



JURNAL REKAYASA, TEKNOLOGI PROSES DAN SAINS KIMIA

Received: 10-12-2023

Accepted: 12-12-2023

Published: 22-12-2023

Evaluasi Kuantitas Dan Kualitas Produk Katalis Heterogen Hasil Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Melalui Impregnasi Logam Transisi

New Vita Mey Destty Marbun¹, Poltak Evencus Hutajulu²^{1,2}Prodi Agribisnis Kelapa Sawit, Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan¹vitanew.mdm@ptki.ac.id1

Abstrak

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) menjadi minyak sawit kasar (Crude Palm Oil) yang jumlahnya cukup besar yakni mencapai 30-35% dari total Tandan Buah Segar. Jumlah yang besar ini menjadi potensi yang dapat dimanfaatkan apabila dapat dikelola dengan baik. Salah satu pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit ini adalah sebagai katalis padatan yang fungsinya dalam mengkatalisasi proses esterifikasi. Katalis dari tandan kosong ini merupakan katalis asam padatan yang disintesis melalui metode impregnasi langsung dengan unsur logam transisi Mn. Proses pembuatan katalis melalui tahapan pretreatment, impregnasi dan kalsinasi. Fungsi katalis diuji dalam proses esterifikasi minyak dengan nilai asam lemak bebas tinggi. Hasil evaluasi kuantitas berupa rendemen (yield) katalis yang dihasilkan serta kualitas berupa kinerja katalis dalam menurunkan kadar asam lemak bebas dievaluasi untuk dua variasi pretreatment, yakni pretreatment 1 dengan NaOH serta pretreatment 2 dengan dengan NaOH dan Na₂S. Rendemen (yield) tertinggi diperoleh pada proses pretreatment dengan NaOH dengan jumlah rata-rata 234,65 % terhadap berat bahan baku TKKS kering sebelum impregnasi. Dan untuk hasil evaluasi kualitas diperoleh bahwa katalis pretreatment dengan NaOH dapat menurunkan asam lemak bebas dengan persentasi tertinggi yakni sebesar 83,87 %.

Kata Kunci: Tandan Kosong Kelapa Sawit, Katalis, Impregnasi, Pretreatment, Logam Transisi Mn

Abstract

Oil Palm Empty Fruit Bunches (EFB) are solid wastes produced from the processing of Fresh Fruit Bunches (FFB) into crude palm oil, which has a large quantity, reaching 30-35% of the total Fresh Fruit Bunches. This large quantity represents a potential benefit with proper utilization. One of the uses of Oil Palm Empty Fruit Bunches is as a solid catalyst which functions to catalyze the esterification process. Oil Palm Empty Fruit Bunches catalyst is a solid acid catalyst synthesized through a direct impregnation method with the transition metal Mn. The synthesis of catalyst goes through several stages i.e.: pretreatment, impregnation and calcination. The performance of catalyst was tested in the esterification process of palm oil with high free fatty acid values. The quantity evaluation of solid acid catalyst from Oil Palm Empty Fruit Bunches was carried out in the form of yield of the catalyst produced and the quality evaluation was carried out in the form of catalyst performance in reducing free fatty acid levels. The evaluation was carried out for two variations of pretreatment, namely pretreatment 1 (pretreatment using NaOH) and pretreatment 2 (pretreatment using NaOH and Na₂S). The highest yield was obtained from the pretreatment process with NaOH with an average amount of 234.65% of the weight of dry EFB raw material before impregnation. And for the quality evaluation results, it was found that the pretreatment catalyst with NaOH could reduce free fatty acids with the highest percentage, namely 83.87%.

Keywords: Oil Palm Empty Fruit Bunches, catalyst, Impregnation, Pretreatment, Transition Metal Mn

I. PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas unggulan Indonesia. Perkembangan kelapa sawit di Indonesia memiliki prospek positif, terutama terkait dengan nilai tambah dan daya saing. Namun, perkembangan industri kelapa sawit adalah juga menghadapi berbagai masalah terkait masalah teknologi, ekonomi, sosial, lingkungan, dan regulasi yang semakin kompleks. Pengembangan kelapa sawit yang berkelanjutan (sustainable) dapat dicapai jika tidak mengganggu daya saing produk kelapa sawit Indonesia di pasar dunia.

Salah satu prinsip dalam sustainable development yang menjadi isu sehingga menjadi tantangan bagi industri kelapa sawit adalah aspek lingkungan. Dari proses pengolahan kelapa sawit menjadi Crude Palm Oil (CPO) dihasilkan limbah padat berupa tandan kosong (Empty Fruit Bunches) yang pemanfaatannya belum dilakukan secara optimal. Jumlah EFB cukup besar mencapai mencapai 30-35% dari berat TBS. Dari satu ton tandan buah segar (TBS) yang diolah akan dihasilkan minyak sawit kasar (CPO) sebanyak 21% serta minyak inti sawit (PKO) sebanyak 5% dan sisanya merupakan limbah padat yakni tandan kosong, serat, dan cangkang yang jumlahnya masing-masing 23%, 13,5%, dan 5,5% dari tandan buah segar. Jumlah ini menjadi potensi yang dapat dimanfaatkan meskipun untuk saat ini pemanfaatannya belum optimal. Limbah padat serat dan cangkang umumnya telah dimanfaatkan oleh pabrik sebagai bahan bakar boiler, sehingga yang masih menjadi tantangan adalah bagaimana mengolah tandan kosong agar tidak menjadi beban bagi lingkungan. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) mengandung komponen-komponen yang sebagian besar potensial untuk dimanfaatkan. Kandungannya diantaranya selulosa, hemiselulosa, lignin, nitrogen, abu, serta bahan organik yang mengandung unsur hara N, P, K, dan Mg. Sarwono (2008) menyebutkan bahwa dalam setiap ton tandan kosong kelapa sawit mengandung hara N 1,5%, P 0,5%, K 7,3%, dan Mg 0,9%. Dengan demikian potensial digunakan sebagai substitusi pupuk bagi Perkebunan kelapa sawit.

TKKS telah digunakan sebagai bahan baku pembuatan katalis padatan dimana katalis ini dapat diterapkan pada industri biodiesel. Katalis asam padatan ataupun katalis heterogen ini berfungsi untuk mengkatalisasi proses esterifikasi misalnya dalam menghasilkan biodiesel dari minyak goreng bekas. Katalis asam padatan dapat dibuat dengan metode impregnasi langsung dengan berbagai unsur logam transisi. Katalis asam padatan dapat menggantikan fungsi katalis asam cair yang diketahui memiliki beberapa keterbatasan.

Logam golongan transisi diketahui memiliki banyak aktifitas katalitik yang bermanfaat dalam pengelolaan lingkungan, seperti misalnya pengurangan pencemaran udara gas metan dan gas karbon monoksida. Luas permukaan merupakan salah satu faktor penting dalam reaksi katalitik. Penggunaan katalis logam transisi secara luas akan memerlukan banyak dana, terutama untuk luas permukaan yang besar. Oleh karena itu penelitian saat ini banyak dilakukan untuk mengefektifkan reaksi katalitik logam transisi tersebut dengan cara memperluas bidang reaksi (sisi aktif) dengan cara deposisi pada berbagai jenis support berpori.

Metode pembuatan katalis sangat beragam dan masing-masing katalis dapat dihasilkan melalui urutan dan proses yang berbeda. Katalis berbasis logam dan oksida yang umum disintesis dengan tahapan proses absorpsi, pengeringan, kalsinasi, dan aktivasi. Aktivitas dan selektivitas suatu katalis sangat bergantung pada metode preparasi dan karakteristik dari support. Metode preparasi terdiri atas 4 macam yaitu metode impregnasi, pertukaran ion, copresipitasi, dan deposisi. Dua metode yang paling umum digunakan adalah impregnasi dan pertukaran ion, dimana kedua metode ini digunakan untuk mendapatkan katalis bimetal. Prinsip dasar metode impregnasi adalah dengan memasukan katalis logam secara paksa ke dalam pori-pori support. Sedangkan metode pertukaran ion terjadi pertukaran ion-ion yang terdapat pada situs aktif support dengan katalis logam. Salah satu metode yang banyak dilakukan dalam preparasi katalis adalah metode impregnasi, dikarenakan proses sintesis lebih praktis, keberhasilan proses lebih besar, dan menghasilkan limbah yang sedikit.

Pada dasarnya prinsip sintesis katalis heterogen dengan deposisi atau pendispersian logam aktif pada material support yang mempunyai luas permukaan yang tinggi. Tujuan penggunaan support adalah untuk mendapatkan penyebaran material katalis yang optimum sehingga luas permukaan reaksi lebih besar. Cara ini dapat menghasilkan katalis dengan efisiensi yang tinggi, luas permukaan spesifik logam maksimum, menaikkan stabilitas termal sehingga waktu hidup katalis menjadi lebih lama, dan menghasilkan katalis yang mudah diregenerasi. Tetapi pada beberapa reaksi katalitik, support diharapkan dapat memiliki aktifitas katalitik sehingga baik support maupun logam aktif dapat mempercepat reaksi (Richardson, 1989).

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang telah mempelajari bagaimana pembuatan katalis dari TKKS. Koguleshun (2015) melaporkan tentang pembuatan dan karakterisasi katalis baru yang dibuat dari TKKS. Hasil analisa karakterisasi menunjukkan bahwa katalis asam padatan berhasil diproduksi dari TKKS melalui impregnasi langsung dengan sulfide logam transisi $Fe_2(SO_4)_3$ dan percobaan menunjukkan katalis ini efektif dalam mengkonversi asam lemak bebas menjadi ester sebelum reaksi transesterifikasi untuk memproduksi biodiesel. Katalis baru ini digunakan untuk mengkatalisis proses esterifikasi minyak dengan kadar asam lemak bebas yang tinggi, seperti minyak goreng bekas, sebagai langkah perlakuan awal (pretreatment) sebelum produksi biodiesel. Aktivitas katalitik tertinggi diperoleh yakni tingkat esterifikasi sebesar 90,95%.

Ibrahim (2017) memodifikasi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi katalis asam heterogen (padat) melalui proses oksidasi dan sulfonasi. Pada proses oksidasi, lignoselulosa diubah menjadi aldehid, kemudian dilanjutkan dengan sulfonasi untuk mengubah gugus karbonil menjadi sulfonat. TKKS dipretreatment terlebih dahulu, kemudian dioksidasi menggunakan sodium periodat (rasio 0,8) pada suhu dan waktu bervariasi (40, 50 dan 600C, selama 3, 6, 9 dan 12 jam) dalam waterbath shaker 150 strokes/min dengan kondisi tanpa cahaya. Selanjutnya dilakukan reaksi oksidasi sebanyak dua tahap diikuti dengan sulfonasi. TKKS tersulfonasi kemudian diaplikasikan untuk mengkatalisis reaksi esterifikasi etil oleat. Suhu dan waktu reaksi oksidasi berpengaruh sangat signifikan ($p < 0,01$) terhadap kandungan gugus karbonil yang terbentuk. Perlakuan pada suhu 50 oC selama 9 jam mampu menghasilkan gugus karbonil $98,34 \pm 1,52 \mu\text{mol/g-sampel}$. Reaksi oksidasi dua tahap mampu meningkatkan gugus karbonil 12,02 % lebih besar daripada reaksi satu tahap. Reaksi sulfonasi pada suhu 45 oC selama 3 jam hanya mampu mengkonversi 27,97 % gugus karbonil menjadi sulfonat dengan kandungan total sulfur $6,30 \pm 0,29$ %. Hal ini berdampak pada kemampuan TKKS tersulfonasi untuk mengkatalisis reaksi esterifikasi etil oleat dengan yield yang masih rendah yaitu $29,12 \pm 5,15$ %.

Husin (2018) meneliti tentang pembuatan nanokatalis padatan yang disintesis dari serat TKKS dan diaplikasikan pada produksi biodiesel. TKKS ini diberi perlakuan dibakar, dihancurkan dan dipanasi untuk menghasilkan abu dalam ukuran nanopartikel. Konversi tertinggi minyak sawit menjadi biodiesel mencapai 97.90% diperoleh dengan menggunakan nanokatalis abu TKKS yang dipanasi pada suhu 600°C, selama 1-3 jam reaksi dan dengan penambahan 1% katalis.

Hidayat (2018) mempelajari tentang pembuatan dan aktivitas katalis padat heterogen dari limbah biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Pada penelitian ini, dipelajari pembuatan katalis padatan dari biochar TKKS untuk reaksi esterifikasi asam lemak bebas sludge minyak sawit (SPO).

Penelitian tentang katalis heterogen berkembang dengan pesat karena memiliki kelebihan yakni dapat dengan mudah dipisahkan untuk dipakai kembali dibandingkan dengan katalis homogen yang banyak digunakan dalam proses produksi biodiesel. TKKS berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan katalis untuk menggantikan katalis asam cair tradisional dalam proses produksi biodiesel terutama yang menggunakan bahan baku dengan nilai bilangan asam yang tinggi.

Dari penelitian-penelitian sebelumnya, terdapat berbagai metode ataupun kondisi perlakuan yang berbeda terhadap bahan baku TKKA meskipun dengan tujuan yang sama yakni menggunakan TKKS sebagai bahan baku pembuatan katalis heterogen. Terdapat berbagai faktor yang dapat mempengaruhi kinerja katalis yang dihasilkan diantaranya adalah proses pretreatment TKKS, kondisi reaksi impregnasi, serta proses kalsinasi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis ingin melakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh pretreatment yang dilakukan pada TKKS terhadap yield/rendemen, serta bagaimana kualitas katalis yang dihasilkan dalam kinerjanya dalam proses esterifikasi.

2. METODE PENELITIAN

Penggunaan air dengan kesadahan sementara dalam industri pangan, maka garam kalsium dan Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang akan dimanfaatkan dalam pembuatan katalis padatan terlebih dahulu dicuci dan dicacah. TKKS diurai, disobek-sobek menjadi ukuran yang lebih kecil dengan menggunakan pencacah. TKKS yang sudah berukuran kecil dicuci dengan aquadest dan kemudian dikeringkan di ruang terbuka di bawah sinar matahari.

TKKS dihaluskan sampai ukuran sekecil mungkin dan dikeringkan. Selanjutnya untuk proses pretreatment 1 (dengan NaOH) dan pretreatment 2 (dengan NaOH+Na₂S). Disiapkan larutan 100 ml NaOH 20% dipanaskan suhu 500C. Larutan Na₂S 5% sebanyak 150 ml ditambahkan ke dalam NaOH dipanaskan hingga suhunya 60-700C. Lalu sebanyak 10 gram TKKS ditambahkan ke dalam campuran larutan dan dimasak selama ± 3 jam pada hotplate stirrer dengan suhu konstan 1000C. Setelah 3 jam pemanasan dihentikan, dan hasil pretreatment dicuci dengan aquadest panas dengan pompa vakum.

Pembuatan Katalis dimulai dengan menyiapkan larutan impregnasi dengan melarutkan MnSO₄ dengan aquadest (30% wt). TKKS yang telah kering diimpregnasi dengan MnSO₄ selama 1 jam pada suhu ruangan menggunakan hot plate stirrer. TKKS hasil impregnasi kemudian dituang ke dalam Cawan porcelain dan dilanjutkan dengan proses kalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam sehingga diperoleh katalis TKKS. Katalis TKKS hasil kalsinasi kemudian digerus untuk menghaluskan ukurannya.

Untuk menguji fungsi katalis, katalis digunakan pada proses esterifikasi minyak sawit yang mengandung asam lemak bebas tinggi. Kadar asam lemak bebas minyak sawit dihitung:

$$Kadar\ ALB = \frac{25,6 \times N \times Vt}{BS}$$

N = Normalitas KOH yang telah distandarisasi

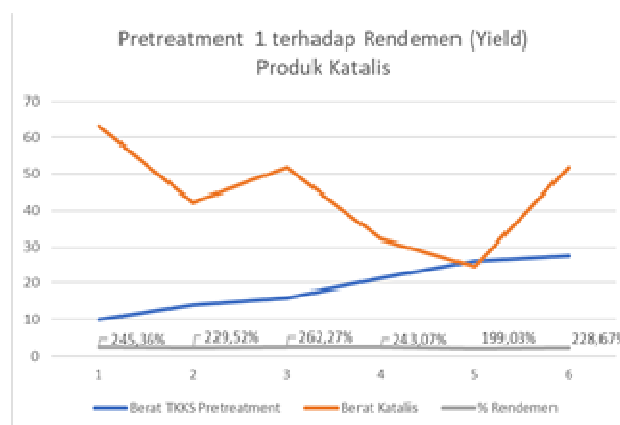
Vt = Volume KOH yang digunakan pada saat titrasi (ml)

BS = Berat Sampel (gram)

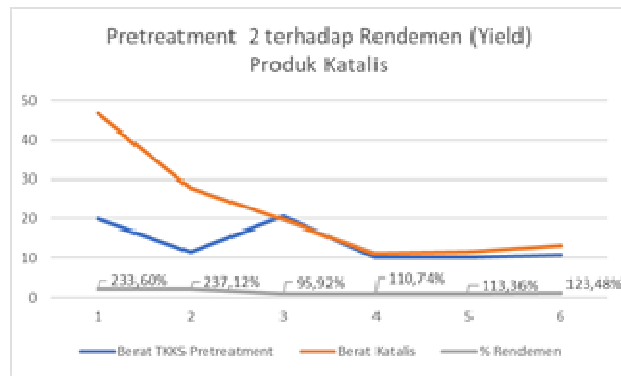
Katalis TKKS digunakan dalam proses esterifikasi minyak sawit. Jumlah katalis yang digunakan adalah 5% dari total CPO dan methanol. Sedangkan rasio CPO : Metanol yang digunakan adalah 1 : 20. Minyak hasil esterifikasi selanjutnya didestilasi untuk menghilangkan methanol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi terhadap produk katalis padatan (heterogen) hasil sintesis limbah biomassa TKKS dari pabrik kelapa sawit menggunakan metode impregnasi langsung menggunakan logam golongan transisi yakni Mn, dilakukan dalam dua aspek yakni kuantitas dan kualitasnya. Evaluasi kuantitas berupa evaluasi terhadap rendemen (yield) katalis yang dihasilkan serta evaluasi kualitas berupa evaluasi terhadap kinerja katalis dalam menurunkan kadar asam lemak bebas. Untuk tahapan proses pembuatan katalis sama mulai dari persiapan, pretreatment, impregnasi dan kalsinasi, serta penggunaan katalis dalam esterifikasi. Yang membedakan adalah pada proses pretreatment. Pretreatment dilakukan dalam dua variasi yakni pretreatment 1 menggunakan NaOH, pretreatment 2 dengan menggunakan NaOH+Na₂S.



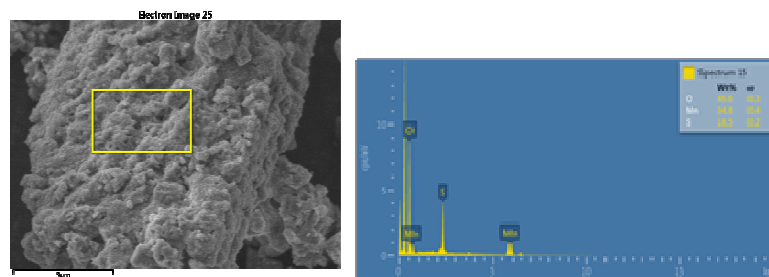
Gambar 1. Rendemen (Yield) Katalis Heterogen Hasil Pretreatment 1



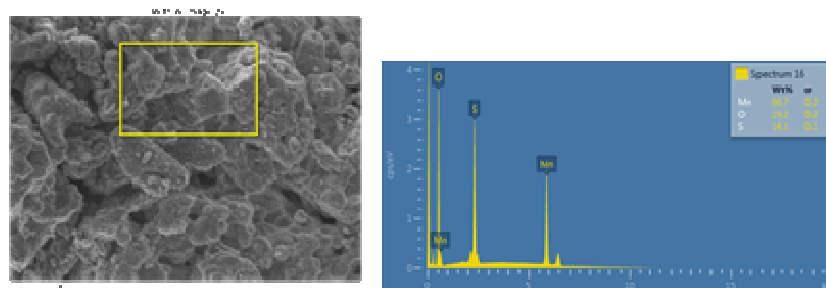
Gambar 2. Rendemen (Yield) Katalis Padatan Hasil Pretreatment 2

Dari Gambar 1 dan Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa kondisi pretreatment berpengaruh terhadap yield/rendemen katalis padatan yang dihasilkan dari pengolahan tandan kosong kelapa sawit. Pada pretreatment 1 dengan NaOH diperoleh rendemen katalis sebesar rata-rata 234,65 % terhadap berat bahan baku TKKS kering sebelum impregnasi. Sementara untuk pretreatment dengan proses pemasakan NaOH+Na₂S diperoleh rendemen katalis sebesar rata-rata 152,37 % terhadap berat bahan baku TKKS kering sebelum impregnasi.

Dengan analisis menggunakan SEM-EDX diketahui morfologi permukaan katalis yang melalui pretreatment 1 seperti disajikan pada Gambar 3 dan katalis yang melalui pretreatment 2 disajikan pada Gambar 4. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Kimia Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan atas dukungan finansial atas penelitian ini



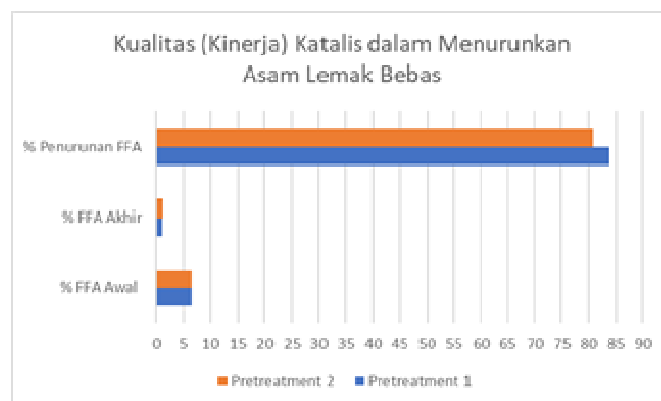
Gambar 3. Morfologi Katalis Pretreatment 1 dengan Analisa SEM-EDX



Gambar 4. Morfologi Katalis Pretreatment 2 dengan Analisa SEM-EDX

Kondisi pretreatment berpengaruh terhadap karakteristik katalis padatan yang dihasilkan dari TKKS. Morfologi katalis padatan (katalis heterogen) yang dihasilkan dari pretreatment 1 berbeda dengan yang dihasilkan dari proses pretreatment 2, terlihat dari imaging pada hasil pengujian SEM-EDX. Perbedaan juga terdapat pada komposisi unsur masing-masing katalis. Impregnasi grup sulfur ke permukaan TKKS untuk pretreatment 1 sebesar 18,5 % sementara Mn yang berhasil mengisi pori TKKS sebesar 34,8 %. Untuk katalis pretreatment 2 Mn yang berhasil mengisi pori TKKS sebesar 66,7 % sementara grup Sulfur 14,1 %.

Evaluasi kualitas yakni evaluasi terhadap kinerja katalis padatan dalam menurunkan asam lemak bebas ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kinerja Katalis dalam menurunkan Asam Lemak Bebas

Dari Gambar 5 terlihat bahwa untuk katalis hasil pretreatment 1 berhasil menurunkan kadar asam lemak bebas pada minyak dengan persentase yang lebih tinggi dibandingkan katalis dengan pretreatment 2. Rata-rata persentase penurunan kadar asam lemak bebas dengan pretreatment 1 sebesar 83,87 %, sementara untuk katalis dengan pretreatment 2 rata-rata persentase penurunan kadar asam lemak bebas sebesar 80,80 %.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, limbah tandan kosong kelapa sawit telah berhasil dimanfaatkan menjadi produk katalis padatan ataupun katalis heterogen yang dapat digunakan dalam proses esterifikasi minyak dengan kandungan asam lemak bebas tinggi.

Hasil evaluasi kuantitas menunjukkan bahwa rendemen (yield) katalis yang dihasilkan dari pretreatment 1 dengan NaOH adalah sebesar 234,65 % atau lebih besar dibandingkan rendemen (yield) katalis yang dihasilkan melalui pretreatment 2 yang hanya mencapai rata-rata 152,37 %. Demikian juga hasil evaluasi kualitas menunjukkan keberhasilan katalis dalam menurunkan asam lemak bebas untuk katalis dari pretreatment 1 dapat menurunkan asam lemak bebas sebesar 83,87 % sementara katalis dari pretreatment 2 dapat menurunkan asam lemak bebas sebesar 80,80 %.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisa lebih lengkap terhadap karakteristik katalis yang dihasilkan. Selain itu penelitian juga dapat dilanjutkan dengan mengembangkan eksperimen pada variasi kondisi proses impregnasi dan kalsinasi untuk mendapatkan kondisi optimum dalam sintesis katalis.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmada, Norhidayah, Naimah Ibrahim, Umi Fazara Md. Ali, Sara Yasina Yusuf, Fahmi Muhammad Ridwan. 2016. Carbon-supported CuO Catalyst Prepared from Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) for Low-Temperature No Removal. *Procedia Engineering* No. 148 Pg. 823 – 829.

Bambang Aria Wisena, Arief Daryanto, Bustanul Arifin, and Rina Oktavian, Sustainable Development Strategy for Improving the Competitiveness of Oil Palm Industry *International Research Journal of Business Studies*, Vol. 7 No. 1 2014.

Blackburn WR. *The Sustainability Handbook, The Complete management Guide to Achieving Social, Economic and Environmental Responsibility.* (2007) (e-book). Earthscan. Washington DC. USA.

Chen, C., Li, T., Cheng, S. Lin, H. (2001). Direct impregnation method for preparing sulfated zirconia supported on mesoporous silica. *Microporous and Mesoporous Material*, 50, 201-208

G.Ertl, H. Knozinger, (1997), *Handbook of Heterogeneous Catalysis Vol 1*, Wiley.

Husin, H, T. M. Asnawi, A. Firdaus, H. Husaini, I. Ibrahim, dan F. Hasfita. 2018. Solid Catalyst Nanoparticles derived from Oil-Palm Empty Fruit Bunches (OP-EFB) as a Renewable Catalyst for Biodiesel Production. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 358, 012008.

Hidayat, Arif, Muflih A. Adnan, Diana. 2018. Free Fatty Acid Removal on Sludge of Palm Oil using Heterogeneous Solid Catalyst Derived from Palm Empty Fruit Bunch. *International Journal of Renewable Energy Research*. Vol. 8, No.2.

J.T. Richardson, (1989), *Principle of Catalysts Development*, Plenum Press.

Ketaren, S., 1986. *Pengantar Minyak dan Lemak Pangan*. Universitas Indonesia Press, Jakarta.

Manggabarani. A. (2010). *Memaknai Sebuah Anugrah: Sumbangsih Kelapa Sawit Indonesia bagi Dunia*. Ditjenbun, Department of Agriculture of Republic of Indonesia.

Raidah, Ariyanti. (2012). Pengaruh Garam Prekursor Terhadap Aktivitas Katalis CuO/ γ -Al₂O₃ Yang Digunakan Dalam Reaksi Hidrogenasi Minyak Jarak. Universitas Indonesia. Skripsi

Sarwono, E. (2008). Pemanfaatan Janjang Kosong Kelapa Sebagai Substitusi Pupuk Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal APLIKA*, 8 (1) : 19-23.

Shamala Gowri, Krishnan, Fei-ling, Pua, Kumaran Palanisamy, Sharifah Nabihah Syed Jaafar, Koguleshun Subramaniam. Oil Palm Empty Fruit Bunches Fiber-Supported Heterogeneous Acid Catalyst for Esterification of Oleic Acid: Effect of Different Transition Metal Sulfate. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.35) (2018) 870-875.

S. Koguleshun, Pua Fei Ling, S. Nabihah, Chin Hua Chia & Shamala G. 2015. Synthesis of Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) Derived Solid Acid Catalyst for Esterification of Waste Cooking Oils. *Sains Malaysiana* 44(11): 1573–1577.

Teuku Miftah Ibrahim, Chusnul Hidayat*, Umar Santoso. 2017. Oksidasi dan Sulfonasi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Katalis Asam Heterogen. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* Vol. 12, No. 2, Hlm. 77 – 86.

WORLD GROWTH. 2011. The Economic Benefit of Palm Oil to Indonesia. Palm Oil Green Campaign. Info Sawit. Mitra Media Nusantara. Jakarta.12(33): 1-3.

Perego, Carlo and Pierluigi Villa. Catalyst preparation methods. Catalysis Today 34 (1997) 281-305. Elsevier Science