

UJI COBA ZEOLIT ALAM KLINOPTILOLIT SEBAGAI KATALIS PADA PEMBUATAN BIOADITIF DARI GLISEROL DAN ASAM ASETAT

Nuryoto^{1,2*}, Diana Alfi Jayanti¹, Erlin Findilina¹

¹ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km. 3, Cilegon - Banten 42435.

² Magister Teknik Kimia, Pascasarjana, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Raya Pakupatan-Jakarta Km. 3, Serang - Banten.

*Email: nuryoto@untirta.ac.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana performa zeolit alam Lampung jika digunakan sebagai katalis pada reaksi esterifikasi reaksi antara gliserol dan asam asetat menjadi triacetin dengan perlakuan awal pada kondisi tertentu dan mengkolaborasikan faktor-faktor yang berpengaruh pada reaksi kimia seperti suhu reaksi, kecepatan pengadukan, serta ukuran partikel katalisator zeolit alam Lampung. Pengamatan dilakukan menggunakan reaktor batch berupa labu leher tiga dengan perbandingan pereaksi 1:3 mol gliserol/mol asam asetat, pada variasi suhu reaksi 90-110°C, ukuran katalis zeolit alam Lampung 40-50 mesh, dan kecepatan pengadukan 600-700 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi operasi terbaik dihasilkan pada suhu reaksi 110°C, kecepatan pengadukan 700 rpm, dan ukuran katalisator 50 mesh dengan konversi sebesar 27% dan selektivitas triacetin sebesar 2,03%.

Kata kunci: batch, selektivitas, triacetin

Abstract

The purpose of this study was to find out how the performance of Lampung natural zeolite when used as a catalyst in the esterification reaction of the reaction between glycerol and acetic acid into triacetin with pretreatment under certain conditions and to collaborate with factors that influence chemical reactions such as reaction temperature, stirring speed, and particle size of Lampung natural zeolite catalyst. Observations were made using a batch reactor in the form of a three-neck flask by a reactant ratio of 1:3 mol of glycerol/mole of acetic acid, at a reaction temperature variation of 90-110°C, the catalyst size of the Lampung natural zeolite of 40-50 mesh, and the stirring speed of 600-700 rpm. The results showed that the best operating conditions were produced at a reaction temperature of 110°C, stirring speed of 700 rpm, and a catalyst size of 50 mesh by a conversion of 27% and a triacetin selectivity of 2.03%.

Key word: batch, selectivity, triacetin

1. PENDAHULUAN

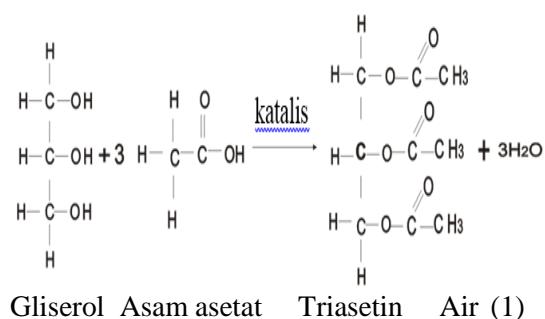
Gliserol yang sering dikenal dengan istilah polialkohol, salah satunya dihasilkan dari proses pembuatan biodiesel, yaitu sebesar 10% dari biodiesel yang dihasilkan (Ozorio dkk., 2012, Faria dkk., 2013). Peningkatan penggunaan biodiesel sebagai bauran energi di Indonesia yang di *blending* dengan solar dikenal dengan istilah biosolar. Pemerintah telah menetapkan peningkatan perbandingan *blending* antara biodiesel dan solar yaitu dari B20 (80 bagian solar dan 20 bagian biodiesel) menjadi B30 (70 bagian solar dan 30 bagian biodiesel) seperti yang tertuang pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015 (EBTKE,2019).

Kebijakan tersebut berdampak pada peningkatan produksi biodiesel di Indonesia, karena kebutuhan biodiesel otomatis akan

mengalami peningkatan. Menurut data dari Organisasi Kerja Sama dan Pembangunan Ekonomi (OECD), jumlah produksi biodiesel secara global sebanyak 48,3 miliar liter pada 2021, dengan kenaikan rerata sebesar 3,2% tiap tahunnya yang dihitung pada rentang 2018-2020 (Rizaty, 2021). Indonesia sendiri menurut Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia telah menghasilkan biodiesel pada 2020 lebih dari 11,62 Miliar Liter (Rachmania, 2021). Artinya jika 10% dari kapasitas biodiesel global, maka jumlah gliserolnya sebesar adalah 4,83 miliar liter. Kondisi ini jika tanpa diimbangi dengan serapan gliserol yang luas, yaitu dengan memanfaatkan gliserol menjadi produk turunannya, maka gliserol akan melimpah dan harga jual akan turun.

Hasil kajian Quispe dkk., 2013 harga jual gliserol terus mengalami penurunan dari di atas US \$400/ton pada tahun 2001 menjadi di bawah US \$100/ton pada tahun 2011. Fenomena ini perlu di antisipasi sejak dini, jika tidak pada suatu saat akan terjadi di mana biaya pemisahan dan pemurnian gliserol bisa menjadi lebih mahal dari harga gliserol itu sendiri. Jika hal ini sampai terjadi yang dikuatirkan adalah gliserol akan dibuang begitu saja menjadi limbah ke lingkungan atau menjadi beban tambahan pada unit pengolahan limbah pada proses pembuatan biodiesel.

Salah satu langkah yang mungkin dilakukan adalah dengan merubah gliserol menjadi bahan yang lebih ekonomis yaitu menjadi boaditif berupa *triacetin*, yaitu dengan mereaksiannya dengan asam asetat (Yanti dkk., 2019, Ali dkk., 2021). *Triacetin* sendiri dapat dimanfaatkan sebagai bioaditif pada biodiesel (Hamzah dkk., 2019), sehingga akan meningkatkan kinerja biodiesel sebagai bahan bakar. Secara sederhana persamaan reaksi antara gliserol dan asam asetat menjadi *triacetin* dapat dituliskan pada Persamaan (1).



Gliserol Asam asetat Triasetin Air (1)

Reaksi pada Persamaan (1) merupakan reaksi penyederhanaan, karena secara riil reaksi antara gliserol dan asam asetat adalah reaksi seri, yang mana gliserol bereaksi dengan asam asetat menjadi *monoaceton*, lalu *monoaceton* bereaksi lagi dengan asam asetat menjadi *diacetin*, dan terakhir *diacetin* bereaksi dengan asam asetat menjadi *triacetin*.

Kajian mengenai sintesis *triacetin* sebenarnya telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan berbagai katalis dan dengan hasil konversi reaktan yang cukup baik yaitu pada rentang 76 - 100%. Katalis yang dijadikan media untuk mempercepat reaksi pada sintesis *triacetin* penelitian sebelumnya juga bermacam-macam, diantaranya $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{PO}_4^{3-}$ (Ali dkk., 2021), HZSM-5/MCM-41 micro/mesoporous (Liu dkk., 2019), Lewatit (Setyaningsih dkk., 2017), Asam sulfat

(Mufrodi dkk., 2012), Silica-Alumina (Aktawan dan Mufrodi, 2016), Amberlyst 36 (Shafiei dkk., 2017), Asam nitrat (Nuraeni dkk., 2019), Asam sulfat dan Amberlyst 15 (Lacerda dkk., 2015), Amberlyst 70 (Kale dkk., 2013), $\text{SiO}_2-\text{H}_3\text{PO}_4$ (Manurung dkk., 2020), *Peat Clay* (Yanti dkk., 2019), zeolit alam Aceh (Hamzah dkk., 2019). dan zeolit alam Yogyakarta (Sari dkk., 2015). Tetapi rerata menggunakan perbandingan pereaksi antara gliserol dan asam asetat yang sangat tinggi yaitu 1:6- 1:12 mol gliserol/mol asam asetat.

Kondisi perbandingan pereaksi yang besar akan membebani proses pemisahan antara produk dan reaktan pada proses separasi, dan besarnya biaya operasional. Pada Penelitian ini dicoba menggunakan perbandingan pereaksi sesuai stokimetriinya yaitu 1:3 mol gliserol/mol asetat serta katalis zeolit alam dari Lampung yang merupakan zeolit jenis klinoptilolit (hasil pengukuran Ramadhan dkk., 2019). Pemilihan zeolit alam Lampung didasarkan atas penelitian Ramadhan dkk. (2019) dan Nindya dkk (2020) dengan hasil yang cukup baik pada reaksi gliserol dan asam oleat, dengan konversi asam oleat masing-masing yaitu 73,65% dan 75,09%.

Selain itu juga, guna memanfaatkan salah satu sumber daya alam lokal Indonesia yang belum termanfaatkan secara maksimal. Sebenarnya penelitian pembuatan *triacetin* menggunakan zeolit alam Lampung sudah dilakukan oleh Ariyadi dan Ginting, 2017 yang dengan aktivasi dengan cara direndam ke dalam larutan asam sulfat pada 0,2-0,4 N. Tetapi konversi gliserol yang dihasilkan masih sangat kecil yaitu hanya 11,7%, padahal reaksi telah dilakukan pada perbandingan pereaksi yang cukup besar yaitu 1:7 mol gliserol/mol asam asetat. Jika mengacu pada penelitian Ramadhan dkk. (2019) dan Nindya dkk. (2020) yang mana zeolit alam Lampung dimodifikasi dengan 1 N HCl mampu menghasilkan konversi yang cukup tinggi (73,65% asam oleat), maka kemungkinan performa zeolit alam Lampung masih bisa ditingkatkan kinerjanya dengan melakukan perubahan perlakuan awalnya (mengacu pada penelitian Ramadhan dkk., 2019 dan Nindya dkk., 2020) jika digunakan sebagai katalis pada reaksi pembuatan *triacetin* ini.

Adapan tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana performa zeolit alam Lampung jika digunakan sebagai katalis pada reaksi esterifikasi reaksi antara gliserol dan asam asetat menjadi *triacetin* dengan perlakuan

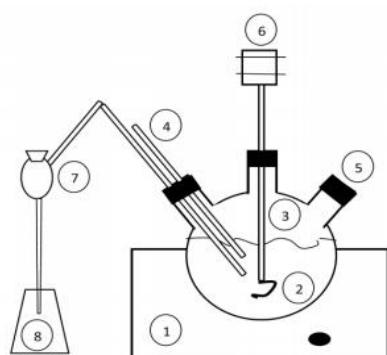
awal pada kondisi yang telah ditentukan dan mengkolaborasikan faktor-faktor yang berpengaruh pada reaksi kimia seperti suhu reaksi, kecepatan pengadukan, serta ukuran partikel katalisator zeolit alam Lampung.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mengkolaborasikan suhu (Mufrodi dkk., 2012, Aktawan dan mufrodi, 2012, Nindya dkk., 2020), kecepatan pengadukan (Nanda dkk., 2014, Ramadhan dkk., 2019), dan ukuran partikel katalisator (Nuryoto dkk., 2017; Ramadhan dkk., 2019) mampu meningkatkan laju reaksi dan berdampak positif terhadap perolehan produk reaksi yang dihasilkan.

2. METODOLOGI

2.1. Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah gliserol teknis yang dibeli dari PT. Aneka Teknologi Saintifika (online shop) dengan kadar 98%. Gliserol sebelum digunakan dilakukan evaporasi pada suhu 90°C agar impuritinya hilang. Asam asetat teknis yang dibeli dari Toko Maju Kimia, Cilegon-Banten dengan kadar 98%. Zeolit alam Lampung yang digunakan sebagai katalis, sebelum digunakan dilakukan perlakuan awal mengacu pada penelitian Ramadhan dkk., 2019, Nindya dkk., 2020, dan Nuryoto dan Hartono, 2018 yaitu dengan cara diperkecil ukurannya sampai ukuran tertentu (40-60 mesh) agar luas kontaknya meningkat ketika digunakan sebagai katalisator, lalu di aktivasi menggunakan HCl 1 N selama 2 jam, dibilas dengan akuades sampai pH netral (4 kali) dan di keringkan ke dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam.



Gambar 1. Skematik peralatan penelitian, (1) pemanas mantel, (2) labu leher tiga, (3) pengaduk merkuri, (4) termometer, (5) Karet penyumbat, (6) motor pengaduk, (7), dan (8) pengambil sampel

Skematik reaktor yang digunakan untuk reaksi pembuatan triacetin tersaji pada Gambar 1. Reaktor yang digunakan berupa labu leher tiga volume 0,5 liter yang dilengkapi dengan pengaduk merkuri, pemanas mantel, termometer, pengambil sampel, dan penampung sampel.

2.2. Prosedur Percobaan

Gliserol dan asam asetat dengan volume yang telah ditentukan mengacu pada perbandingan pereaksi 1:3 mol gliserol/mol asam asetat dipanaskan secara terpisah (gliserol ke dalam labu leher tiga (reaktor), sedangkan asam asetat di gelas ukur) sampai mendekati suhu reaksi yang diinginkan (90-110°C). Setelah itu asam asetat dimasukan ke dalam reaktor, sambil dijaga suhu agar stabil sesuai suhu reaksi yang diinginkan sambil proses pengadukan dijalankan pada kecepatan tertentu (600-700 rpm).

Pada saat larutan telah tercampur secara sempurna dan suhu reaksi telah tercapai, dilakukan pengambilan sampel untuk dilakukan analisis asam awal (A_0) menggunakan metode titrasi asam-basa menggunakan NaOH 0,5 N (mengacu pada penelitian Nuryoto dan Hartono, 2018). Selanjutnya katalisator yang telah diaktivasi dengan konsentrasi 4% massa gliserol (Nuryoto dan Rudi Hartono 2018) dimasukkan ke dalam reaktor, dan pada saat itu dicatat sebagai waktu awal reaksi. Setiap selang waktu 30 menit sampel diambil untuk dianalisis asam asetat sisa (A_s). Ketika reaksi telah berjalan 90 menit, maka reaksi dihentikan, dan dengan cara yang sama dilakukan untuk variasi suhu reaksi, kecepatan pengadukan dan ukuran diameter katalisator yang lainnya. Guna mengetahui seberapa besar asam asetat yang terkonversi, maka dapat ditentukan berdasarkan dengan Persamaan (2).

$$X_A = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

dengan :

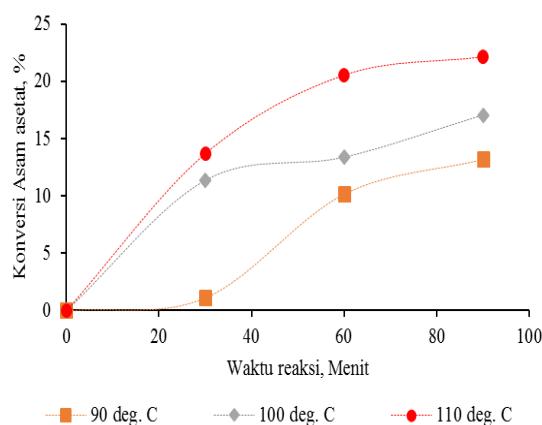
X_A = konversi asam asetat, %

A_0 = konsentrasi asam asetat awal, mgek/ml

A_s = konsentrasi asam asetat sisa pada waktu tertentu, mgek/ml

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Suhu Reaksi

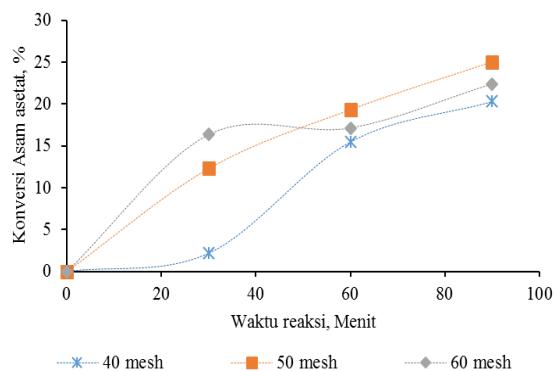


Gambar 2. Pengaruh Suhu Reaksi Pada 50 mesh, dan pengadukan 600 rpm

Seiring peningkatan suhu reaksi, konversi asam asetat yang dihasilkan mengalami peningkatan. Pada suhu reaksi 90, 100, dan 110 °C konversi asam asetat yang dihasilkan masing-masing adalah 13,21; 17,03; dan 22,11% (lihat Gambar 2). Peningkatan suhu reaksi yang berikan secara teori berdampak kepada pergerakan molekul yang semakin cepat, dan juga semakin cepat laju difusi molekular reaktan ke sisi aktif katalisator (Fogler, 2006). Kejadian serupa juga terjadi pada penelitian Kayoon dan Hameed (2013) yang melakukan penelitian pada pembuatan gliserol monooleat. Hasil observasi menunjukkan bahwa konversi asam oleat yang dihasilkan cenderung meningkat seiring meningkatnya suhu reaksi, yaitu pada suhu 140; 150; dan 160°C berturut-turut konversi asam oleat adalah 80; 88; dan 90%.

3.2. Pengaruh Ukuran Katalisator

Terlihat pada Gambar 3, pada ukuran katalisator 40 mesh diperoleh konversi asam asetat sebesar 20,28%, kemudian saat ukuran zeolit diperkecil menjadi 50 mesh konversi asam asetat yang diperoleh naik menjadi 25% (mengalami kenaikan sebesar 4,07%). Tetapi ketika ukuran zeolit lebih diperkecil menjadi 60 mesh, konversi asam asetat yang dihasilkan justru mengalami penurunan menjadi 22,38%.



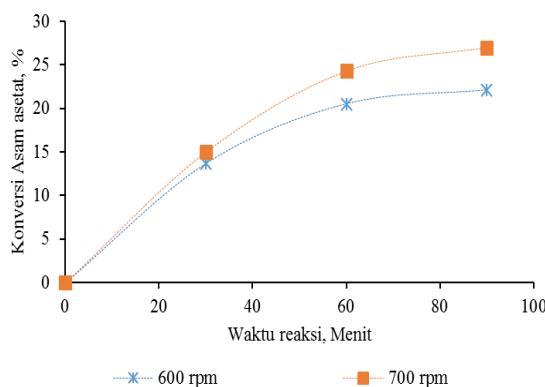
Gambar 3. Pengaruh Ukuran katalis pada suhu 110°C, dan pengadukan 600 rpm

Hasil ini menunjukkan bahwa memperkecil ukuran katalisator untuk memperbesar bidang kontak antara reaktan dan katalis memiliki titik optimum, di mana ketika ukuran katalis terlalu kecil maka katalisator cenderung bergerak mengikuti aliran fluida sehingga nilai turbulensi dari katalis akan menjadi lebih kecil. Imbasnya transfer masa dan laju reaksi akan mengalami penurunan. Prayitno dkk (2006) dan Gangadwala dkk (2003) juga mengalami kondisi yang sama dengan yang dialami oleh penelitian ini, di mana pada ukuran katalis sebesar 25 mesh diperoleh konversi asam asetat sebesar 56%, tetapi ketika ukuran zeolit diperkecil menjadi 72 mesh, konversi asam asetat yang diperoleh tidak mengalami perubahan atau cenderung sama. Pada saat ukuran zeolit diperkecil kembali menjadi 100 mesh justru terjadi penurunan konversi asam asetat menjadi 52%. Fenomena ini memperkuat bahwa memperkecil ukuran zeolit memiliki titik optimum, dan pada penelitian ini ukuran zeolit yang optimum sebagai katalisator pada reaksi esterifikasi gliserol dan asam asetat adalah pada ukuran katalisator 50 mesh.

3.3. Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Konversi asam asetat yang dihasilkan mengalami peningkatan seiring meningkatnya kecepatan pengadukan yang dilakukan (lihat Gambar 4). Pada saat kecepatan pengadukan dilakukan pada 600 rpm menghasilkan konversi asam asetat sebesar 22,12%, dan ketika kecepatan pengadukan dinaikkan menjadi 700 rpm konversi asam asetat menjadi sebesar 27% (lihat Gambar 4). Artinya bahwa peningkatan kecepatan pengadukan yang dilakukan mampu mereduksi tahanan perpindahan massa eksternal, sehingga proses perpindahan massa reaktan ke permukaan aktif katalisator akan

berjalan lebih cepat, dan berakibat pada peningkatan laju reaksi.

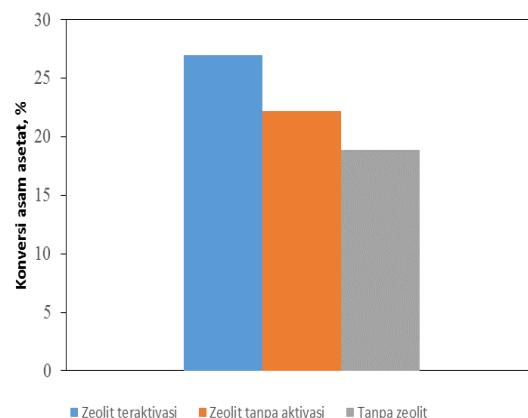


Gambar 4. Pengaruh Kecepatan Pengadukan, pada Ukuran katalis 50 mesh dan suhu 110°C

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ramadhan dkk, 2019, mempunyai cenderungan yang serupa, yang mana semakin tinggi kecepatan pengadukan yang dilakukan, maka semakin besar konversi yang dihasilkan. Ramadhan dkk, 2019 melakukan pada kecepatan pengadukan 600 rpm dan 700 rpm, kondisi terbaiknya diperoleh yaitu pada kecepatan pengadukan 700 rpm dengan konversi asam oleat sebesar 73,65%. Sedangkan penelitian yang dilakukan Nuryoto dkk. (2017) yang dilakukan dengan kecepatan pengadukan 200 - 600 rpm menghasilkan konversi 12,78% untuk 200 rpm dan 60,92% untuk 600 rpm.

3.4. Uji Pengaruh Penambahan zeolit alam Pada Reaksi Kimia

Berdasarkan data konversi asam asetat yang diperoleh, dapat dilihat pada Gambar 5, reaksi tanpa katalis konversi yang dihasilkan pada menit ke-90 sebesar 18,85%, dan dengan katalis zeolit tanpa aktivasi pada menit ke-90 dihasilkan 22,19%. Ketika dimasukan katalis zeolite alam Lampung yang telah teraktivasi asam klorida HCl 1 N, diperoleh konversi sebesar 27%.



Gambar 5. Penambahan Katalisator pada Ukuran katalisator 50 mesh, kecepatan pengadukan 700 rpm, dan suhu reaksi 110°C

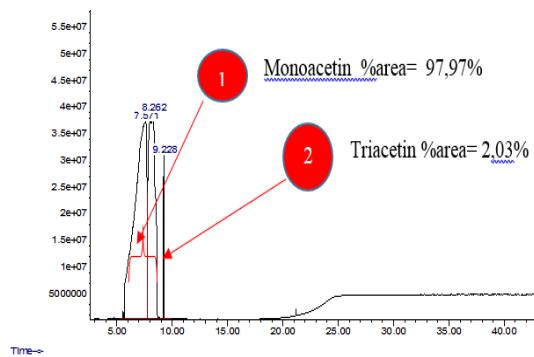
Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses aktivasi yang dilakukan berdampak positif terhadap kinerja katalisator zeolit alam Lampung. Kenaikan konversi asam asetat tersebut kemungkinan dampak dari hilangnya pengotor yang menutupi pori-pori katalis, serta semakin meningkatnya kekuatan asam dari situs aktif yang terdapat dalam zeolit. Pengukuran TPD ammonia yang yang dilakukan oleh Nuryoto dkk. (2017) memperlihatkan bahwa zeolit alam tanpa aktivasi menghasilkan satu puncak saja yaitu pada suhu 213,2°C, sedangkan pada zeolit yang dilakukan pengasaman terdapat dua puncak, yaitu puncak pertama muncul pada suhu 209,9°C dan puncak kedua muncul pada suhu 501,5°C.

Suhu tersebutnya (209,9°C dan 501,5°C) mengindikasikan bahwa kekuatan asam pada zeolit alam dengan dengan aktivasi mempunyai kekuatan asam yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit alam tanpa pengasaman (Sang dkk., 2004), yang akan mempengaruhi daya protonasi katalis tersebut, yaitu akan semakin besar dan mampu memicu terjadinya reaksi menjadi lebih maksimal (Triantafillidis dan Evmiridis (1999); Greatbanks dkk. (1996)). Sedangkan hasil pengukuran BET pada penelitian Nuryoto dkk. (2016) menunjukkan banyak pori-pori zeolit yang awalnya tertutup menjadi terbuka, dan ketika dilakukan uji kemampuan tukar kation (KTK) ternyata pada zeolit yang telah diaktifasi mempunyai angka yang lebih besar dibandingkan zeolit tanpa aktivasi.

Hasil penelitian ini mempunyai fenomena yang mirip dengan penelitian yang dilakukan oleh Ariyadi dan Ginting (2017) dengan

konversi reaktan (gliserol) tanpa katalis sebesar 2,8%, dan ketika ditambahkan katalis zeolit alam Lampung (ZAL) tanpa aktivasi hanya diperoleh 5,7%. Pada saat ditambahkan katalis ZAL teraktivasi asam sulfat, diperoleh konversi akhirnya sebesar 11,7%.

3.5. Selektivitas Triacetin



Gambar 6. Hasil Pengujian GC MS

Pengujian selektivitas dilakukan pada ukuran katalis 50 mesh, kecepatan pengadukan 700 rpm, dan suhu reaksi 110°C yaitu pada konversi asam asetat sebesar 27%. Hasil pengukuran sampel menggunakan Gas Cromatography Microscanning (GC MS), luas dalam bentuk persentase menunjukkan bahwa area pada peak No.1 yang menunjukkan luas area *monoacetin*, dan No.2 menunjukkan area *triacetin* yaitu masing-masing 97,97% dan 2,03%. Jadi luas total adalah 100%. Dengan luas dari hasil pengukuran *triacetin* dibagi luas totalnya dan dikalikan dengan 100%, maka akan diperoleh selektivitas produk *triacetin* adalah 2,03% dan *monoacetin* sebesar 97,97% (lihat Gambar 6).

Hasil tersebut memberikan informasi bahwa *monoacetin* tidak dapat bereaksi lebih lanjut dengan asam asetat menjadi *diacetin* guna membentuk *triacetin*. Kejadian ini dimungkin karena ukuran diameter pori dan luas permukaan spesifik katalis yang kurang besar, sehingga ketika gliserol berinteraksi dengan asam asetat membentuk *monoasetin*, difusi asam asetat ke sisi aktif katalis untuk bereaksi lebih lanjut menjadi *diacetin*, dan *triacetin* terhambat karena pori-pori telah dipenuhi oleh molekul *monoasetin* serta luas permukaan kontak katalis yang terlalu kecil. Padahal untuk berubah menjadi *diacetin* dan *triacetin* butuh molekul asam asetat tambahan yang bersumber dari badan cairan. Dugaan

tersebut didasarkan atas penelitian yang dilakukan oleh Liu dkk. (2019) yang menggunakan katalis zeolit sintetis ZSM-5 termodifikasi dengan ukuran pori dan luas permukaan spesifik yang lebih besar dibandingkan ukuran zeolit alam secara umum yang hanya berkisar kurang lebih 3 Å untuk diameter pori dan luas permukaan spesifik 178 m²/g (Shadrikov dan Petukhov, 2014).

Katalis ZSM-5 termodifikasi yang digunakan Liu dkk. (2019) berukuran masing-masing 28,5 Å untuk diameter pori dan luas permukaan spesifik 500 m²/g yang mana mampu menghasilkan *triacetin* sebesar 81,9%, *monoacetin* 0,20% dan *diacetin* 17,9%. Tetapi dugaan ini tentunya masih perlu divalidasi dengan cara memperbesar ukuran diameter pori-pori dan luas permukaan katalis zeolit alam Lampung dengan cara peningkatan kadar aktivasi konsentrasi HCl yang diberikan. Dengan demikian proses dealuminasi akan meningkat dan terjadi perubahan struktur dari zeolite itu sendiri.

4. KESIMPULAN

Hasil pengamatan dari penggunaan katalis zeolit alam Lampung yang telah diaktifasi dengan menggunakan HCl 1 N dan dengan mengkolaborasikan dengan faktor-faktor berpengaruh seperti suhu reaksi, kecepatan pengadukan, dan ukuran katalis menunjukkan peningkatan performa zeolit alam Lampung dan berdampak positif terhadap laju reaksi antara gliserol dan asam asetat dengan konversi asam asetat yang dihasilkan jauh lebih besar dibandingkan penelitian pendahulunya pada reaksi dan katalis yang sama yaitu 11,7% (Ariyadi dan Ginting, 2017) dan pada penelitian ini mampu mencapai 27% dengan perbandingan pereaksi yang jauh lebih kecil. Tetapi masih jika dilihat dari produk *triacetin* yang dihasilkan hanya 2,03%, zeolit alam Lampung masih perlu dilakukan observasi lebih lanjut guna meningkatkan lagi performanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aktawan, A., & Mufrodi, Z. (2016), Pembuatan Bioauditif Triacetin Dengan Katalis Padat Silica Alumina, *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5(2), 101-109.
 Ali, A., Abida, K., & Jindal, R. (2021), Glycerol Esterification for Triacetin Production using Fe3O4@ SiO2@ PO43-as Heterogeneous Magnetic Catalyst.

- Ariyadi, A., & Ginting, S. B. (2017), Penentuan Konsentrasi Aktivator Asam Sulfat Terbaik pada Pretreatment Zeolit Alam Lampung (Zal) sebagai Katalisator untuk Reaksi Esterifikasi Gliserol dan Asam Asetat Menjadi Triacetin, *Inovasi Pembangunan: Jurnal Kelitbangan*, 5(02), 112-120.
- EBKE (2019), FAQ : Program Mandatori Biodiesel 30%(B30),
https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/12/19/2434/f_aq.program.mandatori.biodiesel.30.b30
- Faria, R. P., Pereira, C. S., Silva, V. M., Loureiro, J. M., & Rodrigues, A. E. (2013), Glycerol valorization as biofuel: thermodynamic and kinetic study of the acetalization of glycerol with acetaldehyde. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(4), 1538-1547.
- Fogler, H. S. (2006), Elements of Chemical Reaction Engineering, 4th ed. Ann Arbor: University of Michigan
- Gangadwala, J., Mankar, S., and Mahajani, S. (2003), Esterification of Acetic Acid with Butanol in the Presence of Ion-Exchange Resins as Catalysts, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42, 2146-2155.
- Greatbanks, S., Hillier, I.H., and Sherwood, P., (1996), Comparison of Embedded Cluster Models to Study Zeolite Catalysis: Proton Transfer Reactions in Acidic Chabazite, *Journal of Computational Chemistry*, 18(4), pp. 562-568.
- Hamzah, D., Rinaldi, T., Marwan, M., & Rinaldi, W. (2019), Synthesis of Triacetin Catalyzed by Activated Natural Zeolite Under Microwave Irradiation, *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 8(1), 01-07.
- Kale, S., Armbruster, U., Umbarkar, S., Dongare, M., & Martin, A. (2013), Esterification of glycerol with acetic acid for improved production of triacetin using toluene as an entrainer, *STA*, 11(206), 274-5.
- Khayoon M.S., and Hameed B.H. (2013), Solventless acetalization of glycerol with acetone to fuel oxygenates over Ni-Zr supported on mesoporous activated carbon catalyst, *Journal of Catalysis, Applied Catalysis A: General* 464–465 (2013) 191–199.
- Lacerda, C. V., Carvalho, M. J., Ratton, A. R., Soares, I. P., & Borges, L. E. (2015), Synthesis of triacetin and evaluation on motor, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 26, 1625-1631.
- Liu, J., Wang, Z., Sun, Y., Jian, R., Jian, P., & Wang, D. (2019), Selective synthesis of triacetin from glycerol catalyzed by HZSM-5/MCM-41 micro/mesoporous molecular sieve, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27(5), 1073-1078.
- Manurung, R., Anggreawan, M. D., & Siregar, A. G. (2020), Triacetin production using SiO₂-H₃PO₄ catalysts derived from bamboo leaf biomass waste for esterification reactions of glycerol and acetic acid, In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 801, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.
- Mufrodi, Z., Sutijan, R., & Budiman, A. (2012), Chemical kinetics for synthesis of triacetin from biodiesel byproduct, *International Journal of Chemistry*, 4(2), 101.
- Nanda M.R., Yuan Z., Qin W., Ghaziaskar H.S., Poirier M.A., and Xu C.C. (2014), Thermodynamic and kinetic studies of a catalytic process to convert glycerol into solketal as an oxygenated fuel additive, *Journal of Fuel* 117, Elsevier, pp. 470-477.
- Nindya, C. C. S., Anggara, D. R., & Teguh, K. (2020), Esterification glycerol (by product in biodiesel production) with oleic acid using mordenite natural zeolite as catalyst: study of reaction temperature and catalyst loading effect, In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 909, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
- Nuraeni, N., Yun, Y. F., & Agustini, D. M. (2019), Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Karbon Aktif dan Pembuatan Triasetin dengan Katalis Asam Nitrat, *Jurnal Kartika Kimia*, 2(1), 17-22.
- Nuryoto, N., & Hartono, R. (2018). Uji coba zeolit alam Bayah Sebagai katalisator Pada Reaksi Esterifikasi antara gliserol dan asam Asetat. *JURNAL INTEGRASI PROSES*, 7(2), 67-73.
- Nuryoto, N., Sulistyo, H., Sediawan, W. B., & Perdana, I. (2016), MODIFIKASI ZEOLIT ALAM MORDENIT SEBAGAI KATALISATOR KETALISASI DAN ESTERIFIKASI, *Reaktor*, 16(2), 72-80.
- Nuryoto, N., Sulistyo, H., Sediawan, W. B., & Perdana, I. (2017). Peningkatan Unjuk Kerja Katalisator Zeolit Alam Bayah pada Reaksi Ketalisasi Gliserol. *Reaktor*, 17(1), 9-16.
- Ozorio, L. P., Pianzolli, R., Mota, M. B. S., & Mota, C. J. (2012), Reactivity of glycerol/acetone ketal (solketal) and

- glycerol/formaldehyde acetals toward acid-catalyzed hydrolysis. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23, 931-937.
- Prayitno, Kismolo E., and Nurimaniwathy (2006), Kajian Pemanfaatan Zeolit Alam Pada Reduksi Kadar Pb dan Cd dalam Limbah Cair, Prosiding PPI - PDIPTN , Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN
- Quispe C.A.G, Coronado C.J.R., Carvalho Jr. J.A. (2013), Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsivier: 473-493.
- Rachmania I. (2021), Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia: Produksi Biodiesel pada 2020 Lebih dari 11,62 Miliar Liter, <https://www.aprobi.or.id/id/asosiasi-produsen-biofuel-indonesia-produksi-biodiesel-pada-2020-lebih-dari-1162-miliar-liter/>.
- Ramadhan, A. D., Carolina, N., Nuryoto, N., & Kurniawan, T. (2019). The use of natural zeolite as a catalyst for esterification reaction between glycerol and oleic acid. *Reaktor*, 19(4), 172-179.
- Rizaty M., A. (2021), Produksi Biodiesel Global Capai 48,3 Miliar Liter pada 2021, <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/12/03/produksi-biodiesel-global-capai-483-miliar-liter-pada-2021>
- Sang, S., Chang, F., Liu, Z., He, C., He, Y., and Xu,L., (2004), Difference of ZSM-5 zeolites synthesized
- Sari, N., Helwani, Z., & Rionaldo, H. (2015), Esterifikasi gliserol dari produk samping biodiesel menjadi triasetin menggunakan katalis zeolit alam, *JOM F TEKNIK* Volume 2 No. 1 Februari 2015, 1-7
- Setyaningsih, L., Ali, I. A., Chafidz, A., Septiyan, S., & Eka, P. A. (2020), Triacetin Production by Selective Esterification of Glycerol over Activated Zeolite and Lewatite as Catalyst, In *Materials Science Forum* (Vol. 988, pp. 122-127). Trans Tech Publications Ltd.
- Shafiei, A., Rastegari, H., Ghaziaskar, H. S., & Yalpani, M. (2017), Glycerol transesterification with ethyl acetate to synthesize acetins using ethyl acetate as reactant and entrainer, *Biofuel Research Journal*, 4(1), 565-570.
- Shadrikov, A.S. and Petukhov, A.D.,(2014), Natural Zeolite Clinoptilolite Characteristic Determination and Modification, National Technical University of Ukraine - Kyiv Polytechnic Institute, pp 162-167.
- Triantafillidis, C.S. and Evmiridis, N.P., (1999), Performance of ZSM-5 as A Fluid Catalytic CrackingCatalyst Additive: Effect of the Total Number of Acid Sites and Particle Size, *Industrial and Engineering Chemistry Research Journal*, 38, pp. 916-927.
- Yanti, N. R., Heryani H., Putra M.D., and Nugroho Agung (2019), TRIACETIN PRODUCTION FROM GLYCEROL USING HETEROGENEOUS CATALYSTS PREPARED FROM PEAT CLAY, *International Journal of Technology* 10 (5): 970-978.