



## Proses Pembuatan Biofuel dengan Metode perengkakan Menggunakan Katalis Padat

Agus Budianto<sup>1</sup>, Ayuni Rita Sari<sup>2</sup>, Yohana Winda Monica<sup>3</sup>, Erlinda Ningsih<sup>4</sup>, Esthi Kusdarini<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim No. 100 Surabaya, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

**Tanggal penyerahan:**

29 Maret 2021

**Tanggal diterima:**

31 Maret 2021

**Tanggal terbit:**

28 Juni 2021

### ABSTRACT

*The development of population growth causes of fuels need increasing. Because of that reason, it necessary to create alternative fuels which are friendly to the environment to meet the fuels need in society. Fossil fuel is a non-renewable fuel. Biofuel as an alternative fuel can be taken as a solution to solve this problem. The reviewd aim was to determine the effect of raw materials used on yield product and the different effects of temperature and catalysts on the yield of special materials (gasoline, diesel, kerosene) biofuel. Biofuel production started from the preparation of raw materials, catalytic, and catalytic cracking process using a fixed bed reactor. Raw materials greatly affected yield product. The highest yield products were being gotten from RBDPS raw materials of 93.29%. Biofuel from used cooking oil and concentration of red sludge catalyst of 15% produced the highest biofuel with gasoline compound of 73.86% and kerosene compound of 26.14%. Biofuel from camelina oil with ZSM-5-Zn catalyst concentration of 30% produced the highest gasoline yield of 75.65%.*

**Keywords:** Biofuel, Cracking, Fixed Bed, Yield.

### EMAIL

<sup>1</sup>budichemical@itats.ac.id

### ABSTRAK

Seiring berkembangnya pertumbuhan penduduk mengakibatkan peningkatan kebutuhan Energi. Sebagian besar energi berasal dari bahan bakar minyak. Hal ini mendorong ditemukan bahan bakar alternatif. Bahan bakar fosil itu sendiri merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui. Salah satu solusi permasalahan tersebut adalah dengan penggunaan *biofuel* sebagai bahan bakar alternatif. Paper ini adalah review proses untuk mengetahui pengaruh bahan baku, suhu dan jenis katalis terhadap *yield* bahan khusus (*gasoline, diesel, kerosene*) biofuel. Proses dibatasi pada pembuatan *biofuel* dari minyak tumbuhan. Proses dimulai dari preparasi bahan baku, preparasi katalis kemudian proses *catalytic cracking* menggunakan *reaktor fixed bed*. Hasil beberapa penelitian menunjukkan bahwa bahan baku sangat mempengaruhi *yield* produk. *Yield* produk tertinggi diperoleh dari bahan baku RBDPS sebesar 93,29%. *Biofuel* dari minyak jelantah dan konsentrasi katalis lumpur merah 15% menghasilkan *biofuel* tertinggi dengan senyawa bensin 73,86% dan senyawa kerosene 26,14%. *Biofuel* dari minyak camelina dengan konsentrasi katalis ZSM-5-Zn 30% menghasilkan *yield* bensin tertinggi sebesar 75,65%.

**Kata kunci:** Biofuel, Cracking, Fixed Bed, Yield.

### PENDAHULUAN

Salah satu produk yang dibutuhkan banyak masyarakat Indonesia saat ini yaitu Bahan Bakar Minyak (BBM). Karena semakin meningkatnya pertumbuhan penduduk saat ini maka

semakin meningkat pula konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM). Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia memiliki peluang yang besar untuk mengembangkan energi terbarukan. Menurut laporan tahunan, energi terbarukan di Indonesia belum digunakan secara optimal, dimana pada 2015 hanya 5% dan 95% sisanya adalah bagian dari energi fosil [1]. Salah satu bagian dari energi terbarukan adalah *biofuel*, *biofuel* dapat diproduksi dari minyak nabati [2]. Kawasan hutan Indonesia memiliki luas 120 juta hektar dan membuatnya lebih cocok jika minyaknya berasal dari tanaman [1].

*Biofuel* merupakan bahan bakar nabati yang sangat potensial untuk dikembangkan dan merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan. *Biofuel* dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif untuk mengatasi krisis energi dimasa yang akan datang [3]. Pembuatan *biofuel* ini dapat menggunakan beberapa metode dengan bahan baku yang berbeda-beda. Metode yang biasa digunakan dalam pembuatan *biofuel* yaitu metode *cracking* dan transesterifikasi. Dalam pembuatan *biofuel* ini ada beberapa aspek yang dilihat untuk mendapatkan *yield biofuel* tertinggi. Diantaranya ditinjau dari temperatur yang digunakan saat proses perengkahan katalitik, kemudian berat katalis yang digunakan serta jenis katalis yang digunakan, waktu perengkahan katalitik serta bahan baku yang digunakan juga berpengaruh untuk menghasilkan *yield biofuel* tertinggi.

Temperatur yang digunakan dalam pembuatan *biofuel* ini bervariasi dimulai dari suhu 300°C – 500°C, selain metode *cracking* pembuatan *biofuel* ini juga dapat menggunakan metode *hydrocracking*, dan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *biofuel* ini juga bermacam-macam diantaranya dapat menggunakan bahan baku untuk minyak nabati yaitu *Crude Palm Oil* (CPO), *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD), *Refined Bleached Deodorized Palm Stearin* (RBDPS), minyak kedelai dan minyak *non edible* seperti minyak jarak, minyak camelina, minyak biji kapuk, minyak carinata, minyak bunga matahari, minyak nyamplung. Selain itu aktivasi katalis juga mempengaruhi *yield* dari *biofuel*.

## METODE

### Pembuatan Biofuel Metode *Cracking*

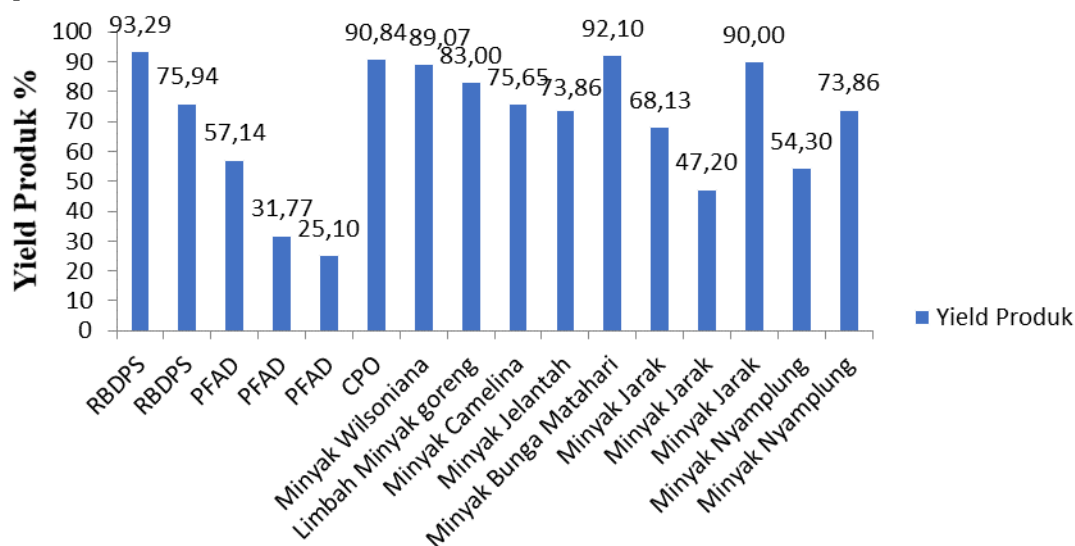
Menimbang bahan baku dan katalis sesuai variabel. Memasukkan bahan baku kedalam bagian bawah tabung reaktor, sedangkan katalis dimasukkan ke dalam *fixed bed* menuju ke kondensor. Reaktor diletakkan ke dalam tangki pemanas. Tangki pemanas diset up pada suhu yang ditentukan. Produk reaksi berupa gas dilewatkan melalui kondensor. Biofuel yang keluar dari kondensor ditampung ke dalam botol [3].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Perbandingan Bahan Baku yang Berbeda Terhadap *Yield product*.

Bahan baku yang digunakan untuk membuat biofuel sangat mempengaruhi *yield* produk yang dihasilkan. Para peneliti telah melakukan penelitian tentang pembuatan biofuel dengan bahan baku RBDPS diantaranya adalah [4][5]. [4] melakukan penelitian membuat biofuel dari RBDPS dengan bantuan katalis ZSM-5 menggunakan suhu operasi 400°C menghasilkan *yield* tertinggi sebesar 93,29% pada suhu 400°C. [5] melakukan penelitian membuat biofuel dengan katalis Zink HZSM-5/γ alumina menggunakan suhu operasi 425 °C, menghasilkan *yield* produk 75,94%. Bahan baku yang digunakan selanjutnya adalah PFAD, para peneliti yang menggunakan bahan baku PFAD untuk pembuatan biofuel antara lain [3][6][7]. Pembuatan *Biofuel* dari bahan baku PFAD menggunakan katalis Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaO dan *Fly ash* sawit [3] [7] [6]. [6] membuat biofuel dari bahan baku PFAD, menggunakan katalis *fly ash* sawit dengan suhu operasi 410 °C menghasilkan *yield* produk *biofuel* 57,14%. [7] membuat *biofuel* menggunakan katalis Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan suhu operasi 410 °C menghasilkan *yield biofuel* (%) sebesar 31,77%. [3] membuat *biofuel* menggunakan katalis CaO dan suhu operasi 400°C menghasilkan *yield biofuel* sebesar 25,1%. Minyak nabati lain yang digunakan adalah CPO dan minyak kedelai. Peneliti yang memanfaatkan CPO sebagai bahan baku antara lain [8][9][10][11] dan peneliti yang memanfaatkan minyak kedelai sebagai bahan baku adalah [12]. [9] membuat biofuel dari CPO dengan katalis Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebesar 15% dan suhu reaktor 450°C didapatkan *yield* produk 90,84%. Selain minyak nabati, bahan baku yang dapat digunakan adalah minyak *non edible* seperti minyak biji kapuk [13][14], minyak nyamplung [15][16], minyak

jarak [17][18][19], minyak camelina [20][21], minyak carinata [22] [23], minyak wilsoniana [23], minyak biji bunga matahari [24]. [23] membuat biofuel dari minyak S.Wilsoniana dengan variasi katalis Cu-ZSM-5 10% dan suhu reaktor 400°C. Didapatkan *yield* produk sebesar 89,07%. Para peneliti juga menggunakan minyak jelantah [25][26][27][28] dan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit [29][30][31][32] untuk bahan baku pembuatan biofuel sebagai upaya mengurangi pencemaran lingkungan. [32] membuat biofuel dari limbah minyak goreng dengan variasi katalis ZrO<sub>2</sub> 4% didapatkan *yield* produk biofuel sebesar 83%. [21] membuat biofuel dari minyak camelina dengan variasi katalis ZSM-5-Zn 30% dan suhu 500°C diperoleh *yield* biofuel sebesar 75,65%. [28] membuat biofuel dari minyak jelantah dengan variasi katalis lumpur merah teraktivasi 15% dan suhu reaktor 450°C diperoleh *yield* produk biofuel sebesar 73,86%. [24] membuat biofuel dari minyak bunga matahari dengan variasi katalis V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2% diperoleh *yield* produk biofuel 92,1%. [10] membuat biofuel dari minyak jarak dengan variasi katalis Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5% pada suhu reaktor 375°C diperoleh hasil *yield* produk *biofuel* sebesar 68,13%. [19] membuat biofuel dari minyak jarak dengan variasi katalis zeolite 5% diperoleh *yield* biofuel sebesar 47,20%. Pembuatan biofuel dari bahan baku minyak nyamplung dengan katalis Zn-HZSM-5 /  $\gamma$  Alumina. Penggunaan Katalis Zn-HZSM-5 /  $\gamma$ -Alumina (1:1) menggunakan suhu operasi 500°C menghasilkan *yield* produk *biofuel* sebesar 54,30%. Sedangkan Zn-HZSM-5 /  $\gamma$ -Alumina (1:2) pada suhu menghasilkan *yield* produk *biofuel* sebesar 73,86% pada suhu 500°C [15]. Pembuatan biofuel dari minyak jarak menggunakan katalis asam bentonit dengan variasi sebagai berikut 1% dan dilakukan agitasi termal selama 4 jam pada 280 °C menghasilkan *yield* produk *biofuel* 90% [17].



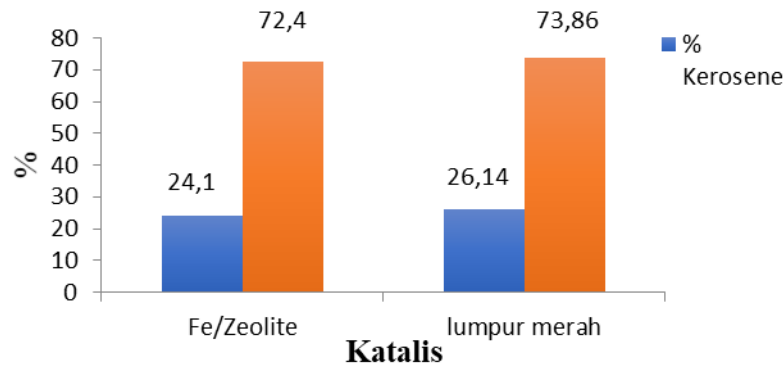
### Bahan Baku

**Gambar 1. Grafik Perbandingan Bahan Baku yang Berbeda Terhadap Yield Produk Biofuel**

Dari **Gambar 1** disimpulkan bahwa bahan baku yang digunakan untuk membuat biofuel sangat mempengaruhi *yield* produk biofuel yang dihasilkan, karena proses *cracking* akan maksimal jika menggunakan bahan baku yang tepat. Pembuatan *biofuel* menggunakan minyak nabati yaitu *Crude Palm Oil* (CPO), *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD), *Refined Bleached Deodorized Palm Stearin* (RBDPS), minyak kedelai dan minyak *non edible* seperti minyak jarak, minyak camelina, minyak biji kapuk, minyak carinata, minyak bunga matahari, minyak nyamplung. *Yield* produk *biofuel* tertinggi menggunakan bahan baku minyak nabati RBDPS. Karena RBDPS mengandung rantai trigliserida yang dapat disederhanakan menjadi methyl ester monogliserida dan juga dapat menurunkan jumlah residu produk biofuel yang dihasilkan (Arif R, 2019).

## 2. Pengaruh Katalis yang Berbeda dan Konsentrasi Katalis yang Digunakan Terhadap Yield Bahan Khusus dari Minyak Jelantah.

Pembuatan biofuel metode cracking dari bahan baku minyak jelantah menggunakan 2 katalis yaitu Fe/zeolite dan lumpur merah. [25] membuat biofuel dengan menggunakan katalis Fe/Zeolite, dengan konsentrasi katalis 3% dan suhu operasi 350°C menghasilkan biofuel dengan senyawa bensin 72,40% dan senyawa kerosene 24,10%. [28] membuat biofuel menggunakan katalis lumpur merah, dengan konsentrasi katalis 15% dan suhu operasi 450°C menghasilkan biofuel dengan senyawa bensin 73,86% dan senyawa kerosene 26,14%.

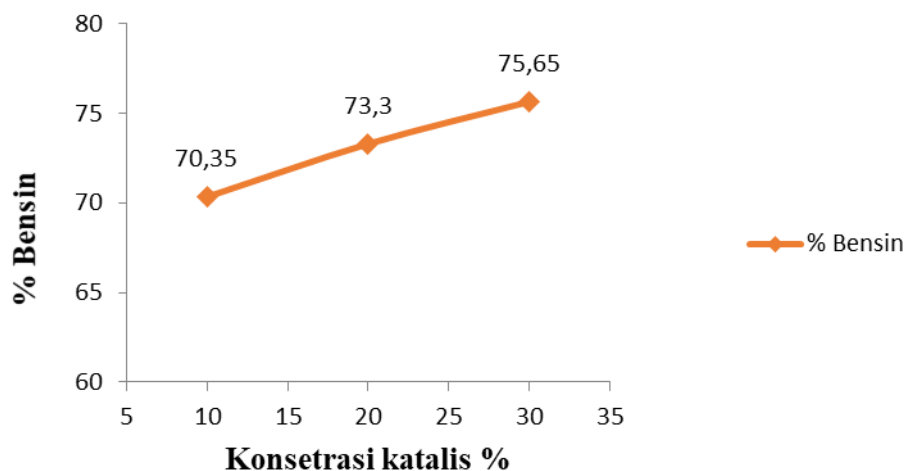


**Gambar 2. Grafik Pengaruh Katalis yang Berbeda dan Konsentrasi Katalis yang Digunakan Terhadap Yield Bahan Khusus dari Minyak Jelantah.**

Dari **Gambar 2** disimpulkan katalis lumpur merah memiliki *yield* bahan khusus yang lebih tinggi dibanding kan dengan katalis Fe/Zeolite, karena lumpur merah lebih maksimal dalam memecah trigleserida pada minyak jelantah menjadi kerosene dan bensin sehingga menyebabkan terbentuknya fraksi biodiesel yang lebih banyak [25].

## 3. Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Yield Bahan Khusus (Bensin) Biofuel dari Bahan Baku Minyak Camelina.

Proses pembuatan biofuel dari minyak camelina menggunakan variasi katalis ZSM-5-Zn 10%, 20%, 30% suhu reaktor 500°C. Dari penelitian tersebut diperoleh persentase bensin dari biofuel adalah 70,35% (ZSM-5-Zn-10), 73,30% (ZSM-5-Zn-20), dan 75,65% (ZSM-5-Zn-30) [21].



**Gambar 3. Grafik pengaruh konsentrasi katalis terhadap yield bahan khusus biofuel dari Bahan Baku Minyak Camelina**

Dari **Gambar 3** disimpulkan semakin besar konsentrasi katalis ZSM-5-Zn maka semakin besar juga persentase bensin yang ada pada biofuel. Konsentrasi ZSM-5-Zn dapat meningkatkan

persentase bensin [21]. Penambahan konsentrasi katalis akan memperbesar peluang reaktan untuk saling bereaksi lebih banyak untuk menghasilkan produk [3].

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada YPTS dan Jurusan Teknik Kimia ITATS sehingga penelitian ini dapat berlangsung.

### KESIMPULAN

Hasil review menunjukkan bahwa yield produk yang dihasilkan dari bahan baku RBDPS adalah 93,29 % dan 75,94 %. Yield produk yang dihasilkan dari bahan baku PFAD ad Bahan baku yang digunakan dalam membuat *biofuel* sangat berpengaruh terhadap *yield* produk yang dihasilkan. Proses *cracking* akan maksimal jika menggunakan bahan baku yang tepat. Dari beberapa penelitian yang telah kami *review*, disimpulkan *yield* produk *biofuel* tertinggi diperoleh dengan menggunakan bahan baku RBDPS. % *yield* produk biofuel dari bahan baku RBDPS sebesar 93,29%. Biofuel dari bahan baku minyak jelantah menggunakan katalis lumpur merah , dengan kosentrasi katalis 15% menghasilkan biofuel dengan kadar tinggi yaitu senyawa bensin 73,86% dan senyawa kerosene 26,14%. Semakin besar konsentrasi katalis ZSM-5-Zn maka semakin besar juga persentase bensin yang ada pada biofuel dari bahan baku minyak camelina. Persentase bensin tertinggi adalah 75,65% dengan konsentrasi katalis ZSM- 5-Zn 30% [21].

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Annex, “Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Kulit Kemiri,” vol. V, pp. SNF2016-MPS-135-SNF2016-MPS-140, 2017, doi: 10.21009/0305020226.
- [2] A. Budianto, D. H. Prajitno, A. Roesyadi, and K. Budhikarjono, “HZSM-5 CATALYST FOR CRACKING PALM OIL TO BIODIESEL : A COMPARATIVE STUDY WITH AND,” vol. 15, no. 1, pp. 81–90, 2014.
- [3] A. Budianto, D. S. Hajj, and D. A. Rp, “Pembuatan Biofuel dengan Proses Perengkahan dari Palm Fatty Acid Distillate ( PFAD ) Menggunakan Katalis CaO,” pp. 607–614, 2019.
- [4] R. Tambun, R. P. Saptawaldi, M. A. Nasution, and N. Oktris, “Pembuatan Biofuel dari Palm Stearin dengan Proses Perengkahan Katalitik menggunakan Katalis ZSM-5 Catalytic Cracking Process to Product Biofuel from Palm Stearin by using Catalyst ZSM-5,” vol. 11, no. 1, pp. 46–52, 2016.
- [5] A. Budianto, S. Sumari, W. S. Pambudi, and N. Andriani, “Uji Coba Produksi Biofuel dari RBD Stearin dalam Reaktor Fixed Bed dengan Metode Cracking,” *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, pp. 735–740, 2019.
- [6] W. Pangestu, Yelmida, and Zultinar, “Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate Menjadi Biofuel Menggunakan Katalis Fly Ash Sawit,” vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2015.
- [7] M. A. Yusron, Yelmida, and Zultinar, “Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate Menjadi Biofuel Menggunakan Katalis Natrium Karbonat dengan Variasi Temperatur dan Konsentrasi Katalis Natrium Karbonat,” vol. 2, no. 2, pp. 1–6, 2020.
- [8] N. Nazarudin and U. Jambi, “KONVERSI CRUDE PALM OIL ( CPO ) MENJADI BIOFUEL DENGAN PERENKAHAN KATALITIK MENGGUNAKAN KATALIS Cr-ZEOLIT ALAM,” no. March, 2018.
- [9] A. A. Mancio *et al.*, “Thermal catalytic cracking of crude palm oil at pilot scale: Effect of the percentage of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> on the quality of biofuels,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 91, pp. 32–43, 2016, doi: 10.1016/j.indcrop.2016.06.033.
- [10] I. Istadi *et al.*, “Effects of ion exchange process on catalyst activity and plasma-



- assisted reactor toward cracking of palm oil into biofuels,” *Bull. Chem. React. Eng. & Catal.*, vol. 14, no. 2, pp. 459–467, 2019, doi: 10.9767/bcrec.14.2.4257.459-467.
- [11] M. Subsadsana, P. Kham-Or, P. Sangdara, P. Suwannasom, and C. Ruangviriyachai, “Synthesis and catalytic performance of bimetallic NiMo-and NiW-ZSM-5/MCM-41 composites for production of liquid biofuels,” *Ranliao Huaxue Xuebao/Journal Fuel Chem. Technol.*, vol. 45, no. 7, pp. 805–816, 2017, doi: 10.1016/s1872-5813(17)30039-7.
- [12] Z. Zheng, J. Wang, Y. Wei, X. Liu, F. Yu, and J. Ji, “Effect of La-Fe/Si-MCM-41 catalysts and CaO additive on catalytic cracking of soybean oil for biofuel with low aromatics,” *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 143, no. 18, p. 104693, 2019, doi: 10.1016/j.jaap.2019.104693.
- [13] I. G. Andy, A. Parahita, Y. W. Mirzayanti, I. Gunardi, and A. Roesyadi, “Production of Biofuel via Catalytic Hydrocracking of Kapuk ( Ceiba pentandra ) Seed Oil with NiMo / HZSM-5 Catalyst,” vol. 06001, pp. 1–5, 2018.
- [14] Y. W. Mirzayanti, P. D H, and R. A, “Catalytic hydrocracking of Kapuk seed oil ( Ceiba pentandra ) to produce biofuel using Zn-Mo supported HZSM-5 catalyst Catalytic hydrocracking of Kapuk seed oil ( Ceiba pentandra ) to produce biofuel using Zn-Mo supported HZSM-5 catalyst,” 2017.
- [15] A. Budianto, S. Sumari, and K. Udyani, “BIOFUEL PRODUCTION FROM NYAMPLUNG OIL USING CATALYTIC CRACKING PROCESS WITH Zn-HZSM-5 /  $\gamma$  ALUMINA CATALYST,” vol. 10, no. 22, pp. 10317–10323, 2015.
- [16] Hartati *et al.*, “Highly selective hierarchical ZSM-5 from kaolin for catalytic cracking of Calophyllum inophyllum oil to biofuel,” *J. Energy Inst.*, 2020, doi: 10.1016/j.joei.2020.06.006.
- [17] A. M. Rabie, E. A. Mohammed, and N. A. Negm, “Feasibility of modified bentonite as acidic heterogeneous catalyst in low temperature catalytic cracking process of biofuel production from nonedible vegetable oils,” *J. Mol. Liq.*, vol. 254, no. 2018, pp. 260–266, 2018, doi: 10.1016/j.molliq.2018.01.110.
- [18] I. Aziz, Y. Kurnianti, N. Saridewi, L. Adhani, and W. Permata, “Utilization of Coconut Shell as Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst Support for Catalytic Cracking of Jatropha Oil into Biofuel,” *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 23, no. 2, pp. 39–45, 2020, doi: 10.14710/jksa.23.2.39-45.
- [19] I. Aziz, L. Adhani, T. Yolanda, and N. Saridewi, “Catalytic cracking of Jatropa curcas oil using natural zeolite of Lampung as a catalyst,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 299, no. 1, pp. 6–13, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/299/1/012065.
- [20] X. Zhao, L. Wei, S. Cheng, and J. Julson, “Optimization of catalytic cracking process for upgrading camelina oil to hydrocarbon biofuel,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 77, pp. 516–526, 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2015.09.019.
- [21] X. Zhao, L. Wei, S. Cheng, Y. Huang, Y. Yu, and J. Julson, “Catalytic cracking of camelina oil for hydrocarbon biofuel over ZSM-5-Zn catalyst,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 139, pp. 117–126, 2015, doi: 10.1016/j.fuproc.2015.07.033.
- [22] X. Zhao, L. Wei, S. Cheng, Y. Cao, J. Julson, and Z. Gu, “Catalytic cracking of carinata oil for hydrocarbon biofuel over fresh and regenerated Zn/Na-ZSM-5,” *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 507, pp. 44–55, 2015, doi: 10.1016/j.apcata.2015.09.031.
- [23] C. Li *et al.*, “Catalytic cracking of Swida wilsoniana oil for hydrocarbon biofuel over Cu-modified ZSM-5 zeolite,” *Fuel*, vol. 218, no. November 2017, pp. 59–66, 2018, doi: 10.1016/j.fuel.2018.01.026.

- [24] Z. D. Yigezu and K. Muthukumar, "Biofuel production by catalytic cracking of sunflower oil using vanadium pentoxide," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 112, pp. 341–347, 2015, doi: 10.1016/j.jaap.2015.01.002.
- [25] L. Adhani, R. Masrida, N. P. Angela, and R. R. Nugroho, "Analisis Efektivitas Katalis Fe / Zeolit Pada Cracking Minyak Jelantah Dalam Pembuatan Biofuel," vol. 4, no. 1, pp. 7–11, 2020.
- [26] S. Arita, L. N. Komariah, and O. Alfernando, "The effect of H-USY catalyst in catalytic cracking of waste cooking oil to produce biofuel," no. February, 2019, doi: 10.24845/ijfac.v4.i2.67.
- [27] A. R. Raton Coppos, S. Kahn, and L. E. P. Borges, "Biofuels production by thermal cracking of soap from brown grease," *Ind. Crops Prod.*, vol. 112, no. July 2017, pp. 561–568, 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.12.010.
- [28] H. Da Silva Almeida *et al.*, "Production of biofuels by thermal catalytic cracking of scum from grease traps in pilot scale," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 118, pp. 20–33, 2016, doi: 10.1016/j.jaap.2015.12.019.
- [29] D. K. Sari, A. Sundaryono, and D. Handayani, "LIMBAH CAIR PABRIK MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN KATALIS MoNi / HZ," vol. 1, pp. 127–131, 2017.
- [30] S. Lestari, A. Sundaryono, R. Elvia, and U. Bengkulu, "Preparasi dan Karakterisasi Katalis Mo-Ni/HZ dengan Metode Impregnasi untuk Cracking Katalitik Minyak Limbah Cair Pengolahan Kelapa Sawit menjadi Bahan Bakar Nabati 1,2,3," vol. 3, no. 1, pp. 91–97, 2019.
- [31] A. Sundaryono, D. Handayani, Budiman, and S. Winda, "Perengkahan Katalitik Metil Ester dari Minyak Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Cr/Mo/HZA dan Ni/Mo/HZA," vol. 25, no. 1, pp. 78–84, 2015.
- [32] F. M. Wako, A. S. Reshad, M. S. Bhalerao, and V. V. Goud, "Catalytic cracking of waste cooking oil for biofuel production using zirconium oxide catalyst," *Ind. Crops Prod.*, vol. 118, no. March, pp. 282–289, 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.03.057.