

ESTERIFIKASI GLISEROL SEBAGAI PRODUK SAMPING BIODIESEL MENJADI TRIACETIN DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT ALAM PADA VARIASI SUHU REAKSI DAN KONSENTRASI KATALIS

Dedi Meier Silaban¹⁾, Zuchra Helwani²⁾, Silvia Reni Yenti²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km. 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

dedi.meiers@gmail.com

Abstract

Glycerol is by-product of biodiesel. Production of biodiesel will produce glycerol about 10% of total biodiesel. The excess glycerol able to treatment to a more expensive product, such as triacetin. Triacetin is a triester from glycerol and acetic acid. It is used as good additive and also soluble in biodiesel. Triacetin was produced by esterification of glycerol and acetic acid. The aim of this research was to know the influence of the concentration of catalyst and esterification temperature reaction toward glycerol conversion. Esterification of glycerol was done by activated natural zeolite catalyst. The molar ratio of glycerol and acetic acid was 1:7. The temperature that used was 90°C, 100°C, and 110°C, than the concentration of zeolite catalyst was 2%, 4%, and 6% of acetic acid mass. The highest glycerol conversion was 85,21% that reached in reaction temperature 110°C and catalyst concentration 4% of acetic acid mass. The temperature and catalyst concentration of esterification was directly proportional of the glycerol conversion.

Key words: Biodiesel, esterification, glycerol, triacetin, zeolite.

I. PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang diperoleh dengan reaksi transesterifikasi antara trigliserida dan alkohol. Selain biodiesel, gliserol juga akan diperoleh sebagai hasil samping pada reaksi transesterifikasi trigliserida dengan jumlah lebih kurang 10% dari jumlah biodiesel [Khayoon dkk, 2011].

Pada tahun 2015 dihasilkan gliserol 150.000 kilo liter kemudian target tahun 2025 akan menjadi tiga kali lipat dari tahun 2010 yaitu 470.000 kilo liter [Blueprint Pengelolaan Energi Nasional, 2010]. Peningkatan jumlah gliserol yang tidak diiringi dengan diversifikasi dari produk gliserol tidak akan menambah nilai jual dari *crude* gliserol tersebut. Untuk ini perlu adanya pengolahan *crude* gliserol menjadi menjadi produk lain yang lebih bernilai ekonomi.

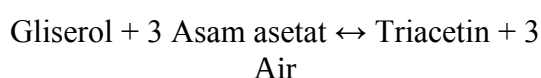
Nuryoto dkk [2010] telah melakukan esterifikasi gliserol dan asam asetat dengan perbandingan molnya 1:7 dan menggunakan katalisator indion 225 Na dengan konsentrasi 3% berat. Variasi ukuran diameter katalis adalah 0,046; 0,078; dan 0,1cm, suhu 222-373K, dan kecepatan pengadukan 1000 rpm. Konversi tertinggi sebesar 42,3% diperoleh pada ukuran partikel katalis 0,046cm dan suhu 373K.

Liao dkk [2010] mereaksikan gliserol dan asam asetat dengan berbagai katalis padat melalui dua tahap reaksi yaitu esterifikasi dan asetilasi. Katalis yang digunakan adalah amberlyst-15, amberlyst-35 dan zeolit sintesis. Proses pembuatan dilakukan pada perbandingan mol 1:9 selama 4 jam pada suhu 105°C. Kondisi terbaik diperoleh pada waktu reaksi 4 jam dan suhu 105°C dengan nisbah mol gliserol dan asam asetat 1:9 menggunakan katalis *amberlyst-35*.

Khayoon dkk [2011] memproduksi triacetin dengan metode asetilasi gliserol. Katalis yang digunakan adalah karbon aktif yang diaktivasi menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi 0,1, 1, 2, 3, dan 5M. 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.

Penelitian ini menggunakan zeolit alam sebagai katalis dengan konsentrasi 2%, 4%, dan 6% dari massa asam asetat dimana nisbah mol antara gliserol dan asam asetat adalah 1:7 dan suhu reaksi adalah 90°C, 100°C, dan 110°C.

Mekanisme reaksi pembentukan *triacetin* pada reaksi esterifikasi antara gliserol dan asam asetat adalah sebagai berikut:



Gliserol direaksikan menggunakan asam asetat akan menghasilkan *triacetin* dan air. Reaksi esterifikasi dapat berlangsung dengan katalis asam dan bersifat *reversible* [Fessenden dan Fessenden, 1982]. Penggunaan katalis diperlukan untuk menaikkan laju reaksi.

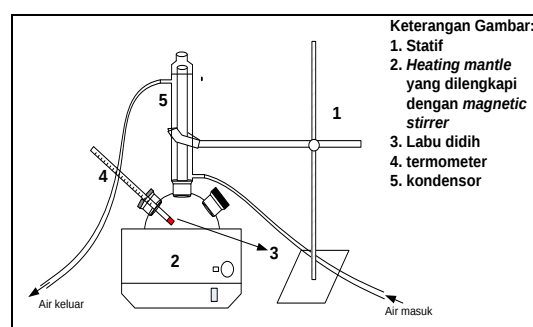
Zeolit yang digunakan adalah zeolit alam. Zeolit alam biasanya mengandung kation-kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+} sedangkan zeolit sintetis biasanya hanya mengandung kation-kation K^+ atau Na^+ . Pada zeolit alam, adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut [Fuadi, 2013]. Oleh karena itu zeolit harus diaktivasi secara kimia maupun fisika. Tujuan aktivasi secara fisika adalah untuk menghilangkan pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan [Lestari, 2010]. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan dengan

asam atau basa [Kurniasari, 2011], dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor anorganik, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam sintesis triasetin adalah gliserol dari PT. Wilmar Grup Dumai, asam asetat glasial p.a Merck, etanol, zeolit alam, HCL 6N, HF 5%, KOH, dan Asam Oksalat. Alat yang digunakan adalah labu leher tiga 500ml sebagai reaktor, pemanas mantel yang dilengkapi dengan *magnetic stirrer*, termometer untuk mengetahui suhu reaksi, erlenmeyer, gelas ukur, gelas piala, buret, *rotary* evaporator, peralatan destilasi, pipet tetes, spatula, pengaduk dan statif. Rangkaian alat esterifikasi gliserol dengan asam asetat ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Peralatan

2.2 Variabel Penelitian

Variabel tetap pada penelitian ini adalah waktu reaksi 4 jam, ukuran katalis - 100 +200 mesh, dan rasio molar gliserol dengan asam asetat 1:7. Sedangkan variabel bebas adalah suhu reaksi 90°C, 100°C, dan 110°C, dan konsentrasi katalis yang digunakan 2%, 4%, 6% berat dari asam asetat.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Aktivasi Zeolit Alam

Aktivasi katalis zeolit alam yang digunakan menggabungkan antara metode kimia dan fisika [Yuliusman, 2010]. Tahap awal dilakukan pengecilan ukuran zeolit

alam dengan ukuran ayakan -100 +200 mesh. Metode kimia berupa perendaman zeolit alam menggunakan larutan HF 5% dengan volume 200ml selama 2 jam kemudian direfluk menggunakan larutan HCl 6N pada suhu 60°C selama 30 menit untuk meningkatkan sifat asam dari katalis. Metode fisika berupa kalsinasi pada zeolit alam yang bertujuan untuk meningkatkan rasio Si/Al, memperbesar luas permukaan dan ukuran pori. Proses kalsinasi untuk aktivasi zeolit alam dilakukan didalam *furnace* pada suhu 500°C selama 3 jam.

2.3.2 Pemurnian Gliserol

Pemurnian gliserol dapat dilakukan dengan menggunakan metode evaporasi [Prakorso, 2007]. Proses pemurnian ini dilakukan untuk menghilangkan air, metanol dan sisa asam dalam proses pembuatan biodiesel tersebut. Adapun pelarut yang digunakan adalah aquades. Sampel (*crude glycerol*) ditambahkan aquades dengan perbandingan 2:3.

Untuk menghilangkan warna pada *crude glycerol* digunakan karbon aktif 5% dari total volume sampel yang sudah terlebih dahulu dicuci. Campuran sampel dan karbon aktif diaduk selama 30 menit, lalu dibiarkan selama 24 jam. Setelah 24 jam sampel disaring menggunakan kertas saring. Sampel dimasukkan kedalam *rotary evaporator*, dimana sebelumnya sudah diset kondisinya pada tekanan vakum dan suhu 60°C. Untuk meningkatkan kemurnian gliserol, produk bawah *rotary evaporator* didistilasi selama 4 jam.

2.3.3 Pembuatan Triacetin

Gliserol sebanyak 20ml dan asam asetat sebanyak 109,2 ml dengan perbandingan mol 1:7 dipanaskan terpisah sampai mendekati suhu reaksi. Kemudian gliserol dan asam asetat dimasukkan ke dalam labu leher tiga, dipanaskan dengan *heating mantle* dimana suhu dijaga konstan 90°C, sambil pengaduk digerakkan. Selanjutnya katalis zeolit alam yang telah diaktivasi dimasukkan dan waktu dicatat sebagai waktu awal reaksi. Reaksi

dihentikan setelah waktu reaksi 4 jam. Triacetin hasil proses esterifikasi dipisahkan dari katalis dengan menyaringnya menggunakan kertas saring. Triacetin yang diperoleh dianalisis menggunakan spektroskopi FTIR.

2.3.4 Analisa Produk

Analisis asam total (Ao) dilakukan dengan cara volumetri menggunakan asam klorida (menurut metode FBI A01-03), sementara bilangan penyabunan dianalisis menggunakan KOH (menurut metode FBI A03-03). Perhitungan konversi pereaksi berdasarkan hasil dari pengurangan antara bilangan penyabunan dan bilangan asam dikurangi dengan kadar gliserol total (menurut metode FBI A02-03) dalam produk dibagi dengan bilangan penyabunan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemurnian Crude Gliserol

Crude glycerol yang berasal dari PT. Wilmar Grup Dumai masih mengandung pengotor dari sisa-sisa reaksi transesterifikasi minyak menjadi biodiesel. Impuritis pada *crude glycerol* yaitu methanol, katalis, air dan senyawa organik lainnya.

Proses adsorpsi oleh karbon aktif menghasilkan warna *crude* gliserol yang lebih terang daripada sebelum proses pemurnian. Gliserol terlebih dahulu diencerkan bertujuan untuk mencegah gliserol menempel pada karbon aktif karena viskositas gliserol cukup tinggi [Aziz dkk, 2008]. Kadar air pada gliserol dan senyawa organik seperti metanol dihilangkan dengan cara dievaporasi menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 60°C dan tekanan vakum. Setelah itu gliserol didistilasi untuk meningkatkan kemurniannya. Berikut ditampilkan komposisi *crude glycerol* yang diperoleh dari PT Wilmar Group dan sifat fisika kimia gliserol sesudah proses pemurnian ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Sifat Fisika dan Kimia Gliserol Sebelum dan Setelah Dimurnikan

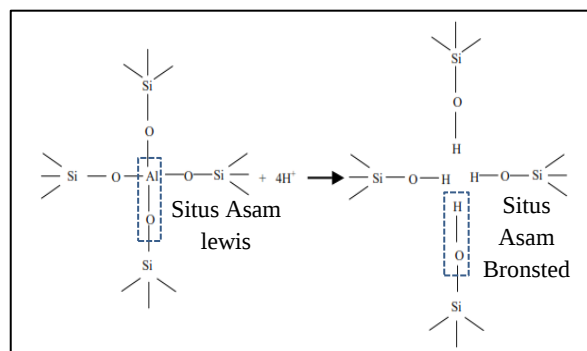
Sifat Fisik	Crude Gliserol	Gliserol Setelah Pemurnian	Gliserol p.a. Merk
Densitas (gr/ml)	1,188	1,241	1,262
Viskositas (mPa.s)	104,42	325,35	1499
Kadar air (%)	13,95	2,07	0,5
Warna	Kuning kemera-han	Bening kekuni-ngan	Bening

3.2 Aktivasi Zeolit Alam

Zeolit alam terlebih dahulu digerus kemudian disaring dengan ukuran pengayakan -100 dan +200 mesh. Tujuan dari penggerusan adalah untuk mendapatkan luas permukaan zeolit yang lebih besar sehingga luas sisi aktif dari zeolit alam semakin besar. Selanjutnya zeolit alam direndam di larutan asam florida HF 5%. Perendaman dengan asam florida bertujuan untuk menghilangkan pengotor anorganik. Perendaman dengan asam florida akan melarutkan logam alkali seperti Ca^{2+} , K^+ , Na^+ yang menutup sebagian rongga pori [Buchori dan Budiyo, 2003].

Proses perendaman zeolit dengan HCl dilakukan untuk menurunkan jumlah Al dan memasukkan ion H^+ pada zeolit. Sibarani [2012] menjelaskan bahwa adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Pada

tahap ini terjadi pertukaran ion H^+ dari larutan HCl dengan kation bebas pada zeolit. Ion H^+ akan diserang oleh atom oksigen yang terikat pada Si dan Al. Penurunan jumlah Al dalam zeolit berarti jumlah situs asam Lewis berkurang karena Al merupakan situs asam lewis. Penurunan jumlah situs Lewis tidak mengindikasikan adanya penurunan keasaman karena hal ini diimbangi dengan meningkatnya kekuatan asam dari situs Lewis tersebut. Sedangkan adanya pertukaran ion H^+ dengan kation-kation bebas pada zeolit akan membentuk situs Bronsted. Mekanisme reaksi pertukaran ion pada zeolit berdasarkan situs asam lewis dan Bronsted ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme reaksi pertukaran ion pada zeolit berdasarkan situs asam lewis dan Bronsted [Buchori dan Budiyo, 2013]

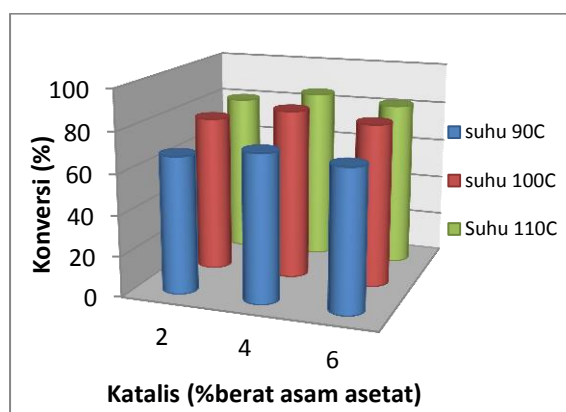
Proses kalsinasi dilakukan untuk meregangkan ruang antar pori sehingga gas dapat menembus pori-pori yang kecil dan mendesak kotoran-kotoran dan sisa zat organik yang menempel dalam zeolit alam untuk keluar dari pori [Anggara dkk, 2013]. Hasil analisa XRD zeolit ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Senyawa Zeolit Alam Sebelum dan Sesudah Diaktivasi

Zeolit Alam Sebelum diaktivasi		Zeolit Alam Sesudah Diaktivasi	
Jenis mineral	Komposisi Senyawa	Jenis mineral	Komposisi Senyawa
Modernite	$(\text{Na}_2\text{CaK}_2)\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mordenite	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_{13,3}\text{O}_{29,6+x}$
Cristobalite	SiO_2	Cristobalite	SiO_2
Clinoptilolite	$\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72})(\text{H}_2\text{O})_{9,04}$	Sanidine	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$

3.3 Pengaruh Jumlah Katalis Zeolit Alam dan Suhu Reaksi terhadap Konversi Gliserol

Katalis merupakan salah satu aspek penunjang dalam pembuatan triacetin. Jumlah katalis yang digunakan adalah 2%, 4%, dan 6% dari massa gliserol yang digunakan. Pengaruh jumlah katalis terhadap konversi gliserol yang dihasilkan dengan variasi suhu reaksi pada reaksi esterifikasi gliserol ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Jumlah Katalis versus Konversi Gliserol pada Variasi Suhu Reaksi Esterifikasi

Dari Gambar 3. ditampilkan bahwa konversi gliserol pada suhu 90°C dengan jumlah katalis 2%, 4% dan 6% dari massa asam asetat secara berurutan adalah 67,41%; 72,29%; dan 69,43%. Untuk suhu 100°C konversi gliserol yang didapat dengan katalis 2%, 4% dan 6% adalah 77,26%; 83,87%; dan 80,20%, sedangkan reaksi dengan suhu 110°C dan jumlah katalis yang sama secara berurutan adalah 79,84%; 85,21%, dan 81,70%.

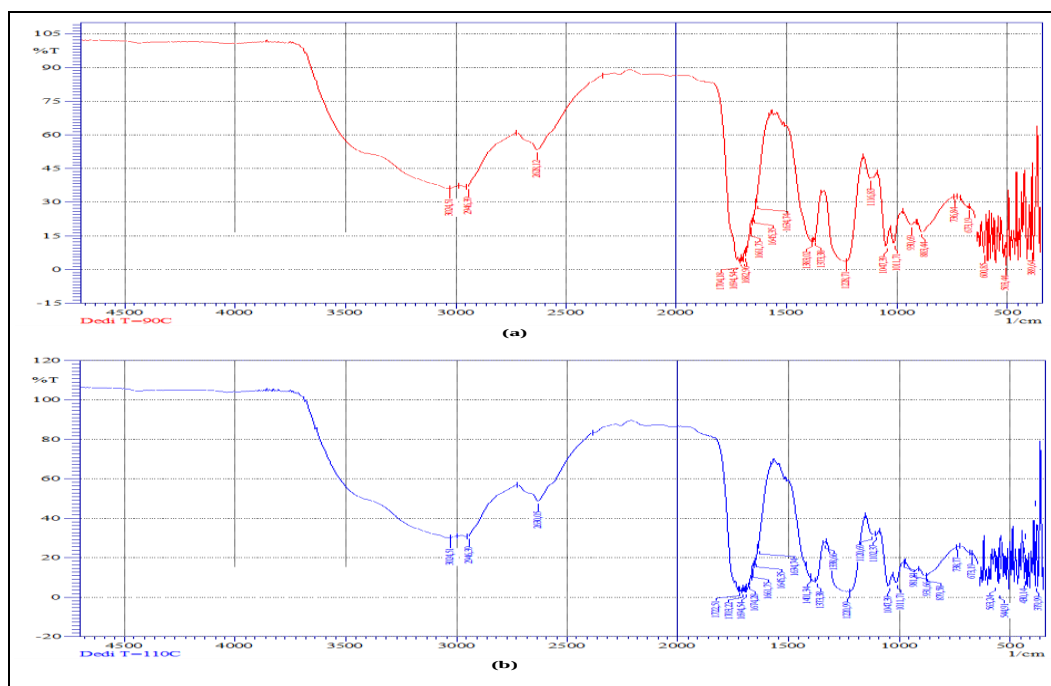
Kenaikan jumlah katalis akan menaikkan konversi dari gliserol. Terlihat pada jumlah katalis 2% dan 4% pada setiap suhu reaksi terjadi kenaikan konversi

gliserol. Namun pada jumlah katalis 6% terjadi penurunan konversi gliserol. Hal ini dikarenakan penggunaan katalis dalam waktu tertentu akan menyebabkan penurunan aktivitas. Penurunan aktivitas katalis terjadi karena katalis mengalami deaktivasi. Deaktivasi ini diakibatkan oleh pengotor (*fouling*). Pengotor mendeaktivasi katalis dengan meracuni situs-situs aktif dan/atau mem-*block* pori-pori katalis [Tadeus, 2013]. Jumlah katalis yang terlalu banyak juga akan meningkatkan viskositas reaktan. Hal ini akan menghambat proses pengadukan. Pengadukan akan memperbesar laju reaksi dan menaikkan turbulensi fluida yang akan menyebabkan berkurangnya lapisan film sehingga hambatan eksternal akan semakin kecil [Fogler, 2006].

Sementara itu adanya kenaikan suhu reaksi akan menghasilkan kenaikan konversi gliserol juga. Konversi tertinggi terdapat diperoleh pada suhu 110°C dihasilkan pada suhu 110°C. Konversi gliserol pada suhu 110°C dengan jumlah katalis 2%, 4%, dan 6% dari massa asam asetat adalah 79,84%; 85,21%; dan 81,70%. Adanya kenaikan suhu reaksi maka energi yang dimiliki oleh molekul-molekul pereaksi bertambah besar dalam mengatasi energi aktivasi. Hal ini menyebabkan tumbukan antar molekul meningkat, sehingga berakibat pada meningkatnya laju reaksi [Nuryoto dkk, 201].

3.4 Karakteristik Triacetin Menggunakan FTIR

Triacetin memiliki gugus fungsi ester dengan panjang gelombang 1690 – 1760 cm^{-1} [Skoog dkk, 1998]. Hasil analisis FTIR ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) Hasil Analisis FTIR Sampel dengan Suhu 90°C
(b) Hasil Analisis FTIR sampel Suhu 110°C

Gambar 4. menunjukkan hasil analisis FTIR sampel pada suhu 90°C dan 110°C. Pada suhu 90°C gugus ester terdapat pada panjang gelombang 1694,54 dan 1704,18 cm^{-1} sedangkan pada suhu 110°C terdapat panjang gelombang 1694,54; 1703,22; dan 1722,51 cm^{-1} . Panjang gelombang ini masuk kedalam gugus fungsi ester yaitu 1690 – 1760 cm^{-1} . Dengan demikian pada sampel tersebut terdapat triacetin sebagai hasil esterifikasi gliserol dengan asam asetat.

IV. KESIMPULAN

1. Gliserol sebagai hasil samping pembuatan biodiesel dapat diolah menjadi produk turunan berupa triacetin dengan menggunakan reaksi eseterifikasi antara gliserol dengan asam asetat
2. Suhu mempengaruhi konversi gliserol pada reaksi esterifikasi gliserol. Suhu yang semakin tinggi akan menghasilkan konversi gliserol yang semakin tinggi pula.
3. Jumlah katalis zeolit alam yang telah diaktivasi mempengaruhi konversi gliserol pada reaksi esterifikasi gliserol. Jumlah katalis yang besar akan

menghasilkan konversi gliserol yang besar juga. Namun, jumlah katalis zeolit alam dibatasi oleh keadaan optimal sehingga konversi gliserol menjadi triacetin dapat turun.

4. Dari penelitian yang telah dilakukan, konversi gliserol yang paling tinggi didapat pada reaksi esterifikasi gliserol dengan suhu 110°C, jumlah katalis 4% dari massa asam asetat, dan perbandingan mol pereaksi gliserol dengan asam asetat 1:7. Konversi gliserol yang didapat pada kondisi ini adalah 85,304%.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, P.A., Wahyui, S., dan Prasetya, A, 2013, Optimalisasi Zeolit Alam Wonosari dengan Proses Aktivasi Secara Fisis dan Kimia, *Indonesia Journal of Chemical Sciens*, 2(1) (2013), 72-77, ISSN NO 2252-6951.
- Aziz, I., Nurbaya, S., dan Luthfiana, F., 2008, Pemurnian Gliserol dari Hasil Samping Pembuatan Biodiesel Menggunakan Bahan Baku Minyak Goreng Bekas, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

- Blueprint Pengelolaan Energi Nasional, 2010, *Proyeksi Target Produksi Biodiesel Sampai Tahun 2025*, Jakarta
- Buchori, L. dan Budiyo., 2003, Aktivasi Zeolit dengan Perlakuan Asam dan Kalsinasi, *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia*, Yogyakarta.
- Fessenden, R.J dan J.S. Fessenden, 1982, *Kimia Organik Jilid 2 Edisi Ketiga*, Erlangga.
- Fogler, S.H., 2006. *Elements of Chemical Reaction Engineering*, Edisi ke-4, Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences, New Jersey.
- Fuadi, A.M., Musthofa, M., Harismah, K., Haryanto., dan Hidayati, N., 2013, Pemakaian Microwave untuk Optimasi Pembuatan Zeolit Sintetis dari Abu Sekam Padi. *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)*, 2013.
- Khayoon, M.S., dan Hameed, B.H, 2011, Acetylation of Glycerol to Biofuel Additives Over Sulfated Activated Carbon Catalysts. *Bioresour Technology*, 102 (19) (2011), 9229-9235.
- Kurniasari, L., Djaeni, M., dan Purbasari, A., 2011, Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben pada Alat Pengering Bersuhu Rendah, *Reaktor*, 13 (3) (2011), 178-184.
- Liao, X., Zhu, Y., Wang, S.G., dan Li, Y, 2009, Producing Triacetyl glycerol with Glycerol by Two step: Esterifikasi and Acylation, *Fuel Processing Technology*, 90 (7-8) (2009), 988-993.
- Lestari, D.Y., 2010, Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara, *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*, Yogyakarta.
- Mufrodi, Z., Sutijan, Rochmadi, dan Budiman, A., 2010, Chemical Kinetics for Synthesis of Triacetin From Biodiesel Byproduct, *International Journal of Chemistry*, 10 (2) (2012).
- Nuryoto., Sulisty, H., Rahayu, S.S., dan Sutijan. 2010. Uji Performa Katalisator Resin Penukar Ion Untuk Pengolahan Hasil Samping Pembuatan Biodiesel Menjadi Triasetat. *Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*.
- Nuryoto., Sulisty, H., Rahayu, S.S., dan Sutijan. 2011, Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dengan Asam Asetat Menggunakan Katalisator Indion 255 Na, *Jurnal Rekayasa Proses*, 5 (2) (2011), 35-39.
- Prakoso, T.H. dan `Sirait, B., 2007, Pemurnian Hasil Samping Produksi Biodiesel, *Prosiding Konferensi Nasional Pemanfaatan Hasil Samping Industri Biodiesel dan Industri Etanol serta Peluang Pengembangan Industri Integratedny*, Jakarta, 267 - 275.
- Sibarani, K.L. 2012. *Preparasi. Karakterisasi. Dan Uji Aktifitas Katalis Ni-Cr/Zeorit Alam Pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin*. Skripsi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia.
- Skoog, F., Holler, T., dan Nieman, 1998, *Principles of Instrumental Analysis, Fifth Edition*, Thomson Learning, United States.
- Tadeus, A., 2006, Karakterisasi Katalis Zeolit-Ni Regenerasi dan Tanpa Regenerasi dalam Reaksi Perengkahan Katalitik, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, ISSN : 1411-1098, Edisi Khusus Oktober, (2006), 102-105.
- Yuliusman, 2010, Preparasi Zeolit Alam Lampung dengan Larutan HF, HCl dan Kalsinasi untuk Adsorpsi Gas CO, *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, ISSN : 1411-4216.