Pemanfaatan Gliserol dari Produk Samping Biodiesel Menjadi Triacetin Melalui Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis Zeolit Alam

Juliana Rizki[1], Zuchra Helwani[2], Hari Rionaldo[3]
Laboratorium Teknologi Oleokimia
Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
*Email : julianarizki@gmail.com

ABSTRACT

Glycerol by-product of biodiesel through transesterification reaction is currently not fully utilized as raw materials or as chemical products. Crude glycerol can be purified to be processed into more useful products. Through conversion into triacetin with the esterification process using acetic acid and solid catalyst in the form of natural zeolite. Triacetin can be used for food and non-food. The objective of this study was to study the effect of catalyst loading natural zeolite and temperature on glycerol conversion on triacetin production process. The experiments were carried in batch process with time of reaction 4 hours were optimum for glycerol conversion, the molar ratio of glycerol to acetic acid 1:7 and size of catalyst -100 mesh and +150 mesh with variation of reaction temperature (90, 100, and 110 ^{o}C) and catalyst concentration (1%, 3%, and 5%-w). The results of the qualitative analysis by means of Fourier Transform Infrared Spectroscopy confirmed there is triacetin as product. Increasing of temperature reaction increased of glycerol conversion. But increasing of catalyst loading not increased of glycerol conversion. The glycerol conversion was 96,49%, where obtained using the reaction condition: temperature 110 ^{o}C and catalyst of natural zeolite was 3% (w/w) acetic acid based.

Keywords: glycerol, esterification, zeolites, triacetin

I. Pendahuluan

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang terbuat dari minyak nabati dan alkohol. Pembuatan biodiesel dengan cara transesterifikasi menghasilkan rata-rata konversi biodiesel 90% dan produk samping berupa gliserol sebanyak 10% dari produksi. Peraturan Presiden No. 5/ 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional menyebutkan kuota bahan bakar nabati (BBN) jenis biodiesel pada tahun 2011-2015 sebesar 3 persen dari konsumsi energi nasional atau setara dengan 1,5 juta kilo liter.

Pertambahan gliserol akan berkali-kali lipat mulai target produksi biodiesel tahun 2015 dihasilkan gliserol 150 ribu kilo liter kemudian target tahun 2025 akan dihasilkan gliserol sebanyak tiga kali lipat dari tahun 2010 yaitu 470 ribu kilo liter [Blueprint Pengelolaan Energi Nasional, 2010].

Dengan demikian dibutuhkan cara untuk mengatasi kelimpahan gliserol. Salah satu pilihan yang dapat dilakukan ialah mengkonversi gliserol menjadi produk yang mempunyai nilai tambah. Selama ini *crude* gliserol yang dihasilkan belum dimanfaatkan oleh industri penghasil biodiesel, karena banyaknya zat pengotor yang terdapat dalam *crude* gliserol tersebut.

Gliserol bila diesterifikasi dengan asam asetat akan membentuk triacetin. Kegunaan triacetin sangat banyak yaitu sebagai aditif pada makanan, seperti bahan aroma pada permen (gula-gula), minuman olahan susu, minuman berperisa dan permen karet. Selain itu, triacetin digunakan juga untuk bahan non pangan triacetin dapat digunakan untuk pelarut

pada parfum, tinta cetak, sebagai bahan aditif bahan bakar untuk mengurangi *knocking* pada mesin mobil [Rahmat dkk, 2010; Khayoon dan Hameed, 2011]. Dengan potensi sebagai bahan aditif dalam peningkatan nilai oktan bahan bakar (bensin), triacetin merupakan produk yang sangat potensial untuk dikembangkan.

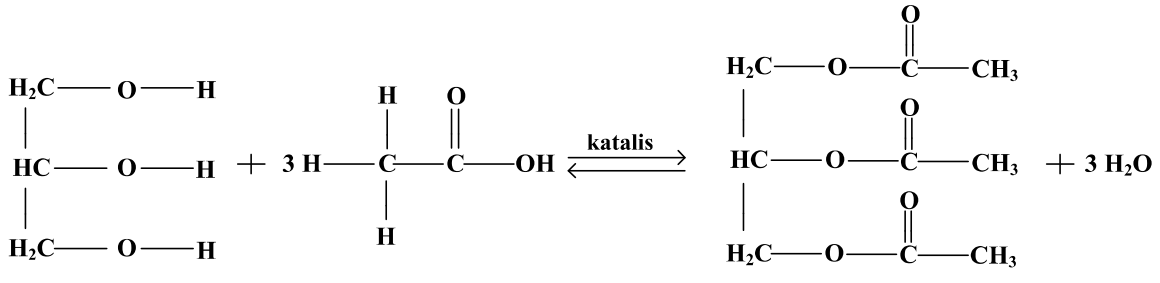
Triacetin dapat diproduksi melalui esterifikasi antara gliserol dan asam asetat menggunakan katalisator asam. Secara teoritik setiap 1 mol gliserol dibutuhkan 3 mol asam asetat dan diikuti pelepasan air sebagaimana reaksi yang terjadi dalam produksi triacetin. Proses ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. [Widayat, dkk., 2013 ; Khayoon dan Hameed, 2010 ; Nuryoto, dkk., 2010, dan Liao, dkk., 2009].

Widayat dkk, [2013] telah melakukan esterifikasi gliserol dan asam asetat dengan perbandingan molar 1:7 pada temperatur 120^{o}C pada menit ke-5 menggunakan katalisator asam sulfat sebanyak 5% berat gliserol didapatkan konversi sebesar 67%. Asam sulfat yang homogen dengan pereaksi menyebabkan katalis sulit dipisahkan dari produk.

Beberapa peneliti menggunakan katalis heterogen dalam pembuatan triacetin melalui proses esterifikasi diantaranya resin penukar ion indion 225 Na [Nuryoto, 2010], Amberlysts-15, Amberlysts-35, zeolit HY, dan HZSM-5 [Liao dkk, 2009] dan sulfat karbon aktif (AC-SA5) [Khayoon dan Hameed, 2011]. Nuryoto [2010] mendapatkan konversi tertinggi sebesar 40,7%, diperoleh pada perbandingan pereaksi 7 gmol asam asetat/gmol gliserol dan konsentrasi katalisator 3% berat asam asetat selama 90 menit. Liao dkk [2009] memproduksi triacetin dengan dua tahap yaitu tahap esterifikasi dan asetilasi, konversi tertinggi didapatkan dengan penggunaan katalis jenis A-35 dan A-15 sebesar 99%, diperoleh pada perbandingan molar pereaksi 1:6 dan 1:9 dan konsentrasi katalisator 5% berat gliserol selama 4 jam. Khayoon dan Hameed [2011], memproduksi triacetin dengan cara asetilasi mendapatkan koversi tertinggi sebesar 91% diperoleh pada perbandingan pereaksi 1:8 dan katalisator 4% berat gliserol selama 4 jam.

Proses pemisahan katalis heterogen lebih mudah dibandingkan menggunakan katalis homogen. Selain mudah dalam proses pemisahan, katalis yang digunakan merupakan katalis sintetik yang harganya relatif mahal [Nuryoto, dkk., 2010 ; Liao, dkk., 2009 ; Khayoon dan Hameed, 2011. Pada penelitian ini dilakukan proses esterifikasi gliserol menggunakan katalis zeolit alam yang ketersediannya melimpah di Indonesia sehingga menghemat biaya pengadaan katalis untuk mendapatkan konversi gliserol menjadi triacetin. Penggunaan zeolit alam sebagai katalis memiliki nilai positif, yaitu lebih murah dan ramah lingkungan jika dibandingkan katalis sintetik yang digunakan peneliti sebelumnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur reaksi dari 90–110^{o}C dan konsentrasi katalis zeolit 1; 3; 5%-b asam asetat terhadap konversi gliserol. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui temperatur reaksi dan konsentrasi katalis terbaik yang menghasilkan konversi gliserol tertinggi.



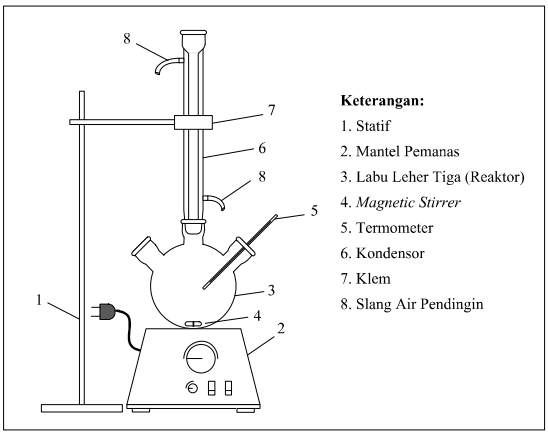
II. Metode Penelitian

2.1 Bahan yang Digunakan

Bahan baku yang digunakan adalah *crude* gliserol hasil samping dari pabrik Biodiesel PT. Wilmar Bioenergy Tbk, asam asetat pa merck, dan zeolit alam Bandung, Jawa Barat. *Crude* gliserol dimurnikan terlebih dahulu sebelum digunakan. Zeolit alam diaktivasi lebih dahulu untuk mendapatkan zeolit alam yang bersifat asam.

2.2 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan adalah labu leher tiga volume 500 ml sebagai reaktor pemasak, hot plate, kondensor, termometer, dan magnetic stirrer. Rangkaian alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Alat Penelitian

2.3 Variabel Penelitian

Pada proses pembuatan triacetin dalam penelitian ini terdapat beberapa kondisi proses yang dijaga konstan dan kondisi proses yang berubah untuk mempelajari variasinya. Kondisi proses yang dijaga konstan yaitu ukuran katalis yang lolos pada 100 mesh dan tertahan pada 200 mesh, laju pengadukan, waktu reaksi 4 jam, dan rasio molar gliserol : asam asetat 1:7. Kondisi proses yang divariasikan adalah konsentrasi katalis 1 ; 3 ; 5% -b asam asetat dan temperatur reaksi 90 – 110 ^{o}C.

2.4 Tahap Persiapan

2.4.1 Aktivasi Katalis

Zeolit yang digunakan adalah yang lolos pada 100 mesh dan tertahan pada 150 mesh. Zeolit alam sebanyak 100 gram dimodifikasi dengan proses perendaman dalam 200 ml larutan HF 5% selama 2 jam. Proses pertukaran ion dilakukan dengan larutan HCl 6N sebanyak 500 ml pada temperatur 60^{o}C dan direfluks sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar 1 L selama 30 menit, kemudian disaring dan dicuci dengan akuades berulang kali sampai pH=7, dikeringkan dalam oven dengan temperatur 110^{o}C selama 3 jam untuk menghilangkan kandungan air. Selanjutnya katalis termodifikasi dikalsinasi pada temperatur 500^{o}C selama 3 jam [Trisunaryanti, 2009].

2.4.2 Pemurnian *Crude* Gliserol

Sebanyak 500 gram crude gliserol diencerkan menggunakan aquades dengan perbandingan 2:3 untuk mempermudah proses adsopsi. Untuk menghilangkan warna pada crude gliserol digunakan karbon aktif sebanyak 5% berat dari total berat gliserol dan akuades. Campuran sampel dan karbon aktif diaduk selama 30 menit, lalu dibiarkan selama 24 jam. Karbon aktif dipisahkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring. Sampel dimasukkan ke dalam rotary evaporator pada keadaan vakum dan temperatur 61^{o}C. Selanjutnya produk bawah didistilasi selama 4 jam untuk meningkatkan kemurniannya [Prakoso dkk, 2007].

2.5 Proses Esterifikasi

Gliserol dimasukkan ke dalam reaktor dan dipanaskan sampai temperatur 100^{o}C. Asam asetat dipanaskan sampai temperatur 100^{o}C dalam gelas piala, kemudian dimasukan ke dalam reaktor secara bersamaan. Ambil contoh larutan untuk dianalisis konsentrasi asam total. Selanjutnya katalis dimasukkan dan dicatat sebagai waktu awal reaksi. Reaksi

dihentikan setelah waktu reaksi selama 4 jam. Ambil contoh produk untuk dianalisis asam bebas. Proses esterifikasi diulangi untuk mempelajari pengaruh konsentrasi katalis dan temperatur reaksi [Nuryoto dkk, 2010; Widayat dkk, 2013].

2.6 Pemisahan Katalis dari Produk

Campuran didinginkan dan disaring dengan kertas saring *wathman*. Endapan berupa katalis dipisahkan dari filtratnya. Filtrat berupa campuran triacetin dan air kemudian dianalisa.

2.7 Analisa Hasil

Analisa bilangan asam bebas (metode FBI A01-03) dan bilangan asam total (metode FBI A03-03). Perhitungan konversi asam asetat berdasarkan hasil dari pengurangan asam total dikurangi asam bebas dibagi dengan asam total [Nuryoto dkk, 2010]. Sedangkan konversi gliserol dapat dihitung dari stoikiometri reaksi asam asetat dengan gliserol. Triacetin merupakan senyawa ester dari gugus asetat dan gugus gliseril. Untuk mengetahui keberadaan senyawa ini dalam suatu produk dapat dianalisis menggunakan instrument *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

2.8 Analisis Data

Pemilihan metode statistik yang digunakan dalam pengujian hipotesis faktor yang berpengaruh terhadap konversi gliserol menjadi triacetin digunakan metode Anova (*Analysis of Variance*). Metode Anova dapat memberikan faktor yang berpengaruh antara konsentrasi katalis dan perbandingan pereaksi terhadap konversi gliserol menjadi triacetin. Pengaruh konsentrasi katalis dan perbandingan pereaksi ditunjukkan dengan $F_{hitung} > F_{tabel}$.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemurnian *Crude* Gliserol

Crude gliserol yang digunakan berwarna coklat kemerahan karena masih terdapat pengotor dalam gliserol. Sedangkan gliserol murni tidak berwarna (bening), untuk menarik zat pengotor yang masih terdapat dalam gliserol digunakan karbon aktif sebagai adsorben. Warna gliserol yang dihasilkan menjadi lebih terang setelah penambahan karbon aktif.

Tabel 3.1 Perbandingan Sifat Fisik *Crude* Gliserol dan Gliserol Murni

Sifat fisik	Crude Gliserol	Gliserol setelah Pemurnian	Gliserol pa Merck	Satu-an
Densitas	1,188	1,241	1,262	gr/ml
Viskositas	104,42	325,35	1499	mPa. s
Kadar Air	13,95	2,07	0,5	%
Warna	Kuning kemerahan	Bening kekuningan	Bening	-

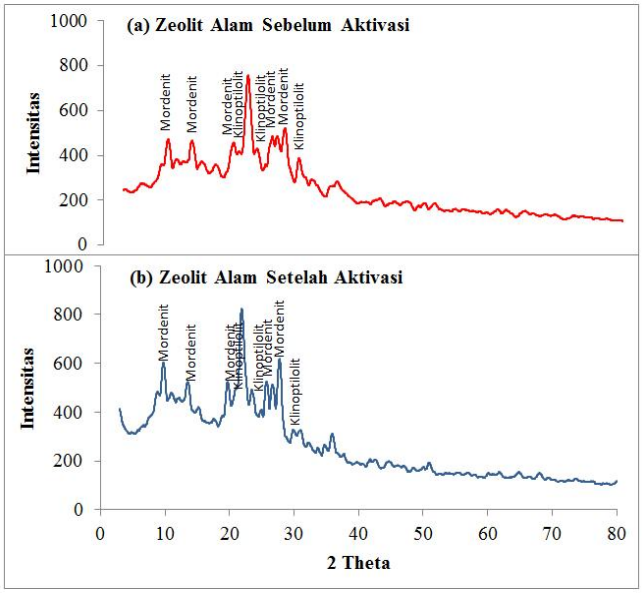
Dari data sifat fisik crude gliserol dan gliserol murni pada Tabel 3.1 menunjukkan nilai desitas *crude* gliserol lebih rendah dari densitas gliserol murni sebesar 1,262 g/ml [Groggins 1958, dalam Aziz 2008]. Hal ini disebabkan adanya senyawa lain yang terdapat dalam *crude* gliserol, seperti air dan sisa metanol yang tidak bereaksi. Karena densitas senyawa ini lebih rendah dari densitas senyawa murni menyebabkan densitas *crude* gliserol menurun.

3.2 Karakteristik Zeolit Alam

Nilai keasaman zeolit alam sebelum aktivasi sebanyak 0,449 mmol/gram. Aktivasi zeolit alam menggunakan metoda kimia dan fisika memiliki nilai keasaman sebesar 0,68 mmol/gram. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh aktivasi akan meningkatkan keasaman dari zeolit alam. Semakin besar keasaman dari suatu katalis maka akan meningkatkan situs aktif dari katalis tersebut sehingga permukaan katalis lebih efektif menyerap reaktan [Kasim, 2010].

Analisis karakteristik zeolit alam dilakukan dengan XRD yang bertujuan untuk mengetahui komposisi kristal zeolit yang digunakan. Pada XRD, zeolit akan ditempatkan pada *X-Ray beam* yang kemudian intensitas dari radiasi yang terdifraksi akan dipindai oleh *detector* sehingga terbentuk puncak-puncak (*peak*) sebagai fungsi 2Θ. Pola yang terbentuk

kemudian dibandingkan dengan pola standar untuk mengetahui fasa kristalnya. Pola XRD untuk zeolit mentah dan zeolit setelah diaktivasi ditampilkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Pola XRD Zeolit Alam Sebelum dan Setelah Aktivasi

Zeolit alam yang berasal dari Bandung, Jawa Barat memiliki kandungan mineral utama berupa klinoptilolit dan mordenit. Pada Gambar 4.3 (a) terlihat adanya puncak-puncak mineral klinoptilolit dan mordenit pada zeolit alam sebelum aktivasi. Puncak mineral klinoptilolit (K) terlihat pada 22,34°; 26,60° dan 29,96°. Sementara itu, puncak mineral mordenit (M) terlihat pada 2θ 9,84°; 13,44°; 19,58°; 25,60° dan 27,64°. Hasil analisa XRD ini membuktikan bahwa zeolit alam yang digunakan mengandung mineral-mineral utama dari zeolit. Pada Gambar 4.3 (b) juga terlihat adanya puncak-puncak mineral klinoptilolit dan mordenit pada H-zeolit. Puncak mineral klinoptilolit (K) terlihat pada 21,88°; 26,68° dan 30,86°. Sementara itu, puncak mineral mordenit (M) terlihat pada 9,22°; 13,08°; 19,30°; 25,42° dan 28,10°. Hasil analisa XRD tersebut membuktikan bahwa H-zeolit yang digunakan mengandung mineral-mineral utama dari zeolit.

Nilai intensitas puncak baik itu mordenit maupun klinoptilolit pada zeolit alam setelah aktivasi dengan perlakuan menggunakan HF 5% dan HCl 6N mengalami kenaikan dibandingkan zeolit alam sebelum diaktivasi. Hal ini menunjukkan bahwa dengan melakukan modifikasi dan kalsinasi pada zeolit alam dengan perlakuan perendaman dapat menyebabkan penurunan kandungan Ca, Fe, dan Mg pada zeolit alam dan meningkatkan keasaman zeolit sehingga kemampuan zeolit sebagai katalis semakin meningkat.

3.3 Konversi Gliserol pada Reaksi Esterifikasi

Konversi reaksi yang didapatkan dari penelitian ini berkisar 65,37% hingga 96,49%. Konversi terendah diperoleh sebanyak 65,37% pada temperatur reaksi 90°C dan konsentrasi katalis 1%. Sedangkan konversi reaksi tertinggi diperoleh sebanyak 96,49% pada kondisi proses temperatur reaksi 110°C dan konsentrasi katalis 3%.

3.4 Karakteristik Produk Triacetin

Triacetin merupakan senyawa ester dari gugus asetat dan gugus gliseril. Untuk mengetahui keberadaan senyawa ini dalam suatu produk dapat dianalisis dengan alat FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). Hasil analisa FTIR disajikan pada Gambar 4.4. Senyawa triacetin terdiri atas gugus ester, gugus metil serta ikatan atom karbon dengan atom karbon. Dengan analisis FTIR gugus-gugus tersebut akan menyebabkan vibrasi, regangan maupun goyangan. Hal ini dapat dideteksi oleh fotometer yang dapat menyebabkan munculnya gambar/*peak* pada detector. *Peak* yang muncul disebabkan karena adanya vibrasi yang disebabkan oleh gugus-gugus tersebut.

Peak-peak tersebut selanjutnya dianalisis setiap panjang gelombang dan gugus-gugus fungsional apa saja yang berada di dalam sampel dan ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Panjang Gelombang Hasil Spektra IR Sampel

Panjang gelombang (cm^{-1})	Ikatan
605,65	C – C
883,40	C – C
933,55	C – C
1010,70	O – H (alkohol)
1045,42	O – H (alkohol)
1226,73	C – O (alkohol)
1381,03	C – H
1708,93	C = O (ester)
2627,05	O – H (asam karboksilat)
2951,09	C – CH_3
3028,24	C – H

Triacetin merupakan senyawa ester, dimana akan muncul puncak dari analisis FTIR pada panjang gelombang 1700 – 1750 cm^{-1} (Vogel, 1989). Tabel 3.2 di atas menunjukkan bahwa hasil Spektra IR sampel terdapat panjang gelombang 1708,93 cm^{-1} yang tergolong dalam grup ester. Selain gugus ester juga terdapat gugus ikatan atom karbon dengan karbon dan gugus metil. Gugus metil akan dapat diidentifikasi pada panjang gelombang 2951,09 cm^{-1}. Adapun gugus hidroksil dimana teridentifikasi pada panjang gelombang 1010,70 dan 1045,42 cm^{-1} dimungkinkan berasal dari gliserol sisa. Hal ini membuktikan bahwa di dalam produk terdapat triacetin.

3.5 Analisa Variansi terhadap Proses

Analisa variansi dilakukan untuk melihat pengaruh variasi kondisi proses terhadap konversi gliserol. Data hasil percobaan dianalisis dengan metoda statistik Anova (*Analysis of Variance*). Hipotesis yang berlaku untuk pengujian adalah sebagai berikut :

- H_o : $\alpha_1 = \alpha_2 \ldots = \alpha_i = 0$ (tidak ada pengaruh terhadap variasi)
- H_1 : Tidak semua α_i sama dengan nol (ada pengaruh terhadap variasi)

Pernyataan H_0 disebut hipotesis nol dan H_1 merupakan hipotesis alternatif. Hipotesis H_0 dapat diterima apabila F_{hitung} variabel sama atau lebih kecil dari F_{tabel} yang didapat dari tabel statistik distribusi F. Jika F_{tabel} lebih besar dari F_{hitung} maka H_0 ditolak yang menyatakan variabel bebas α memiliki konstribusi yang signifikan terhadap konversi. Data diolah menggunakan program Minitab 16, uji hipotesis dengan hipotesis awal menggunakan tingkat signifikan 95% dan toleransi 5% diperoleh nilai F_{hitung} dan analisis varian ditunjukkan pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Tabel *Two-way* Anova ; Konversi vs Katalis; Temperatur

Source	*Degree of Freedom*	*Sum of Square*	*Mean Square*
Katalis (B)	2	523,56	261,782
Temperatur (K)	2	1108,405	554,202
Interaksi (I)	4	66,13	16,533
Error (Galat)	9	70,85	7,872
Total	17	1768,95	
Source	F hitung	F tabel	p
Katalis (B)	33,25	4,26	0,000
Temperatur (K)	70,40	4,26	0,000
Interaksi (I)	2,10	3,63	0,163
Error (Galat)			
Total			

Untuk menentukan variabel bebas mana yang tidak terlalu memberikan pengaruh terhadap konversi maka dapat ditentukan melalui uji p-*value*. P-*value* merupakan tingkat keberartian terkecil sehingga nilai suatu uji statistik yang diamati masih berarti. Keputusan untuk menolak atau menerima H_o dilakukan dengan cara:

- jika $P_{value} > \alpha$ maka H_o diterima, sedangkan
- jika $P_{value} \leq \alpha$ maka H_o ditolak.

Dari hasil analisa variansi didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

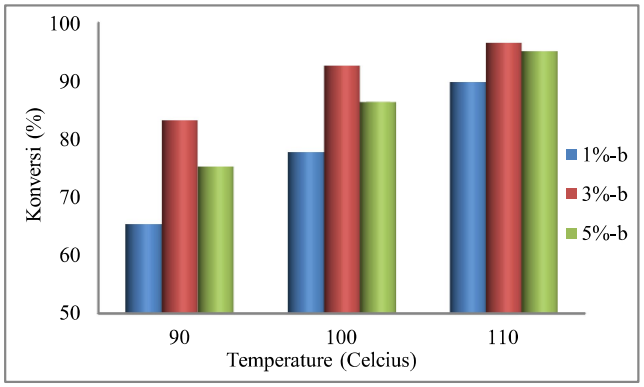
1. Ada pengaruh dari konsentrasi katalis terhadap konversi gliserol

2. Ada pengaruh dari temperatur reaksi terhadap konversi gliserol
3. Tidak ada interaksi antara konsentrasi katalis dan temperatur reaksi

3.6 Pengaruh Kondisi Proses terhadap Konversi Gliserol

3.6.1 Pengaruh Temperatur Reaksi terhadap Konversi Gliserol

Hubungan antara temperatur reaksi dan konversi yaitu semakin tinggi temperatur akan meningkatkan konversi gliserol. Hubungan konversi gliserol terhadap temperatur reaksi dan konsentrasi katalis dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Temperatur Reaksi terhadap Konversi Gliserol pada Berbagai Konsentrasi Katalis

Gambar 3.2 memperlihatkan bahwa konversi gliserol meningkat pada temperatur 90 sampai 110^{o}C. Secara umum kenaikan temperatur akan menyebabkan gerakan molekul semakin cepat (tumbukan antara molekul reaktan meningkat) dan energi kinetik yang dimiliki molekul reaktan semakin besar. Semakin besar energi kinetik menyebabkan kecepatan reaksi semakin meningkat dan konversi yang dihasilkan lebih besar [Pachenkov dan Lebedev, 1976]

3.6.2 Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap Konversi Gliserol

Dari Gambar 3.3 terlihat bahwa konversi tertinggi diperoleh pada penambahan katalisator 3% berat asam asetat yaitu sebesar 96,49%. Sedangkan pada penambahan katalisator 5% berat asam asetat konversi yang dihasilkan lebih kecil dari penambahan katalisator 3%. Penurunan konversi dikarenakan semakin besar konsentrasi katalisator maka energi aktivasi akan cenderung menurun sehingga laju reaksi semakin cepat. Reaksi esterifikasi merupakan reaksi bolak - balik, sehingga naiknya laju reaksi akan mempercepat pada kondisi kesetimbangan. Hal ini akan mengakibatkan konversi akhir yang dihasilkan lebih kecil [Fogler, 1999].

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan triacetin dapat dihasilkan dari crude gliserol yang berkualitas rendah melalui reaksi esterifikasi dengan menggunakan katalis zeolit alam. Konversi gliserol tertinggi didapat sebanyak 96,49% pada kondisi proses temperatur reaksi 110oC dan konsentrasi katalis zeolit alam 3%-b asam asetat. Peningkatan konsentrasi katalis akan menaikan konversi, namun konversi tertinggi didapatkan pada penambahan katalis sebanyak 3% berat asam asetat. Peningkatan temperatur reaksi meningkatkan nilai konversi gliserol.

Daftar Pustaka

Aziz, I., Nurbayti, S., dan Luthfiana, F. 2008. Pemurnian Gliserol dari Hasil Samping Pembuatan Biodiesel menggunakan Bahan Baku Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Valensi* 1: 19-23.

Cetak Biru (blueprint) Pengelolaan Energi Nasional, 2010. *Proyeksi Target Produksi Biodiesel sampai tahun 2025*. Jakarta.

Fogler, H. S. 1999. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. 3rd edition. Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Series.

Groggin, P. H. 1985. *Unit Processes in Organic Synthesis*. 5nd edition. Mac. Grow Hill Book Company Inc. N.Y.

Kasim, R. 2010. Desain Esterifikasi Menggunakan Katalis Zeolit pada Proses Pembuatan Biodiesel dari *Crude Palm Oil* (CPO) Melalui Metoda Dua Tahap Esterifikasi-Transesterifikasi. *Tesis*. Teknik Kimia. Institut Pertanian Bogor.

Khayoon, M. S. dan Hameed B. H. 2011. Acetylation of Glyserol to Biofuel additives Over Sulfated Activated Carbon Catalys. *Elsevier Bioresource Technology Journal*. 102: 9225-9235.

Liao X., Zhu Y., Wang S. G., dan Li Y. 2009. Producing Triacetylglycerol with Glyserol by Two Steps: Esterification and Acetylation. *J Fuel Process Thec*. 90: 988-993.

Nuryoto, Sulistyo, H., Rahayi S.S., dan Sutjian. 2010. Uji Performa Katalisator Resin Penukar Ion Untuk Pengolahan Hasil Samping Pembuatan Biodiesel Menjadi Triacetin. *Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Process*.

Nuryoto, Sulistyo, H., Rahayi S.S., dan Sutjian. 2010.Esterifikasi Gliserol dan Asam Asetat dengan katalis Indion 225 Na. Prosiding *Seminar Nasional Pengembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-16.* PSIT UGM Yogyakarta.

Pachenkov, G. M dan Lebedev, V.P. 1976. *Chemical Kinetic and Catalysis*. 2 edition. Moscow: Mir Publishers.

Prakoso, T., Sirait, H., dan Bintaroe. 2007. Pemurnian Hasil Samping Produksi Biodiesel. *Prosiding Konferensi Nasional Pemanfaatan Hasil Samping Industri Biodiesel dan Industri Etanol serta Peluang Pengembangan Industri Integratednya*. Jakarta, hal 267 - 275.

Rahmat, N., Abdullah, A.Z., dan Mohamed, A.R. 2010. Recent Progress on Innovative and Potential Technologies for Glycerol Transformation Into Fuel Additives. *A critical review, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 987–1000.

Trisunaryanti, W. 2009. Zeolit Alam Indonesia Sebagai Absorben dan Katalis dalam Mengatasi Masalah Lingkungan dan Krisis Energi. *J Ilmu Lingkungan.* Yogyakarta.

Vogel, A. L., dan Jeffrey, G. H. 1989. *Textbook of Quantitative Chemical Analysis*. 5th edition. Longman Scientific and Technical. New York.

Widayat, Satriadi, H., Abdullah, Windrianto, I. K., dan Handono. 2013. Proses Produksi Triacetat dari Gliserol dengan Katalis Asam Sulfat. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. Vol. 11, No. 4.