



Pengaruh Perbedaan Rasio Mol Gliserol dengan Asam Asetat dan Jumlah Katalis terhadap Konversi Reaksi Asetilasi Gliserol Menggunakan Katalis Karbon Teraktifasi-Asam Sulfat

Zakiah, Nurul Patmawati, Anisa Cahyani Aprilia, Ika Rahma Maulida, 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

Esterification of glycerol with acetic acid produces highly important oxygenated biofuel additives, which are generally called as acetins namely, mono acetyl glycerol, di acetyl glycerol, and tri acetyl glycerol. Individually, each acetylated product has its own potential applications in various fields. Generally, esterification of glycerol is performed over homogeneous mineral acids. However, the use of these mineral acids is usually limited by several technical and environmental drawbacks. The challenge is to replace them with highly efficient heterogeneous solid acid catalysts which are easier to separate from the products, stable at high temperatures and less toxic. This study is to perform activated carbon catalyst on esterification of glycerol by varying molar ratio glycerol to acetic acid (1:3, 1:4, 1:5, and 1:6) and amount of catalyst (3%, 5%, 7% and 9%). The highest conversion was about 81.19% which was performed at 1:6 molar ratio and 5% catalyst amount.

Keywords : glycerol, acetins, activated carbon, solid catalyst

Pendahuluan

Pembakaran bahan bakar fosil untuk transportasi dan industri merupakan sumber utama polusi udara. Selain itu, berkurangnya cadangan minyak bumi juga telah meningkatkan kesadaran untuk menggunakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan sekaligus dapat diperbaharui, contohnya biodiesel. Biodiesel umumnya disintesis melalui reaksi transesterifikasi trigliserida (minyak nabati atau lemak binatang) dan alkohol berat molekul rendah (metanol atau etanol) dengan katalis basa. Selain biodiesel, reaksi ini juga menghasilkan gliserol. Kebijakan pemerintah untuk meningkatkan biosolar menyebabkan kebutuhan biodiesel meningkat sehingga peningkatan kapasitas produksi biodiesel ini juga meningkatkan jumlah gliserol. Konversi gliserol menjadi produk yang bernilai tambah diperlukan untuk mendukung pertumbuhan jangka panjang industri kimia.

Salah satu utilisasi gliserol adalah dengan reaksi asetilasi dengan menggunakan asam asetat. Produk dari asetilasi gliserol adalah berupa monoasetin atau monoasetil gliserol (1-monoasetil gliserol ; 2-monoasetil gliserol), diasetin atau diasetil gliserol (1,3-diasetil gliserol; 1,2-diasetil gliserol) dan triasetin atau triasetil gliserol (Liao dkk., 2010). Selain itu asetilasi gliserol dengan senyawa lain dapat menghasilkan produk-produk seperti gliserol triheptanoat, gliserol monostearat, lesitin, tri tetra butil gliserol, mono oleat gliserida, gliserol tri benzoat, dan gliserol ester maleat resin (Sari dkk., 2015).

Mono dan diasetin digunakan dalam aplikasi pada kriogenik dan bahan baku untuk produksi poliester yang dapat didegradasi. Selain itu, monoasetin juga dapat digunakan sebagai zat aditif pada makanan dan diasetin digunakan sebagai prekursor dalam sintesis lemak (Liao dkk., 2010). Triasetin merupakan senyawa yang dimanfaatkan sebagai aditif dalam biofuel untuk meningkatkan angka oktan pada bahan bakar minyak. Tri-asetin ini menggantikan octane booster seperti tetraethyl lead (TEL), methyl tertiary butyl ether (MTBE) dan ethyl tertiary butyl ether (ETBE) yang ketiganya memiliki beberapa kelemahan karena melepaskan timbal (Pb) ke udara yang dapat mengganggu kesehatan dan polusi udara (Sari dkk., 2015).

Reaksi asetilasi adalah reaksi katalitik. Reaksi asetilasi dapat berlangsung dengan katalis asam dan bersifat *reversible* (Fessenden dan Fessenden, 1982). Katalis heterogen yang bersifat asam banyak dikembangkan untuk mengatasi permasalahan yang diakibatkan katalis homogen. Penggunaan katalis homogen asam pada reaksi esterifikasi menyebabkan kontaminasi sulfur pada produk akhir dari Triasetin dan membutuhkan netralisasi dengan alkali. Oleh karena itu, pemakaian katalis padat untuk mengkatalisis suatu reaksi kimia heterogen semakin meluas (Utomo dan Laksono, 2007). Penggunaan katalis heterogen memberikan banyak keuntungan antara lain mudah dipisahkan produknya melalui filtrasi karena fasanya berbeda dengan produknya, mudah diregenerasi, dapat



digunakan kembali, tidak menghasilkan sabun jika bereaksi dengan FFA (*Free Fatty Acid*), lebih ramah lingkungan, lebih murah, dan tidak bersifat korosif (Guan dkk., 2009).

Dalam pembuatan asetin, beberapa peneliti menggunakan katalis asam heterogen yang berbeda untuk proses asetilasi gliserol seperti zeolit (Silaban dkk., 2015), asam sulfat (Handono dan Satriadi, 2012), asam sulfat pekat (Dewati dan Teddy, 2010), karbon aktif (Khayoon dan Hameed, 2011), dan Amberlyst-35 (Liao dkk., 2010). Khayoon dkk meneliti tentang produksi triacetin dengan metode asetilasi gliserol. Katalis yang digunakan adalah karbon aktif yang diaktivasi dengan perlakuan hidrotermal menggunakan asam sulfat. Kondisi terbaik diperoleh menggunakan katalis karbon aktif dengan konsentrasi asam sulfat 5M diperoleh konversi gliserol 91% pada perbandingan molar gliserol dengan asam asetat adalah 1:8, temperatur 120°C dan berat katalis 0,8 gram (Khayoon dan Hameed, 2011).

Pada percobaan kali ini, katalis karbon aktif dapat dilihat dan digunakan untuk reaksi asetilasi gliserol menjadi asetin. Karbon aktif merupakan karbon amorf dengan luas permukaan sekitar 300 sampai 2000 m²/gr (Ramdja dkk., 2008). Luas permukaan yang sangat besar ini karena mempunyai struktur pori-pori, pori-pori inilah yang menyebabkan karbon aktif mempunyai kemampuan untuk menyerap. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-1000 % terhadap berat karbon aktif (Esterlita dan Herlina, 2015). Faktor-faktor yang mempengaruhi konversi gliserol adalah : suhu (Silaban, Helwani dan Yenti, 2015), rasio gliserol dengan asam asetat (Handono dan Satriadi, 2012), jumlah katalis dan jenis katalis (Liao dkk., 2009) dan kecepatan pengadukan serta waktu reaksi (Dewati dan Teddy, 2010). Tulisan ini melaporkan hasil percobaan penggunaan katalis karbon teraktivasi asam sulfat dalam reaksi asetilasi gliserol menjadi asetin dengan memvariasikan rasio mol gliserol-asam asetat (1:3, 1:4, 1:5, dan 1:6) dan jumlah katalis (3%, 5%, 7% dan 9%).

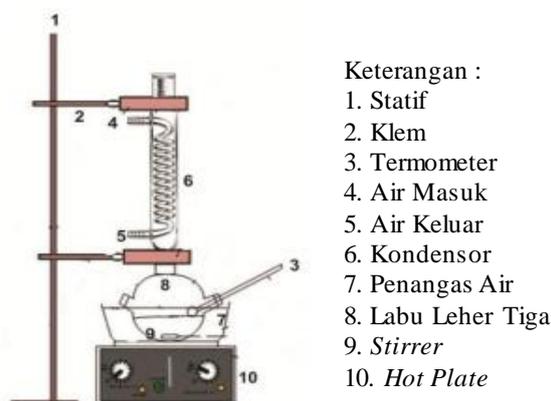
Metode Penelitian

Bahan

Bahan yang digunakan untuk melakukan proses penelitian adalah : Asam asetat glasial (100% dari Merck, Germany), amilum, asam klorida (37% dari Merck, Germany), asam periodat (Merck, Germany), asam sulfat (95-98% dari Merck, Germany), aquades, gliserol (85% dari Merck, Germany), kalium iodida (Merck, Germany), kalium dikromat (Merck, Germany), karbon aktif, Kloroform (Merck, Germany), dan natrium tiosulfat (Merck, Germany).

Alat

Rangkaian alat pembuatan asetin dapat dilihat pada Gambar 1. Selain itu alat yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas kimia, pH universal, teflon autoklaf, buret, oven, dan alat uji *Brunauer-Emmett-Teller (Quantachrome Novatouch Lx4)*.



Gambar 1. Rangkaian alat pembuatan asetin

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap berupa suhu operasi 120°C, kecepatan pengadukan 1000 rpm dan waktu reaksi 150 menit. Sedangkan variabel bebas berupa jumlah katalis (3%, 5%, 7% dan 9% dari massa gliserol) dan perbandingan pereaksi gliserol dan asam asetat (1:3, 1:4, 1:5, dan 1:6).

Pembuatan Katalis

Sampel karbon aktif disaring menggunakan saringan ukuran partikel sebesar 500 - 710 µm. Sebanyak 8 g katalis karbon aktif di masukan kedalam autoklaf berlapis teflon, setelah itu ditambahkan 160 mL asam sulfat konsentrasi 5 M. Larutan diaduk pada suhu 85°C selama 4 jam. Semua sampel disaring, lalu dilakukan penyucian berulang kali

dengan air hangat deionisasi sampai netralitas air bilasan, Sampel, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 6 jam (Khayoon dan Hameed, 2011).

Pengujian Katalis

Teknik *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) untuk menentukan luas permukaan katalis. Alat *Quantachrome Novatouch Lx4* dialiri gas nitrogen untuk memperoleh isothermal adsorpsi-desorpsi. Distribusi ukuran pori dan diameter pori dihitung menggunakan teknik *Barrett-Joyner-Halenda* (BJH).

Proses Pembuatan Triasetin

Aktivasi katalis dalam reaksi asetilasi gliserol dengan asam asetat dilakukan dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan pendingin refluks. Gliserol sebanyak 19,13 ml, asam asetat sebanyak 113,1 ml, direaksikan dengan variabel tetap berupa waktu selama 150 menit, kecepatan pengadukan 1000 rpm, dan suhu 120°C. Sedangkan variabel bebas berupa perbandingan rasio mol gliserol-asam asetat (1:3, 1:4, 1:5, dan 1:6) dan jumlah katalis (3%, 5%, 7%, dan 9%) (Khayoon dan Hameed, 2011). Pada penelitian ini menggunakan 2 kali proses asetilasi dimana proses pertama apabila menggunakan variabel bebas yaitu perbandingan rasio mol gliserol-asam asetat (1:3, 1:4, 1:5, dan 1:6), maka variabel tetap berupa waktu selama 150 menit, kecepatan pengadukan 1000 rpm, jumlah katalis 5% (massa gliserol) dan suhu 120°C. Kemudian pada proses kedua variabel bebas berupa jumlah katalis (3%, 5%, 7%, dan 9%), dan variabel tetap berupa waktu selama 150 menit, kecepatan pengadukan 1000 rpm, perbandingan rasio mol gliserol-asam asetat 1:6 dan suhu 120°C. Setiap periode waktu tertentu sampel diambil untuk menentukan konversi gliserol. Sebanyak 1 gram sampel diambil, kemudian diencerkan dalam 100 mL aquades. Lalu larutan sampel yang sudah diencerkan diambil sebanyak 1 gram ditimbang dalam botol timbang. Kemudian larutan 1 gram yang sudah diencerkan dalam botol timbang dimasukkan ke dalam labu takar ukuran 500 ml dengan menggunakan kloroform 50 ml. Selanjutnya sampel ditambah 100 ml aquades, labu takar ukuran 500 ml ditutup dengan rapat, kemudian dikocok kuat kuat selama 30-60 detik. Langkah selanjutnya aquades ditambahkan sampai garis batas, labu takar ukuran 500 ml ditutup dengan rapat, campuran dikocok kembali hingga tercampur dan dibiarkan tenang sampai lapisan akuatik dan kloroform terpisah sempurna. Kemudian larutan akuatik 50 ml di ambil 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 dan setelah mencapai titik akhir titrasi volum titrasi natrium tiosulfat dicatat. Lalu dilakukan analisis blangko dengan menerapkan langkah diatas pada aquades (Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182, 2015). Konversi asam asetat dan selektivitas gliserol dapat dihitung menggunakan persamaan 1 dan 2.

$$\text{Konversi Gliserol} = \frac{2,302 (B-C)N}{\left(\frac{a-b}{900}\right)} \times 100\% \quad (1)$$

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

Keterangan :

B adalah volume larutan natrium tiosulfat yang habis dalam titrasi blangko, dinyatakan dalam mililiter (ml);
C adalah volume larutan natrium tiosulfat yang habis dalam titrasi percontoh, dinyatakan dalam mililiter (ml);
N adalah konsentrasi eksak larutan natrium tiosulfat, dinyatakan dalam normalitas (N);
a adalah berat percontoh (gram);
b adalah volume percontoh (ml).

Hasil dan Pembahasan

Untuk mengetahui karakteristik karbon aktif yang diperoleh maka dilakukan karakterisasi fisis yaitu analisa luas permukaan. Analisa luas permukaan dilakukan dengan adsorpsi gas N₂ melalui metode *Brunauer-Emmett-Teller* (BET). Luas permukaan merupakan salah satu karakter fisik yang berhubungan langsung dengan kemampuan adsorpsi karbon terhadap zat - zat yang akan diserap. Tabel 1 merupakan hasil pengujian BET yang meliputi luas permukaan, volum pori, dan ukuran pori karbon yang telah diaktivasi dengan asam sulfat dan yang tanpa aktivasi. Luas permukaan pada katalis karbon aktif tanpa aktivasi sebesar 22,2794 m²/g dan luas permukaan katalis karbon aktif setelah diaktivasi menggunakan H₂SO₄ yaitu sebesar 14,3696 m²/g. Untuk volume pori (cc/g) karbon aktif tanpa aktivasi didapatkan hasil dari total pore volume sebesar 0,00941497 dan total pore volume setelah diaktivasi sebesar 0,00213264. Sementara ukuran pori pada katalis karbon aktif tanpa aktivasi didapatkan ukuran rata-rata pori sebesar 0,845171 nm sedangkan ukuran rata-rata pori karbon aktif setelah diaktivasi sebesar 0,296826 nm. Hal ini terjadi penurunan pada karbon non aktivasi ke karbon yang teraktivasi. Hal ini bisa disebabkan karena suhu dan waktu karbonasi yang optimum. Pada suhu yang lebih tinggi, terbentuk lebih banyak ter (*tars*) serta keruntuhan pori, yang

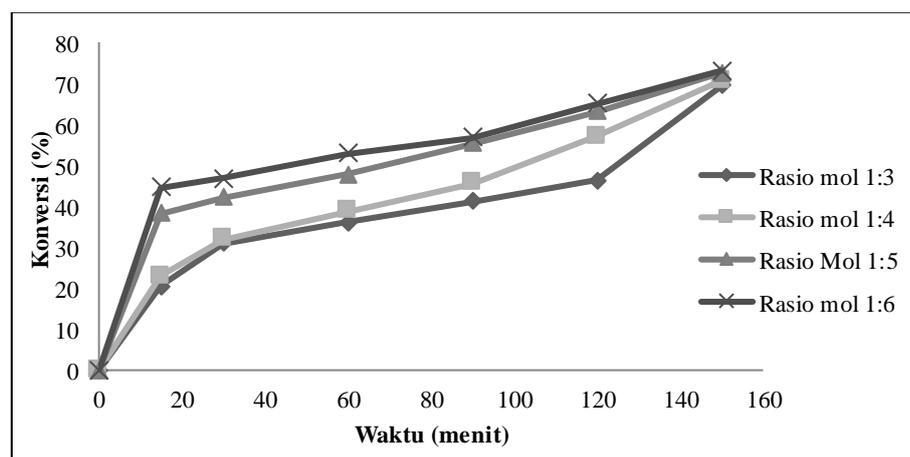
mengakibatkan penurunan luas permukaan. Dan peningkatan waktu memiliki efek negatif dalam pengembangan area permukaan mungkin karena pemblokiran pori-pori dari pembentukan ter (Kristianto, 2017). Sehingga menyebabkan terjadinya okulasi situs aktif didalam pori-pori yang mengakibatkan penurunan setelah katalis diaktivasi.

Tabel 1. Hasil Uji BET

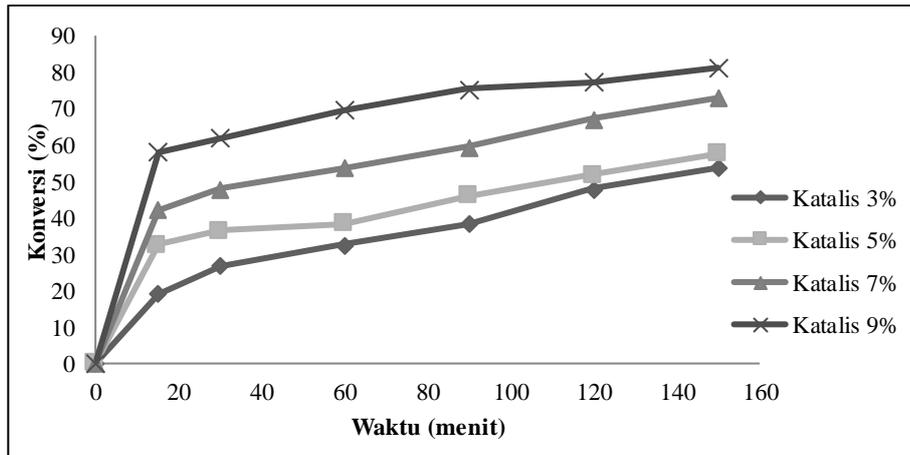
Hasil Uji BET		Katalis	
		Non Aktivasi	Aktivasi
Luas Permukaan (m ² /g)	Multipoint BET	22,2794	14,3696
	BJH adsorption	0,594579	0,238106
	BJH desorption	0,812724	0,235787
Volume Pori (cc/g)	BJH adsorption cumulative micropore volume	0,0111654	0,00509174
	BJH desorption cumulative micropore volume	0,0080115	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

Konversi gliserol dianalisis dengan menghitung gliserol sisa menggunakan titrasi, dimana titik akhir titrasi ditandai dengan berubahnya warna menjadi warna biru hilang. Penentuan konversi gliserol sebagai fungsi waktu reaksi. Rasio mol reaktan dan jumlah katalis dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

Gambar 2 merupakan grafik hubungan antara konversi gliserol dan waktu pada berbagai variasi perbandingan mol gliserol dengan asam asetat. Perbandingan rasio mol reaktan yang digunakan adalah 1:3, 1:4, 1:5, dan 1:6. Nilai konversi disini digunakan untuk mengetahui jika perbandingan rasio mol reaktan divariasikan akan mempengaruhi atau tidaknya terhadap nilai konversi gliserol. Penelitian yang dilakukan oleh K.H dan Satriadi (2012) mendapatkan hasil yang serupa yaitu semakin banyak asam asetat yang ditambahkan kepada gliserol, semakin tinggi nilai konversi gliserol. Hal ini disebabkan karena esterifikasi merupakan reaksi *reversible* (Fessenden dan Fessenden, 1982), sehingga jika salah satu reaktan dibuat berlebih, maka reaksi akan bergeser ke arah kanan dan bertumbuhnya antar molekul semakin besar yang mengakibatkan konversi semakin besar pula (McKetta, J. J, dan Cunningham, 1977). Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa rasio mol reaktan mempengaruhi konversi gliserol. Bisa dilihat bahwa variasi perbandingan rasio mol gliserol dengan asam asetat mengalami kenaikan nilai konversi gliserol, pada rasio mol 1:3 menghasilkan konversi sebesar 69,36%, rasio mol 1:4 menghasilkan sebesar 70,65%, rasio mol 1:5 sebesar 72,59, dan rasio mol 1:6 sebesar 73,09%. Hal ini menunjukkan bahwa rasio mol reaktan memberi pengaruh yang signifikan terhadap konversi gliserol. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa konversi tertinggi diperoleh pada rasio mol reaktan 1: 6 pada suhu 120°C yaitu 73,09 %, sedangkan konversi terendah 69,36% diperoleh dalam rasio mol reagen 1: 3. Ketika rasio mol reaktan yang lebih besar meningkat, itu akan mempengaruhi laju reaksi yang berjalan lebih cepat dengan meningkatnya konversi. Pada penelitian ini diperoleh konversi yang tinggi. Hasil penelitian yang sudah dilakukan ini dapat dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu yang sudah dilakukan (Gelosa dkk., 2003; Ferreira dkk., 2009, 2011; Liao dkk., 2009; Balaraju dkk., 2010; Jagadeeswarai dkk., 2010; Reddy dkk., 2010; Khayoon dan Hameed, 2011), dimana para peneliti-peneliti tersebut membutuhkan waktu yang lebih lama sekitar 4 jam adapun dalam penelitian ini masih sekitar 150 menit bahkan dapat lebih singkat lagi.



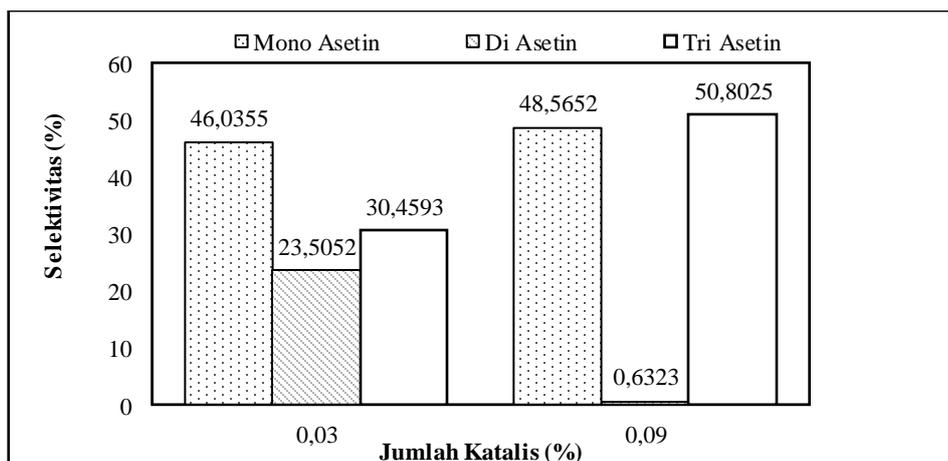
Gambar 2. Grafik hubungan antara konversi gliserol dan waktu pada berbagai perbandingan rasio molar reaktan.



Gambar 3. Hubungan antara konversi gliserol dan waktu pada berbagai persen berat katalis.

Gambar 3 merupakan Hubungan antara Konversi Gliserol dan waktu pada Berbagai Persen Berat Katalis. Nilai konversi yang didapat dari setiap percobaan akan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh kenaikan berat katalis terhadap konversi gliserol. Penelitian yang dilakukan oleh Rastegari (2015) menunjukkan hal yang serupa, dimana dengan meningkatnya konsentrasi katalis, maka konversi cenderung meningkat. Dari Gambar 3 terlihat bahwa nilai konversi gliserol menjadi aseton melalui reaksi esterifikasi semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi katalis atau persen berat katalis yang digunakan. Dari percobaan yang dilakukan, konversi tertinggi diperoleh pada persen berat katalis 9% dengan konversi sebesar 81,19%, sedangkan konversi terendah diperoleh pada persen berat katalis 3% dengan konversi sebesar 53,72%. Kecenderungan yang teramati dari Gambar 3 adalah pada peningkatan berat katalisator dari 7% hingga 9% yaitu dari konversi 72,90% menjadi 81,19%. Sedangkan pada peningkatan berat katalisator dari 3% menjadi 5% kenaikan konversi tidak terlalu signifikan. Hal serupa juga demikian dilakukan oleh Lucky (2017) dimana pada persen berat katalis 5% terlihat bahwa konversi tidak mengalami peningkatan dibanding dengan penggunaan katalis 3% berat. Hal ini mungkin disebabkan tidak terjadi pencampuran yang sempurna yang disebabkan karena kerapatan padatan katalis didalam larutan cukup besar sehingga mengurangi bidang kontak antara katalis dan reaktan. Secara umum dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara berat katalisator 3% dan 5%. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa berat katalisator 5% merupakan berat katalis optimum.

Selain itu, dengan tingginya konsentrasi padatan dalam larutan memungkinkan terjadinya *dead zone* di dalam reaktor. Jagadeeswariah (2010) menyatakan bahwa dengan sedikit jumlah katalis yang mencukupi digunakan maka konversi maksimum dapat dicapai. Berbeda dengan selektivitas yang tidak terlalu terpengaruh oleh perubahan berat katalis yang digunakan.



Gambar 4. Grafik selektivitas aseton pada rasio mol gliserol dengan asam asetat (1:6) dan jumlah katalis (3% dan 9%)

Analisis GC-MS dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis senyawa tersebut serta selektivitas yang terkandung dalam sampel dengan mengacu pada %area yang terbentuk. Komponen-komponen senyawa tersebut seperti monoasetin, diasetin dan triasetin. Gambar 4 merupakan grafik selektivitas aseton pada rasio mol gliserol dengan asam



asetat (1:6) dan jumlah katalis (3% dan 9%). Dari Gambar 7 hasil pengukuran GC-MS asetilasi gliserol pada rasio mol dengan asamasetat (1:6) dan jumlah katalis (3% dan 5%) dihasilkan konversi pada berat katalis 3% yaitu pada monoasetin sebesar 46,0355%, diasetin 23,5052%, dan triasetin 30,4593%. Sedangkan pada berat katalis 9% didapatkan konversi monoasetin sebesar 48,5652%, diasetin sebesar 0,6323% dan triasetin 50,8025%. Dapat dilihat bahwa senyawa monoasetin dan senyawa triasetin dari berat katalis 3% ke 5% mengalami peningkatan konsentrasi. Hal ini terjadi semakin tinggi konsentrasi berat katalis maka konversi selektifitas akan semakin tinggi pula.

Hasil analisis GC-MS dari proses asetilasi ini memperlihatkan bahwa senyawa triasetin merupakan senyawa yang paling dominan yang terkandung dalam proses asetilasi tersebut. Hal ini disebabkan karena triasetin memiliki konversi yang paling tinggi. Kadar triasetin semakin bertambah seiring dengan semakin tingginya konsentrasi dari berat katalis serta semakin besar perbandingan pereaksi gliserol asamasetat semakin besar konversi yang diperoleh.

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa luas permukaan karbon aktif yang telah diaktivasi menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) mendapatkan hasil sebesar $14,3696 \text{ m}^2/\text{g}$. Pada proses asetilasi gliserol dengan asamasetat yang menggunakan katalis karbon aktif diperoleh kondisi terbaik yaitu pada rasio mol gliserol dan asamasetat 1:6 dan jumlah katalis sebanyak 9% dengan nilai konversi sebesar 81,19 %, dan nilai selektivitasnya yaitu monoasetin yang didapat sebesar 98,982%, diasetin 100%, dan triasetin sebesar 76,48%.

Daftar Pustaka

- Balaraju M, Nikhitha P, Jagadeeswaraiiah K, Srilatha K, Sai Prasad PS, 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.
- Dewati R, Teddy H. Pengolahan limbah pabrik sabun dari soap gliserin menjadi triasetin. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 2010; 2 (2): 49–56.
- Esterlita MO, Herlina N. Pengaruh penambahan aktivator $ZnCl_2$, KOH, dan H_3PO_4 dalam pembuatan karbon aktif dari pelepah aren (*Arenga Pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU* 2015; 4(1): 47–52.
- Ferreira P, Fonseca IM, Ramos AM, Vital J, Castanheiro JE. Esterification of glycerol with acetic acid over dodecamolybdophosphoric acid encaged in USY zeolite. *Catalysis Communications*. Elsevier B.V. 2009; 10 (5): 481–484.
- Ferreira P, Fonseca IM, Ramos AM, Vital J, Castanheiro JE. Acetylation of glycerol over heteropolyacids supported on activated carbon. *Catalysis Communications*. Elsevier B.V. 2011; 12 (7): 573–576.
- Fessenden RJ, Fessenden JS. *Kimia Organik*. Jilid 2 Ed. Jakarta: Erlangga, 1982
- Gelosa D, Ramaioli M, Valente G, Morbidelli M. Chromatographic reactors: Esterification of glycerol with acetic acid using acidic polymeric resins. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 2003; 42 (25): 6536–6544.
- Guan G, Kusakabe K, Yamasaki S. Tri-potassium phosphate as a solid catalyst for biodiesel production from waste cooking oil. *Fuel Processing Technology*. Elsevier B.V. 2009; 90 (4): 520–524.
- Handono IWK, Satriadi H. Produksi triacetin dengan proses esterifikasi gliserol dan asamasetat menggunakan katalis asam sulfat. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 2012; 1 (1): 508–512.
- Jagadeeswaraiiah K, Balaraju M, Sai Prasad PS, Nakka L. Selective esterification of glycerol to bioadditives over heteropoly tungstate supported on Cs-containing zirconia catalysts. *Applied Catalysis A General*. Elsevier B.V. 2010; 386 (1–2): 166–170.
- Khayoon MS, Hameed BH. (2011). Acetylation of glycerol to biofuel additives over sulfated activated carbon catalyst. *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd. 2011; 102 (19): 9229–9235.
- Kristianto H. Review : Sintesis karbon aktif dengan menggunakan aktivasi kimia $ZnCl_2$. *Jurnal Integrasi Proses* 2017; 6 (3): 104–111.
- Liao X, Zhu Y, Wang S, Li Y. Producing triacetyl glycerol with glycerol by two steps: Esterification and acetylation. *Fuel Processing Technology*. Elsevier B.V. 2009; 90 (7–8): 988–993.
- Liao X, Zhu Y, Wang S, Chen H, Li Y. Theoretical elucidation of acetylating glycerol with acetic acid and acetic anhydride. *Applied Catalysis B: Environmental* 2010; 94 (1–2): 64–70.
- McKetta JJ, Cunningham WA. (1977) *Encyclopedia of Chemical Processing and Design Vol 2*, New York.: Marcel Dekker Inc. 1977
- Nuryoto, Sulistyono H, Suprihastuti S, Rahayu S, Sutijan. Kinetika reaksi esterifikasi gliserol dengan asamasetat menggunakan katalisator indion 225 Na. *Jurnal Rekayasa Proses* 2013; 5 (2): 35–39.
- Perdana KF, Hakim I. Pembuatan sabun cair dari minyak jarak dan soda sebagai upaya meningkatkan pangsa pasar soda q. *Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang*. Skripsi, 2009
- Ramdja AF, Halim M, Handi J. Pembuatan karbon aktif dari pelepah kelapa (*Cocos nucifera*). *Jurnal Teknik Kimia* 2008; 15 (2): 1–8.
- Reddy PS, Sudarsanam P, Raju G, Reddy BM. 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 F TEKNIK* 2015; 2 (1): 1–7.
- 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.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182. *Sni Biodiesel 2015* Edited by Komite Teknis 27-04 Bioenergi. Jakarta: BSN 2015.
- Utami EV, Prastiwi ND. Sintesa dan karakterisasi biokomposit *Poly (L- Lactic Acid) / Cellulose acetate bead* sebagai biodegradable adsorben. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 2017
- Utomo MP, Laksono EW. Tinjauan umum tentang deaktivasi katalis pada reaksi katalis heterogen. *Prosiding Seminar Nasional MIPA 2007* pp. 110–115.





Lembar Tanya Jawab

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

1. Penanya : Renung Reningtyas (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apakah pernah dicoba katalisnya digunakan kembali (*recycle*)?
Jawaban : Dari penelitian kami belum mencoba untuk *recycle* katalis, tetapi dari beberapa jurnal menyebutkan bahwa katalis dapat di-*recycle*
2. Penanya : Dhica Amrullah Setya (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Mengapa aktivator karbon aktif (katalis) menggunakan asam sulfat?
Jawaban : Berdasarkan referensi, aktivasi katalis menggunakan asam sulfat menghasilkan selektifitas yang paling tinggi

