

PEMANFAATAN *FLY ASH* SAWIT SEBAGAI KATALIS ASAM DALAM PROSES ESTERIFIKASI GLISEROL SEBAGAI PRODUK SAMPING BIODIESEL MENJADI *TRIACETIN*

Triyana Defi¹, Zuchra Helwani², Khairat²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²Dosen Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

triyanadefi741@yahoo.com

ABSTRACT

Glycerol is a by-product of biodiesel that produced about 10% of the amount of biodiesel. Glycerol can be processed into economic products such as triacetin. Triacetin is a triester of glycerol and acetic acid that can be applied as additive in the field of food or non food. Triacetin can be produced through esterification of glycerol and acetic acid by using palm fly ash as the solid acid catalyst. The aim of this research was to determined the characteristic of the palm fly ash as solid acid catalyst and determined the influence of the catalyst concentration, mol ratio of reactan and time of esterification toward the conversion of glycerol. Variation that used were concentration of catalyst 1, 2, 3% of acetic acid mass, mol ratio of reactan 1:5, 1:7, 1:9, and time of esterification 1, 2, and 3 hours. The esterification temperature was 100°C. The characteristic of palm fly ash catalyst of acidity, crystallinity, and surface area increasing after activation process. The conversion of glycerol increased by the increasing of catalyst concentration, mol ratio of reactan and time of esterification. The highest conversion gain at concentration of catalyst 1%, mol ratio of reactan 1:9, and time of esterification 3 hours is 47.41%.

Keywords: biodiesel, esterification, fly ash, glycerol, triacetin.

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang menjadi sorotan karena bersifat ramah lingkungan. Biodiesel dapat diperoleh melalui 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 (Prasetyo dkk, 2012). Banyaknya jumlah gliserol yang tidak diimbangi dengan pemanfaatannya akan menurunkan nilai dari gliserol itu sendiri. Maka, diperlukan suatu usaha untuk meningkatkan nilai gliserol mentah salah satunya dengan cara mengolahnya menjadi *triacetin*. *Triacetin* merupakan salah satu turunan gliserol yang dapat diproduksi melalui reaksi esterifikasi antara gliserol dan asam asetat dengan menggunakan katalis asam. *Triacetin* digunakan secara luas pada industri

farmasi, kosmetik, dan *fuel additive* (Mufrodi dkk, 2013).

Dengan semakin luasnya perkebunan dan industri sawit di Riau, limbah padat dalam bentuk *fly ash* semakin meningkat jumlahnya. Selama ini, limbah *fly ash* umumnya ditumpuk begitu saja di dalam area industri, sehingga menimbulkan masalah bagi lingkungan. *Fly ash* dapat digunakan sebagai katalis ataupun *catalyst support* karena memiliki kadar silika tinggi, yang membantu proses katalisis dari berbagai reaksi dan memberikan *support* untuk spesies katalis yang berbeda pada permukaan (Khatri dan Rani, 2008).

Penelitian mengenai produksi *triacetin* melalui proses esterifikasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya seperti Nuryoto dkk (2010), Widayat dkk (2013) dan Sari dkk (2014). Nuryoto dkk (2010) telah melakukan esterifikasi gliserol dan asam asetat dengan katalisator indion 225 Na pada suhu 343K dan kecepatan pengadukan 1000 rpm, dengan

variasi rasio mol reaktan 1:3 hingga 1:7, konsentrasi katalis 1-9% berat asam asetat, dan ukuran diameter katalis ≤ 16 mesh dan ≥ 25 mesh. Konversi tertinggi diperoleh pada rasio mol reaktan 1:7 dan konsentrasi katalis 3% berat asam asetat, yaitu sebesar 42,3%.

Widayat dkk (2013) telah memproduksi *triacetin* menggunakan katalis asam sulfat pada kecepatan pengadukan 100 rpm, berat katalis 5% berat gliserol dengan variasi suhu reaksi 80-120°C, rasio mol reaktan 1:3 hingga 1:7, dan waktu reaksi 0-60 menit. Konversi tertinggi diperoleh pada temperatur 120 °C dan rasio mol reaktan 1:7 pada waktu reaksi 60 menit dengan konversi sebesar 67,63%.

Sari dkk (2015) telah melakukan proses pembuatan *triacetin* berbahan baku gliserol hasil samping produksi biodiesel secara esterifikasi menggunakan katalis zeolit alam pada temperatur 100°C dengan variasi konsentrasi katalis 1%, 3% dan 5% dan rasio mol reaktan 1:3, 1:5 dan 1:7. Konversi tertinggi diperoleh sebesar 90,02% pada rasio mol reaktan 1:7, dan konsentrasi katalis 3% berat asam asetat selama 4 jam.

Penggunaan katalis padat lebih baik digunakan pada proses esterifikasi karena lebih mudah dalam proses pemisahannya. Selain itu, penggunaan katalis non sintetis juga dapat menghasilkan konversi yang tinggi sehingga dapat menekan biaya produksi. Maka pada penelitian ini akan dilakukan proses esterifikasi gliserol hasil samping biodiesel dan asam asetat menjadi *triacetin* dengan menggunakan *fly ash* sawit sebagai katalis padat asam.

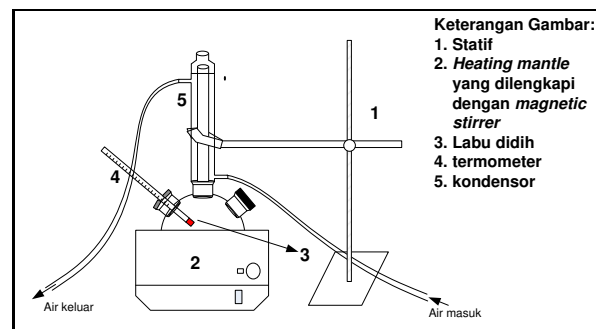
2. Metodologi Penelitian

2.1 Persiapan Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah *crude* gliserol dari pabrik Biodiesel PT. Wilmar Group Dumai, *fly ash* dari PTPN V sei Galuh Riau, asam asetat pa merck, asam sulfat, aquades, BaCl₂, kalium hidroksida (KOH), asam klorida (HCl), asam oksalat, alkohol, amonia cair, dan fenolftalein.

Peralatan yang digunakan adalah ayakan 100 mesh, neraca digital, gelas kimia, *aluminium foil*, kertas saring, *hotplate*, gelas ukur, labu ukur, pipet tetes, corong, spatula,

labu leher tiga, *heating mantle*, kondensor, *magnetic stirrer*, termometer, erlenmeyer, buret, statif, oven, *furnace* dan *rotary evaporator*. Rangkaian alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

2.2 Prosedur Penelitian

Tahap-tahap prosedur penelitian adalah aktivasi katalis *fly ash*, pemurnian *crude* gliserol, proses esterifikasi, analisa hasil dan pengolahan data.

2.2.1 Aktivasi Katalis *Fly Ash*

Proses aktivasi katalis *fly ash* mengikuti prosedur percobaan yang dilakukan oleh Khatri dan Rani (2008). Proses aktivasi diawali dengan aktivasi kimia menggunakan H₂SO₄ yang dilanjutkan dengan perlakuan termal. Aktivasi kimia dilakukan dengan perendaman campuran *fly ash* dan asam sulfat dengan rasio massa 1:4. Campuran dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 110°C sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 hari. Selanjutnya, campuran yang telah diproses dicuci dengan aquades sampai didapatkan pH air cucian yang netral. Kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 24 jam dalam oven dan terakhir dikalsinasi pada suhu 600°C selama 4 jam. Katalis yang diperoleh dikarakterisasi melalui uji keasaman, kristalinitas dan luas permukaan.

2.2.2 Proses Pemurnian *Crude* Gliserol

Pemurnian *Crude* Gliserol dapat dilakukan dengan menggunakan metode evaporasi (Prakoso dkk, 2007). Sampel (*crude* gliserol) ditambahkan aquades dengan perbandingan 2:3. Untuk menghilangkan warna pada *crude* gliserol digunakan karbon aktif 5% dari total volume sampel. Campuran

sampel dan karbon aktif diaduk selama 30 menit, lalu dibiarkan selama 24 jam. Setelah 24 jam sampel disaring menggunakan kertas saring. Sampel dimasukkan ke dalam *rotary evaporator* yang sudah diatur kondisinya pada tekanan vakum dan suhu 60°C. Untuk meningkatkan kemurnian gliserol, produk bawah *rotary evaporator* didistilasi selama 4 jam pada suhu 100°C kemudian dianalisa kemurnian gliserolnya.

2.2.3 Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi dilakukan pada suhu 100°C dengan variasi waktu esterifikasi, konsentrasi katalis, dan rasio mol reaktan. Gliserol dengan volume tertentu dimasukkan ke dalam labu leher tiga, kemudian dipanaskan sampai suhu 100°C. Asam asetat dengan volume yang telah ditentukan berdasarkan perbandingan gliserol dan asam asetat juga dipanaskan dalam gelas piala, kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga, dan dipanaskan sampai suhu 100°C sambil dilakukan pengadukan. Selanjutnya katalisator dimasukkan dan waktu dicatat sebagai waktu awal reaksi. Proses dihentikan setelah waktu esterifikasi tercapai. Hasil esterifikasi dipisahkan dari katalis dengan cara filtrasi. *Triacetin* yang diperoleh dianalisa dan dihitung konversinya

2.2.4 Analisa Hasil

Triacetin yang diperoleh dari hasil reaksi esterifikasi dihitung konversinya dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Konversi as. asetat} = \frac{\text{bil. penyabunan} - \text{bil. asam}}{\text{bil. penyabunan}} \times 100\%$$

$$\text{Konversi gliserol} = \frac{\text{mol gliserol bereaksi}}{\text{mol gliserol umpan}} \times 100\%$$

2.3 Variabel Penelitian

Variabel tetap pada penelitian ini yaitu rasio massa *fly ash* dan asam sulfat 1:4, ukuran katalis -100+200 mesh, waktu perendaman 2 hari, dan suhu esterifikasi 100°C. Variabel berubah pada penelitian ini adalah konsentrasi katalis (1%, 2% dan 3% berat asam asetat), rasio mol gliserol dan asam asetat (1:5, 1:7, dan 1:9) dan waktu esterifikasi (1, 2, dan 3 jam).

2.3 Rancangan Penelitian

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). RSM merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan di mana beberapa variabel independen mempengaruhi respon dengan tujuan akhir untuk mengoptimalkan respon (Montgomery, 1991). Jumlah tempuhan percobaan ditentukan dengan *Central Composite Design* (CCD) yang terdiri dari *factorial design*, *star point* dan *central point*. *Factorial design* (n_f) didapat dengan persamaan 2^k faktorial, di mana k merupakan jumlah variabel berubah.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Aktivasi dan Karakteristik *Fly Ash* Sawit

Aktivasi fisika dilakukan melalui pengayakan dan pemanasan untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Sementara aktivasi secara kimia dilakukan dengan metode pertukaran ion dan dealuminasi melalui perendaman *fly ash* sawit dengan larutan asam sulfat. Aktivasi kimia dilakukan untuk menghilangkan pengotor anorganik, meningkatkan rasio Si/Al, dan menguatkan struktur di dalam katalis (Lestari, 2010).

Fly ash sawit diayak menggunakan ayakan berukuran 100 dan 200 mesh. Proses pengayakan bertujuan untuk mendapatkan ukuran katalis yang lebih kecil dan seragam sehingga diperoleh luas permukaan katalis yang lebih besar untuk digunakan dalam proses reaksi. Aktivasi kimia dilakukan menggunakan asam sulfat karena mempunyai jumlah ion H^+ yang lebih banyak dari asam-asam lainnya, serta mempunyai sifat higroskopis yang dapat menyerap kandungan air yang terdapat pada *fly ash* (Lestari, 2013). Selain itu, tujuan aktivasi ini adalah untuk menukar kation yang ada di dalam *fly ash* dengan H^+ dari asam sulfat dan melepaskan ion Al, Fe, Mg dan pengotor-pengotor lainnya (mengandung unsur alkali/alkali tanah) dari kisi-kisi struktur. Hal ini menyebabkan

peningkatan luas permukaan dan situs aktifnya sehingga dapat meningkatkan kemampuan katalisnya (Widiharti, 2008).

Pada proses ini juga terjadi dealuminasi yaitu proses pelepasan Al dari *fly ash* yang dapat meningkatkan keasaman *fly ash* dan kestabilannya terhadap temperatur tinggi. Hal ini dibuktikan melalui analisa keasaman katalis untuk mengetahui jumlah situs asam yang ditentukan melalui metode gravimetri melalui adsorpsi desorpsi amonia pada permukaan katalis (Pandiangan, 2008). Dari hasil analisa, nilai keasaman katalis *fly ash* sawit setelah diaktivasi adalah 0,053 mol/gram, sementara nilai keasaman katalis sebelum diaktivasi adalah 0,052 mol/gram. Penurunan jumlah Al dalam *fly ash* menunjukkan jumlah situs asam Lewis berkurang, namun hal ini tidak mengindikasikan adanya penurunan keasaman karena hal ini diimbangi dengan pembentukan situs Bronsted akibat adanya pertukaran ion H⁺ dengan kation-kation bebas pada *fly ash*.

Setelah proses perendaman, dilakukan pencucian sampai pH air pencuci netral, yang menunjukkan tidak terdapat lagi ion SO₄²⁻ di dalam air pencuci. Kemudian dilakukan proses pengeringan untuk menghilangkan kandungan air dalam *fly ash* pada suhu 100°C selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan kalsinasi pada suhu 600°C selama 4 jam. Kalsinasi dilakukan agar struktur katalis lebih stabil dan lebih tahan pada temperatur reaksi yang cukup tinggi. Pada saat kalsinasi dapat terjadi penyusunan kembali alumina-silika yang tidak stabil menjadi bentuk yang lebih stabil dan menghasilkan susunan kristal yang lebih baik (Susanto, 2008).

3.2 Pemurnian *Crude* Gliserol

Crude gliserol memiliki warna coklat kemerahan, sementara gliserol murni memiliki warna bening, hal ini disebabkan masih adanya pengotor di dalam *crude* gliserol. Untuk menarik zat pengotor ini dilakukan proses adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif sebagai adsorbennya. Pemilihan karbon aktif sebagai adsorben disebabkan karbon aktif mempunyai daya adsorpsi yang cukup tinggi. Selain itu dari segi ekonomi harganya juga

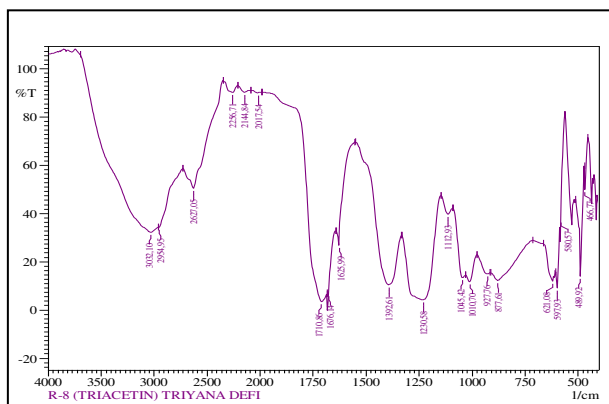
lebih murah dibandingkan dengan adsorben lain dan mudah didapat (Aziz, 2008). Sebelum karbon aktif ditambahkan, *crude* gliserol terlebih dahulu diencerkan dengan aquades. Setelah proses adsorpsi, warna gliserol yang dihasilkan menjadi lebih terang dibandingkan sebelumnya. Untuk menarik sisa metanol dari gliserol dilakukan penguapan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 60°C dan tekanan vakum. Dari proses ini didapatkan produk atas berupa metanol dan produk bawah berupa campuran gliserol dan air. Selanjutnya dilakukan proses distilasi untuk menghilangkan air dan meningkatkan kemurnian gliserol pada suhu 100°C selama 4 jam. Produk yang didapatkan kemudian dianalisa sifat fisiknya yang meliputi densitas, viskositas, kadar air, dan kadar gliserol. Perbandingan sifat fisik *crude* gliserol sebelum dan sesudah proses pemurnian dengan gliserol murni ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Sifat Fisik *Crude* Gliserol Sebelum dan Sesudah Proses Pemurnian dengan Gliserol Murni

Sifat Fisik	<i>Crude</i> 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 (%)	10,11	1,98	0,5
Warna	Coklat kemerahan	Bening	Bening

3.3 Karakteristik *Triacetin* Dengan FTIR

Hasil reaksi esterifikasi dianalisa menggunakan spektroskopi FTIR untuk mengetahui ada atau tidaknya *triacetin* dalam produk yang ditandai dengan adanya gugus fungsi ester. Hasil analisa FTIR ditampilkan pada Gambar 2. Dari produk didapatkan gugus ester pada bilangan gelombang 1112,93; 1230,58; dan 1710,86 cm⁻¹ sehingga diambil kesimpulan bahwa di dalam produk telah terbentuk *triacetin*.



Gambar 2. Hasil Analisa FTIR Produk

3.4 Desain dan Analisa Model Konversi Gliserol

Desain penelitian dilakukan untuk melihat pengaruh variabel bebas terhadap konversi gliserol. Data hasil percobaan dianalisa dengan rancangan percobaan (*design experiment*) yang menerapkan metode statistik *Central Composite Design* (CCD) dan diolah menggunakan program *Design Expert 7.0* sehingga diperoleh model dan grafik yang menunjukkan pengaruh variabel bebas terhadap konversi gliserol. Pengujian model dilakukan dengan *coded variable* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh koefisien-koefisien model yaitu konsentrasi katalis, rasio mol reaktan dan waktu esterifikasi terhadap respon berupa konversi gliserol.

Model yang sering digunakan untuk RSM adalah model polynomial orde 1 dan orde 2. Pada model orde I, perlu dilakukan uji kecocokan model untuk melihat tepat atau tidaknya dugaan model yang dilakukan. Apabila model tidak linier atau terdapat pola lengkung (*curvature*), maka model orde 1 tidak cocok digunakan dan digunakan model orde 2. Model orde dua perlu dilakukan uji ketidakcocokan model (*Lack of Fit Test*) (Montgomery, 1991).

Percobaan model orde dua digunakan untuk memperkirakan kelengkungan (*curvature*) dari respon. Tempuhan rancangan percobaan orde dua merupakan pengembangan model orde satu dengan penambahan tempuhan kuadratik dari masing-masing variabel dan interaksi antar variabel. Data konversi gliserol diolah menggunakan *Design*

Expert 7.0 sehingga diperoleh persamaan orde dua seperti berikut.

$$y = 32,21 + 1,80 A + 4,83 B + 7,26 C - 0,072 A^2 + 1,27 B^2 - 1,31 C^2 - 0,48 AB - 0,17 AC + 2,67 BC$$

Di mana, y = Konversi gliserol (%)
 A = Konsentrasi katalis (%)
 B = Rasio mol reaktan (mol/mol)
 C = Waktu esterifikasi (jam)

3.4.1 Pengaruh Kondisi Proses terhadap Konversi Gliserol

Kondisi proses yang dipelajari yaitu konsentrasi katalis (A), rasio mol reaktan (B) dan waktu esterifikasi (C). Berdasarkan hasil pengujian P -value, ketiga kondisi proses tersebut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konversi gliserol di mana kondisi proses yang paling berpengaruh secara signifikan adalah waktu esterifikasi.

Pada penelitian ini, konversi tertinggi sebesar 47,41% diperoleh pada variasi konsentrasi katalis 3%, rasio mol reaktan 1:9, dan waktu esterifikasi 3 jam. Semakin tinggi konsentrasi katalis yang digunakan semakin tinggi konversi gliserol yang didapatkan. Hal ini disebabkan energi aktivasi cenderung menurun sehingga laju reaksi semakin cepat. Konversi gliserol juga meningkat seiring dengan semakin tingginya rasio mol reaktan. Hal ini disebabkan esterifikasi merupakan reaksi kesetimbangan, sehingga jika salah satu reaktan dibuat berlebih, maka reaksi akan bergeser ke arah kanan yang mengakibatkan konversi semakin besar pula (Levenspiel, 1999). Waktu reaksi merupakan waktu yang dibutuhkan oleh reaktan untuk bereaksi membentuk sebuah produk. Waktu reaksi berbanding lurus dengan konversi di mana semakin lama reaksi berlangsung maka kemungkinan kontak antar zat akan semakin banyak sehingga konversi semakin tinggi (Helwani dkk, 2009). Jika kesetimbangan reaksi sudah tercapai maka bertambahnya waktu reaksi tidak akan menguntungkan karena tidak memperbesar nilai konversi.

3.4.2 Pengaruh Interaksi Kondisi Proses Terhadap Konversi Gliserol

Berdasarkan pengujian P-value interaksi kondisi proses yang memberikan pengaruh signifikan terhadap konversi gliserol adalah rasio mol reaktan dan waktu esterifikasi. Semakin tinggi rasio mol reaktan dan waktu esterifikasi pada konsentrasi katalis yang sama akan menghasilkan konversi gliserol yang semakin meningkat.

4. Kesimpulan

Gliserol sebagai hasil samping pembuatan biodiesel dapat diolah menjadi *triacetin* melalui reaksi esterifikasi antara gliserol dengan asam asetat. *Fly ash* sawit dapat digunakan sebagai katalis padat asam melalui proses aktivasi. Karakteristik katalis berupa keasaman, kristalinitas, dan luas permukaan mengalami peningkatan setelah proses aktivasi. Konsentrasi katalis, rasio mol reaktan, dan waktu esterifikasi mempengaruhi nilai konversi gliserol. Peningkatan konsentrasi katalis, rasio mol reaktan, dan waktu esterifikasi meningkatkan nilai konversi yang dihasilkan. Konversi gliserol terendah yang didapatkan adalah 18,27% pada konsentrasi katalis 2%, rasio mol reaktan 1:7 dan waktu esterifikasi 0,3 jam. Sementara konversi tertinggi diperoleh pada konsentrasi katalis 3%, rasio mol reaktan 1:9 dan waktu esterifikasi 3 jam yaitu sebesar 47,41%.

Daftar Pustaka

- 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.
- Helwani, Z., Othman, M. R., Aziz, N., Kim, J., dan Fernando, W. J. N., 2009, *Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol: A Review*, Applied Catalysis A: General 369: 1 -10.
- Ho, W.W.S., Ng, H.K., Gan, S., dan Tan, S.H., 2014, *Evaluation of Palm Oil Mill Fly Ash Supported Calcium Oxide as A Heterogenous Base Catalyst in Biodiesel Synthesis from Crude Palm Oil*, Energy Conversion and Management.
- Khatri, C., dan Rani, A., 2008, *Synthesis of a nano-crystalline solid acid catalyst from fly ash and its catalytic performance*, Fuel 87: 2886-2892.
- Lestari, D.Y., 2010, *Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara*, Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia, Yogyakarta.
- Lestari, Y. T., 2013, *Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Sebagai Adsorben Untuk Penentuan Kadar Gas NO₂ di Udara*, FMIPA Universitas Jember
- Levenspiel, O., 1999, *Chemical Reaction Engineering*, Edisi ke-3, Wiley, New York.
- Montgomery, D. C., 1991, *Design and Analysis of Experiments*, John Willey & Sons, Singapore.
- Mufrodi, Z., Rochmadi, Sutijan, dan Budiman, A., 2013, *Continuous Process of Reactive Distillation to Produce Bio-additive Triacetin From Glycerol*. Modern Applied Science, Vol. 7, No. 10, hal. 70-78.
- Nuryoto, Sulisty, H., Rahayu S.S., dan Sutijan., 2010, *Uji Performa Katalisator Resin Penukar Ion Untuk Pengolahan Hasil Samping Pembuatan Biodiesel Menjadi Triacetin*, Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010.
- Prakoso, T., Sirait, H., dan Bintaroe, 2007, *Pemurnian Hasil Samping Produksi Biodiesel*, Prosiding Konferensi Nasional Pemanfaatan Hasil Samping Industri Biodiesel dan Industri Etanol serta Peluang Pengembangan Industri Integratedny, Jakarta, hal. 267 - 275.
- Prasetyo, A.E., Widhi, A., dan Widayat, 2012, *Potensi Gliserol Dalam Pembuatan Turunan Gliserol Melalui Proses Esterifikasi*, Jurnal Ilmu Lingkungan, Vol 10, 1, hal. 26-31.
- Sari, N., Helwani, Z., dan Ronaldo, H., 2014, *Pemanfaatan Gliserol Produk Samping Biodiesel Menjadi Triacetin Melalui Proses Esterifikasi Menggunakan*

- Katalis Zeolit Alam*, JOM FTEKNIK, Volume 2 No. 1.
- Susanto, B.H., 2008, *Sintesis Pelumas Dasar Bio melalui Esterifikasi Asam Oleat Menggunakan Katalis Asam Heteropoli/Zeolit*, Tesis, Universitas Indonesia.
- Widayat, Hantoro, S., Abdullah., dan Ika, W.K.H, 2013, *Proses Produksi Triasetat dari Gliserol dengan Katalis Asam Sulfat*, Jurnal Teknik Kimia Indonesia, 10 (4).
- Widiharti, I., A., G., 2008, *Adsorpsi Anion Cr(VI) Oleh Batu Pasir Teraktivasi Asam Dan Tersalut Fe₂O₃*, (<http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/j-kim-vol2-no1-widihati.pdf>) diakses pada tanggal 17 November 2015.