

**OPTIMASI REAKSI ETERIFIKASI GLISEROL DAN ETANOL DENGAN
KATALIS AMBERLYST 36DRY UNTUK MENGHASILKAN ZAT ADITIF
BIOSOLAR**

(Skripsi)

Oleh

YUNITA PRATIWI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF ETHERIFICATION REACTION OF GLYCEROL AND ETHANOL WITH AMBERLYST 36DRY CATALYST TO PRODUCE THE BIODIESEL ADDITIVES

By

YUNITA PRATIWI

The additive is a substance if added in small amounts to a material increases or generates a specific functional properties to the material. Glycerol can be used as additives that are added to the fuel, but it must be modified in order to be able to mix well with diesel or biodiesel, one of which is to be converted into glycerol ethyl ether. The objective of this research was to determine the appropriate etherification reaction conditions to produce the highest glycerol conversion, selectivity, and yield of ether. Type of ethers resulting from the reaction were glycerol monoethyl ether (MEGE), glycerol diethyl ether (DEGE), and glycerol triethyl ether (TEGE). The research was compiled in RSM (Response Surface Method) experimental design with the independent variable such as catalyst concentration, mole ratio of ethanol to glycerol and reaction temperature which affected the response variable in form of glycerol conversion, selectivity, and yield of ether. The results showed that the etherification reaction with treatment, that had been set only produces MEGE, such treatment did not produce DEGE

and TEGE. The highest glycerol conversion amounted to 87.71% resulting from etherification reaction at a catalyst concentration of 2.34% and a mole ratio of ethanol to glycerol 5.49. The temperature did not effect to the conversion of glycerol. The highest yield of MEGE resulting from etherification reaction was 52.34%, carried out at reaction temperature 123.64 °C and ethanol to glycerol mol ratio of 9.36. The catalyst concentration had no effect on the yield. For the further research is recommended to add the reaction time on the condition the mole ratio of ethanol to glycerol 8.75 to 10 and at temperature over 123.64 °C with 4% catalyst concentration to produce optimal DEGE and TEGE.

Keywords : additives, amberlyst 36dry, ethanol, etherification reaction, glycerol.

ABSTRAK

OPTIMASI REAKSI ETERIFIKASI GLISEROL DAN ETANOL DENGAN KATALIS *AMBERLYST 36DRY* UNTUK MENGHASILKAN ZAT ADITIF BIOSOLAR

Oleh

YUNITA PRATIWI

Zat aditif adalah suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam suatu bahan dapat meningkatkan atau membangkitkan sifat-sifat fungsional tertentu pada bahan tersebut. Gliserol dapat dijadikan sebagai zat aditif yang dapat ditambahkan ke dalam bahan bakar, tetapi harus dimodifikasi agar memiliki pencampuran yang baik dengan solar atau biosolar, salah satunya yaitu dengan dikonversi menjadi etil gliserol eter. Tujuan penelitian ini untuk menentukan kondisi reaksi eterifikasi yang tepat yang menghasilkan konversi gliserol, selektivitas, dan rendemen eter tertinggi. Jenis eter yang menjadi hasil reaksi adalah monoetil gliserol eter (MEGE), dietil gliserol eter (DEGE), dan trietil gliserol eter (TEGE). Penelitian disusun dalam rancangan percobaan RSM (*Response Surface Method*) dengan variabel bebas yang terdiri dari konsentrasi katalis, nisbah mol etanol terhadap gliserol serta suhu reaksi, yang mempengaruhi variabel respon, yang berupa konversi gliserol, selektivitas, dan rendemen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi eterifikasi dengan perlakuan yang

ditetapkan hanya menghasilkan MEGE, belum menghasilkan DEGE dan TEGE. Konversi gliserol terbaik sebesar 87,71% dihasilkan dari reaksi eterifikasi pada konsentrasi katalis 2,34% dan nisbah mol etanol 5,49. Suhu tidak berpengaruh terhadap konversi gliserol. Rendemen MEGE terbaik yang dihasilkan dari reaksi eterifikasi 52,34% pada suhu reaksi 123,64 °C dan nisbah mol etanol 9,36. Konsentrasi katalis tidak berpengaruh terhadap rendemen eter. Penelitian selanjutnya disarankan perlakuan lama reaksi dengan kondisi nisbah mol etanol 8,75 – 10, suhu reaksi lebih tinggi dari 123,64 °C dengan konsentrasi katalis 4% untuk menghasilkan DEGE dan TEGE optimal.

Kata kunci : amberlyst 36dry, etanol, gliserol, reaksi eterifikasi, zat aditif

**OPTIMASI REAKSI ETERIFIKASI GLISEROL DAN ETANOL DENGAN
KATALIS AMBERLYST 36DRY UNTUK MENGHASILKAN ZAT ADITIF
BIOSOLAR**

Oleh

YUNITA PRATIWI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2017**

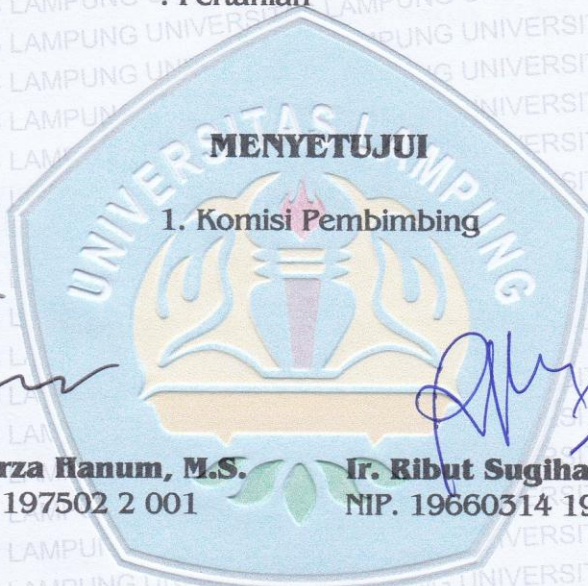
Judul Skripsi : **OPTIMASI REAKSI ETERIFIKASI GLISEROL DAN ETANOL DENGAN KATALIS AMBERLYST 36DRY UNTUK MENGHASILKAN ZAT ADITIF BIOSOLAR**

Nama Mahasiswa : **Yunita Pratiwi**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1214051075**

Program Studi : **Teknologi Hasil Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Tirza Hanum, M.S.
NIP. 19470203 197502 2 001

Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.
NIP. 19660314 199003 1 009

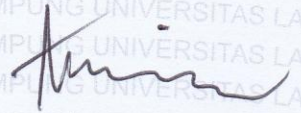
2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

Ir. Susilawati, M.Si
NIP. 19610806 198702 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

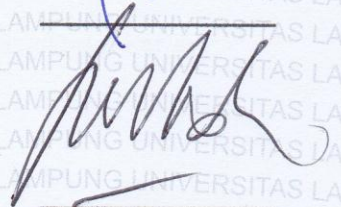
Ketua : Prof. Dr. Ir. Tirza Hanum, M.S.



Sekretaris : Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 3 April 2017

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Yunita Pratiwi NPM 1214051075

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 13 April 2017
Yang membuat pernyataan



Yunita Pratiwi
NPM. 1214051075

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 21 Juni 1994, sebagai anak ke-dua dari tiga bersaudara, buah hati dari pasangan Bapak Masudi dan Ibu Itawiyah. Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-kanak TK Kartika Chandra Kirana pada tahun 1998-1999; Sekolah Dasar SDN 2 Sidoasri pada tahun 1999-2005; Sekolah Menengah Pertama SMPN 1 Sidomulyo pada tahun 2005-2008; Sekolah Menengah Atas SMAN 1 Sidomulyo pada tahun 2008-2011. Penulis diterima sebagai mahasiswi D3 Politeknik Negeri Lampung tahun 2011 dan lulus tahun 2014, kemudian melanjutkan jenjang pendidikan S1 Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2015.

Penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Kebangsaan yang bertema Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan: Penguatan Program Pencegahan Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla) Berbasis Masyarakat pada bulan Juli sampai Agustus 2015 di Dusun Pusaka, Kecamatan Pusaka, Kabupaten Siak, Riau. Pengalaman organisasi penulis yaitu sebagai Anggota UKM Birohmah.

SANWACANA

Puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Reaksi Eterifikasi Gliserol dan Etanol dengan Katalis *Amberlyst 36dry* untuk menghasilkan Zat Aditif Biosolar”. Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari keterlibatan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Tirza Hanum, M.S., selaku Dosen Pembimbing Utama atas segala bantuan, pengarahan, nasihat, dan saran selama penyusunan skripsi.
2. Bapak Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas segala bantuan, pengarahan, masukan dan saran selama penyusunan skripsi.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Dosen Pembahas atas segala pengarahan, nasihat, saran, dan masukan selama penyusunan skripsi.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
5. Ibu Ir. Susilawati, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung.
6. Kedua orang tuaku Bapak Masudi dan Ibu Itawiyah, serta kakakku Muhammad Heri Yudha dan adikku Ade Noval Triawan yang selalu mendukung, menyayangi, dan selalu mendoakan yang terbaik.

7. Rekan-rekan polinela Mb Septiani, Mb Ermas Maysa dan Ka Abidin, serta rekan penelitian Riska Amelia, Mb Yulfadilla, dan Ka Onky atas segala bantuan fisik dan dukungan mental selama penyusunan skripsi.
8. Keluarga besar THP FP Unila atas suka duka dan kebersamaannya

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Bandar Lampung, 13 April 2017

Penulis

Yunita Pratiwi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	3
1.3. Kerangka Pemikiran.....	3
1.4. Hipotesis.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Gliserol.....	7
2.2. Etanol	8
2.3. Katalis <i>Amberlyst 36dry</i>	9
2.4. Eterifikasi	12
III. BAHAN DAN METODE	
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.2. Bahan dan Alat.....	16
3.3. Metode Penelitian	16
3.4. Pelaksanaan Penelitian.....	18
3.5. Pengamatan	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Konversi Gliserol	25
4.2. Rendemen MEGE	31
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	37
5.2. Saran	37

DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	42

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik katalis Amberlyst 36dry.....	11
2. Taraf kode pada reaksi eterifikasi gliserol dan etanol.....	17
3. Desain percobaan dengan 3 variabel bebas.....	18
4. Jumlah gliserol, etanol, dan katalis Amberlyst 36dry.....	20
5. Waktu Retensi Standar.....	24
6. Gliserol yang bereaksi.....	25
7. Konversi gliserol (%).....	26
8. Hasil Desain <i>Respon Surface</i>	26
9. Hasil analisis ragam konversi gliserol.....	27
10. Hasil perhitungan monoetil gliserol eter (MEGE).....	32
11. Hasil analisis ragam rendemen MEGE.....	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi Pembentukan Biosolar dan Gliserol.....	8
2. Mekanisme reaksi eterifikasi gliserol pada atom karbon nomor 1 atau 3 molekul gliserol (alkohol primer) menjadi monoetil gliserol eter	13
3. Mekanisme reaksi eterifikasi gliserol pada atom karbon nomor 2 molekul gliserol (alkohol sekunder) menjadi trietil gliserol eter	14
4. Diagram Alir Proses Eterifikasi	21
5. Pengaruh konsentrasi katalis dan nisbah mol etanol terhadap konversi gliserol.....	29
6. Plot <i>contour</i> dan prediksi pengaruh konsentrasi katalis dan nisbah mol etanol terhadap konversi gliserol	30
7. Plot <i>surface</i> pengaruh suhu reaksi dan nisbah mol etanol terhadap rendemen MEGE.....	33
8. Plot <i>contour</i> dan prediksi pengaruh nisbah mol etanol dan suhu reaksi terhadap rendemen MEGE.....	34

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Zat aditif adalah suatu zat yang ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam suatu bahan untuk meningkatkan atau membangkitkan sifat-sifat fungsional tertentu pada bahan tersebut (Hapid, 2002). Pembubuhan zat aditif pada suatu bahan bakar terutama biosolar bertujuan untuk membangkitkan sifat fungsional dari biosolar tersebut seperti meningkatkan angka setana. Noureddini (2000), melaporkan bahwa penambahan zat aditif ke dalam bahan bakar dapat menurunkan jumlah komponen hidrokarbon yang tidak terbakar dan meningkatkan efisiensi mesin diesel.

Gliserol dapat berfungsi sebagai zat aditif, yang dapat ditambahkan ke dalam bahan bakar, namun tidak dapat ditambahkan secara langsung karena gliserol dapat terdekomposisi dan terpolimerisasi pada suhu tinggi, yang menyebabkan kerusakan mesin. Gliserol harus dimodifikasi sebelum ditambahkan ke bahan bakar seperti menjadi etil gliserol eter (Roze, 2013) atau tributil gliserol eter (Klepacova *et al.*, 2005). Oleh karena itu, salah satu pemanfaatan gliserol adalah mengkonversi gliserol dengan etanol menjadi dietil gliserol eter (DEGE) dan trietil gliserol eter (TEGE) yang berfungsi sebagai zat aditif dan diharapkan memiliki sifat yang sama dengan tributil gliserol eter. Menurut Kesling *et al.* (1994) dan Noureddini (2000), pencampuran trietil gliserol eter dan dietil gliserol

eter dalam biosolar dapat menurunkan emisi partikular, menurunkan viskositas, dan menurunkan titik beku dan *cloud point*.

Di Indonesia kapasitas produksi biosolar mencapai 4 juta kiloliter (kl) per tahun (ESDM, 2012), sehingga akan dihasilkan gliserol kasar sekitar 400.000-600.000 ton per tahun (Rivai, 2013). Peningkatan kapasitas produksi biosolar akan menyebabkan meningkatnya produksi gliserol kasar. Ketersediaan gliserol yang berlebih akan membuat harga gliserol di pasar dunia jatuh, bahkan hal ini dapat menyebabkan gliserol akan menjadi limbah industri pengolahan biosolar jika tidak diiringi dengan kemajuan teknologi pemanfaatan gliserol. Konversi gliserol menjadi senyawa senyawa gliserol eter yang berfungsi sebagai aditif tersebut di atas, menguntungkan bagi industri biosolar karena memanfaatkan gliserol yang merupakan hasil sampingnya. Untuk itu, diperlukan metode konversi gliserol yang tidak hanya mampu menyerap kelebihan gliserol dalam jumlah banyak, tetapi juga produk konversinya dapat diserap secara masal. Keuntungan lain dari menggunakan gliserol dan etanol adalah bahwa bahan-bahan tersebut merupakan sumber energi terbarukan.

Sintesis eter dari etanol dan gliserol membutuhkan kondisi reaksi yang sesuai. Terdapat beberapa publikasi penelitian dan paten yang berhubungan dengan sintesis eter, tetapi penelitian-penelitian tersebut terfokus pada reaksi eterifikasi pada alkohol tersier, seperti reaksi *tert*-butil alkohol dan gliserol dengan menggunakan katalisator fase padat (Klepacova *et al.*, 2003; 2005; 2006). Namun, terdapat juga penelitian yang membahas penambahan etanol (alkohol primer) pada proses eterifikasi gliserol dengan menggunakan asam sulfat

dimodifikasi sebagai katalisator (Melero *et al.*, 2012). Penelitian tentang reaksi eterifikasi antara etanol dan gliserol dengan menggunakan katalis fase padat seperti Amberlyst 36dry belum dilakukan.

Pada penelitian ini akan ditentukan kondisi reaksi eterifikasi berupa konsentrasi katalis, suhu reaksi, dan nisbah mol etanol terhadap gliserol yang optimal yang dapat menghasilkan monoetil gliserol eter (MEGE), dietil gliserol eter (DEGE) dan trietil gliserol eter (TEGE) terbanyak. Sehingga dapat memanfaatkan gliserol yang merupakan hasil samping biosolar secara optimal.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi reaksi eterifikasi yang optimal berupa konsentrasi katalis, nisbah mol etanol terhadap gliserol serta suhu untuk menghasilkan konversi gliserol, selektivitas, dan rendemen eter tertinggi (MEGE, DEGE, dan TEGE).

1.3 Kerangka Pemikiran

Sebagaimana halnya suatu reaksi kimia, reaksi eterifikasi antara gliserol dan alkohol antara lain dipengaruhi oleh nisbah reaktan, lama dan suhu reaksi dan keberadaan katalis. Klepacova *et al.* (2003) melaporkan bahwa kondisi terbaik reaksi eterifikasi antara gliserol dan *tert* butil alkohol untuk menghasilkan eter (MTBG, DTBG, dan TTBG), antara lain jenis katalis (pada penelitian ini menggunakan Amberlyst 15), konsentrasi katalis 5%, suhu reaksi 90°C, waktu (lama) reaksi 3 jam, dan nisbah mol *tert* butil alkohol terhadap gliserol yaitu 4.

Dalam penelitian ini akan diteliti beberapa faktor reaksi sebagai perlakuan yaitu konsentrasi katalis, suhu reaksi dan nisbah mol etanol terhadap gliserol.

Waktu yang dibutuhkan oleh suatu reaksi kimia untuk menghasilkan hasil reaksi, tergantung pada karakteristik pereaksi dan produk serta kondisi reaksi yang berlangsung (Ebbing dan Wrighton, 1990). Berdasarkan lama reaksi eterifikasi terbaik yang dilakukan pada penelitian sebelumnya yaitu 3 jam (Klepacova *et al.*, 2003) dan 5 jam (Behr dan Obendorf, 2003), lama reaksi yang digunakan dalam penelitian ini 4 jam.

Berdasarkan laporan Klepacova *et al.* (2005), yang menemukan bahwa tributil gliserol eter mempunyai sifat daya bakar yang dapat meningkatkan mutu bahan bakar bensin, biosolar, dan campuran biosolar/solar, bila eter tersebut dicampurkan ke dalam bahan bakar, maka eterifikasi gliserol dan etanol dengan bantuan katalis *Amberlyst 36dry* diharapkan juga dapat membentuk DEGE dan TEGE, yang memiliki sifat yang sama dengan tributil gliserol eter.

Katalis dengan karakteristik asam kuat akan menghasilkan hasil produk yang lebih baik dalam konversi gliserol karena asam kuat dapat memberikan proton pada gugus hidroksil gliserol menjadi karbokation *intermediate* yang selanjutnya membentuk etil gliserol eter (Marc, 2002). Kemudian Behr dan Oberdorf (2003), menyatakan bahwa toluena asam sulfonat dan asam fosfotungstat menunjukkan konversi gliserol dan hasil produk yang lebih baik dibandingkan katalis lain karena bersifat asam. Namun, kedua katalis tersebut larut dalam gliserol karena termasuk katalis homogen sehingga pemisahan/pemurnian dan daur ulang katalis akan menjadi lebih sulit. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan katalis

heterogen Amberlyst 36dry yang juga merupakan salah satu katalis dengan karakteristik asam kuat.

Menurut Klepacova *et al.* (2003), konsentrasi katalis berpengaruh terhadap konversi gliserol karena jika konsentrasi rendah maka konversi gliserol yang dihasilkan akan rendah sedangkan jika terlalu tinggi akan tidak efektif karena konversi gliserol sudah mencapai maksimal. Suhu reaksi juga memiliki pengaruh yang sama dengan konsentrasi katalis terhadap konversi gliserol, sehingga diperlukan kondisi optimum dari konsentrasi katalis dan suhu reaksi. Behr dan Obendorf (2003) menemukan bahwa 2% katalis menghasilkan tingkat konversi gliserol yang tinggi pada 90°C. Selain itu, Klepacova *et al.* (2005; 2006) menunjukkan bahwa tingkat konversi gliserol dan selektivitas maksimum untuk produksi di- dan tri-eter dihasilkan dari penambahan 6,7% Amberlyst 35 pada suhu 60°C dan 5% Amberlyst 35 pada suhu 90°C. Namun, konversi gliserol menghasilkan eter mulai mengalami penurunan pada suhu 120°C, serta terjadi pada konsentrasi katalis dari 7,5% hingga 10% Amberlyst 15 pada suhu 90°C setelah reaksi 2 jam (Klepacova *et al.*, 2003).

Perbandingan mol antara etanol dan gliserol merupakan salah satu faktor yang sangat penting, karena eterifikasi merupakan reaksi setimbang, maka dibutuhkan etanol berlebih agar kesetimbangan mengarah pada pembentukan etil gliserol eter. Klepacova *et al.* (2006), menyatakan bahwa reaksi eterifikasi antara gliserol dan *tert* butil alkohol merupakan reaksi kesetimbangan dengan hasil samping berupa air. Selain itu, konversi gliserol yang menghasilkan eter meningkat dengan meningkatnya nisbah mol *tert* butil alkohol terhadap gliserol (Klepacova *et al.*,

2006). Nisbah mol *tert*-butil alkohol 2 menghasilkan 25% eter, sedangkan nisbah mol *tert*-butil alkohol 8 menghasilkan 77% eter (Klepacova *et al.*, 2006).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaporkan di atas, maka konsentrasi katalis Amberlyst 36*dry* yang berpengaruh berkisar antara 2% - 7,5%, sehingga katalis yang diteliti 2%, 4%, dan 6%. Suhu yang berpengaruh berkisar antara 60 °C - 120 °C, sehingga suhu reaksi yang diteliti pada percobaan yaitu 70°C, 90°C, dan 110°C. Nisbah mol etanol terhadap gliserol yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4, 6, dan 8.

1.4 Hipotesis

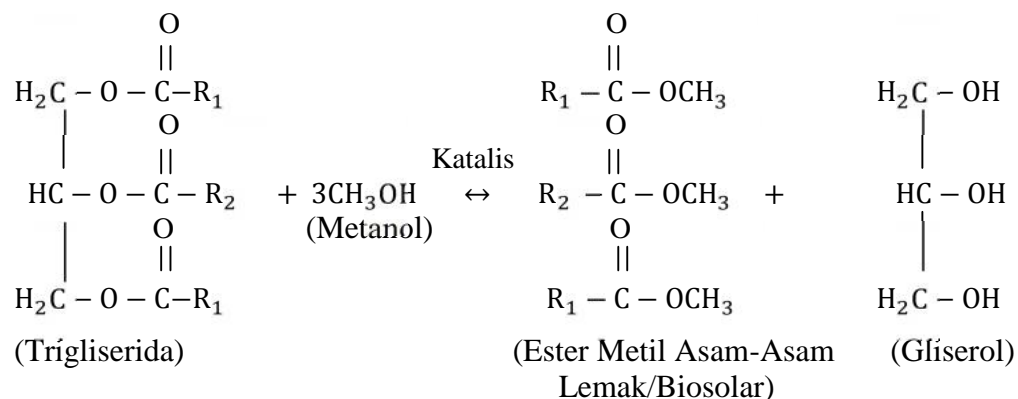
Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini adalah didapatkan kondisi reaksi eterifikasi yang optimal berupa konsentrasi katalis, suhu dan nisbah mol etanol terhadap gliserol untuk menghasilkan konversi gliserol, selektivitas, dan rendemen eter tertinggi (MEGE, DEGE, dan TEGE).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gliserol

Gliserol adalah senyawa golongan alkohol polihidrat dengan 3 gugus hidroksil dalam satu molekul (alkohol trivalen). Rumus molekul gliserol adalah $C_3H_8O_3$ dengan nama kimia 1,2,3,- propanatriol. Gliserol adalah senyawa dengan rasa manis, tidak berwarna, cairan kental dengan titik lebur $20^{\circ}C$ dan memiliki titik didih yang tinggi yaitu $290^{\circ}C$. Gliserol dapat larut sempurna dalam air dan alkohol namun tidak larut dalam minyak. Oleh karena itu gliserol merupakan pelarut yang baik (Winarno, 1997). Gliserol memiliki titik didih tinggi karena adanya ikatan hidrogen yang sangat kuat antarmolekul gliserol (Austin, 1985).

Menurut Dieclemann dan Heinz (1990), gliserol diperoleh dari pemecahan trigliserida dari sumber-sumber alam seperti lemak hewan atau minyak nabati dengan memakai metode saponifikasi, transesterifikasi atau dengan hidrolisis. Gliserol bermanfaat sebagai anti beku (*antifreeze*) serta mencegah kekeringan pada tembakau, pembuatan parfum, tinta, kosmetik, makanan dan minuman lainnya. Campuran antara gliserol dan asam lemak digunakan sebagai bahan kosmetika dan obat-obatan (Austin, 1985). Gliserol merupakan produk samping dari produksi biosolar. Struktur pembentukan gliserol dari produksi biosolar (metil ester) disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi pembentukan biosolar dan gliserol

Daskalaki dan Kondarides (2008), menyatakan bahwa biosolar merupakan salah satu bahan bakar terbarukan yang dapat diproduksi dari berbagai sumber minyak nabati (diantaranya CPO, PKO, minyak jarak, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak bunga matahari, minyak kanola), dan telah diimplementasikan secara luas di seluruh dunia. Dalam setiap produksi biosolar, dihasilkan gliserol sebesar 10-15% berat (Rivai, 2013). Seiring dengan perkembangan industri biosolar, maka jumlah gliserol yang terproduksi juga ikut meningkat, sehingga pasokan gliserol akan berlimpah membanjiri pasar dunia. Sementara itu kebutuhan gliserol di seluruh dunia sangat terbatas, akibatnya harga gliserol terus merosot dan cenderung akan menjadi limbah pabrik biosolar yang akan menambah beban biaya produksi biosolar (Daskalaki dan Kondarides, 2008).

2.2 Etanol

Etanol dihasilkan dari biomassa (tanaman) melalui proses biologi yaitu proses enzimatik dan fermentasi (Prihandana, 2007). Etanol disebut juga etil alkohol dengan rumus kimia $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ atau $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ dengan titik didihnya $78,4^\circ \text{C}$.

Etanol memiliki sifat tidak berwarna, volatil dan dapat bercampur dengan air (Kartika *et al.*, 1997).

2.3 Katalis Amberlyst 36dry

Katalis merupakan suatu senyawa yang dapat menyebabkan suatu reaksi berlangsung lebih cepat mencapai keseimbangan kimia-nya. Katalis terlibat dalam proses reaksi, namun dihasilkan kembali pada akhir reaksi tanpa bergabung dengan senyawa produk reaksi. Proses reaksi menggunakan katalis disebut reaksi katalisis. Katalis ditambahkan pada suatu sistem reaksi untuk menurunkan energi aktivasi (E_a), sehingga pereaksi mudah mencapai kompleks teraktifkan untuk menghasilkan *intermediate* reaktif yang akan saling berinteraksi membentuk produk. Energi aktivasi adalah energi minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk (Atkins, 1997). Selain itu, katalis juga mampu memperbesar kemungkinan terjadinya tumbukan efektif antara molekul reaktan, karena molekul-molekul reaktan akan teradsorpsi pada permukaan aktif katalis sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan antara molekul-molekul reaktan akan semakin besar (Nurhayati, 2008).

Menurut Handoko (2003), terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan mengenai baik tidaknya suatu katalis, antara lain :

- a. Aktifitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversi reaktan menjadi produk yang diinginkan.
- b. Selektifitas, yaitu kemampuan katalis mempercepat suatu reaksi di antara beberapa reaksi yang terjadi sehingga produk yang diinginkan dapat diperoleh dengan produk sampingan seminimal mungkin.

- c. Kestabilan, yaitu lamanya katalis memiliki aktifitas dan selektifitas seperti pada keadaan semula.
- d. Rendemen katalis / *yield*, yaitu jumlah produk tertentu yang terbentuk untuk setiap satuan reaktan yang dikonsumsi.
- e. Kemudahan diregenerasi, yaitu proses mengembalikan aktifitas dan selektifitas katalis seperti semula.

Menurut Augustine (1996), berdasarkan fasanya, katalis dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu katalis homogen, katalis heterogen, dan katalis enzim.

Katalis homogen ialah katalis yang mempunyai fasa yang sama dengan fasa substrat, dimana interaksi yang terjadi antara substrat dan katalis biasanya merupakan interaksi cair-cair. Katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai fasa yang berbeda dengan fasa substrat. Sedangkan katalis enzim merupakan molekul protein dengan ukuran koloid. Katalis ini memiliki fasa yang berada di antara katalis homogen dan heterogen.

Katalis Amberlyst 36*dry* adalah katalis dengan bentuk butiran, dan pada umumnya digunakan pada proses alkilasi fenol dan tergolong sebagai katalis heterogen (Dow, 2011). Karakteristik katalis Amberlyst 36*dry* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik katalis Amberlyst 36dry

Bentuk fisik	Butiran buram
Ion yang bereaksi	Hydrogen
Konsentrasi asam	5,40 eq/kg
Kadar air	1,65 %
Berat jenis	770 g/L (48 lbs/ft ³)
Ukuran partikel	
• Butiran halus	< 0,300 mm: 5,0% max
• Butiran kasar	>1,180 mm: 5,0% max
Luas permukaan	33 m ² /g
Diameter pori-pori	240
Total volume pori	0,20 cc/g
Temperatur maksimum	150°C (300°F)

Sumber : Dow (2011).

Katalis *Amberlyst 36dry* yang digunakan merupakan katalis heterogen. Menurut Gates (1979), pada proses katalis heterogen terjadi tahapan reaksi (siklus katalitik) tertentu. Siklus katalik tersebut didahului dengan terjadinya transfer reaktan menuju permukaan katalis. Reaktan kemudian berinteraksi dengan katalis sehingga terjadi proses adsorpsi pada permukaan katalis. Komponen yang teradsorpsi akan bereaksi untuk menghasilkan produk. Pada tahap ini terjadi penurunan energi aktivasi reaksi. Setelah reaksi selesai, produk yang terbentuk akan terdesorpsi dari permukaan katalis, lalu menjauhi katalis. Menurut Tanabe *et al.* (1989), katalis heterogen banyak digunakan pada industri kimia karena mempunyai kelebihan dibandingkan jenis katalis lainnya. Seperti mudah dipisahkan dari produk reaksi maupun reaktan setelah proses reaksi selesai, dapat diregenerasi dan digunakan berulang kali, serta aman bagi lingkungan. Katalis *Amberlyst 36dry* memiliki kadar air sekitar 1,65 yang berpengaruh baik untuk konversi gliserol. Klepacova *et al.* (2006) menemukan bahwa air dalam sistem reaksi berpengaruh menghambat pada proses konversi gliserol. Katalis basah (kira-kira 54% air) memiliki hasil konversi yang lebih rendah dari katalis yang

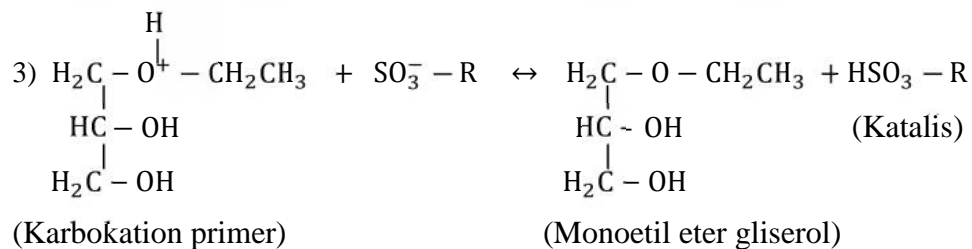
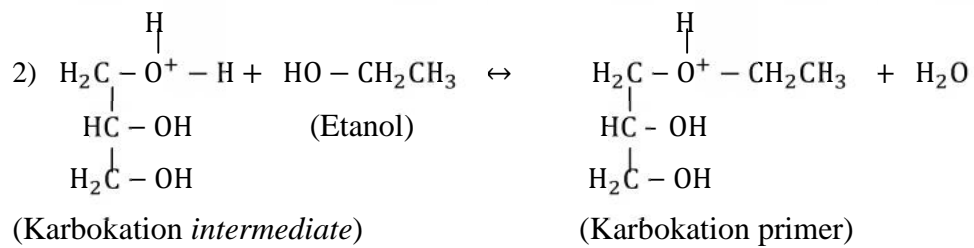
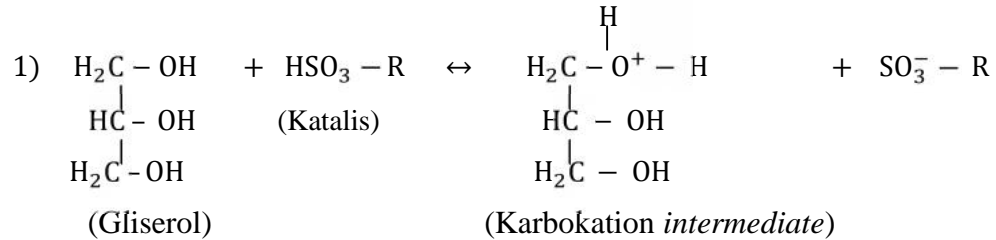
sama dalam kondisi kering (kadar air 3%). Molekul air adalah komponen yang paling polar dalam suatu reaksi campuran, mempunyai affinitas yang lebih tinggi terhadap proton sehingga menghambat reaksi lain untuk mencapai sisi aktif dari katalis.

2.4 Eterifikasi

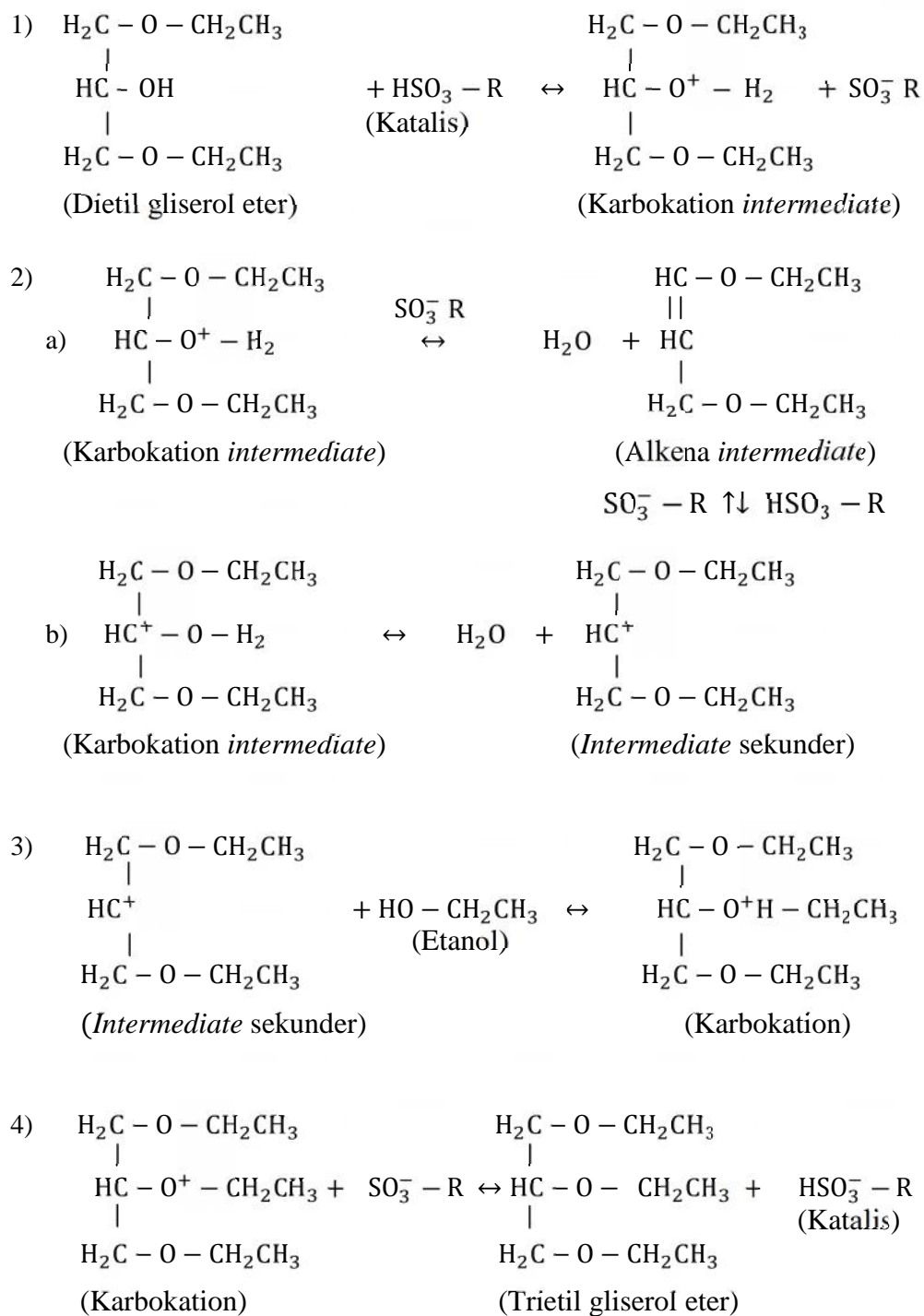
Gliserol memiliki tiga kelompok hidroksil, sehingga dapat membentuk mono-, di-, dan tri-eter, poligliserol atau eter campuran gliserol dengan alkohol lainnya (Miner dan Dalton, 1953). Mekanisme reaksi eterifikasi gliserol pada atom karbon nomor 1 atau 3 molekul gliserol (alkohol primer) menjadi monoetil gliserol eter (MEGE) dapat dilihat pada Gambar 2. Menurut Marc (2002), pada langkah pertama gugus hidroksil pada gliserol menerima proton dari katalis asam menjadi karbokation *intermediate*. Berikutnya, terjadi pemutusan ikatan oksigen karbon pada etanol untuk menghasilkan air dan karbokation primer. Pada tahap akhir, terjadi deprotonasi pada karbokation primer menghasilkan monoetil gliserol eter dan katalis.

Menurut Klepacova *et al.* (2005), pada umumnya reaksi dari 1- dan 3- gugus hidroksil pada gliserol terjadi relatif pada 2 posisi membentuk dietil gliserol eter (DEGE). Mekanisme reaksi eterifikasi gliserol pada atom karbon nomor 2 molekul gliserol (alkohol sekunder) menjadi trietil gliserol eter dapat dilihat pada Gambar 3. Menurut Marc (2002), pada tahap pertama gugus hidroksil gliserol pada nomor atom 2 menerima proton dari asam katalis menjadi karbokation *intermediate*. Alkohol sekunder mudah kehilangan air setelah protonasi untuk membentuk alkena *intermediate* yang diikuti dengan pembentukan *intermediate*

sekunder yang lebih stabil. Kemudian *intermediate* sekunder bereaksi dengan etanol menghasilkan karbokation yang akan mengalami deprotonasi untuk menghasilkan trietil gliserol eter (TEGE) dan katalis.



Gambar 2. Mekanisme reaksi eterifikasi gliserol pada atom karbon nomor 1 atau 3 molekul gliserol (alkohol primer) menjadi monoetil gliserol eter (Sumber: Marc, 2002; McMurry, 1996)



Gambar 3. Mekanisme reaksi eterifikasi gliserol pada atom karbon nomor 2 molekul gliserol (alkohol sekunder) menjadi trietil gliserol eter (Sumber : Marc, 2002 ; McMurry, 1996)

DEGE dan TEGE dapat digunakan sebagai bahan zat aditif biosolar karena pencampuran yang baik dalam biosolar. Namun, MEGE memiliki kelarutan yang rendah terhadap biosolar. Menurut Klepacova *et al.* (2005), ditert *butyl* dan tritert *butyl* gliserol eter dapat digunakan sebagai zat aditif biosolar karena pencampuran yang baik dalam biosolar. Sedangkan monotert *butyl* gliserol eter memiliki kelarutan yang rendah terhadap biosolar dan reaksi eterifikasi gliserol harus diarahkan pada pembentukan ditert *butyl* dan tritert *butyl* gliserol eter. Pariente *et al.* (2009), menyatakan bahwa DEGE dan TEGE dapat digunakan langsung sebagai zat aditif biosolar, sedangkan MEGE tidak seharusnya digunakan sebagai zat aditif biosolar karena ia bersifat larut air (polar).

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis Hasil Pertanian dan Laboratorium Pengolahan Limbah Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan April-Desember 2016.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain gliserol 85%, etanol murni, katalis Amberlyst 36dry, Tetrahidrofur (THF), dan kertas saring *glass microfiber*. Alat yang digunakan antara lain reaktor mini berupa tabung silinder yang terbuat dari *stainless steel* dilengkapi dengan penunjuk suhu dan tekanan, regulator pengatur voltase pada pemanas, oven, desikator, *magnetic stirrer*, *hotplate*, botol kaca transparan, botol vial 5 ml, *syringe filter*, dan Kromatografi Gas (GC)

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini disusun dalam rancangan percobaan RSM (*Response Surface Method*) untuk menentukan kondisi reaksi eterifikasi gliserol dan etanol menghasilkan monoetil gliserol eter (MEGE), dietil gliserol eter (DEGE), dan

trietil gliserol eter (TEGE) yang optimum. Metode ini berguna untuk menganalisis variabel bebas (perlakuan) yang mempengaruhi variabel respon (konversi gliserol, selektivitas, dan rendemen). Jumlah variabel bebas (perlakuan) $k = 3$, desain percobaan menggunakan 2^k faktorial = $2^3 = 8$, ditambah dengan $2k$ pengaruh kuadrat berarti 6, dan untuk menambah ketelitian terhadap respon maka ditambahkan 6 percobaan sebagai titik pusat (*center point*), sehingga diperoleh jumlah total penelitian (N) adalah 20 percobaan (Singh dan Pradeep, 2007). Level-level percobaan pada masing-masing variabel bebas perlu dikodekan, level rendah dikodekan dengan -1 dan level tinggi dikodekan dengan 1 untuk mempermudah perhitungan. Desain rancangan komposit terpusat (*Central Composite Design*) pada percobaan yang menggunakan tiga variabel bebas nilai rotabilitasnya = $(2^3)^{1/4} = 1,6818 = 1,682$. Oleh karena itu, nilai $\pm 1,682$ termasuk nilai yang digunakan untuk pengkodean (Nuryanti dan Djati, 2008). Adapun taraf kode dan kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2, sehingga perlakuan konsentrasi katalis Amberlyst 36dry (K) yang digunakan sebanyak 0,64%, 2%, 4%, 6%, dan 7,36% dari jumlah gliserol, nisbah mol etanol terhadap gliserol (R) yaitu 2,64, 4, 6, 8, dan 9,36 serta suhu reaksi yang digunakan (S) yaitu 56,4 °C, 70°C, 90 °C, 110 °C dan 123,6 °C. Adapun rancangan percobaan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Taraf kode pada reaksi eterifikasi gliserol dan etanol

No.	Faktor	Kode	Taraf Kode				
			- -1,682	Rendah -1	Tengah 0	Tinggi +1	+ +1,682
1	Konsentrasi Amberlyst 36dry (%)	K	0,64	2	4	6	7,36
2	Nisbah mol etanol terhadap gliserol	R	2,64	4	6	8	9,36
3	Suhu reaksi (°C)	S	56,4	70	90	110	123,6

Tabel 3. Desain percobaan dengan 3 variabel bebas

Run	Taraf Kode			Taraf Tak Terkode			Sampel
	K	R	S	K	R	S	
1	-1	-1	-1	2	4	70	R1
2	1	-1	-1	6	4	70	R2
3	-1	1	-1	2	8	70	R3
4	1	1	-1	6	8	70	R4
5	-1	-1	1	2	4	110	R5
6	1	-1	1	6	4	110	R6
7	-1	1	1	2	8	110	R7
8	1	1	1	6	8	110	R8
9	-1,682	0	0	0,64	6	90	R9
10	1,682	0	0	7,36	6	90	R10
11	0	-1,682	0	4	2,64	90	R11
12	0	1,682	0	4	9,36	90	R12
13	0	0	-1,682	4	6	56,4	R13
14	0	0	1,682	4	6	123,6	R14
15	0	0	0	4	6	90	R15
16	0	0	0	4	6	90	R16
17	0	0	0	4	6	90	R17
18	0	0	0	4	6	90	R18
19	0	0	0	4	6	90	R19
20	0	0	0	4	6	90	R20

Sumber : Iriawan dan Astuti (2006).

Keterangan :

K = Konsentrasi katalis (%)

R = Nisbah mol etanol terhadap gliserol

S = Suhu reaksi (°C)

Kombinasi perlakuan tersebut dibentuk agar sesuai dengan *surface response* pada *software* MINITAB 17, sehingga data yang dihasilkan dapat dianalisis menggunakan *software* tersebut.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan bahan baku gliserol

Bahan baku yang digunakan adalah gliserol dengan konsentrasi 85% dikeringkan untuk menghilangkan air yang masih terkandung 15% di dalamnya. Pengeringan

gliserol dilakukan berdasarkan metode AOAC (1984), yaitu dengan perhitungan analisis kadar air. Pengeringan gliserol menggunakan gelas piala ukuran 1 L yang sudah dicuci dan dikeringkan selama 15 menit dalam oven kemudian ditimbang. Sebanyak 500 ml gliserol dimasukkan ke dalam gelas piala dan ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam oven bersuhu 100-105°C selama 3 jam, didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Dipanaskan lagi dalam oven selama 30 menit, dinginkan dalam desikator dan ditimbang, perlakuan ini diulang hingga berat konstan (selisih penimbangan berturut-turut kurang dari 0,2 mg). Pengurangan berat merupakan banyaknya air dalam bahan.

$$\% \text{ Air} = \frac{B - C}{A} \times 100\%$$

Keterangan :

- A = Berat sampel
- B = Gelas piala + sampel basah
- C = Gelas piala + sampel kering

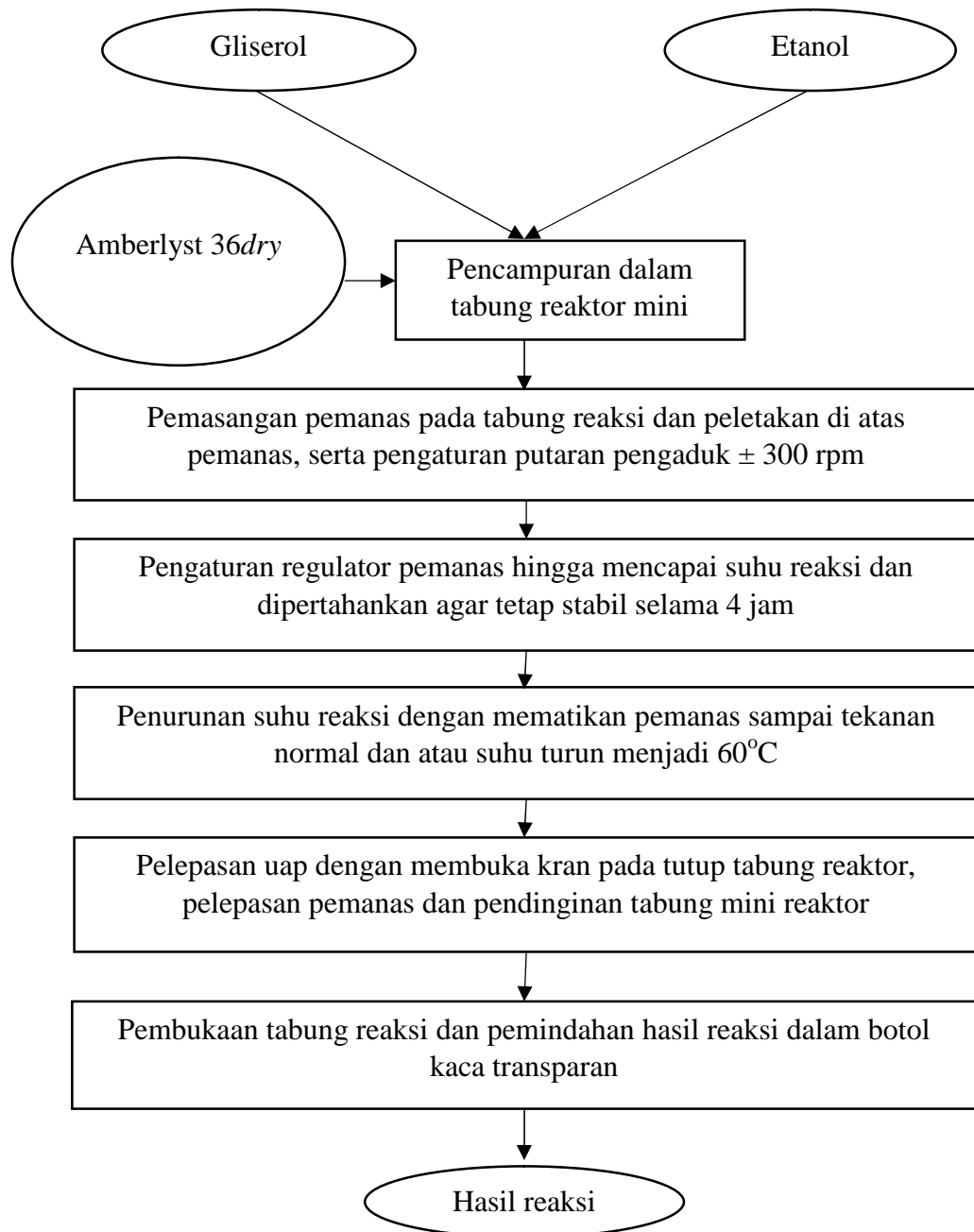
3.4.2 Proses eterifikasi

Eterifikasi dilakukan dengan mereaksikan gliserol yang telah dikeringkan dan etanol dengan bantuan katalis. Jumlah gliserol, etanol, dan katalis untuk masing-masing percobaan dapat dilihat pada Tabel 4. Gliserol dan etanol yang digunakan dihitung berdasarkan perbandingan mol (Lampiran 9), sedangkan katalis dalam dihitung berdasarkan persen katalis dikalikan dengan volume berat kering gliserol (Lampiran 10).

Tabel 4. Jumlah gliserol, etanol, dan katalis Amberlyst 36dry

Run	Volume gliserol (ml)	Etanol (ml)	Katalis (g)
1	48,6	151,4	0,97
2	48,6	151,4	2,92
3	27,7	172,3	0,55
4	27,7	172,3	1,66
5	48,6	151,4	0,97
6	48,6	151,4	2,92
7	27,7	172,3	0,55
8	27,7	172,3	1,66
9	35,3	164,6	0,226
10	35,3	164,6	2,59
11	65,5	134,5	2,62
12	24,14	175,9	0,96
13	35,3	164,6	1,412
14	35,3	164,6	1,412
15	35,3	164,6	1,412
16	35,3	164,6	1,412
17	35,3	164,6	1,412
18	35,3	164,6	1,412
19	35,3	164,6	1,412
20	35,3	164,6	1,412

Larutan gliserol dan etanol dimasukkan ke dalam tabung reaktor mini yang dilengkapi dengan pengaduk magnetik, dan ditambahkan katalis. Kemudian tabung reaksi ditutup dengan rapat, pemanas dipasang pada badan tabung dan diletakkan di atas pemanas. Pemanas dan pengaduk magnetik dinyalakan, putaran pengaduk diatur ± 300 rpm dan tegangan listrik diatur untuk mencapai suhu pemanasan yang diinginkan sesuai perlakuan. Setelah mencapai suhu yang diinginkan, suhu tersebut dipertahankan dengan mengatur regular listrik/pemanas. Reaksi berlangsung selama 4 jam pada suhu yang sesuai dengan perlakuan. Kemudian pengaduk magnetik dan pemanas dimatikan, sampai tekanan normal dan atau suhu menurun hingga 60°C , kran pada tutup tabung dibuka agar uap keluar. Pemanas dilepaskan agar tabung reaktor dingin kemudian dibuka dan hasil reaksi disimpan dalam botol kaca transparan. Diagram alir proses eterifikasi dengan menggunakan reaktor mini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir proses eterifikasi

3.4.3 Persiapan sampel analisis

Sampel yang telah disimpan pada botol kaca transparan dilakukan penyaringan dengan menggunakan *syringe filter* yang telah dilapisi kertas saring *glass microfiber* dan dipindahkan pada botol vial 5 ml. Kemudian sampel yang akan

dianalisis menggunakan Kromatografi Gas (GC) dibuat 400 ppm dengan penambahan Tetrahidrofur (THF) sebanyak 5 ml dan sampel sebanyak 2 μ L. Standar MEGE, DEGE, TEGE, gliserol serta etanol dibuat 400 ppm dengan penambahan THF sama dengan persiapan sampel sebelumnya.

Larutan gliserol dibuat 48,28; 55,4; 300; 350 dan 400 ppm serta larutan standar eter (sesuai hasil percobaan) 200; 250; 300; 350 dan 400 ppm untuk diinjeksikan ke dalam sistem GC sebanyak 1 μ L secara bergantian. Diamati luas area *peak-peak* yang muncul pada kromatogram, dibuat kurva kalibrasi larutan gliserol dan eter dan ditentukan persamaan regresi linear serta nilai r (Gunarsih *et al.*, 2014).

3.5 Pengamatan

Hasil percobaan akan dianalisis terhadap konsentrasi gliserol, MEGE, DEGE dan TEGE menggunakan *Gas Chromatography* (GC) Shimadzu 2010 yang dilengkapi dengan kolom polar RTx Wax (panjang 30 m, ketebalan film 0,25 μ m, dan diameter 0,25 mm) dan detektor *Flame Ionisation Detector* (FID). Program dimulai pada suhu 60°C yang ditahan selama 5 menit. Kemudian, temperatur meningkat sebesar 10°C/menit hingga temperatur akhir 220°C dan ditahan selama 5 menit. Ruang injektor dan detektor diatur pada suhu 250°C dan aliran helium diatur sebesar 1,4 ml per menit lalu diinjeksikan larutan standar berupa gliserol, etanol, MEGE, DEGE, TEGE dan pelarut THF masing-masing sebanyak 1 μ L dengan menggunakan *syringe* pada *injection port*, lalu data komposisi berbentuk kromatogram keluar. Diamati dan dibandingkan waktu retensi (*Rt peak-peak*) pada masing-masing larutan standar agar diketahui *Rt* masing-masing.

Larutan sampel masing-masing diinjeksikan sebanyak 1 μ L dan dilakukan *running* pada GC. *Rt peak-peak* pada kromatogram sampel dicocokkan dengan *Rt* larutan standar sehingga diketahui senyawa pada sampel. Kemudian diamati luas area *peak-peak* pada sampel dan dihitung gliserol sisa dan eter dengan menggunakan persamaan regresi larutan standar gliserol dan eter. Gliserol awal berdasarkan area *peak-peak* pada sampel dengan lama reaksi 0 jam.

Konversi gliserol, selektivitas, dan rendemen eter dihitung berdasarkan perhitungan Klepacova *et al.* (2005). Konversi gliserol dihitung berdasarkan perbandingan jumlah gliserol yang bereaksi dengan nilai awal gliserol dan hasilnya dikalikan 100%. Jumlah gliserol yang bereaksi dihitung berdasarkan nilai awal gliserol dikurang dengan gliserol sisa. Kemudian selektivitas eter dihitung berdasarkan perbandingan jumlah senyawa DEGE dan TEGE yang terbentuk dengan jumlah gliserol yang bereaksi dan dikalikan 100%. Rendemen eter dihitung berdasarkan pengalihan antara konversi gliserol dan selektivitas kemudian dikalikan 100%. Jika hanya MEGE yang dihasilkan maka rendemen dihitung berdasarkan perbandingan jumlah MEGE dengan jumlah gliserol awal dan dikalikan 100%.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penelitian ini tidak menghasilkan zat aditif biosolar karena hanya menghasilkan monoetil gliserol eter (MEGE) yang bersifat polar.
2. Konsentrasi katalis berpengaruh linear dan nisbah mol etanol berpengaruh kuadratik terhadap konversi gliserol, sedangkan suhu tidak berpengaruh. Kondisi optimasi eterifikasi yang menghasilkan konversi gliserol 87,71% adalah konsentrasi katalis Amberlyst 36dry 2,34% dan nisbah mol etanol 5,49.
3. Suhu reaksi berpengaruh linear dan nisbah mol etanol berpengaruh kuadratik terhadap rendemen MEGE, sedangkan konsentrasi katalis tidak berpengaruh. Kondisi optimasi eterifikasi yang menghasilkan rendemen MEGE 52,34% adalah suhu reaksi 123,64 °C dan nisbah mol etanol 9,36.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan penelitian selanjutnya untuk optimasi konversi, selektivitas dan rendemen eter dengan penambahan variabel bebas yaitu lama reaksi dengan kondisi nisbah mol etanol 8,75 – 10, suhu reaksi lebih tinggi

dari 123,64 °C dengan konsentrasi katalis 4% untuk menghasilkan dietil gliserol eter (DEGE) dan trietil gliserol eter (TEGE) optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. 1984. *Official Method of Analysis of the Associates of Official Analytical Chemist*. AOAC. Inc, New York.
- ESDM. 2012. Permen ESDM No.14 Tahun 2012, Tentang Manajemen Energi, Jakarta: Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
<http://www.esdm.go.id>. (diunduh pada 05 Desember 2015).
- Atkins, P. W. 1997. *Kimia Fisik Jilid 2 Edisi Keempat*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Augustine, R. L. 1996. *Heterogenous Catalysis for the Synthetic Chemistry First Edittion*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Austin. 1985. *Shereve's Chemical Proces Indusries*. Mc Graw-Hill Book Co Tokyo.
- Behr, A. dan L. Obendorf. 2003. Development of a Process for the Acid-Catalyzed Etherification of Glycerine and Isobutene Forming Glycerine Tertiary Butyl Ether. *Engineering Life Science* 2: 185-189.
- Daskalaki, V. M., dan D. I. Kondarides. 2008. Efficient Production of Hydrogen by Photo Induced Reforming of Glycerol at Ambient Conditions. *Catalysis Today Vol 144(1-2)* : 75-80
- Dharsono, W dan Y.S. Oktari. 2010. Proses Pembuatan Biodiesel dari Dedak dan Metanol Dengan Esterifikasi In Situ. (Skripsi). Universitas Diponegoro. Semarang. 64 pp.
- Dieckelmann. G dan H.J. Heinz. 1990. *The Basic of Olechemistry*. Published Peter Pump Gmbh. German.
- Dow. 2011. Amberlyst™ 36dry. Industrial Grade Strongly Acidic Catalyst.
<http://www.dowwaterdanprocess.com> (diunduh 15 Februari 2016).
- Ebbing, D.D. and M.S Wrighton. 1990. *General Chemistry 3rd Edition*. USA: Houghton Mifflin Company.
- Gates, B. C. 1979. *Chemistry and Catalytic Process*. Mc Graw Hill. New York.

- Gunarsih, H. P., I.N.K. Widjaja, dan L. Larasanty. 2014. Analisis Kuantitatif Asam Oleat dan Linoleat Virgin Coconut Oil (Vco) yang Dibuat dengan Variasi Rasio 1 Sari Buah Nanas (*Ananas Comosus L.*) dan Krim Santan Kelapa (Skripsi). Universitas Udayana. Hal 44-48.
- Hapid, A. 2002. Pengaruh Penambahan Zat Aditif terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Kinerja Mesin. (Skripsi). Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Handoko, D. dan P. Setiawan. 2003. Aktivitas Katalis Cr/Zeolit dalam Reaksi Konversi Katalitik Fenol dan Metil Isobutil Keton. *Jurnal Ilmu Dasar* 4(2) : 73-76.
- Henard, M.C. 2007. Impacts on Oil Seed Industry Following Biofuel Boom. *USDA Foreign Agricultural Service: GAIN Report No. FR7009, 2/16/2007*: 1-5.
- Iriawan, N. dan S.P. Astuti. 2006. *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Karinen, R.S. dan A.O.I. Krause. 2006. New Biocomponents from Glycerol. *Applied Catalysis A: General* 306: 128-133.
- Kartika, B., A.D. Guritno, dan Ismoyowati. 1992. Petunjuk Evaluasi Produk Industri Hasil Pertanian. *PAU-Pangan Dan Gizi*. UGM. Yogyakarta.
- Keenan, C. W., C. K. Donald, dan H. W. Jesse. 1989. *Ilmu Kimia untuk Universitas edisi keenam Jilid 1*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Kesling Jr., H.S., L.J. Karas, dan F.J. Liotta Jr. 1994. Diesel Fuel. *US Patent No. 5,308,365*.
- Klepacova, K., D. Mravec, dan M. Bajus. 2005. Tert-Butylation of Glycerol Catalyzed by Ion-Exchange Resin. *Applied Catalysis A: General* 294: 141-147.
- Klepacova, K., D. Mravec, dan M. Bajus. 2006. Etherification of Glycerol with tert-Butyl Alcohol Catalyzed by Ion-Exchange Resin. *Chemical Paper* 60(3) : 224-230.
- Klepacova, K., D. Mravec, E. Hajekova, dan M. Bajus. 2003. Etherification of Glycerol. *Petroleum and Coal* 45(1-2): 54-57.
- Marc, L.G. 2002. *Organic Chemistry 4th Edition*. Oxford University Press. New York. Pp 408-411, 455-460.
- McMurry, J. 1996. *Organic Chemistry 4th Edition*. Brooks/Cole Publishing Co. Pacific Grove California, pp 632-715.

- Melero, A.J., V. Gemma, P. Marta, M. Gabriel, M. Patricia. 2012. Etherification of Biodiesel-Derived Glycerol with Ethanol for Fuel Formulation over Sulfonic Modified Catalyst. *Bioresource Technology* Volume103: 142-15.
- Miner, C.S. dan N. N. Dalton. 1953. *Glycerol*. American Chemical Society Monograph Series. Reinhold Publishing Corp. New York.
- Noureddini, H. 2000. Process for Producing Biosolar Fuel with Reduced Viscosity and A Cloud Point Below Thirty-Two Degree Fahrenheit. *US Patent* No. 6,015,440
- Nurhayati. 2008. Reaksi Katalis Oksidasi Stirena menjadi Benzaldehida menggunakan Katalis TiO₂-Al₂O₃ (1:1)-U dan TiO₂-Al₂O₃ (1:1)-PEG. (Skripsi). Universitas Indonesia. Depok.
- Nuryanti dan D.H. Salimi. 2008. Metode Permukaan Respon dan Aplikasinya pada Optimasi Eksperimen Kimia. *Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir*. 373-391.
- Pariante S., N. Tanchoux, F. Fajula. 2009. Etherification of Glycerol with Ethanol Over Acid Catalysts. *Green Chem.* 11, 1256–1261.
- Prihandana, R. 2007. *Bioethanol Ubi Kayu*. PT Agro Media Pustaka. Jakarta Selatan.
- Rivai, M. 2013. Upaya Peningkatan Nilai Tambah Gliserol Hasil Samping Industri Biodiesel Di SBRC LPPM IPB. <http://sbrclppm.ipb.ac.id> (diunduh Februari 2016).
- Roze, M., V. Kampars, K. Teivena, K. Ruta, dan L. Edvards. 2013. Catalytic Etherification of Glycerol with Alcohols. *Material Science and Applied Chemistry* 28 : 67-72.
- Singh, H. dan K. Pradeep. 2007. Mathematical Models of Tool Life and Surface Roughness for Turning Operation through Response Surface Methodology. *Journal of Scientific & Industrial Research*. Vol. 66, pp 220-226.
- Syaputri, Y. 2012. Kromatografi Kolom. <http://yolanisyaputri.blogspot.co.id/> (diunduh pada 12 Januari 2017).
- Tanabe, K., M. Misono, Y. Ono, dan H. Hattori. 1989. *New Solid Acids and Bases, Their Catalytic Properties*. Kodansha Ltd. Japan.
- Teo, W. K. dan D. M. Ruthven. 1984. *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*. A Wiley-Interscience Publication. New York.
- Winarno, F. G. 1997. *Kimia Pangan Dan Gizi*. Penerbitn Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.