengan perubahan warna partikel (Khayoon dan Hameed, 2011). Karakteristik katalis karbon aktif yang diuji adalah luas permukaan, volume pori dan ukuran pori menggunakan BET. Uji BET karbon aktif sebelum teraktivasi dan sesudah teraktivasi ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji BET

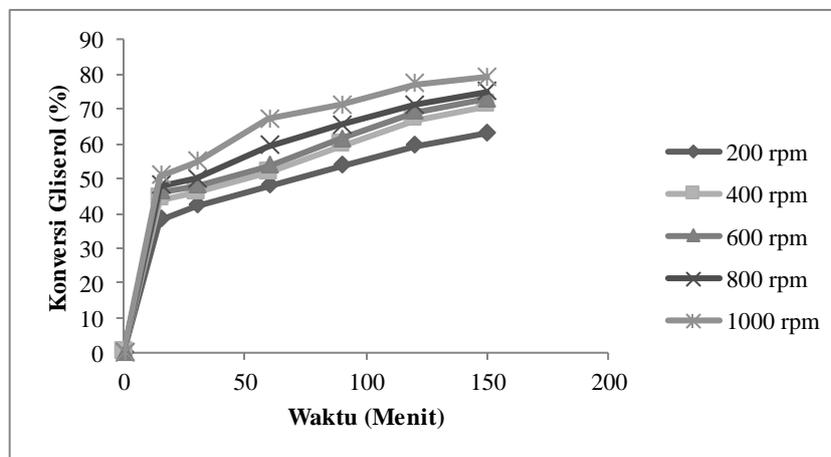
	Uji BET	Katalis	
		Non Aktivasi	Aktivasi
Luas Permukaan (m ² /g)	Multipoint BET	22,2794	14,3696
	BJH Adsorption	0,594579	0,238106
	BJH Desorption	0,812724	0,235787
Volum Pori (cc/g)	BJH Adsorption Cummulative micropore	0,0111654	0,00509174
	BJH Desorption Cummulative micropore	0,0080115	0,00436818
	Total Pore Volume	0,00941497	0,00213264
Ukuran Pori (nm)	BJH Adsorption Pore Radius	13,3246	13,6459
	BJH Desorption Pore Radius	8,38187	14,3428
	Average pore size	0,845171	0,296826

Kondisi yang digunakan menentukan jumlah molekul gas yang teradsorpsi oleh katalis padat, dalam hal ini gas yang digunakan adalah nitrogen sebesar 28,0134 g. Data yang diperoleh dengan analisa BET menunjukkan luas permukaan aktif katalis karbon aktif yang belum diaktivasi sebesar 22,2794 m²/g dan luas permukaan katalis karbon aktif yang telah diaktivasi menggunakan asam sulfat sebesar 14,3696 m²/g. Luas permukaan dan volume pori katalis sebelum dan sesudah diaktivasi mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena adanya gugus sulfur pada asam sulfat yang dapat menyebabkan oklusi situs aktif di dalam pori-pori pada permukaan karbon aktif (Khayoon dan Hameed, 2011). Ukuran rongga yang kecil dan rapat disebabkan oleh proses aktivasi sebelumnya yang kurang lama dan tinggi, sehingga proses pembukaan pori yang belum sempurna. Ukuran pori ini tentunya akan mempengaruhi jumlah asam sulfat yang akan terserap. Diperlukan suhu yang relatif tinggi untuk perawatan hidrotermal bahan karbon aktif dengan larutan asam sulfat untuk mendapatkan aktivasi permukaan yang seragam dan untuk meningkatkan jumlah lokasi aktif yang dapat digunakan (Amelia dkk., 2013). Selain itu kurangnya pengadukan juga dapat mempengaruhi interaksi antara partikel karbon aktif dengan pelarut, sehingga katalis yang dihasilkan kurang optimum (Sulistiyani dkk., 2013).

Konversi gliserol dianalisis dengan menghitung gliserol total menggunakan titrasi. Titik akhir titrasi ditandai dengan berubahnya larutan menjadi tidak berwarna. Konversi gliserol sebagai variasi waktu, suhu dan kecepatan pengadukan dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Berdasarkan Gambar 2, konversi gliserol mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu reaksi. Konversi gliserol yang diperoleh pada suhu 60°C sebesar 36,55% dan mengalami peningkatan menjadi 78,73% pada suhu 120°C. Peningkatan suhu dapat meningkatkan konversi gliserol karena semakin tinggi suhu maka partikel semakin aktif bergerak dan mengalami tumbukan antar molekul karena energi aktivasi meningkat yang dapat mempercepat laju reaksi. Hasil yang diperoleh serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Nuryoto dkk (2011) dengan menggunakan katalis indion 225 Na dengan variasi suhu antara 60 sampai 100°C menghasilkan konversi tertinggi sebesar 41,7% pada suhu 100°C dengan kecepatan pengadukan 1000 rpm, perbandingan pereaksi 7 gmol asam asetat/gmol gliserol, dan konsentrasi katalis 3% berat asam asetat.



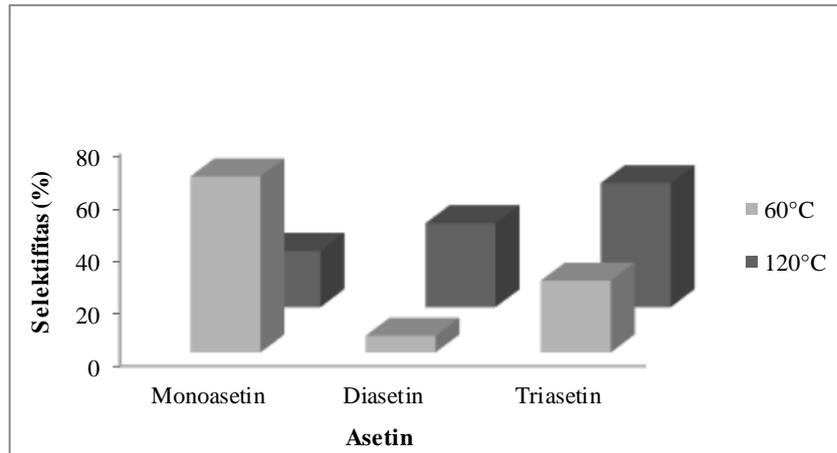
Gambar 2. Grafik konversi gliserol menggunakan variasi suhu. *Note:* ◆ = 60, ■ = 75, ▲ = 90, × = 105, dan * = 120°C



Gambar 3. Grafik konversi gliserol menggunakan variasi kecepatan pengadukan. *Note:* ◆ = 200, ■ = 400, ▲ = 600, × = 800, dan * = 1000 rpm

Seperti pada Gambar 3, konversi gliserol meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan pengadukan. Konversi gliserol pada kecepatan pengadukan 200 rpm ke 1000 rpm bertambah dari 63,04% menjadi 79,18%. Semakin cepat pengadukan maka interaksi antar molekul semakin besar juga, sehingga dapat meningkatkan laju reaksi asetilasi gliserol. Hal ini berbanding lurus dengan lamanya waktu bereaksi karena semakin lama waktu reaksi maka konversi semakin besar akibat kesempatan pereaksi untuk saling bertumbukan semakin besar (Octave Levenspiel, 1999). Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan variabel bebas massa katalis dengan waktu reaksi 1 jam, perbandingan gliserol dan asam asetat 1:3, temperatur 80°C, dan kecepatan pengadukan 100 rpm terhadap konversi dinyatakan valid untuk memprediksi hasil percobaan (Munandar dkk., 2014). Gangadwala dkk., (2003) melakukan variasi kecepatan pengadukan 200 rpm, 360 rpm, dan 1300 rpm. Pada 200 rpm dan 360 rpm fraksi mol asam asetat pada 1000 detik turun dari 0,5 menjadi 0,28. Setelah kecepatan dinaikan menjadi 1300 rpm fraksi mol asam asetat turun menjadi 0,25.

Produk akhir setiap variasi suhu asetilasi gliserol dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengetahui komposisi aseton dalam produk reaksi. Selektifitas aseton merupakan prosentase produk aseton (monoasetin, diasetin, dan triasetin) terhadap total produk aseton. Nilai selektifitas aseton dapat dilihat pada Gambar 4. Perubahan selektifitas aseton menyatakan bahwa, setiap bertambahnya waktu terhadap kenaikan suhu dan kecepatan pengadukan dapat meningkatkan selektifitas aseton.



Gambar 4. Grafik selektifitas asetin pada suhu 60°C dan 120°C

Nilai selektifitas asetin berbanding lurus dengan kenaikan suhu. Nilai selektifitas pada monoasetin, diasetin, dan triasetin pada suhu 60°C secara berurutan adalah 66,54%, 6,30%, dan 27,15%, sedangkan pada suhu 120°C sebesar 21,31%, 31,78%, dan 46,92%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pada reaksi asetilasi akan didapatkan selektifitas asetin yang lebih tinggi hingga menjadi produk triasetin. Selain itu, dapat diketahui bahwa selektifitas triasetin pada kecepatan pengadukan 200 rpm hingga 1000 rpm mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu reaksi. Hal ini terjadi karena dengan dinaikan kecepatan pengadukan maka energi yang dimiliki oleh molekul-molekul pereaksi bertambah besar sampai melebihi energi aktivasinya sehingga tumbukan antar molekul meningkat, dan ini berakibat pada meningkatnya laju reaksi. Penelitian asetilasi gliserol sebelumnya sudah dilakukan menggunakan beberapa katalis padat, seperti silika alumina dengan rasio katalis 5% dari berat gliserol pada suhu 80°C diperoleh nilai selektifitas monoasetin 88,5%, diasetin 11,2 %, dan 0,3% triasetin (Inbae dkk., 2014). Selain menggunakan katalis silika alumina, kim juga melakukan dengan katalis $\text{SO}_3\text{H-SBA15}$ dengan nilai selektifitas 11,1% monoasetin, 61,9% diasetin, dan 27% triasetin. Sehingga dapat dikatakan bahwa katalis karbon teraktivasi sulfat lebih tinggi dan berpotensi sebagai katalis pembuatan bioaditif triasetin.

Kesimpulan

Pembuatan katalis karbon yang diaktivasi dengan asam sulfat telah dilakukan dan diuji kinerjanya pada reaksi asetilasi gliserol menghasilkan triasetin. Aktivasi karbon dengan asam sulfat menurunkan luas permukaan dan volum pori katalis tetapi sedikit meningkatkan diameter pori. Uji BET menunjukkan luas permukaan katalis karbon yang telah diaktivasi menggunakan asam sulfat sebesar 14,3696 m^2/g . Pengujian kinerja katalis pada asetilasi gliserol menjadi triasetin menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan kecepatan pengadukan maka semakin besar konversi gliserol yang diperoleh. Konversi gliserol tertinggi, yaitu 79,18% pada suhu 120°C dengan kecepatan pengadukan pada 1000 rpm. Begitu juga selektifitas asetin tertinggi sebesar 21,31% monoasetin, 31,78% diasetin, dan 46,92% triasetin pada suhu dan kecepatan pengadukan yang sama.

Daftar Notasi

- B = volume titrasi tiosulfat untuk larutan blangko [mL]
- C = volume titrasi tiosulfat untuk larutan contoh [mL]
- N = normalitas larutan tiosulfat [N]
- a = berat berat percontoh (g)
- b = berat volume percontoh (g)

Daftar Pustaka

- Amelia R, Pandapotan H, Purwanto. Pembuatan dan karakterisasi katalis karbon aktif tersulfonasi sebagai katalis ramah lingkungan pada proses hidrolisis biomassa. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 2013; 2 (4): 146- 156.
- Balaraju M, Nikhitha P, Jagadeeswarai K, Srilatha K, Sai Prasad P.S, Lingaiah N. Acetylation of glycerol to synthesize bioadditives over niobic acid supported tungstophosphoric acid catalysts. *Fuel Processing Technology*. Elsevier B.V. 2010; 91(2): 249–253.
- Chandrakala U, Prasad RBN, Prabhavathi Devi BLA. Glycerol valorization as biofuel additives by employing a carbon-based solid acid catalyst derived from glycerol. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 2010; 53(42): 16164–16169.



- Silaban DM, Helwani Z, Yenti SR. Esterifikasi gliserol sebagai produk samping biodiesel menjadi triacetin dengan menggunakan katalis zeolit alam pada variasi suhu reaksi dan konsentrasi katalis, *JOM FTEKNIK*. 2015; 2(2): 1–7.
- Devitria R, Nurhayati, Anita S. Sintesis biodiesel dengan katalis heterogen lempung cengar yang diaktivasi dengan naoh : pengaruh waktu reaksi dan rasio molar minyak : metanol. *J. Ind Che Acta*. 2013; 3(2): 39–44.
- Dosuna-Rodríguez I, Adriany C, Gaigneaux EM. Glycerol acetylation on sulphated zirconia in mild conditions. *Catalysis Today*. 2011; 167(1): 56–63.
- Freese U, Heinrich F, Roessner F. Acylation of aromatic compounds on H-Beta zeolites. *Catalysis Today*. 1999; 49(1–3): 237–244.
- Gangadwala J, Mankar S, Mahajani S, Kienle A, Stein S. Esterification of acetic acid with butanol in the presence of ion-exchange resins as catalysts. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 2003; 42(10): 2146–2155.
- Gonçalves VLC, Pinto BP, Silva, J.C. Mota, C.J.A. Acetylation of glycerol catalyzed by different solid acids. *Catalysis Today*. 2008; 133–135(1–4): 673–677.
- Inbae K, Jaesung K, Doohwan L. A comparative study on catalytic properties of solid acid catalysts for glycerol acetylation at low temperatures. *Applied Catalysis B: Environmental*. Elsevier B.V. 2014; 148–149, pp. 295–303.
- Khayoon MS, Hameed BH. Acetylation of glycerol to biofuel additives over sulfated activated carbon catalyst. *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd. 2011; 102(19): 9229–9235
- Kuang W, Rives A, Fournier M, Hubaut R, Structure and reactivity of silica-supported 12-tungstophosphoric acid. *Applied Catalysis A: General*. 2003; 250(2): 221–229.
- Liao X, Zhu Y, Shengguang W, Yong-Wang L, Producing triacetyl glycerol with glycerol by two steps: Esterification and acetylation. *Fuel Processing Technology*. Elsevier B.V. 2009; 90(7–8): 988–993.
- López DE, Goodwin JG, Bruce DA, Transesterification of triacetin with methanol on Nafion® acid resins, *Journal of Catalysis*. 2007; 245(2): 381–391.
- Melero JA, Grieken RV, Morales G, Paniagua M. Acidic mesoporous silica for the acetylation of glycerol: Synthesis of bioadditives to petrol fuel *Energy and Fuels*. 2007; 21(3): 1782–1791.
- Mencinger J, Aristovnik A, Verbič M, The impact of growing public debt on economic growth in the European union. *Amfiteatru Economic*. 2014; 16(35): 403–414.
- Munandar A, Krisdiyanto D, Artsanti P, Adsorpsi logam Pb dan Fe dengan zeolit alam teraktivasi asan sulfat. 2014; 6: 138–146.
- Nuryoto, Sulisty H, Rahayu SS, Sutijan. Uji performa katalisator resin penukar ion untuk pengolahan hasil samping pembuatan biodiesel menjadi triacetin. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*. 2010; pp. 1–5.
- Nuryoto, Sulisty H, Rahayu SS, Sutijan. Kinetika reaksi esterifikasi gliserol dengan asam asetat menggunakan katalisator indion 225 Na. *Jurnal Rekayasa Proses*. 2011; 5(2): 35–39.
- Octave Levenspiel. *Chemical Reaction Engineering*. New York. 1999
- Rahmat N, Abdullah AZ, Mohamed AR. Recent progress on innovative and potential technologies for glycerol transformation into fuel additives : A critical review. 2010; 14: 987–1000.
- Reddy PS, Sudarsanam P, Gangadhara R, Reddy B. Synthesis of bio-additives: Acetylation of glycerol over zirconia-based solid acid catalysts. *Catalysis Communications*. Elsevier B.V. 2010; 11(15): 1224–1228.
- Sari N, Helwani Z, Ronaldo H. Esterifikasi gliserol dari produk samping biodiesel menjadi triasetin menggunakan katalis zeolit alam. *JOM FTEKNIK*. 2015; 2(1): 1–7.
- Setyaningsih L, Siddiq F, Pramezy A. Esterification of glycerol with acetic acid over lewattit catalyst. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 154: 1-4
- Silva LN, Gonçalves VLC, Mota CJA. Catalytic acetylation of glycerol with acetic anhydride. *Catalysis Communications*. Elsevier B.V. 2010; 11(12): 1036–1039.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182 SNI Biodiesel 2015, SNI. Edited by Komite Teknis 27-04 Bioenergi. Jakarta: BSN 2015.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : **Renung Reningtyas (UPN "Veteran" Yogyakarta)**
Notulen : **Heni Anggorowati (UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Hazim Ibnu Adimar (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apa ada metode karakterisasi lain selain menggunakan BET?
Jawaban : Selain BET dapat menggunakan FTIR dan XRD

