

Submitted : 23 June

Revised : 15 November

Accepted : 16 November

KINETIKA REAKSI ESTERIFIKASI GLISEROL MONOOLEAT (GMO) DENGAN KATALISATOR ZEOLIT ALAM BAYAH TERAKTIVASI ASAM

Firman Setiadi^{1*}, Firmansyah¹, Reni Ardiyani¹, Aprilianti Meilinda¹, Agus Rochmat¹

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon

*Email: firman.setiadi.s.t@gmail.com

Abstrak

Gliserol Monooleat (GMO) adalah salah satu senyawa dari hasil reaksi esterifikasi pembuatan ester monogliserida dengan mereaksikan gliserol dengan asam oleat. Penelitian ini memanfaatkan zeolit alam Bayah sebagai katalisator esterifikasi GMO. Penelitian ini dititikberatkan pada unjuk kerja zeolit alam Bayah sebagai media katalisator dengan cara menganalisis kinetika reaksi yang dihasilkan guna diperoleh produk *emulsifier oil* berupa gliserol monooleat yang maksimal. Penelitian ini secara umum terdiri atas tahap pendahuluan berupa tahap aktivasi katalis zeolit alam Bayah, tahap pembentukan gliserol mono oleat dan tahap analisa produk dengan titrasi asam basa. Konversi asam oleat maksimum yang dapat dicapai pada kondisi terbaik yaitu rasio mol reaktan (G/A) sebesar 3:1, kecepatan pengadukan sebesar 800 rpm dan temperatur reaksi sebesar 220 ° C dengan nilai konversi asam oleat sebesar 87,2%. Persamaan umum laju reaksi esterifikasi menghasilkan gliserol monooleat pada temperatur reaksi 180°C sampai 220°C, sesuai dengan menggunakan persamaan laju reaksi orde 2 yaitu, $d \frac{[GMO]}{dt} = - \frac{d[AO]}{dt} = [10,81977828 \times \exp - \frac{8,14394304}{R.T}] [AO]^2$. Energi aktivasi yang mampu diturunkan oleh katalis zeolit alam Bayah sebesar .% kemurnian GMO yang dihasilkan dengan analisa GC-MS sebesar 55,47 %.

Kata Kunci: Emulsifier, Esterifikasi, Gliserol Monooleat, Kinetika Reaksi

Abstract

Glycerol monooleate (GMO) is one of the compounds from the esterification reaction of making esters of monoglycerides by reacting glycerol with oleic acid. This study utilizes natural zeolite as a catalyst esterification bayah GMO. This study focused on the performance of the natural zeolite catalyst bayah as a medium by way of reaction kinetics resulting menganalisis order to obtain oil products such as glycerol monooleate emulsifier maximum. This research generally consists of a preliminary stage in the form of natural zeolite catalyst activation stage bayah, glycerol mono oleate formation stage and the analysis stage product with acid-base titration. The maximum conversion of oleic acid that can be achieved in the best condition that the mole ratio of reactants (G / A) of 3: 1, the stirring speed of 800 rpm and the reaction temperature of 220 ° C with a conversion rate of 87.2% oleic acid. The general equation esterification reaction rate to produce glycerol monooleate at a reaction temperature of 180 ° C to 220 ° C, according to the using rate equation of order 2, namely, $d \frac{[GMO]}{dt} = - \frac{d[AO]}{dt} = [10,81977828 \times \exp - \frac{8,14394304}{R.T}] [AO]^2$. Activation energy capable lowered by natural zeolite catalysts bayah for. % Purity GMO produced by GC-MS analysis of 55.47%.

Keywords: Emulsifier, Esterification, Glycerol Monooleate, Reaction Rate

1. PENDAHULUAN

Gliserol Monooleat (GMO) adalah salah satu senyawa dari hasil reaksi esterifikasi pembuatan ester monogliserida dengan mereaksikan gliserol dengan asam oleat. Kegunaan spesifik dari gliserol

monooleat dalam dunia industri makanan adalah sebagai emulsifier lipofilik untuk aplikasi air dalam minyak dan antifoam dalam pengolahan jus, (Pardi, 2005).

Pada proses pembuatan gliserol monooleat digunakan katalis dalam proses pembuatannya untuk mempercepat reaksi yang salah satunya adalah katalis zeolit alam. Indonesia mempunyai sumber daya zeolit alam cukup melimpah dan tersebar hampir disetiap daerah, khususnya di kecamatan Bayah. Ketersediaan zeolit alam di kecamatan Bayah kabupaten Lebak provinsi Banten, berdasarkan perhitungan luas daerah penyebaran, diperkirakan mencapai sekitar 34 juta m³ atau 68-81.6 juta ton (berita terkini nasional, 2015). Penggunaan katalisator alam Bayah didasarkan pada harga yang murah, mempunyai kemampuan penukaran ion dan sisi aktif yang besar, mudah dipisahkan antara katalis dengan produknya, tidak mencemari lingkungan setelah selesai digunakan dan dibuang ke lingkungan, serta bertujuan mengelola potensi daerah Bayah. Namun, pengotor yang cukup besar dari zeolit alam menyebabkan pemanfaatannya yang tidak optimal dibandingkan dengan zeolit sintetis (Barrer, 1982).

Ada beberapa metode untuk meningkatkan kinerja dari zeolit alam, salah satunya yang dilakukan di dalam penelitian ini yaitu dengan perlakuan hidrotermal dan perlakuan kimia dengan dealuminasi tanpa penyisipan Si. Apabila dilakukan perlakuan yang tepat terhadap peningkatan kinerja zeolit alam, maka kualitas dari zeolit alam dapat menyamai kinerja dari zeolit sintetis, sehingga pemanfaatannya dapat optimal (Sherrington, 2001). Zeolit alam Bayah memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan zeolit pada daerah lain di Indonesia, yaitu memiliki rasio Si/Al sebesar 16,86 (Ginting, dkk., 2007) dan zeolit tipe jenis mordenit (Rosdiana, 2006) dengan komposisi modernit sebesar 59,26% dan klinoptilolit sebesar 40,74% (Suminta dan Las, 2006), sehingga cukup baik jika digunakan sebagai katalisator. Menurut Suminta dan Las (2006) jenis modernit sangat cocok digunakan sebagai katalisator dibandingkan jenis klinoptilolit, karena jenis klinoptilolit lebih hidrofilik dibanding modernit,

sehingga zeolit alam Bayah cocok digunakan dalam reaksi esterifikasi asam oleat dan gliserol membentuk gliserol monooleat (GMO) seperti yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu Setiadi, dkk (2016) karena apabila zeolit bersifat hidrofilik, maka air yang tersimpan dalam air akan mengakibatkan reaksi hidrolisa (reaksi balik) (Pardi, 2005). Setiadi, dkk (2016) melakukan penelitian karakteristik zeolit alam Bayah dalam suasana asam sebagai katalisator pada pembuatan emulsifier pangan. Setiadi, dkk (2016) mendapatkan kondisi optimum untuk aktivasi zeolit alam Bayah yaitu dengan ukuran zeolit alam Bayah sebesar 80 Mesh dihasilkan konversi 58,95% dan temperatur pengeringan sebesar 220°C dihasilkan konversi 61,42%.

Secara umum penerapan temperatur pada reaksi esterifikasi tergantung pada stabilitas dari bahan baku (asam lemak atau trigliserida) yang dipakai, temperatur reaksi biasanya dibatasi hingga 255°C untuk menjaga agar tidak terjadi perubahan rasa, aroma, dan warna pada produk yang dihasilkan (Sonntag, 1982). Temperatur tinggi (lebih besar 250°C) dapat menyebabkan terjadinya reaksi polimerisasi (Feuge dan Bailey, 1946). Temperatur optimum proses esterifikasi atau gliserolisis adalah sekitar 200°C dan pada kenyataannya suhu reaksi 176,6°C untuk proses batch dan sekitar 232 - 260°C untuk proses kontinyu. Nouredini (1997) memprediksikan bahwa untuk membentuk gliserol monooleat dibutuhkan energi aktivasi sebesar 9,588 cal/mol dengan bilangan Reynold sebesar 6200. Nouredini (1997) dapat memprediksikan nilai energi aktivasi yang dihasilkan dari reaksi lain, selain reaksi pembentukan gliserol monooleat seperti yang tertera pada tabel 1. Berdasarkan data tersebut dapat menentukan seberapa besar temperatur reaksi yang digunakan agar mendapatkan % kemurnian gliserol monooleat (GMO) yang optimum dengan caramenganalisa kinetika reaksinya.

Tabel 1. Energi Aktivasi Reaksi Esterifikasi dan Hidrolisis pada bilangan Reynold 6200 (Nouredini, 1997)

Reaksi	Energi Aktivasi (KCal/mol)
Gliserol monogliserida → Gliserol	6,421
Gliserol → Gliserol monogliserida	9,588
Gliserol Monogliserida → Gliserol digliserida	14,639
Gliserol digliserida → Gliserol trigliserida	9,932

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kondisi operasi optimum dan besarnya konversi gliserol monooleat maksimum yang mampu dihasilkan oleh katalisator zeolit alam Bayah teraktivasi asam dengan beberapa variabel proses yang mempengaruhinya, menentukan orde reaksi dan mengetahui konstanta laju reaksi dan energi aktivasi, serta uji performance katalis dengan melihat energi aktivasi yang mampu diturunkan oleh katalis zeolit alam Bayah dalam reaksi esterifikasi GMO.

2. METODE

2.1 Bahan dan Alat

2.1.a Bahan yang digunakan

Pada penelitian ini menggunakan bahan-bahan sebagai berikut:

1. Gliserol

Gliserol yang digunakan merupakan gliserol teknis, sebelum digunakan di evaporasi agar kemurniannya meningkat, lalu di analisis kadar dan densitasnya.

2. Asam oleat

Asam oleat yang digunakan merupakan asam oleat teknis, sebelum digunakan dilakukan distilasi untuk memisahkan dari pengotornya agar kemurniannya meningkat, lalu di analisis kadar dan densitasnya.

3. Katalisator zeolit alam Bayah Banten

Sebelum zeolit digunakan dilakukan aktivasi dengan HCl 6 N dan pemanasan selama 1 jam pada Temperatur 110° C (Setiadi dkk, 2016).

2.1.b. Alat yang digunakan

Alat yang digunakan adalah reaktor *batch* berupa labu leher tiga dengan volume 0,5 liter, dilengkapi dengan pemanas mantel, gelas piala, pengaduk merkuri, pendingin balik, termometer dan pengambil sampel. Rangkaian alat pada gambar 1.

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.a Grinding

Grinding merupakan penghancuran bongkahan zeolit, sehingga diperoleh ukuran zeolit yang diinginkan. Pada penelitian ini mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Setiadi, dkk (2016) yaitu dengan ukuran zeolit sebesar 80 mesh.

2.2.b Aktivasi zeolit

Zeolit yang telah di-*grinding* kemudian diayak untuk mendapatkan ukuran diameter katalisator yang diinginkan. Proses aktivasi dilakukan pada

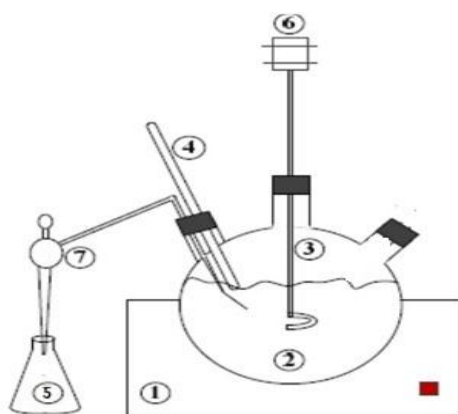
konsentrasi 6 M HCl mengacu pada penelitian Setiadi, dkk (2016) dengan variasi temperatur pemanasan oven adalah 220° C.

2.2.c Tahap Reaksi Pembentukan Gliserol Mono-oleat (GMO)

Adapun prosedur yang dilakukan yaitu, pertama menyiapkan gliserol, asam oleat dan katalis zeolit alam Bayah dengan perbandingan molar sesuai dengan variasi perbandingan molar. Untuk perbandingan gliserol : asam oleat yaitu 8:1, 4:1, 3:1, 2:1 dan 1:1 dan perbandingan jumlah katalis zeolit terhadap reaktan total yaitu 9%. Kemudian memasukan asam oleat yang telah dipanaskan ke dalam reaktor dan menambahkan gliserol yang telah dipanaskan kedalam reaktor yang telah berisi asam oleat, melakukan pemanasan pada suhu 180°C dan pengadukan pada variasi 400, 500 rpm, 600 rpm, 700 rpm, 800 rpm, 900 dan 1500 rpm. Sampel diambil untuk dianalisa kandungan asam oleat awal (A_0) dengan metode titrasi asam basa. Katalis dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan dianggap awal reaksi. Sampel diambil setiap selang waktu 15 menit untuk dianalisa kandungan asam oleat bebas (A_b) sampai waktu reaksi mencapai 90 menit.

2.2.d Tahap Analisa Asam Basa

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui kadar asam oleat bebas. Adapun prosedur yang dilakukan yaitu : Mengambil sampel sebanyak dan memasukkannya ke dalam erlenmeyer. Menambahkan ethanol sebagai pengencer. Menambahkan indikator phenolphthalein (PP). Melakukan proses titrasi dengan larutan penitrat KOH 0,3 N. Penambahan larutan penitrat ke dalam erlenmeyer dihentikan ketika sudah terjadi perubahan warna dalam erlenmeyer. Perubahan ini menandakan telah tercapainya titik akhir titrasi.



Keterangan gambar :

1. Pemanas Mantel
2. Labu Leher Tiga
3. Pengaduk Merkuri
4. Termometer
5. Motor Pengaduk
6. Motor Pengaduk
7. Pengambil Sampel

Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

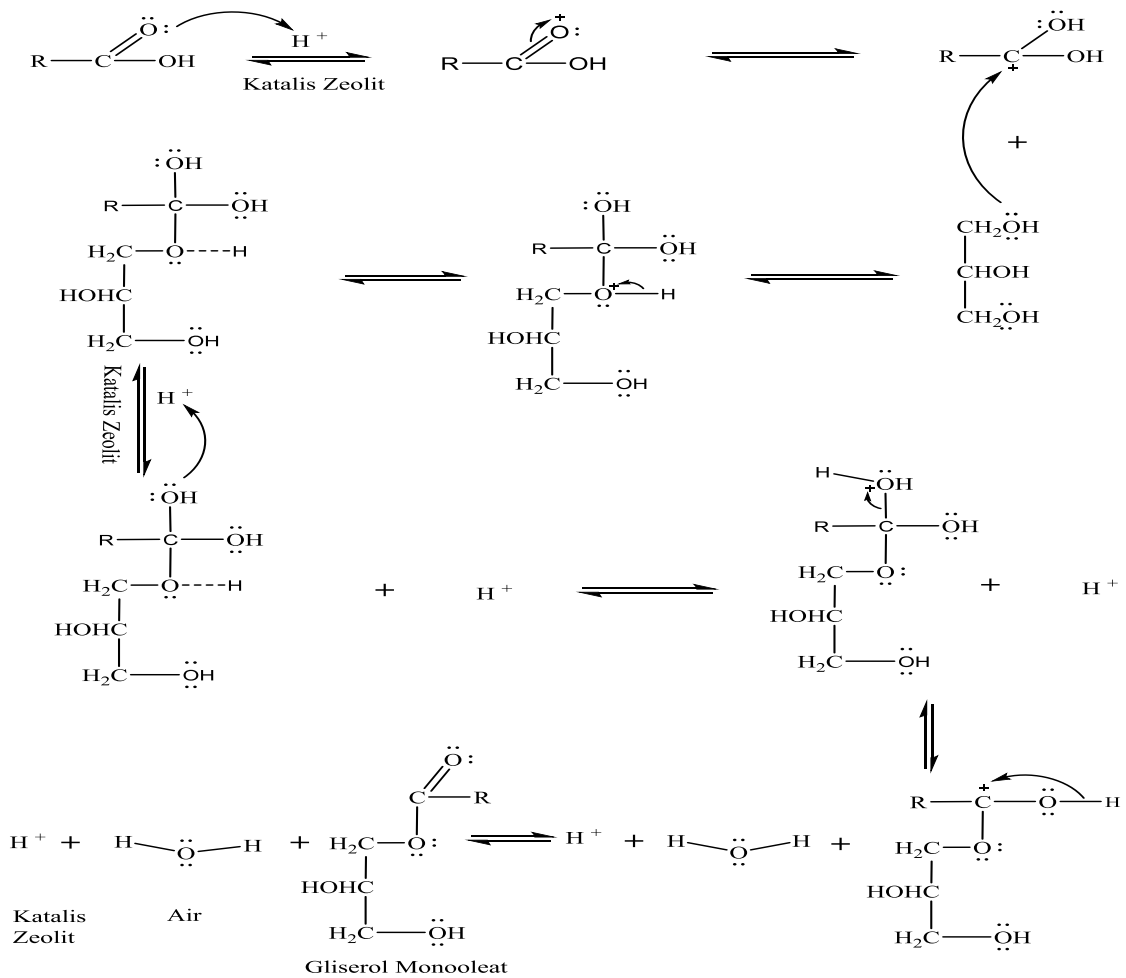
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Rancangan Mekanisme Reaksi GMO

Pertukaran ion terjadi dalam permukaan katalitik Zeolit. Kation dalam hal ini ion hidrogen pada katalis berperan sebagai inisiator pada reaksi esterifikasi berlangsung. Pada saat awal reaksi berlangsung, elektron dari unsur oksigen yang berasal dari senyawa

asam oleat menyerang ion hidrogen yang berada dalam sisi aktif katalis zeolit alam Bayah, sehingga pada senyawa asam oleat membentuk karbon kation. Karbon kation pada senyawa asam oleat diserang oleh elektron dari unsur oksigen pada senyawa gliserol, sehingga reaktan asam oleat dan

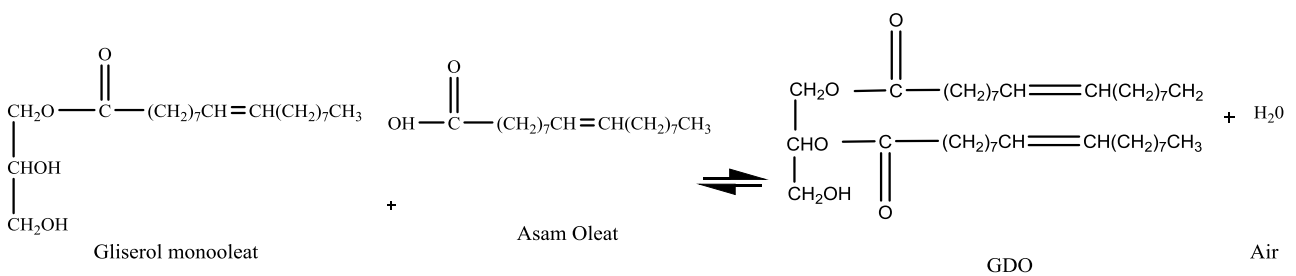
gliserol bereaksi membentuk gliserol monooleat pada akhir reaksi, seperti yang tertera pada gambar 2.



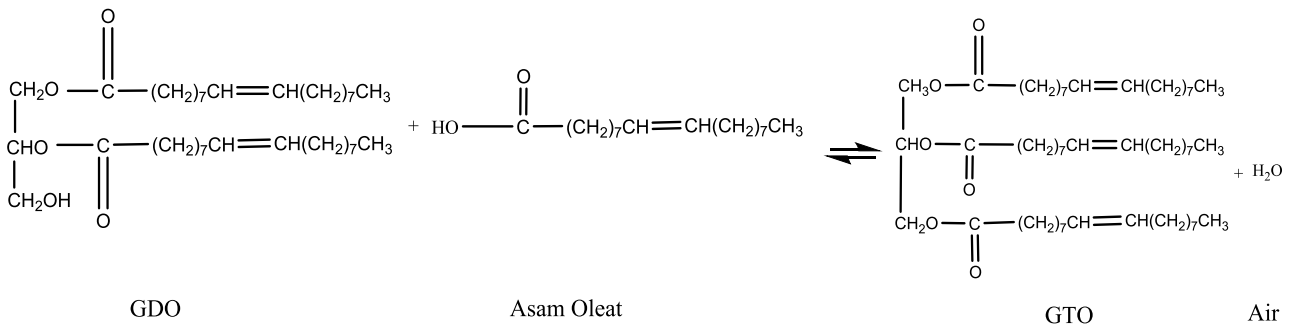
Gambar 2. Rancangan Mekanisme Reaksi Esterifikasi Asam Oleat dan Gliserol

Jika reaksi tidak berjalan secara keseluruhan atau dalam bentuk antara, yakni jika tidak semua gugus OH pada gliserol digantikan oleh gugus asam lemak, maka akan terbentuk gliserol monogliserida, gliserol digliserida, dan air [27]. Reaksi bertahap ini berlangsung sesuai dengan tingkatan energi aktivasi minimal yang diperlukan oleh reaktan untuk saling

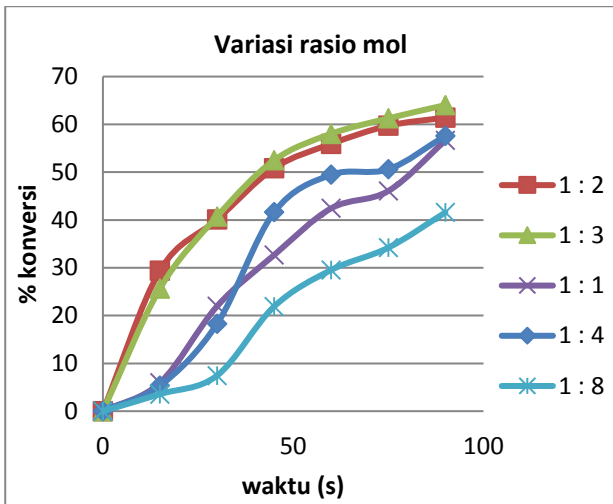
berikatan membentuk senyawa baru (produk). Akan tetapi apabila gugus OH pada gliserol digantikan secara keseluruhan oleh gugus asam lemak, maka akan menghasilkan produk samping tambahan berupa senyawa gliserol dioleat (GDO) dan gliserol triolet (GTO) seperti yang tertera pada gambar 3 dan gambar 4.



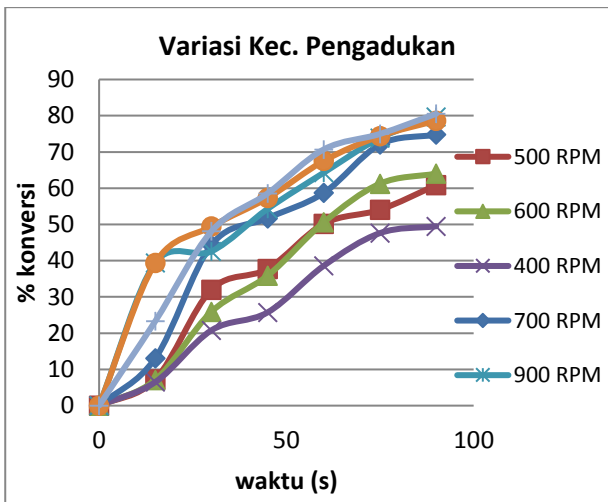
Gambar 3. Rancangan Reaksi Pembentukan Gliserol Dioleat (GDO)



Gambar 4. Rancangan Reaksi Pembentukan Gliserol Trioleat (GTO)



Gambar 5. Pengaruh Perbandingan Molar

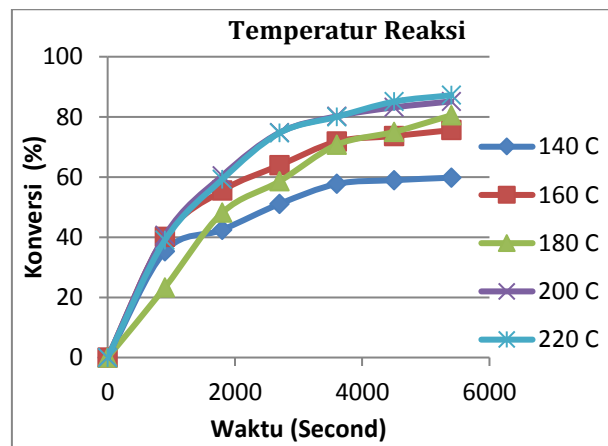


Gambar 6. Pengaruh Kecepatan Pengadukan Gliserol dan Asam Oleat

Hasil rancangan reaksi pembentukan gliserol monooleat (GMO), gliserol dioleat (GDO) dan gliserol trioleat (GTO) dapat digunakan untuk mendapatkan hasil % kadar gliserol monooleat yang maksimal dengan cara melakukan variasi rasio mol, variasi kecepatan pengadukan dan variasi temperatur reaksi.

Tujuan utama dilakukan variasi rasio mol adalah untuk mengarahkan reaksi sesuai dengan gambar 2 dengan cara konsentrasi gliserol dibuat berlebih.

Variasi kecepatan pengadukan dilakukan untuk mencegah terpisahnya gliserol dengan asam oleat, sehingga homogenisasi antara gliserol dan asam oleat dapat berjalan maksimal. Hal ini dikarenakan pada sifat kepolaran antar 2 reaktan yang dimana gliserol bersifat polar sedangkan asam oleat bersifat non polar. Sedangkan variasi temperatur reaksi dilakukan untuk menganalisa kinetika reaksi. Ketiga hasil variasi ini didapatkan hasil yang tertera pada gambar 5, 6 dan 7.



Gambar 7. Pengaruh Temperatur Reaksi

3.2 Pengaruh Perbandingan Molar Gliserol dan Asam Oleat

Berdasarkan Gambar 4, konversi gliserol pada perbandingan molar asam oleat dan gliserol 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 dan 1:8 masing-masing adalah 56,62%, 61,43%, 64,03, 57,61% dan 41,57%. Kondisi terbaik diperoleh pada perbandingan molar asam oleat dan gliserol 3:1. Pada hasil penelitian dengan variasi perbandingan reaktan menunjukkan konsentrasi persentasi (produk) gliserol monooleat yang cenderung meningkat (walaupun tanpa keteraturan) dengan bertambahnya rasio mol reaktan gliserol terhadap trigliserida. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak gliserol yang berlebih secara teoritik yang bereaksi terhadap asam oleat akan menghasilkan produk dengan kandungan gliserol monooleat yang lebih banyak. Hal ini dikarenakan meningkatnya kemungkinan tumbukan antara

molekul zat yang bereaksi, sehingga kecepatan reaksinya bertambah besar.

Kenaikan konversi berurut turut 56,61%, 61,42%, 64,03% sehingga dapat dikatakan bahwa semakin banyak mol gliserol yang ditambahkan kedalam sistem reaksi gliserolisis maka semakin banyak tempat untuk terikatnya asam-asam lemak yang terbebas dari trigliserida sehingga probilitas konversi trigliserida menjadi monooleat maupun dioleat menjadi lebih besar sehingga konversi GMO semakin besar. Adapun pada gambar 1 terlihat ketika pada saat setelah perbandingan 1:3 konversi GMO mengalami penurunan yaitu pada rasio 1:4 dan 1:8 konversinya sebesar 57,61% dan 41,57% dikarenakan ketika rasio mol ditambahkan secara berlebihan akan mengakibatkan jumlah terjadinya tumbukan antar kedua molekul reaktan menjadi sedikit (Tirto, 2007).

3.3 Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Hasil gambar 7 menunjukkan bahwa konversi gliserol pada kecepatan pengadukan 400 rpm, 500 rpm, 600 rpm, 700 rpm, 800 rpm, 900 rpm dan 1500 rpm masing-masing adalah 60,837%, 64,03%, 74,79%, 80,94, 79,657% dan 78,66%. Kondisi terbaik diperoleh pada kecepatan pengadukan 800 rpm. Hal ini terjadi karena besarnya pengadukan akan berdampak pada meningkatnya turbulensi di dalam reaktor. Meningkatnya turbulensi fluida memiliki dampak yaitu meningkatkan *disperse* dan meningkatkan kontak antara partikel katalis dengan molekul-molekul reaktan.

Pengaruh lainnya adalah semakin besar kecepatan pengadukan maka nilai difusivitas molekuler cenderung meningkat. Hal ini terjadi karena semakin besar reynold pengadukan (N_{re}) maka turbulensi (tumbukan) semakin meningkat akibatnya difusi reaktan ke permukaan katalis semakin besar (Enny dan Fadilah, 2009). Fenomena ini ditunjukan melalui persamaan Sherwood, dimana bilangan Sherwood berbanding lurus terhadap nilai konstanta perpindahan massa (k_c). Akan tetapi pada saat sintesa GMO dengan kecepatan pengadukan 900 rpm mengalami penurunan konversi asam oleat sebesar 79,657%. Hal ini diduga molekul kedua reaktan terjebak dalam *deadzone* yang dihasilkan dari tingginya kecepatan pengadukan yang menghasilkan *vorteks* sehingga jumlah tumbukan antar kedua molekul reaktan menjadi kecil. *Deadzone* merupakan daerah dimana molekul molekul reaktan terjebak dalam aliran fluida yang ditimbulkan karna tingginya turbulensi yang dihasilkan oleh motor pengaduk.

$$Sh = 2 + 0,6 Re^{\frac{1}{2}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(1)$$

$$k_c = \frac{Sh \times D}{d} \dots\dots\dots(2)$$

3.4 Pengaruh Temperatur Reaksi

Ketika suhu reaksi dinaikkan maka energi yang dimiliki oleh molekul-molekul pereaksi bertambah besar sampai melebihi energi aktivasi sehingga

tumbukan antar molekul meningkat, ini berakibat pada meningkatnya laju reaksi. Hal ini sesuai dengan hasil pada tabel 2 yang menunjukkan semakin tinggi temperatur, maka konstanta laju reaksi yang dihasilkan akan meningkat, sehingga konversi yang dihasilkan juga akan meningkat. Hal ini dibuktikan pada hasil penelitian yang tertera pada gambar 7. Menurut Arrhenius hubungan antara konstanta kecepatan reaksi dengan suhu mengikuti persamaan :

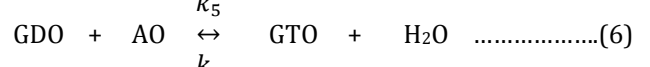
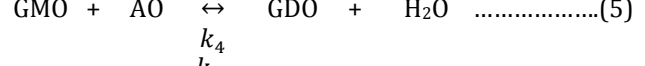
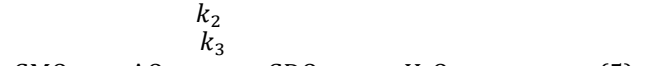
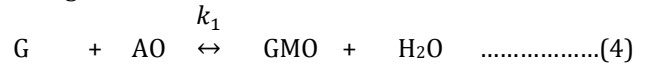
$$k = A \cdot \text{Exp}^{\frac{-E_a}{RT}} \dots\dots\dots(3)$$

3.5 Analisa Kinetika Reaksi dan Energi Aktivasi

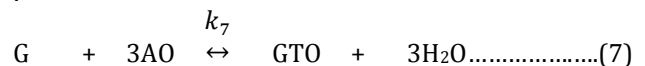
Data yang digunakan untuk analisa laju reaksi diperoleh dari hasil penelitian yang menggunakan kondisi operasi optimum yaitu :

- Rasio mol reaktan (G/Ao) = 3:1
- Kecepatan Pengadukan 800 rpm

Data untuk analisa persamaan laju reaksi pembentukan GMO diperlihatkan pada gambar 8,9 dan 10. Reaksi diasumsikan berjalan melalui tahapan sebagai berikut :



Persamaan reaksi *overall* dapat ditulis sebagai berikut :

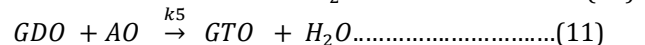
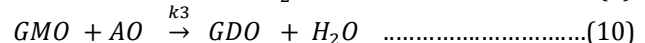


Menurut Smith (1981), persamaan laju reaksi pembentukan gliserol monooleat untuk reaksi orde dua versi penurunan konsentrasi asam oleat dapat ditulis sebagai berikut :

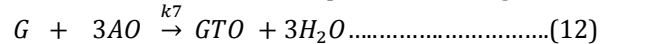
$$r[GMO] = \frac{d[GMO]}{dt} = -\frac{d[AO]}{dt} = k_1([G][AO] - \frac{1}{K_1}[GMO][H_2O]) \dots\dots(8)$$

Dimana : $K_1 = k_1/k_2$

Reaksi dikendalikan berjalan ke kanan, yaitu dengan cara menguapkan air yang terbentuk, karna dengan adanya air akan menghasilkan reaksi hidrolisa (reaksi balik) dan penggunaan salah satu reaktan dibuat berlebih (reaktan Gliserol berlebih), dengan demikian $k_1 \gg k_2$, sehingga $1/K_1 = 0$ (sangat kecil) dan suku terakhir dari persamaan 5 dapat diabaikan sehingga persamaan persamaan di atas menjadi :



Persamaan reaksi *overall* dapat ditulis sebagai berikut :



Maka persamaan laju reaksi pembentukan gliserol monooleat dari gliserol dan asam oleat untuk reaksi orde dua dapat disederhanakan menjadi sebagai berikut :

$$d \frac{[GMO]}{dt} = -\frac{d[AO]}{dt} = k[G][AO] \dots\dots\dots(13)$$

Gliserol yang digunakan pada kondisi optimum dibuat berlebih yaitu pada rasio mol (G/AO) 3:1 sehingga konsentrasi dari gliserol selama reaksi dapat dianggap tetap. Pada kondisi ini perubahan jumlah gliserol pada reaksi tidak akan mempengaruhi laju reaksi (Cang, 1994). Maka persamaan 10 dapat ditulis :

$$r = -\frac{d[AO]}{dt} = k[AO] \dots\dots\dots(14)$$

Persamaan 11 merupakan persamaan kinetika orde satu. Persamaan ini diintegrasikan dengan limit antara $t = 0$ sampai $t = t$ dan konsentrasi dari $[AO]_0$ pada saat $t = 0$ dan $[AO]$ pada waktu tertentu, sehingga persamaan diatas menjadi:

$$\ln \frac{[AO]_t}{[AO]_0} = -kt \dots\dots\dots(15)$$

Persamaan 12 dapat digunakan untuk mencari konsentrasi laju reaksi (k). Harus diingat bahwa konsentrasi awal $[AO]_0$ nilainya konstan.

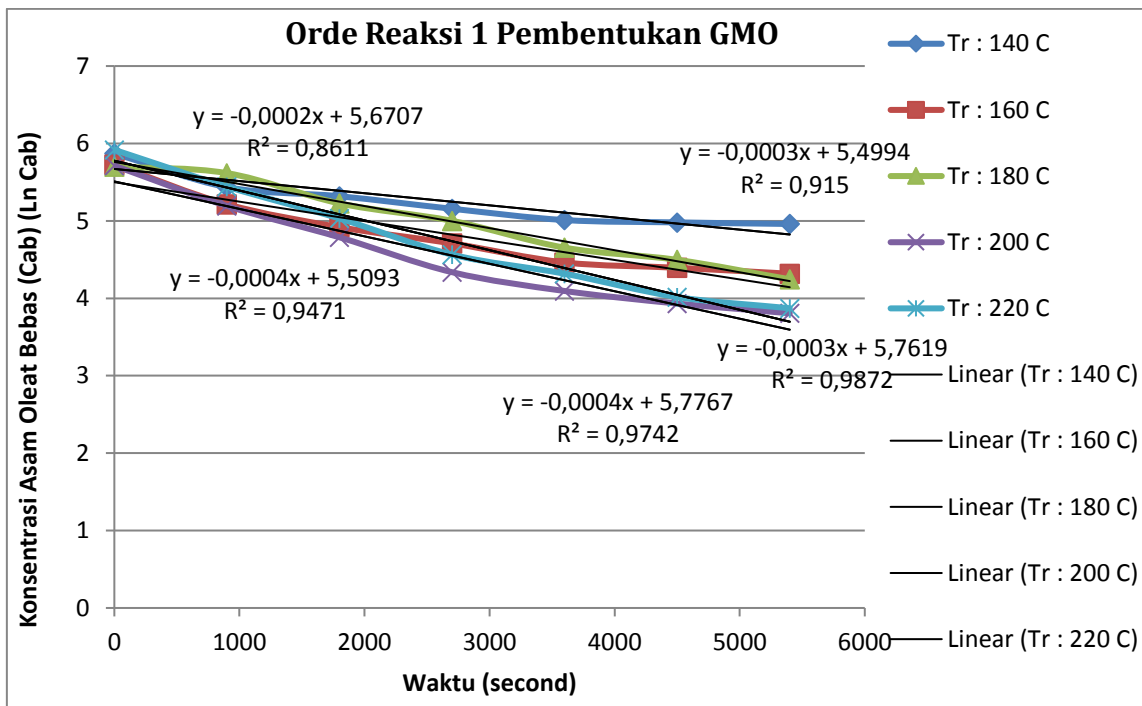
Uji kecocokan reaksi orde dua menggunakan asumsi persamaan reaksi : $AO + AO \rightarrow \text{produk}$, dengan persamaan laju reaksi :

$$-\frac{dC_a}{dt} = k \times C_a^2 \dots\dots\dots(16)$$

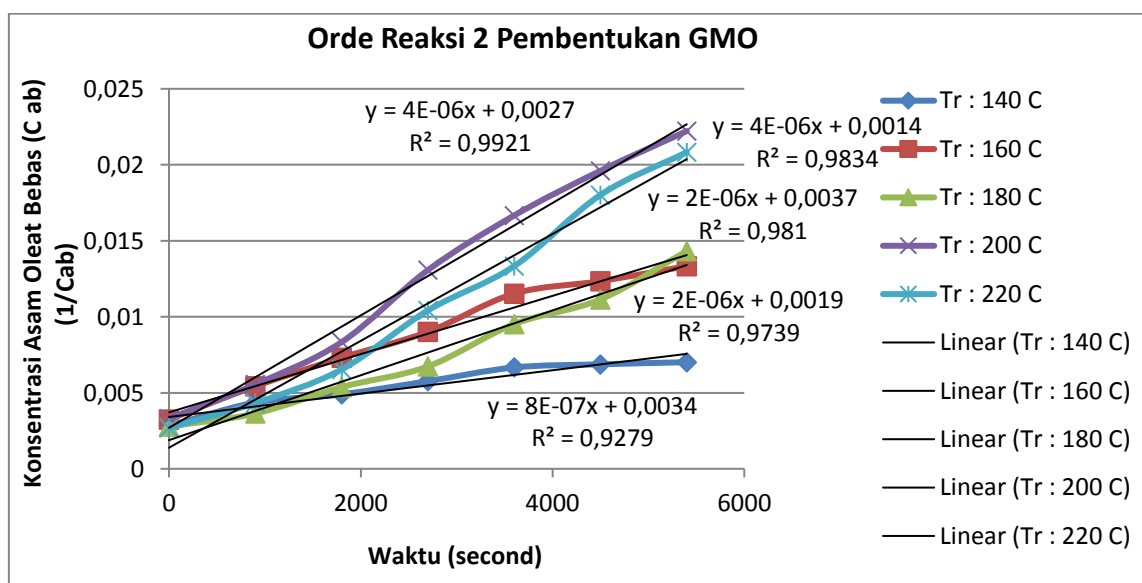
dengan hasil integrasi :

$$\frac{1}{C_a} = \frac{1}{C_0} - k \times t \dots\dots\dots(17)$$

(Smith, 1981; Levenspiel, 1999).



Gambar 8. Orde Reaksi pada pendekatan persamaan orde reaksi 1



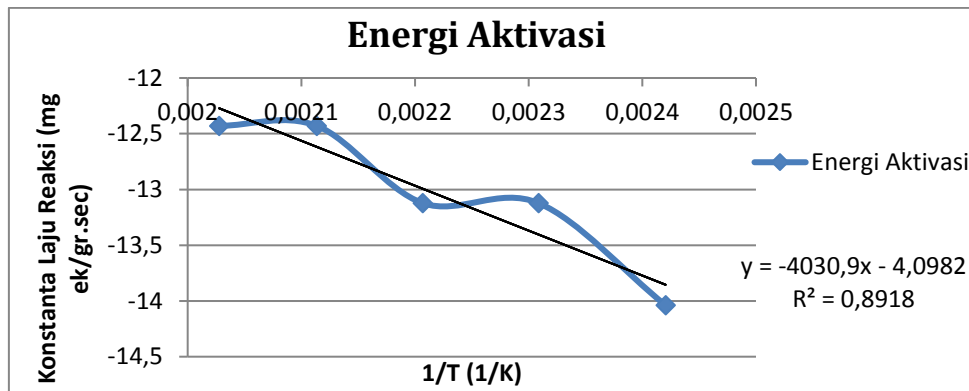
Gambar 9. Orde Reaksi pada pendekatan persamaan orde reaksi 2

Tabel 2. Resume Hasil Penentuan Orde Reaksi dan Konstanta Laju Reaksi.

Temperatur (°C)	Orde Reaksi	Derajat Kepercayaan (R ²)	Konstanta Laju Reaksi (mg ek/gr.sec)
140	1	0.8611	0.0002
	2	0.9279	0.0000008
160	1	0.915	0.0003
	2	0.9739	0.000002
180	1	0.9906	0.0003
	2	0.981	0.000002
200	1	0.9742	0.0004
	2	0.9834	0.000004
220	1	0.9471	0.0004
	2	0.9921	0.000004

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada temperatur reaksi 140° C, 160° C, 180° C, 200° C dan 220° C memiliki kecenderungan nilai derajat kepercayaan (R²) mendekati nilai 1 pada orde reaksi ke 2. Hal ini

dapat disimpulkan bahwa reaksi esterifikasi antara asam oleat dan gliserol mengikuti persamaan model pseudo homogen orde reaksi ke 2 dengan persamaan yang sesuai pada persamaan 17.



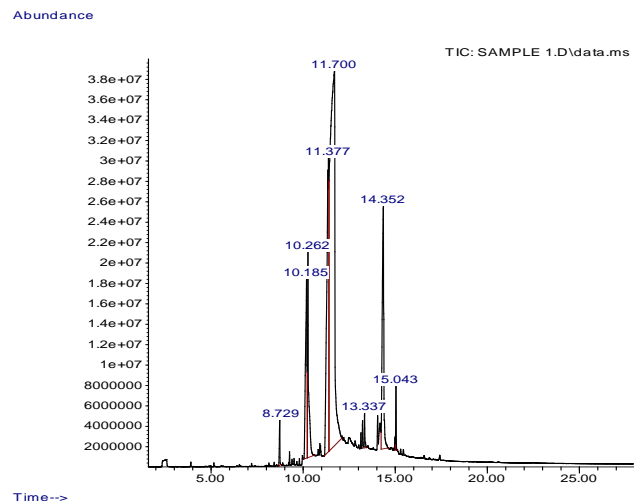
Gambar 10. Energi Aktivasi Pada Reaksi Esterifikasi antara Asam Oleat dan Gliserol.

Berdasarkan gambar 10 dapat dilihat bahwa konstanta arrhenius (frekuensi tumbukan) yang dihasilkan sebesar 10,81977828 mg.ek/gr.sec dan energi aktivasi yang dihasilkan sebesar 8,14394304 KKal/mol.K pada range temperatur 140-220° C. Berdasarkan nilai energi aktivasi yang dihasilkan, maka dapat diprediksikan bahwa kandungan terbesar dalam campuran produk adalah gliserol monooleat. Menurut Nouredini (1997), gliserol dapat terkonversi menjadi gliserol monogliserida dengan energi aktivasi sebesar 9,588 KKal/mol pada aliran turbulen. Nilai konstanta arrhenius dan energi aktivasi dapat disubstitusi kedalam persamaan 3 sehingga dihasilkan persamaan berikut :

$$k = 10,81977828 \times \exp - \frac{8,14394304}{R.T}$$

$$- \frac{d C_a}{d t} = [10,81977828 \times \exp - \frac{8,14394304}{R.T}] \times C_a^2$$

Analisa GC-MS digunakan untuk membuktikan dan menentukan seberapa besar % kadar GMO yang dihasilkan pada berbagai variasi temperatur reaksi. Gambar 11 dan tabel 3 menunjukkan bahwa gliserol monooleat berhasil terbentuk dengan % kadar yang cukup besar pada temperatur 140° C.



Gambar 11. Grafik Total Ion Current Sintesa GMO.

Hasil interpretasi GC-MS Agilent 6890 MS 5973 diperoleh pada tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Senyawa-Senyawa yang terdeteksi pada GC-MS Agilent 6890 MS 5973

Senyawa	% Area	Waktu Retensi
Tetradecanoic acid	0,77%	8,732
Palmitinic acid	7.65%	10.184
Ethyl Cetylate	6.52 %	10.261
Linoleic acid	17.00 %	11.374
Gliserol Monooleat (GMO)	55.47 %	11.696
2-hydroxy-1-Hexadecanoic acid	0.58 %	13.336
Linoleyl Alcohol	11.06 %	14.355
2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene	0.95 %	15.044

Senyawa-senyawa yang terdeteksi dihasilkan sebanyak 8 senyawa. Senyawa yang selain gliserol monooleat diduga terbentuk karena merupakan produk hasil samping dari reaktan yang tidak murni.

Tabel 4. Perbandingan teknologi katalis pada proses reaksi esterifikasi Gliserol Monooleat berdasarkan energi aktivasi yang dihasilkan.

Proses Reaksi	Katalis	Energi Aktivasi Total (Kkal/mol)	% Kadar GMO	Referensi
Esterifikasi Langsung	H-Zeolit alam Bayah	8,143943	55,47 %	Setiadi, 2016 (Hasil penelitian ini)
Transesterifikasi Tidak Langsung	KOH	11,078	8,2	Lee, 2007
Transesterifikasi Langsung	KOH	-	29,28 %	Pardi, 2005

Tabel 4 menunjukkan bahwa katalis zeolit alam Bayah mampu menghasilkan % Kadar GMO dan penurunan energi aktivasi yang besar dibandingkan dengan teknologi proses yang lainnya. Hal ini membuktikan bahwa katalis zeolit alam Bayah mampu bekerja cukup baik dalam reaksi esterifikasi GMO.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Konversi maksimum yang dapat dicapai pada kondisi terbaik yaitu rasio mol reaktan (G/A) sebesar 3:1 dan kecepatan pengadukan sebesar 800 rpm dengan nilai konversi asam oleat sebesar 80,94%.
2. Persamaan umum laju reaksi esterifikasi menghasilkan gliserol monooleat pada temperatur reaksi 180°C sampai 220°C, sesuai dengan menggunakan persamaan laju reaksi orde 2 yaitu :

$$d \frac{[GMO]}{dt} = - \frac{d[AO]}{dt} = [10,81977828 \times \exp - \frac{8,14394304}{R.T}] [AO]^2$$

3. % Kadar gliserol monooleat yang dihasilkan dari analisa GC-MS sebesar 55.47 %.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada program hibah PKM-PE dikti yang telah membiayai penulis sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Agus Rochmat S.SI., M.Farm dan Nuryoto S.T., M.Eng selaku dosen

pembimbing yang telah memberikan masukan-masukan sehingga studi dan penulisan artikel ini menjadi lebih sempurna.

6. NOTASI

- r = Laju Reaksi (mg.ek/gr.sec)
- T = Temperatur Reaksi (Kelvin)
- K = Konstanta Laju Reaksi (mg ek/gr.sec)
- A = Frekuensi Tumbukan Molekul
- Ea = Energi Aktivasi (Kkal/mol.K.)
- R = Konstanta Gas Ideal (1.9872 KCal/gr.mol.K)
- kc = Koefisien Konveksi Massa (m/s)
- Sc = Bilangan Schmidt
- Sh = Bilangan Sherwood
- Re = Bilangan Reynold
- D = Difusivitas (m²/s)

7. DAFTAR PUSTAKA

Barrer, R.M., Hydrtothermal Chemistry of Zeolite. Academic Press, London. 1982

Berita Terkini Nasional, Home Page, (<http://www.istecs.org/2013/10/28/sekilas-tentang-kondisi-zeolit-alam-indonesia/>) (akses 26 April 2015).

Feuge, R.O.; Bailey, A.E., Oil Soap. 1949, hal 23-259.

Ginting, A.B.; Anggraini, D.; Indaryati, S.; Kriswarini, R., Karakterisasi Komposisi Kimia, Luas Permukaan Pori, dan Sifat Termal dari Zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung, J. Tek. Bhn. Nukl, 2007, 3(1).

Khayoon, M.S.; Hameed, B.H., Acetylation of Glycerol to Biofuel additives Over Sulfated Activated Carbon Catalyst. Elsevier Bioresource Technology, 2011, 102, 9225-9235.

- Noureddini, H.; Zhu, D., Kinetics of Transesterification of soybean oil Journal of Biocatalysis, University of Nebraska, Lincoln.1997
- Pardi., Optimasi Proses Produksi Gliserol Mono oleat dari gliserol Hasil Samping Biodiesel”, Tesis, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara.2005
- Rosdiana, T., Pencirian dan Uji Aktivitas Katalitik Zeolit Alam Teraktivasi.Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Intitut Pertanian Bogor.2006
- Setiadi, F.; Firmansyah.,Karakteristik Zeolit Alam Bayah dalam Suasana Asam sebagai Katalisator pada Pembuatan Emulsifier Pangan, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.2016
- Sontag, N.O.V.,*Fat Splitting*, Esterification and Interesterification in Industrial Oil and Fat Products, John Wiley & Sons, New York.1982
- Suminta, S.; Las, T., Penghalusan Struktur Sangkar Kristal Modernit dan Klinoptilolit Alam dengan Metode Rietveld, Jurnal SainsMaterial Indonesia, Februari 2006, 7(2), 73 - 78.