Pembuatan *Biofuel* dengan Proses Perengkahan dari *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) Menggunakan Katalis CaO

Daniatus Syahr Hajj[1], Dinda Aprilia RP[2], dan Agus Budianto[3]
Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2,3]
e-mail: budichemical@itats.ac.id[3], daniasyahrhajj@gmail.com

ABSTRACT

It is inevitable that dependence on fossil fuels is increasing every day. While fossil fuels cannot be renewed. This condition drives us on finding alternative renewable fuels that are also more eco- friendly. Biofuel is one of the right solutions for this condition. Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) is a by-product of palm oil processing, which can be converted into fuel, so that it can be utilized. In addition, the availability of PFAD is abundant, the price is quite cheap, and also its use does not compete with materials for food such as palm oil. So that PFAD has high potential to be used as raw material in making biofuels. This research uses PFAD as raw material, using CaO catalyst. The purpose of this research is to study the effect of temperature and weight of catalyst on yield, and selectivity of the resulting biofuel product. The temperature used is (300, 350, 400, 450 ^oC with the weight of catalyst (2, 3, 4 and 5) grams. This research was conducted by catalytic cracking process in a fixed bed reactor and the composition will be analyzed using GC-MS. Based on the results of the analysis, it was found that the highest yield was 27,59% by 400^oC reaction temperature and with 4 gram catalyst. The highest selectivity was biodiesel as much as 84,72% by 400^oC reaction temperature and with 4 gram catalyst.

***Keyword**: Biofuel, CaO, Catalyst, Cracking, Palm Fatty Acid Distillat*

ABSTRAK

Tak terelakkan bahwa ketergantungan akan bahan bakar fosil kian hari semakin meningkat. Sedangkan bahan bakar fosil tidak dapat diperbaharui. Kondisi ini mendorong untuk menemukan bahan bakar alternatif terbarukan yang juga lebih ramah lingkungan. *Biofuel* merupakan alternatif solusi yang tepat untuk kondisi tersebut. *PFAD* merupakan produk samping dari pengolahan minyak kelapa sawit, yang bisa dikonversi menjadi bahan bakar, sehingga dapat dimanfaatkan. Selain itu, ketersediaan *PFAD* yang melimpah, harga cukup murah, dan juga penggunaannya tidak bersaing dengan bahan untuk pangan seperti kelapa sawit. Sehingga *PFAD* memiliki potensi tinggi untuk dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan *biofuel*. Penelitian ini menggunakan *PFAD* sebagai bahan baku, dengan meggunakan katalis CaO. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh temperatur dan berat katalis CaO terhadap *yield*, dan selektivitas produk *biofuel* yang dihasilkan. Suhu reaksi yang digunakan sebesar (300, 350, 400, 450)^oC dengan berat katalis (2, 3, 4 dan 5) gram. Penelitian ini dilakukan dengan proses perengkahan katalitik dalam sebuah reaktor *fixed bed* dan akan dianalisa komposisinya menggunakan GC-MS. Berdasarkan analisa dapat diketahui bahwa *yield* tertinggi sebesar 27,59% pada suhu reaksi 400^oC dengan berat katalis 4 gram. Selektivitas tertinggi adalah biodiesel sebesar 84,72% pada suhu 400^oC dengan berat katalis 4 gram.

Kata kunci: *Biofuel*, CaO, *Cracking*, *PFAD*

PENDAHULUAN

Perkembangan ekonomi dan meningkatnya pertumbuhan penduduk saat ini mengakibatkan meningkatnya kebutuhan manusia akan energi [1]. Manusia menjadi sangat ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, sementara bahan bakar fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui. Cara yang dapat digunakan untuk mengatasi krisis energi tersebut adalah dengan menciptakan energi alternatif terbarukan. Sumber energi alternatif yang memiliki potensi besar adalah biofuel. Biofuel merupakan bahan bakar dari tumbuhan dan hewani yang terbilang ramah lingkungan [2]. Salah satu bahan baku yang memiliki potensi besar untuk pembuatan biofuel adalah *PFAD*. *PFAD* merupakan produk tambahan dari proses pemurnian minyak sawit [3] yang bisa dikonversi menjadi bahan bakar, sehingga dapat dimanfaatkan. Selain itu ketersediaannya melimpah, harganya pun murah, serta

penggunaannya tidak bersaing dengan bahan untuk pangan seperti kelapa sawit, sehingga *PFAD* bisa menjadi salah satu bahan baku yang baik dan berpotensi tinggi untuk pembuatan biofuel.

Berbagai penelitian dalam proses pembuatan biofuel telah dikembangkan sebelumnya. Penelitian tentang pembuatan biodiesel menggunakan katalis CaO dengan bahan baku minyak sawit *off grade* melalui proses dua tahap [4]. Kondisi proses yang memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield dari* biodiesel adalah rasio mol minyak:metanol, temperatur reaktor, dan interaksi antara temperatur dengan perbandingan mol minyak:methanol, sedangkan konsentrasi katalis tidak memberikan pengaruh penting [4]. Penelitian lainnya mengenai pembuatan biodiesel dengan proses transesterifikasi dari *Crude Palm Oil* (CPO) sebagai bahan bakar alternatif [5]. Penelitian memberi kesimpulan bahwa semakin besar rasio mol metanol : CPO maka *yield* biodiesel semakin banyak, selain itu semakin besar rasio katalis terhadap umpan yang digunakan maka meningkatkan *yield* biodiesel yang dihasilkan [5]. Penelitian lain lagi adalah pembuatan *biofuel* dengan bahan baku *palm stearin* melalui proses perengkahan katalitik. Katalis yang digunakanadalah ZSM-5 menyimpulkan bahwa pada proses perengkahan katalitik *palmstearin,* penggunaan katalis ZSM-5 dengan kalsinasi menghasilkan lebih banyak *liquid product* (*biofuel*) dengan rantai karbon panjang dibandingkan dengan menggunakan katalis tanpa kalsinasi [2].

TINJAUAN PUSTAKA

Biofuel adalah bahan bakar dari tumbuhan dan hewan sebagai subtutisi bahan bakar fosil. Minyak tumbuhan yang digunakan sebagai bahan baku biofuel adalah kemiri [6], minyak sawit [5], [7]–[12], turunan minyak sawit [2], [3], minyak kelapa[13]–[15], minyak bintaro [1], [16], [17], minyak nyamplung [9], [18], [19], minyak kapuk [20]–[23], minyak kedelai [6], [24]–[27] . Bahan baku pembuatan biofuel diperoleh dari alam sehingga sumber energi alternatif ini dapat diperbaharui. Pengolahan Biofuel menggunakan proses perengakahan terutama type katalitik membutuhkan katalis. Katalis yang digunakan untuk perengkahan berbasiskan zeolite alam [28] sangat direkomendasikan karena memproduksi energi tanpa menambah emisi karbon di atmosfer sehingga sumber energi ini aman bagi manusia. Kebanyakan biofuel diproduksi dalam bentuk cair karena penggunaan energi terbanyak dalam bentuk cair misalnya bahan bakar untuk transportasi. Biofuel diproduksi dari berbagai tumbuhan dan dari limbah manusia. Salah satu turunan minyak sawit adalah *PFAD.*

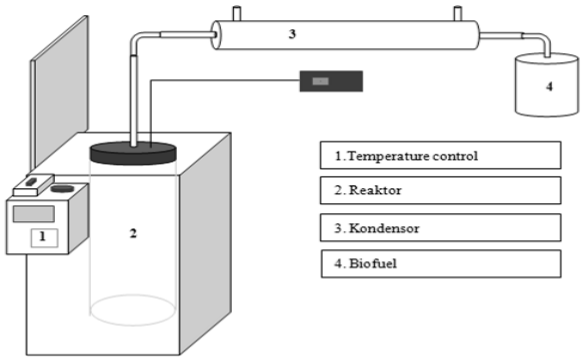
PFAD turunan minyak sawit kasar yang banyak mengandung asam lemak bebas (ALB), yaitu sebesar 80%. Jumlah *PFAD* yang dihasilkan dari proses purifikasi minyak sawit di Indonesia sangat besar dan diprediksikan akan meningkat di tahun-tahun mendatang. *PFAD* dihasilkan dari proses pemurnian fisik (*Physical refining*). Pada proses pemurnian fisik diperoleh 5 persen *PFAD* dari berat minyak sawit. Selama proses pemurnian *PFAD* merupakan *by-product* pada tahap deasidifikasi-deodorisasi yang mengandung beberapa bahan fitokimia [29]. Proses pengolahan *PFAD* menjadi biofuel dapat menggunakan proses perengkahan dengan bantuan katalis. Katalis yang digunakan berupa ZSM-5 dan turunannya [1], [2], [6], [20], [21], [27], [30], calcium oksida [4], [31], magnesium oksida[32], alumina [7], [18], [33]–[35], Y Zeolit [27], katalis komposit [33], [36], [37] dan sodium karbonat[38].

METODE

Penelitian dilakukan secara percobaan dalam reactor fixed bed dengan volume 1,5, liter. PFAD diletakkan didalam reactor dan dipanaskan pada temperature 300 ^{o}C. Reaktor dioperasikan pada tekanan 1 atm. Pada temperature tersebut *PFAD* akan mengalami perubahan fase dan mengalir melalui katalis CaO yang telah diletakkan dibagian atas reactor. *PFAD* mengalami perengkahan menghasilkan campuran produk. Campuran produk mengalir menuju kondensor dan membentuk produk cair. Produk cair yang dihasilkan dianalisa menggunakan GCMS. Suhu operasi reactor selanjutnya diubah sesau varibel temperature 350, 400, 450 ^{o}C. Berat katalis diubah ubah menjadi 2g, 3g, 4g dan 5g. Katalis CaO berasal dari $CaCO_3$ komersil. CaCO3 dikalsinasi pada suhu 900^{o}C selama 5 jam menggunakan *furnace*, setalah itu CaO yang dihasilkan dari kalsinasi tersebut didinginkan didalam desikator. Setelah

dirasa cukup dingin, CaO diayak menggunakan ayakan 200 mesh dan disimpan kembali di dalam desikator agar tetap kering.

Bahan yang digunakan daam proses penelitian ini adalah PFAD sebagai bahan baku, dan katalis CaO hasil dari $CaCO_3$ yang dikalsinasi pada suhu 900ºC. Rangkaian alat yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan Gambar 1.



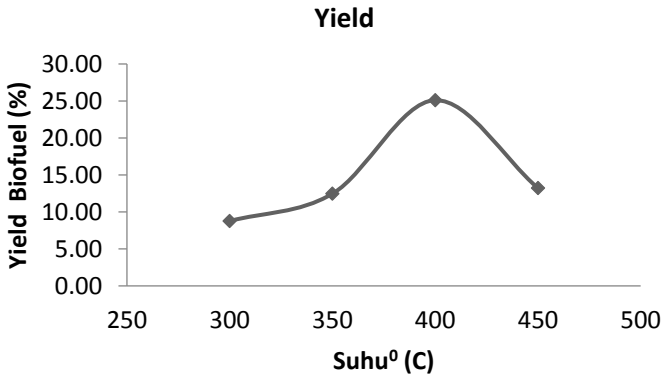
Gambar 1. Rangkaian peralatan reaktor yang digunakan untuk perengkahan PFAD

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan temperatur dan berat katalis CaO yang berbeda-beda memberikan pengaruh yang terhadap *Yield liquid product* yang dihasilkan [39]. Hasil *Yield liquid product* diperoleh dari persamaan berikut :

$$\textit{Yield product}\ \% = \frac{\text{massa } \textit{liquid product}}{\text{massa bahan baku minyak}} \text{ x } 100\%$$

Pengaruh Suhu Terhadap Yield



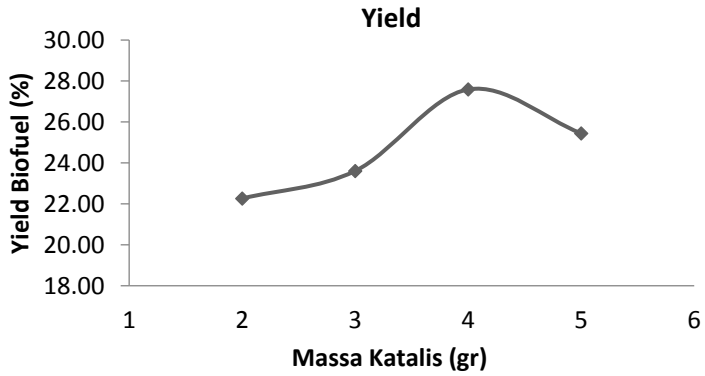
Grafik di atas menunjukkan pengaruh temperatur terhadap *yield biofuel*. *Yield biofuel* tertinggi diperoleh pada suhu 400^0C sebesar 25,1% dan yang terendah pada suhu 300^0C sebesar 8,77%. Dapat dilihat semakin tinggi temperatur, maka *yield*(%) produk yang dihasilkan cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya temperatur, maka energi kinetik partikel pereaksi juga meningkat, sehingga akan memperbanyak tumbukan yang terjadi antar partikel

pereaksi dan membuat reaksi berlangsung lebih cepat. Sesuai dengan penelitian Prihanto (2017) yang menyatakan bahwa dengan meningkatnya suhu reaksi pada proses *cracking* dapat meningkatkan jumlah tumbukan efektif untuk menghasilkan reaksi sehingga biofuel yang dihasilkan juga akan meningkat [40].

Namun, pada temperatur 450^{o}C *yield* produk yang diperoleh sebesar 13,2%. Penurunan nilai *yield*(%) ini sama seperti yang diungkapkan oleh Wardana [28], Tingginya temperatur juga berdampak pada turunnya kuantitas cairan disertai dengan tingginya produk gas. Hal ini disebabkan danya proses perengkahan lanjutan yang memutus rantai panjang senyawa organik [28].

Pada penelitian ini, variasi berat katalis juga dilakukan untuk melihat peran katalis CaO terhadap proses perengkahan. Diketahui *yield* yang tertinggi pada variasi temperatur adalah 400^{o}C, sehingga temperatur optimum ini dilanjutkan untuk dilakukan variasi berat katalis. Berat katalis yang digunakan yaitu 2, 3, 4 dan 5 gr. Pada grafik berikut dapat dilihat pengaruh berat katalis terhadap *yield*(%) *biofuel* yang diperoleh.

Pengaruh Berat Katalis Terhadap Yield



Grafik di atas menunjukkan pengaruh kenaikan massa katalis terhadap *yield biofuel*. *Yield biofuel* tertinggi diperoleh pada jumlah katalis sebesar 4 gr yaitu 27,6% dan yang terendah pada jumlah katalis 2 gr sebesar 22,2%. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya katalis terhadap proses *cracking* ini maka hasil yield biofuel yang didapatkan semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dari gambar di atas pada penambahan 2, 3 dan 4 gr. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah katalis yang ditambahkan berperan untuk meningkatkan produk *biofuel.* Hasil penelitian ini didukung oleh peneliti sebelumnya yang menyatakan penambahan jumlah katalis akan memperbesar peluang reaktan untuk saling bereaksi lebih banyak untuk menghasilkan produk [38].

Sedangkan pada penambahan jumlah katalis 5 gr didapatkan hasil yang menurun. Hal ini bisa terjadi karena penambahan jumlah CaO menyebabkan proses perengkahan tidak hanya membentuk fraksi hidrokarbon bahan bakar. Namun juga membentuk berbagai macam komponen fraksi hidrokarbon yang lebih ringan sehingga tidak dapat terkondensasi dan terjadi penurunan *yield*(%) *biofuel* [3].

Analisa GC-MS

Analisa *Gas Chromatography Mass Spectroscopy* (GC-MS) dilakukan untuk mengetahui jenis dan komposisi senyawa-senyawa yang terdapat pada produk *biofuel* yang dihasilkan dari proses perengkahan. Dari hasil analisa GC-MS yang dilakukan, dapat diketahui besarnya fraksi *biofuel* yang berupa *gasoline, kerosin* dan *diesel.*

Tabel 2. Hasil Analisa GC-MS Produk *Biofuel*

	Temperatur (^{o}C)

Produk Biofuel	300	350	400	450	400		
	Berat Katalis (gr)						
	5				2	3	4
Gasoline	0,25	9,97	10,88	1,66	2,22	9,63	13,22
Kerosin	0,02	0,06	0	0,09	0,45	13,77	0
Diesel	67,7	25,07	0,21	2,537	0,96	49,32	4,72
Total (%)	67,97	35,1	11,09	4,287	3,63	72,72	17,94

Pada tabel 2 dapat dilihat komposisi *biofuel* yang di peroleh dari hasil perengkahan katalitik *PFAD*. Komposisi tersebut terdiri dari alkana-alkana penyusun bahan bakar *gasoline* (C4-C8), *kerosene* (C9-C14), dan *diesel* (C15-C18). Secara garis besar data-data yang didapat dari analisa GC-MS menunjukkan perengkahan *PFAD* dengan katalis CaO dapat membentuk fraksi yang setara dengan bahan bakar.

KESIMPULAN

Semakin tinggi tempeartur reactor pada perengkahan *PFAD* yang digunakan maka semakin besar *yield liquid product*. Suhu optimal untuk menghasilkan *yield liquid product* tertinggi adalah suhu 400^{o}C. Begitu pula dengan pengaruh jumlah katalis. Seiring bertambahnya katalis terhadap proses *cracking* ini maka hasil yield biofuel yang didapatkan juga semakin meningkat. Massa katalis CaO yang paling optimum adalah 4 gram.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih pada DRPM Kementerian Ristek Dikti dan LLDIKTI 7 yang telah memberikan pendanaan penelitian sehingga penelitian ini berjalan dengan baik. Terimaksih juga disampaikan kepda pimpinan ITATS dan LPPM ITATS yang memberikan motivasi dan kemudahan dalam melaksanakan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] L. Marlinda, "Rekayasa Katalis Double Promotor Berbasis Hierarchical H-ZSM-5 untuk Memproduksi Biofuel dari Minyak Nabati," p. 152, 2017.

[2] R. Tambun, R. P. Saptawaldi, M. A. Nasution, and O. N. Gusti, "Pembuatan Biofuel dari Palm Stearin dengan Proses Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis ZSM-5," *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, vol. 11, no. 1, p. 46, 2016.

[3] B. Blesvid, Yelmida, and Zultinar, "Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menjadi Biofuel Dengan Katalis Abu TKS Variasi Temperatur dan Berat Katalis," *J. Rekayasa Kim. dan Lingkung.*, vol. vol 10 No, pp. 1–6, 2013.

[4] F. D. Putri, Z. Helwani, and D. Drastinawati, "Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit Off-Grade Menggunakan Katalis CaO Melalui Proses Dua Tahap," *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, vol. 10, no. 3, 2015.

[5] Y. Ristianingsih, N. Hidayah, and F. W. Sari, "Pembuatan Biodiesel Dari Crude Palm Oil (Cpo) Sebagai Bahan Bakar Alternatif Melalui Proses Transesterifikasi Langsung," *J. Teknol. Agro-Industri*, vol. 2, no. 1, 2015.

[6] A. Budianto, D. H. Prajitno, and K. Budhikarjono, "Biofuel Production From Candlenut Oil Using Catalytic Cracking Process With Zn / Hzsm-5 Catalyst," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 11, pp. 2121–2124, 2014.

[7] K. Katalitik and M. Sawit, "Konversi Katalitik Minyak Sawit Untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan Silika Alumina Dan Hzsm-5 Sintesis," *Reaktor*, vol. 13, no. 1, pp. 37–43, 2012.

[8] F. Harahap, S. Silveira, and D. Khatiwada, "Cost competitiveness of palm oil biodiesel production in Indonesia," *Energy*, pp. 62–72, 2019.

[9] A. Budianto, W. S. Pambudi, S. Sumari, and A. Yulianto, "PID control design for biofuel furnace using arduino," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 16, no. 6, 2018.

[10] N. Sirajudin, K. Jusoff, S. Yani, L. Ifa, and A. Roesyadi, "Biofuel production from catalytic cracking of palm oil," *World Appl. Sci. J.*, vol. 26, no. 26, pp. 67–71, 2013.

[11] A. Roesyadi, D. Hariprajitno, N. Nurjannah, and S. D. Savitri, "HZSM-5 catalyst for cracking palm oil to gasoline: A comparative study with and without impregnation," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 7, no. 3, pp. 185–190, 2013.

[12] J. Moncada, J. Tamayo, and C. A. Cardona, "Evolution from biofuels to integrated biorefineries: Techno-economic and environmental assessment of oil palm in Colombia," *J. Clean. Prod.*, vol. 81, pp. 51–59, 2014.

[13] V. Vara Prasad, "Performance of 4 Stroke Diesel Engine Using Coconut Oil As Biofuel Material," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 4, pp. 5312–5319, 2017.

[14] M. Chinnamma *et al.*, "Production of coconut methyl ester (CME) and glycerol from coconut (Cocos nucifera) oil and the functional feasibility of CME as biofuel in diesel engine," *Fuel*, vol. 140, pp. 4–9, 2015.

[15] A. Bouaid, H. Acherki, A. García, M. Martinez, and J. Aracil, "Enzymatic butanolysis of coconut oil. Biorefinery approach," *Fuel*, vol. 209, pp. 141–149, 2017.

[16] M. Iqbal, V. Purnomo, and D. H. Prajitno, "Rekayasa Katalis Ni/Zn-HZSM-5 untuk Memproduksi Biofuel dari Minyak Bintaro," *J. Tek. Pomits*, vol. Vol 3, no. 2, pp. 153–157, 2014.

[17] Khairil *et al.*, " The potential biodiesel production from Cerbera odollam oil (Bintaro) in Aceh ," *MATEC Web Conf.*, vol. 159, p. 01034, 2018.

[18] A. Budianto, S. Sumari, and K. Udyani, "Biofuel production from nyamplung oil using catalytic cracking process with Zn-HZSM-5/γ alumina catalyst," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 22, pp. 10317–10323, 2015.

[19] B. Agus, S. Sumari, P. Wahyu Setyo, and Wahyudi, "Production of Various Chemicals from Nyamplung Oil with Catalytic Cracking Process," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 37, pp. 1–7, 2018.

[20] Y. W. Mirzayanti, F. Kurniawansyah, D. H. Prajitno, and A. Roesyadi, "Zn-Mo/HZSM-5 catalyst for gasoil range hydrocarbon production by catalytic hydrocracking of ceiba pentandra oil," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 13, no. 1, pp. 136–143, 2018.

[21] I. G. A. A. Parahita, Y. W. Mirzayanti, I. Gunardi, A. Roesyadi, and D. H. Prajitno, "Production of Biofuel via Catalytic Hydrocracking of Kapuk (Ceiba pentandra) Seed Oil with NiMo/HZSM-5 Catalyst," *MATEC Web Conf.*, vol. 156, p. 06001, 2018.

[22] Y. W. Mirzayanti, D. H. Prajitno, and A. Roesyadi, "Catalytic hydrocracking of Kapuk seed oil (Ceiba pentandra) to produce biofuel using Zn-Mo supported HZSM-5 catalyst," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 67, no. 1, 2017.

[23] B. Dari *et al.*, "ULTRASONIK BIODIESEL FROM THE OZONATED KAPOK OIL (CEIBA PENTANDRA) VIA ULTRASONIC-ASSISTED PROCESS," vol. 13, no. 2, pp. 61–66, 2019.

[24] N. P. Asri *et al.*, "Transesterification of Vegetables Oil Using Suband Supercritical Methanol," *Reaktor*, vol. 14, no. 2, p. 123, 2012.

[25] J. K. Poppe, C. R. Matte, R. Fernandez-Lafuente, R. C. Rodrigues, and M. A. Z. Ayub, "Transesterification of Waste Frying Oil and Soybean Oil by Combi-lipases Under Ultrasound-Assisted Reactions," *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 186, no. 3, pp. 576–589, 2018.

[26] I. Istadi, D. Anggoro, L. Buchori, D. A. Rahmawati, and D. Intaningrum, "Active Acid Catalyst of Sulphated Zinc Oxide for Transesterification of Soybean Oil with Methanol to Biodiesel," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 23, pp. 385–393, Dec. 2015.

[27] A. Ishihara, N. Fukui, H. Nasu, and T. Hashimoto, "Hydrocracking of soybean oil using zeolite-alumina composite supported NiMo catalysts," *Fuel*, vol. 134, no. June, pp. 611–617, 2014.

[28] N. Yuda Wardana, N. Caroko, and T. Thoharudin, "Pirolisis Lambat Campuran Cangkang Sawit Dan Plastik Dengan Katalis Zeolit Alam," *Teknoin*, vol. 22, no. 5, pp. 361–366, 2016.

[29] M. Zulkifli and T. Estiasih, "Sabun Dari Distilat Asam Lemak Minyak Sawit : Kajian Pustaka Soap From Palm Fatty Acid Distilate : A Review," *Pangan dan Agroindustri*, vol. 2, no. 4, pp. 170–177, 2014.

[30] A. Budianto, D. H. Prajitno, A. Roesyadi, and K. Budhikarjono, "Hzsm-5 catalyst for cracking palm oil to biodiesel: A comparative study with and without pt and pd impregnation," *Sci. Study Res. Chem. Chem. Eng. Biotechnol. Food Ind.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–90, 2014.

[31] A. Santoso, Sumari, D. Sukarianingsih, and R. M. Sari, "Optimization of Synthesis of Biodiesel from Jatropha curcas L. with Heterogeneous Catalyst of CaO and MgO by Transesterification Reaction Using Microwave," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1093, no. 1, 2018.

[32] A. Budianto, "PIROLISISS BOTOL PLASTIK BEKAS MINUMAN AIR MNIERAL JENIS PET MENJADI FUEL," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. V*, Oct. 2017.

[33] S. Bhatia, A. R. Mohamed, and N. A. A. Shah, "Composites as cracking catalysts in the production of biofuel from palm oil: Deactivation studies," *Chem. Eng. J.*, vol. 155, no. 1–2, pp. 347–354, 2009.

[34] V. Han-U-Domlarpyos, P. Kuchonthara, P. Reubroycharoen, and N. Hinchiranan, "Quality improvement of oil palm shell-derived pyrolysis oil via catalytic deoxygenation over NiMoS/γ-Al2O3," *Fuel*, vol. 143, pp. 512–518, 2015.

[35] A. Budianto, D. H. Prajitno, and K. Budhikarjono, "Biofuel production from candlenut oil using catalytic cracking process with Zn/HZSM-5 catalyst," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 11, pp. 2121–2124, 2014.

[36] A. Budianto, D. H. Prajito, K. Budhikarjono, and R. Achmad, "REKAYASA KATALIS KOMPOSIT BERBASIS ZEOLIT UNTUK PROSES CRACKING PALM OIL MENJADI BIOFUEL : Pembuatan katalis Pd-HZSM-5 Agus Budianto , Danawati Hari Prajitno , Achmad Roesyadi dan Kusno Budhikarjono," 2008.

[37] E. Buzetzki, K. Sidorová, Z. Cvengrošová, A. Kaszonyi, and J. Cvengroš, "The influence of zeolite catalysts on the products of rapeseed oil cracking," *Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 8, pp. 1623–1631, 2011.

[38] M. Y. Annur, Y. Yelmida, and Z. Zultiniar, "Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate Menjadi Biofuel Menggunakan katalis Natrium Karbonat dengan variasi Temperatur dan Konsentrasi katalis Natrium Karbonat," *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2015.

[39] M. A. Hazzamy and I. Zahrina, "Pembuatan Biofuel dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Catalytic Cracking dengan Katalis Fly Ash," 2013.

[40] A. Prihanto and T. A. B. Irawan, "Pengaruh Temperatur, Konsentrasi Katalis Dan Rasio Molar Metanol-Minyak Terhadap Yield Biodisel Dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Netralisasi-Transesterifikasi," *Metana*, vol. 13, no. 1, p. 30, 2018.

ISSN (print): 2686-0023
ISSN (online): 2685-6875

Halaman ini sengaja dikosongkan