

SINTESA GLISEROL KARBONAT BERBAHAN BAKU GLISEROL DAN SODIUM BIKARBONAT DENGAN KATALISATOR RESIN PENUKAR ION INDION 225 NA

Nuryoto*¹, Jayanudin¹, Hary Sulisty², dan Wahyudi Budi Sediawan²

¹Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik
Universitas GadjahMada

*¹E-mail :ynuryoto@gmail.com

ABSTRAK

Pembuatan biodiesel sebagai salah satu bauran energi menghasilkan produk samping berupa gliserol. Dengan mereaksikan antara gliserol dengan sodium karbonat menjadi gliserol karbonat dapat memberikan nilai tambah pada industri biodiesel. Penggunaan katalisator yang ekonomis dan ramah lingkungan mutlak diperlukan untuk mengurangi dampak polusi lingkungan. Untuk itu, penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui seberapa besar konversi gliserol yang dihasilkan dengan penggunaan katalisator resin penukar ion berupa indion 225 Na dalam proses reaksi antara gliserol dan sodium karbonat. Percobaan dilakukan dalam reaktor batch, kecepatan pengadukan 600 rpm, perbandingan pereaksi 3 gmol gliserol/gmol sodium bikarbonat, konsentrasi pelarut 3 gmol, waktu reaksi 90 menit, suhu reaksi 60- 100°C, konsentrasi katalisator 1-9 % massa gliserol, dan diameter partikel 0,0456-0,0912 cm . Pengambilan sampel dilakukan setiap 15 menit untuk dilakukan analisa gliserol sisa (Gb) dan gliserol awal (Go) sebelum katalisator dimasukkan. Hasil percobaan menunjukkan dengan semakin meningkatnya suhu reaksi dan semakin kecil ukuran katalisator konversi yang dihasilkan mengalami peningkatan, tetapi mengalami penurunan dengan meningkatnya konsentrasi katalisator. Kondisi terbaik diperoleh pada diameter katalisator 0,0645 cm, konsentrasi katalisator 1% massa gliserol, suhu 100°C, dan pada waktu reaksi 60 menit yaitu dengan perolehan konversi sebesar 30,28% atau 90,84% berbasis sodium bikarbonat.

Kata kunci: biodiesel, sodium bikarbonat, gliserol, gliserol karbonat , indion 225 Na

ABSTRACT

Synthesis of biodiesel as one of the energy mix produces byproducts such as glycerol. By reaction between sodium carbonate with glycerol into glycerol carbonate can provide added value to the biodiesel industry. The use of a catalyst that economical and environmentally friendly were absolutely necessary to reduce the impact of environmental pollution. The purpose this research to determine how much the glycerol conversion generated by the use of indion 225 Na ion exchange resin catalyst in the reaction between glycerol and sodium carbonate. The experiments were conducted in a batch reactor, stirring speed of 600 rpm, reactant comparative 3 gmol glycerol / gmol sodium bicarbonate, the concentration of solvent 3 gmol water, reaction time of 90 minutes, the reaction temperature 60 - 100 ° C, catalyst concentration of 1-9% glycerol mass, and catalyst diameter 0.0456 - 0.0912 cm. Take sample every 15 minutes to do the analysis of free glycerol (Gb) and initial glycerol (Go) analysis before catalyst loaded. The experimental results show the increasing temperature of the reaction and the smaller size of the resulting catalyst conversion has increased, but decreased with increasing concentrations catalyst. The best conditions obtained at 0.0645 cm catalyst diameter, catalyst concentration of 1 % glycerol mass, the reaction temperature 100 ° C, and reaction time of 60 minutes were a conversion gain of 30.28% or 90.84% based on sodium bicarbonate.

Keywords : biodiesel, sodium bicarbonate, glycerol, glycerol carbonate , indion 225 Na

1. PENDAHULUAN

Bertambahnya populasi manusia menyebabkan kebutuhan akan energi mengalami peningkatan, sehingga persediaan energi khususnya energi yang tidak dapat diperbaharui (*Unrenewable Energy*) cadangannya semakin menipis. Untuk itu pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan (EBT) dengan memperhatikan kelestarian lingkungan sangat diperlukan. Jenis sumber EBT yang menjadi perhatian adalah biofuel, termasuk biodiesel, bioetanol, dan bio-oil (Dewan Riset Nasional, 2006).

Pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan (EBT) sebagai bauran energi atau sebagai sumber energi utama mutlak diperlukan untuk saat ini. Hal ini dilakukan karena cadangan minyak bumi sebagai sumber energi utama dengan berjalannya waktu akan habis. Untuk itu pemerintah melalui Dewan Riset Nasional mulai memetakan jenis sumber EBT yang akan dikembangkan yaitu biodiesel, bioetanol, dan bio-oil (Dewan Riset Nasional, 2006). Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Biodiesel salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Biodiesel terbuat dari minyak nabati yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui.

Beberapa bahan baku untuk pembuatan biodiesel antara lain minyak kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, jarak pagar, dan beberapa jenis tumbuhan lainnya (Rahayu, 2006). Namun dalam pembuatan biodiesel menghasilkan hasil samping berupa gliserol. Dengan mereaksikan antara gliserol dengan sodium karbonat menjadi gliserol karbonat dapat memberikan nilai tambah pada industri biodiesel. Hal ini disebabkan karena gliserol karbonat mempunyai nilai guna untuk pelarut pada industri plastik dan resin serta produk antara plimerisasi (US Patent, 1957).

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar konversi yang dihasilkan dengan penggunaan katalisator resin penukar ion berupa indion 225 Na dalam proses reaksi antara gliserol dan sodium karbonat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

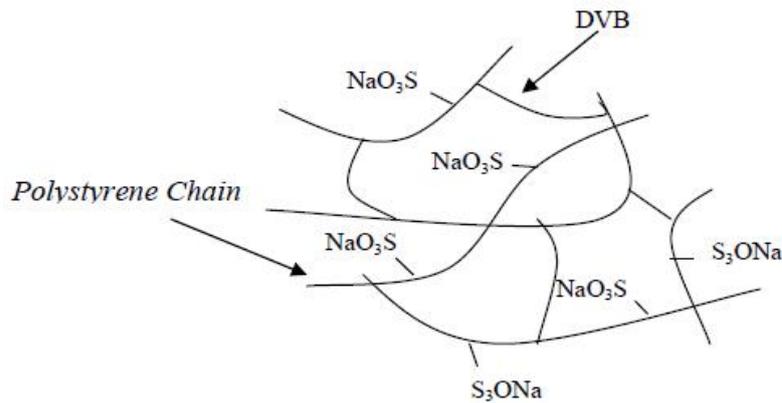
Penggunaan katalisator resin penukar ion berupa indion 225 Na karena selain harganya murah juga mampu menghasilkan konversi yang tinggi (Nuryoto dkk., 2010 dan Nuryoto dkk., 2012). Spesifikasi dari resin penukar ion indion 225 Na dan skematik struktur resin indion 225 Na tersaji pada Tabel 1 dan Gambar 1 berikut:

Tabel 1. Spesifikasi resin jenis indion 225 Na

Nama produk	Indion 225 Na
Tipe resin	Gelular
Tipe matrik	Styrene DVB
Gugus fungsional	-SO ₃
Bentuk standar ion	Na ⁺
Range ukuran partikel (mm)	0,3 – 1,2
Temp.maksimal operasi (°C)	120
Kapasitas petukaran total (mek/ml)	2,0
Konsentrasi sisi aktif (ek/kg)	Tidak diketahui

Sumber : www.ionresins.com dan Rohm and Haas Company (2006)

Penggunaan katalisator penukar ion yang berupa resin penukar ion indion 225 Na akan memudahkan pemisahan hasil dan penggunaan bisa berulang-ulang. Masalah limbah khususnya dari katalisator dapat diatasi (Nemec dan Van Gemert, 2005). Katalisator padat berupa penukar ion yang telah jenuh dapat diaktifkan lagi dengan regenerasi (Choi dkk., 1996). Peneliti yang telah melakukan penelitian dengan katalisator resin penukar ion diantaranya: Gelosa dkk., 2003 mempelajari reaksi esterifikasi gliserol dengan asam asetat memakai katalisator yang berupa resin amberlyst-15 dalam reaktor khromatografi. Percobaan dilakukan pada suhu 60°C-100°C, perbandingan pereaksi 2,3 – 3,9 gmol asam asetat/gmol gliserol, dan konsentrasi katalisator 15 berat resin/berat gliserol. Konversi tertinggi diperoleh pada suhu 100°C, perbandingan pereaksi 3,9 gmol asam asetat/gmol gliserol yaitu sebesar 50%.



Gambar 1. Skematik struktur resin indion 225 Na
(sumber: Ehteshami dkk., 2006)

Pireira dkk. (2008) mengevaluasi kinetika dan kesetimbangan termodinamika pada esterifikasi asam laktat dengan etanol memakai amberlyst-15. Hasil percobaan menunjukkan data kinetika untuk reaksi permukaan merupakan langkah yang menentukan dan kesetimbangan reaksi dipengaruhi oleh suhu. Kolah dkk. (2007) telah meneliti esterifikasi asam sitrat dengan etanol memakai katalisator penukar ion amberlyst-15. Mekanisme reaksi melalui monoetil sitrat, dietil sitrat dan trietil sitrat. Kinetika reaksi ditentukan oleh pembentukan trietil sitrat dari dietil sitrat. Pada suhu di atas 100°C reaksi cukup cepat tetapi terbentuk hasil samping yang berupa dietil eter. Untuk meningkatkan hasil reaksi dijalankan dalam reaktif distilasi dengan menggunakan beberapa cara yaitu 1) satu kolom reaktif distilasi, 2) reaktor diikuti kolom reaktif distilasi dan 3) reaktor diikuti kolom distilasi untuk memisahkan air kemudian kolom reaktif distilasi. Pada setiap konfigurasi reaktor diperoleh hasil bahwa pembentukan trietil sitrat dari dietil sitrat cukup lambat (Kolah dkk., 2008). Altioikka dan Citak (2003) melakukan studi esterifikasi asam asetat dengan isobutanol dengan katalisator amberlite IR-120 dengan mengabaikan difusi eksternal atau difusi pori, dan dihasilkan bahwa kecepatan reaksi tergantung pada konsentrasi resin.

Sementara Nuryoto dkk., 2010 telah meneliti esterifikasi gliserol dan asam asetat pada pembuatan triacetin dengan katalisator indion 225 Na. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konversi terbaik diperoleh pada perbandingan pereaksi 7 gmol asam asetat/gmol gliserol. Nuryoto dkk., 2010 juga melakukan uji performa resin penukar ion pada pembuatan triacetin. Penelitian dilakukan dengan katalisator resin penukar ion yang sama yaitu Indion 225 Na. Penelitian dilakukan pada suhu $60-100^\circ\text{C}$, Kecepatan pengadukan 1000 rpm, waktu reaksi 90 menit dan perbandingan pereaksi 7 gmol asam asetat/gmol gliserol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indion 225 Na akan efektif bekerja pada kisaran suhu 100°C dengan konversi tertinggi berbasis gliserol sebesar 93%. Sementara Nuryoto, 2008 telah melakukan studi kinerja katalisator resin penukar ion lewatit monopulus s-100 pada reaksi esterifikasi antara etanol dan asam asetat. Percobaan dilakukan pada suhu $70 - 85^\circ\text{C}$, konsentrasi katalisator 0,8 - 1,6 berat resin/berat etanol, perbandingan pereaksi 1,2 gmol asam asetat /gmol etanol, waktu reaksi 60 menit, dan pengadukan berbasis bed expansion 4%. Hasil percobaan menunjukkan semakin besar suhu maka laju reaksi semakin meningkat. Kondisi optimum diperoleh pada 85°C , konsentrasi katalisator 0,8 massa resin/massa etanol, dengan konversi sebesar 87,3%.

Nuryoto dan Jayanudin, 2011 juga telah melakukan penelitian tentang pengaruh konsentrasi asam asetat dan uji efektifitas katalisator resin penukar ion lewatit monopulus s-100 pada pembuatan etil asetat. Hasil percobaan menunjukkan bahwa selisih konversi dengan kondisi operasi yang sama antara konsentrasi katalisator 0 dan 0,8 massa resin/massa asam asetat adalah 62,3%. Sementara itu, dengan kadar asam asetat yang berbeda yaitu asam asetat p.a. dan asam asetat teknis dengan kadar 67% dihasilkan perbedaan konversi yang cukup berarti yaitu sebesar 10%. Sedangkan Nuryoto dan Jayanudin, 2011 melakukan percobaan pembuatan ester sebagai pelarut dengan katalisator resin penukar ion lewatit monopulus s-100. Penelitian dilakukan dalam reaktor batch tertutup, dimana dilakukan dengan perbandingan pereaksi 1,5 - 3 gmol asam asetat/gmol etanol, kecepatan pengadukan 4% berdasarkan bed expansion, waktu reaksi 60 menit, konsentrasi katalisator 0,8 massa resin/massa asam asetat, dan suhu 85°C . Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin besar perbandingan

pereaksi konversi yang dihasilkan semakin menurun. Konversi tertinggi diperoleh pada perbandingan 1,5 gmol asam asetat/gmol etanol sebesar 77,3%.

Katalisator resin penukar ion juga telah digunakan dalam reaksi untuk menghasilkan gliserol karbonat diantaranya: Vieville dkk., 1998 yang telah melakukan penelitian tentang gliserol karbonat dengan mengkarbonisasi secara langsung gliserol dengan gas CO₂ secara kontinyu dengan katalisator resin penukar ion Amberlyst A26 dan Zeolit. Penelitian dilakukan pada kondisi superkritik dan pelarut yang digunakan aseton dan metanol, tetapi konversi yang dihasilkan sangat kecil. Sementara Nuryoto dkk., 2012 melakukan penelitian pengaruh perbandingan pereaksi dan pelarut pada pembuatan gliserol karbonat dengan katalisator indion 225 Na. Pada penelitian ini dicoba dengan bahan baku yang lebih murah yaitu gliserol dan sodium bikarbonat dengan pelarut air. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi konsentrasi pelarut dan semakin tinggi konsentrasi gliserol justru konversi gliserol akan mengalami penurunan. Konversi tertinggi dihasilkan pada waktu reaksi 45 menit dan perbandingan pereaksi 3 gmol gliserol/ gmol sodium bikarbonat dengan pelarut air sebesar 3 gmol air yaitu sebesar 29,08% berbasis gliserol. Mekanisme reaksi antara gliserol dan sodium bikarbonat adalah sebagai berikut:



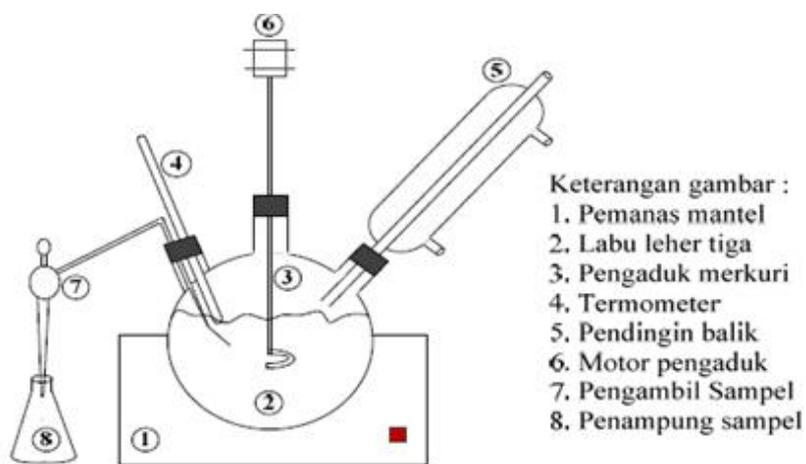
3. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan Penelitian

Gliserol (C₃H₅(OH)₃) teknis dengan kadar 84,8%, sodium bikarbonat (NaHCO₃) p.a. Merck, pelarut air dan katalisator indion 225 Na, namun sebelum digunakan di-treatment dengan HCl dengan kadar 5 %, lalu dicuci dengan air suling sampai 4 kali untuk menghilangkan impurities. Kemudian dikeringkan dalam dryer selama 2 hari dengan suhu 80°C (Nuryoto dkk., 2012).

2.2. Alat Penelitian

Rangkaian alat yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Reaktor yang digunakan berupa labu leher tiga volume 0,5 liter dan dilengkapi dengan pengaduk merkuri, pemanas mantel, termometer, pendingin balik, pengambil sampel, dan penampung sampel.



Gambar 2. Rangkaian alat pembuatan gliserol karbonat

2.3. Jalannya Penelitian

Gliserol dan air dengan volume tertentu dimasukkan ke dalam reaktor kemudian dipanaskan sampai mendekati suhu yang diinginkan. Selanjutnya sodium bikarbonat dengan massa tertentu dimasukkan ke dalam reaktor. Selanjutnya reaktor dipanaskan sampai suhu yang diinginkan, sambil pengaduk dijalankan. Mengambil sampel untuk dianalisis konsentrasi gliserol awal (G_o). Selanjutnya katalisator dimasukkan dan waktu dicatat sebagai waktu awal reaksi. Setiap selang waktu 15 menit sampel diambil untuk dianalisis gliserol bebas (G_b). Reaksi dihentikan setelah waktu reaksi 90 menit. Percobaan diulangi dengan mempelajari pengaruh konsentrasi katalisator, diameter katalisator dan suhu reaksi pada pelbagai waktu reaksi.

2.4. Variabel Penelitian

Variabel yang ditetapkan berupa perbandingan pereaksi 3 gmol gliserol/gmol sodium bikarbonat, konsentrasi pelarut 3 gmol air, kecepatan pengadukan 600 rpm, dan waktu reaksi 90 menit. Sementara untuk variabel yang divariasikan berupa konsentrasi katalisator 1-9% massa gliserol, diameter katalisator 0,06-0,9 cm, dan suhu reaksi 60-100°C.

2.5. Analisis Hasil

Analisis gliserol awal (G_o) dan gliserol bebas dilakukan dengan cara volumetri menggunakan asam periodat (menurut FBI-A02-03).

Perhitungan konversi berdasarkan persamaan :

$$X_G = \frac{G_o - G_b}{G_b} \times 100\% \quad (1)$$

dengan :

G_o = konsentrasi gliserol awal, %

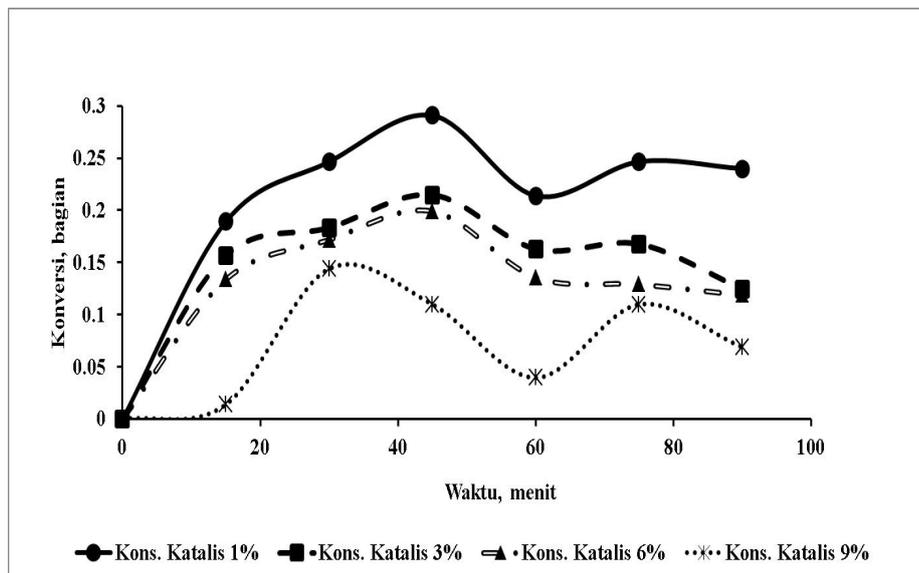
G_b = konsentrasi gliserol bebas, %

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berbagai macam metode ditempuh untuk memperoleh kondisi operasi yang ekonomis diantaranya konsentrasi katalisator, diameter katalisator, dan suhu reaksi. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi katalisator 1-9% masa gliserol, diameter katalisator 0,06-0,9 cm, dan suhu reaksi 60-100°C, harapannya diperoleh konversi yang maksimum dan kondisi operasi yang ekonomis.

4.1 Pengaruh Konsentrasi Katalisator

Katalisator seringkali tambahkan ke dalam sistem reaksi, dengan harapan laju reaksi akan lebih cepat dengan kondisi operasi yang sama. Ini terjadi karena katalisator merupakan zat yang mampu menurunkan energi aktivasi suatu pereaksi dengan cara membantu proses aktivasi reaktan. Pengaruh konsentrasi katalisator tersaji pada Gambar 3 berikut:



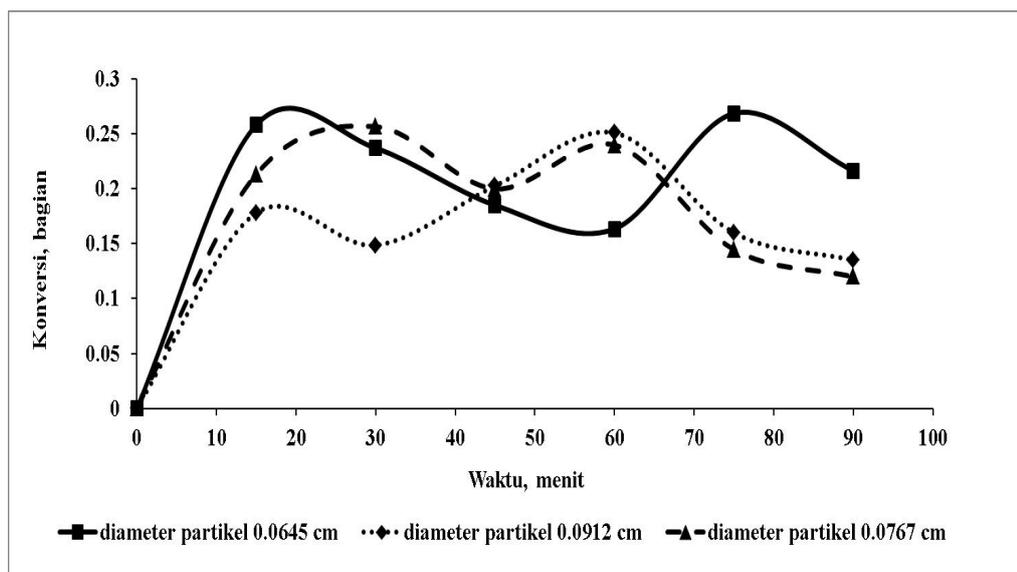
Gambar 3. Hubungan antara konversi dan waktu pada pelbagai konsentrasi katalisator pada suhu 70°C

Gambar 3 menunjukkan dengan meningkatnya konsentrasi katalisator, konversi gliserol yang diperoleh justru mengalami penurunan. Konversi tertinggi diperoleh pada konsentrasi katalisator 1% massa gliserol, dan waktu reaksi 45 menit yaitu sebesar 29,08% berbasis gliserol atau 87,24% berbasis sodium bikarbonat. Hal ini terjadi karena semakin besar konsentrasi katalisator pada sistem reaksi berdampak pada peningkatan penukaran ion pada reaktan. Seiring meningkatnya penukaran ion pada reaktan akan diikuti oleh peningkatan laju reaksi, sehingga berimbas pada meningkatnya produk reaksi berupa gliserol karbonat, sodium hidroksida dan air. Peningkatan kadar air pada sistem akan menyebabkan tahanan difusi gliserol ke katalisator mengalami peningkatan.

Pada penelitian Nuryoto dkk., 2012 tentang pengaruh perbandingan pereaksi dan pelarut pada pembuatan gliserol karbonat dengan katalisator indion 225 Na, dengan dinaikan pelarut air pada sistem reaksi, kelarutan sodium karbonat secara visual jauh lebih cepat, akan tetapi konversi akhir yang dihasilkan mengalami penurunan. Penelitian yang dilakukan Nuryoto, 2008 juga menunjukkan hal yang sama, di mana pada percobaan tersebut divariasikan konsentrasi katalisator yaitu 0,8 - 1,6 massa resin/massa asam asetat. Hasil penelitian menunjukkan konversi tertinggi diperoleh pada konsentrasi katalisator 0,8 massa resin/massa asam asetat yaitu sebesar 87,3.

4.2 Pengaruh Diameter Katalisator

Pada dasarnya difusi pada reaksi padat-cair merupakan faktor yang paling dominan untuk mencapai suatu keberhasilan reaksi kimia. Salah satu cara untuk memperbesar difusi suatu fluida adalah dengan memperkecil ukuran diameter katalisator, karena dengan memperkecil ukuran diameter katalisator akan memperbesar luas penampang dari katalisator itu sendiri (Fogler 2006). Meningkatnya luas penampang katalisator akan berpengaruh pada meningkatnya proses difusi reaktan baik ke permukaan katalisator maupun ke dalam pori-pori, sehingga laju reaksi akan bertambah cepat. Pengaruh diameter katalisator tersaji pada Gambar 4 berikut:



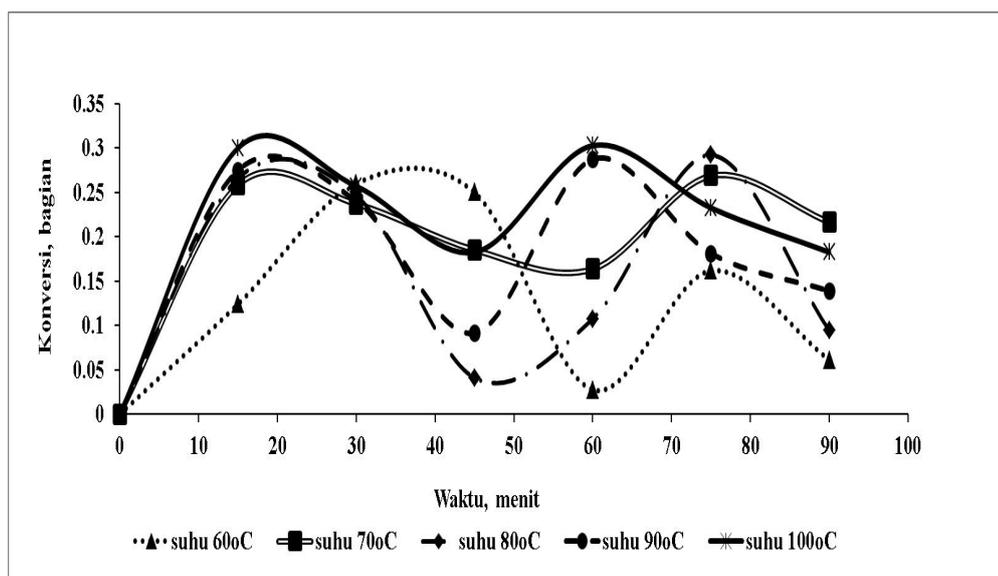
Gambar 4. Hubungan antara konversi dan waktu pada pelbagai diameter katalisator pada suhu 70°C, dan Ckat 1% massa gliserol

Pada Gambar 4 terlihat bahwa semakin kecil ukuran katalisator, konversi yang dihasilkan mengalami peningkatan. Konversi tertinggi diperoleh pada ukuran katalisator 0,0645 cm dan waktu reaksi 15 menit yaitu sebesar 25,83%. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Nuryoto dkk., 2010 pada penelitian uji performa katalisator resin penukar ion untuk pengolahan hasil samping pembuatan biodiesel menjadi triacetin.

4.3 Pengaruh Suhu

Semakin tinggi suhu reaksi akan menciptakan ketidakaturan gerakan molekul dalam suatu sistem reaksi menjadi lebih baik, menurunkan viskositas fluida dalam sistem, dan meningkatkan kelarutan fluida yang terdapat di dalam sistem reaksi. Hal ini akan meningkatkan difusivitas

reaktan ke permukaan maupun ke dalam pori-pori katalisator (Fogler, 2006). Berikut pengaruh suhu reaksi terhadap konversi yang dihasilkan:



Gambar 5. Hubungan antara konversi dan waktu pada pelbagai suhu reaksi katalisator pada konsentrasi katalisator 1% massa gliserol, dan diameter katalisator 0,0465 cm

Dari Gambar 5 terlihat bahwa konversi yang dihasilkan selaras terhadap teori yang telah dikemukakan, di mana konversi tertinggi diperoleh pada suhu reaksi 100°C dan waktu reaksi 60 menit yaitu sebesar 30,28%. Tetapi kondisi ekonomis diperoleh pada waktu reaksi 15 menit dengan konversi sebesar 29,998%. Pada grafik Gambar 5 terjadi kecenderungan di mana grafik cenderung fluktuatif, kondisi ini menurut Climent dkk., 2010 karena dampak deaktivasi katalisator oleh garam yang terbentuk ketika reaksi berlangsung. Pada penelitian ini dimungkinkan juga terjadi pembentukan garam yaitu berupa garam sodium karbonat atau Na_2CO_3 yang merupakan reaksi antara sodium bikarbonat dan NaOH dari produk samping yang dihasilkan. Dugaan tersebut diperkuat melalui pengamatan visual, di mana warna fluida di dalam reaktor berubah menjadi keruh dan seperti ada powder halus ketika reaksi telah berlangsung beberapa saat.

5. SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan:

1. Meningkatkan suatu komponen yang berpengaruh dalam sistem reaksi seperti konsentrasi katalisator, diameter katalisator, dan suhu reaksi tidak selalu berdampak positif terhadap konversi yang dihasilkan.
2. Kondisi terbaik diperoleh pada diameter katalisator 0,0645 cm, konsentrasi katalisator 1% massa gliserol, dan suhu 100°C yaitu dengan perolehan konversi sebesar 30,28% atau 90,84% berbasis sodium bikarbonat pada waktu reaksi 60 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Altiokka, R. M., and Citak, A., 2003, *Kinetics Study of Esterification of acetic acid and isobutanol in the presence of amberlite catalyst*, Science Direct, Elsevier, Applied catalysis.
- Choi, J. I., Hong, W. H., and Cham, H.N., 1996, "Reaction kinetics of Lactic Acid with Methanol Catalyzed by Acid Resins", *Int. J. Chem. Kinet.*, 28, 37-41.
- Climent M.J., Corma A., Frutos P.D., Iborra S., Noy M., Vely A., and Concepcion P., 2010, "Chemicals from biomass: Synthesis of glycerol carbonate by transesterification and carbonylation with urea with hydrotalcite catalysts. The role of acid-base pairs", *Journal of Catalysis* 269 (2010) 140–149, Elsevier

- Dewan Riset Nasional, 2006, "Agenda Riset Nasional 2006 – 2009".
- Ehteshami, M., Rahimi, N., Eftekhari, A.A., and Nasrs, M.J., 2006, "Kinetic Study Of catalytic Hydrolysis Of Methyl Acetate To Acetic acid and Methanol," *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, Vol.30, No.B5.
- Fogler, S.H., 2006, *Elements Of Chemical Reaction Engineering*, 4th Edition Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences.
- Gelosa, D., Ramaioli, M., Valente, G., and Morbidelli, M., 2003, *Chromatographic Reactors: Esterification of Glycerol with Acetic Acid Using Acidic Polymeric Resins*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42, 6536-6544.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_bicarbonate, di unduh 3/29/2012 5:53:08 PM
- Kolah, A.K., Astana, N. S., Vu, D. T, Lira, C.T., and Miller, D.J., 2007, *Reaction Kinetics of the Catalytic Esterification of Citric Acid with Ethanol*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46, 3180- 3187.
- Kolah, A.K., Astana, N. S., Vu, D. T, Lira, C.T., and Miller, D.J., 2008, "Triethyl Citrate Synthesis by Reactive Distillation", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 47, 1017-1025.
- Nemec, D., and Van Gemert, R., 2005, *Performing Esterification Reaction by Combining Heterogeneous Catalysis and Pervaporation in a Batch Process*, *Ind. Chem. Res.* 44,9718-9726.
- Nuryoto dan Jayanudin, 2011., "Pengaruh Konsentrasi Asam asetat dan Uji Efektifitas Katalisator Resin Penukar Ion Lewatit Monoplus S-100", *Prosiding Seminar Nasional integrasi Proses*, Untirta, Cilegon, Banten.
- Nuryoto, 2008., "Studi kinerja katalisator lewatit Monoplus s-100 pada reaksi esterifikasi antara etanol dan asam asetat", *Jurnal Rakayasa Proses*, Jurusan Teknik Kimia UGM.
- Nuryoto, Hary Sulisty, Suprihastuti Sri Rahayu, Sutijan, 2010., "Uji Performa katalisator Resin Penukar Ion Untuk Pengolahan Hasil Samping Pembuatan Biodisel menjadi Triacetin.", *Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, 4-5 Agustus 2010, Semarang.
- Nuryoto, Jayanudin, Hary Sulisty, dan Wahyudi Budi Sediawan, 2012., "Pengaruh Perbandingan Pereaksi dan Pelarut Pada Pembuatan Gliserol Karbonat Dengan Katalisator Indion 225 Na", *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 20-22 September 2012*, FT. UI, Depok.
- Nuryoto, Hary Sulisty, Suprihastuti Sri Rahayu, Sutijan, 2010., "Esterifikasi Gliserol dan Asam asetat Dengan katalisator Indion 225 Na", *Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-16*, 27 Mei 2010, Yogyakarta.
- Pereira, C. S. M., Pinho, S. P., Silva, V. M. T. M., and Rodrigues, A.E., 2008, *Thermodynamics Equilibrium and Reaction Kinetics for the Esterification of Lactic acid with Ethanol Catalyzed by Acid*.
- Rahayu, M, 2006, "Teknologi Proses Produksi Biodiesel," *Prospek Pengembangan Bio-fuel sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak*".
- US Patent, 1957, "Method For preparing Glycerin Carbonate".
- Vieville C, Yeo J.W., Pelet S., and Moaleungai Z., 1998., *Synthesis of glycerol carbonat by direct carbonation of glycerol in supercritical CO2 in the presence of zeolit and ion exchange resins*, Jc Bliber AG Science Publisher.
- www.ionresins.com dan Rohm and Haas Company (2006) di unduh 5 Juni 2010.