

VOLUME 9

ISSUE 1

JANUARY – JUNE 2021

# Al-Kimia

Potensi Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) di Perairan Danau Tempe Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan sebagai Agen Fitoremediasi terhadap Ion Logam  $Cu^{2+}$

**Muhammad Nasir, Dingse Pandiangan, Susan Marlein Mambu, Muhummad Nur, Siti Fauziah, Nur Insani Amir, Rizal Irfandi, Sahriah Rahim**

Pembuatan Nano Partikel Kalsium (Ca) dari Limbah Tulang Ikan Patin (*Pangasius sp*) Menggunakan Metode Ultrasound- Assisted Solvent Extraction

**Nuramanyah Taufiq, Risky Nurul Fadlila RN**

Uji Kualitas Tepung Jagung Alternatif dari Limbah Tongkol Jagung dengan menggunakan *Lactobacillus casei*

**Mirnawati Mirnawati, Ida Irdaliah**

Pemilihan Monomer Fungsional Terbaik Dalam Molecularly Imprinted Polymer (MIP) Monogliserida Lard Menggunakan Metode Komputasi

**Adi Syahputra, Nurhadini Nurhadini, Fajar Indah Puspitasari**

Pemanfaatan Berbagai Kulit Buah Sebagai Material Penyerap Ion Logam Zinc Pada Limbah Perairan

**Andreas Difa, Desy Kurniawati, Budhi Oktavia, Rahardian Z**

Steroid dari Kulit Batang *Aglaia grandis* (Meliaceae)

**Siti Hani Pratiwi, Kindi Farabi, Nurlelasari, Rani Maharani, Agus Safari, Unang Supratman, Desi Harneti**

Optimalisasi Penentuan Logam  $Cu(II)$  dalam Sampel Air Menggunakan Metoda Voltametri Stripping Adsorptif (VSA<sub>d</sub>)

**Hilfi Pardi, Nancy Willian**

Kajian in Silico Aktivitas Antioksidan Senyawa Bioaktif dalam Minyak Serai (*Cymbopogon citratus*)

**Dewi Ratih Tirto Sari, Yohanes Bare**

Study in Silico Senyawa Asam Asiatik dan Turunannya Sebagai Anti Katarak

**Firlia Nur Fadila, I Gusti Made Sanjaya**

Sintesis Ferri Salen-Taeniolit Sebagai Katalisator Pada Reaksi Pembentukan Monomer Poli Karbonat

**Alimuddin, Agusriyadin, Syahrir, Laode Abdul Kadir**

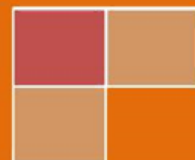
Artikel Review: Faktor yang Mempengaruhi Porsen Biogasoline Minyak Nabati Menggunakan Katalis HZSM-5 dengan Metode Catalytic Cracking

**Dewinta Intan Laily, Dina Kartika Maharani**

**Jurusan Kimia UIN Alauddin Makassar**

p-ISSN: 2302-2736

e-ISSN: 2549-9335



# Al-Kimia

**EDITOR IN CHIEF**

**Sjamsiah**

**MANAGING EDITOR**

**Ummi Zahra**

**REVIEWER**

**Suminar Setiati  
Irmanida Batubara  
Sri Sugiarti  
Muharram  
Philiphi De Rosari  
Ajuk Sapar  
Masriany  
Asri Saleh  
Sitti Chadijah  
Asriyani Ilyas  
Aisyah**

**SECTION EDITOR**

**Rani Maharani  
Iin Novianty  
Firnelty  
Chusnul Khatimah  
Satriani**

**PUBLISHER**

**Departmen of Chemistry  
Faculty of Science and Technology  
Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar  
Jl. H. M. Yasin Limpo No. 36 Gowa South Sulawesi Indonesia  
E -mail: al-kimia@uin-alauddin.ac.id**

# Al-Kimia

## TABLE OF CONTENT

Potensi Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) di Perairan Danau Tempe Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan sebagai Agen Fitoremediasi terhadap Ion Logam Cu <sup>2+</sup> <b>Muhammad Nasir, Dingse Pandiangan, Susan Marlein Mambu, Muhummad Nur, Siti Fauziah, Nur Insani Amir, Rizal Irfandi, Sahriah Rahim</b>	1-8
Pembuatan Nano Partikel Kalsium (Ca) dari Limbah Tulang Ikan Patin ( <i>Pangasius sp</i> ) Menggunakan Metode Ultrasound- Assisted Solvent Extraction <b>Nuramaniyah Taufiq, Risky Nurul Fadlila RN</b>	9-15
Uji Kualitas Tepung Jagung Alternatif dari Limbah Tongkol Jagung menggunakan <i>Lactobacillus casei</i> <b>Mirawati Mirawati, Ida Ildaliah</b>	16-22
Pemilihan Monomer Fungsional Terbaik dalam Molecularly Imprinted Polymer (MIP) Monogliserida Lard Menggunakan Metode Komputasi <b>Adi Syahputra, Nurhadini Nurhadini, Fajar Indah Puspitasari</b>	23-33
Pemanfaatan Berbagai Kulit Buah Sebagai Material Penyerap Ion Logam Zinc Pada Limbah Perairan <b>Andreas Difa, Desy Kurniawati, Budhi Oktavia, Rahardian Z</b>	34-43
Steroid dari Kulit Batang <i>Aglaia grandis</i> (Meliaceae) <b>Siti Hani Pratiwi, Kindi Farabi, Nurellesari, Rani Maharani, Agus Safari, Unang Supratman, Desi Harneti</b>	44-49
Optimalisasi Penentuan Logam Cu(II) dalam Sampel Air Menggunakan Metoda Voltametri Stripping Adsorptif (VSA <sub>d</sub> ) <b>Hilfi Pardi, Nancy Willian</b>	50-60
Kajian in Silico Aktivitas Antioksidan Senyawa Bioaktif dalam Minyak Serai ( <i>Cymbopogon citratus</i> ) <b>Dewi Ratih Tirto Sari, Yohanes Bare</b>	61-69
Study In Silico Senyawa Asam Asiatik dan Turunannya Sebagai Anti Katarak <b>Firlia Nur Fadila, I Gusti Made Sanjaya</b>	70-80
Sintesis Ferri Salen-Taeniolit Sebagai Katalisator Pada Reaksi Pembentukan Monomer Poli Karbonat <b>Alimuddin, Agusriyadin, Syahrir, Laode Abdul Kadir</b>	81-88
Artikel Review: Faktor yang Mempengaruhi Persen Biogasoline Minyak Nabati Menggunakan Katalis HZSM-5 dengan Metode Catalytic Cracking <b>Dewinta Intan Laily, Dina Kartika Maharani</b>	89-102

## Artikel Review: Faktor yang Mempengaruhi Porsen *Biogasoline* Minyak Nabati Menggunakan Katalis HZSM-5 dengan Metode *Catalytic Cracking*

Dewinta Intan Laily<sup>1</sup>, Dina Kartika Maharani<sup>2</sup>

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, State University of Surabaya, Indonesia

\*Corresponding Author: [dinakartika@unesa.ac.id](mailto:dinakartika@unesa.ac.id)

Received: January,20,2020 /Accepted: June,16,2021  
doi: 10.24252/al-kimiav9i1.17636

**Abstract.** *The increase in fuel consumption of oil has an impact on the energy crisis. Biogasoline is one of the alternative energies that has the potential to solve the problem. The fact that biogasoline results are low is a challenge for further research. One of the methods used to produce biogasoline is the catalytic cracking method. Such methods generally use catalyst to help to speed up the reaction. HZSM-5 is one of the catalysts that has been widely used in various applications. In this review article will compare the value of porsen biogasoline between several types of crushed vegetable oils with hzsm-5 catalysts using catalytic cracking methods. Based on the results of the analysis, it can be known that the method of catalytic cracking using the catalyst HZSM-5 produces a good porsen biogasoline value so the use of catalyst HZSM-5 is recommended in vegetable oil reactions. In addition, there are factors that affect the value of porsen biogasoline namely: rector type, operating temperature, reaction time, surface area and pore size catalyst HZSM-5 as well as vegetable oil type.*

**Keywords:** *Biogasoline, Catalytic Cracking, HZSM-5, Vegetable Oil*

### PENDAHULUAN

Konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia semakin meningkat. Berdasarkan data Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi (BPH MIGAS) tahun 2017 konsumsi BBM nasional pertahun sebesar 55.400.604.901 liter, sedangkan cadangan minyak bumi semakin menipis (BPH MIGAS, 2017). Dalam rangka mengatasi krisis energi, diperlukan adanya penyediaan bahan bakar berbasis energi terbarukan (*renewable energy*), diantaranya yaitu meningkatkan penggunaan bahan bakar nabati (*biofuel*). *Biogasoline* merupakan salah satu hasil produk cair dari *biofuel*. Fakta menunjukkan bahwa hasil *biogasoline* yang rendah menjadi tantangan untuk penelitian lebih lanjut. *Biogasoline* diproduksi menggunakan bahan baku (*feedstock*) yang berasal dari minyak nabati (Haryani, Harahap, Taslim, & Irvan, 2020).

Minyak nabati adalah bahan baku paling umum untuk produksi *biogasoline* karena memiliki energi tinggi, sifat cair, dan ketersediaannya sebagai sumber terbarukan. Namun, minyak nabati tidak bisa langsung digunakan sebagai bahan bakar karena sifat yang tidak diinginkan seperti titik beku tinggi dan viskositas tinggi. Penggunaan minyak nabati untuk bahan bakar harus melalui proses perengkahan. Perengkahan dengan katalis di kenal dengan *catalytic cracking* (Aziz, Adhani, Yolanda, & Saridewi, 2019). Metode *catalytic cracking* merupakan salah satu cara untuk merengkah minyak nabati menjadi bahan bakar yang dapat memenuhi standar (Sonthalia & Kumar, 2017).

Metode *catalytic cracking* beberapa tahun terakhir sering dijadikan metode untuk memproduksi *biofuel*. Hal tersebut karena metode *catalytic cracking* mengarah pada produksi *bio-liquid product* (BLP) sehingga campuran hidrokarbon yang dihasilkan salah

satunya dalam bentuk fraksi seperti *biogasoline* (Ramya, Sivakumar, Arif, & Ahmed, 2015). Metode *catalytic cracking* menggunakan katalis padat dengan selektivitas bentuk yang baik dan ukuran pori yang sesuai seperti HZSM-5 (Li *et al.*, 2014).

Katalis HZSM-5 merupakan katalis heterogen yang dipertimbangkan untuk sintesis *biogasoline*. HZSM-5 memiliki kemampuan yang baik dalam selektivitas dan aktivitas sehingga sangat berpengaruh terhadap hasil *cracking*. Katalis HZSM-5 memiliki kekuatan yang sangat baik untuk memecahkan molekul yang lebih berat seperti trigliserida (Ramya *et al.*, 2015). Oleh karena itu, akan dilakukan studi literatur mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi %*biogasoline* menggunakan katalis HZSM-5 dengan metode *catalytic cracking* pada minyak nabati.

### 1. *Biogasoline*

*Biogasoline* merupakan salah satu produk cair dari *biofuel*. *Biogasoline* dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan dengan hidrokarbon pada kisaran C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub>. Produksi *biogasoline* memungkinkan solusi jangka panjang untuk memproduksi bahan bakar cair menggantikan minyak bumi (Molefe, Nkazi, & Mukaya, 2019). Hal tersebut karena sifat hidrokarbonnya yang serupa dengan bensin konvensional dan dapat digunakan langsung di mesin pembakaran internal tanpa modifikasi mesin (Gurdeep Singh *et al.*, 2020). *Biogasoline* terbukti memiliki energi pembakaran yang lebih tinggi, lebih hemat bahan bakar dan memiliki kompatibilitas yang baik dengan mesin kendaraan (Gurdeep Singh *et al.*, 2019; Gurdeep Singh *et al.*, 2020). Pemilihan bahan baku yang tepat sangat penting untuk memastikan sifat *biogasoline* yang diperoleh sebagai produk akhir memenuhi spesifikasi standar bensin konvensional. Oleh karena itu, kualitas produk *biogasoline* sangat bergantung pada jenis minyak nabati yang digunakan.

### 2. Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan bagian dari trigliserida yang memiliki rantai asam lemak (Molefe *et al.*, 2019). Minyak nabati mentah tidak dapat digunakan langsung pada mesin karena viskositasnya yang tinggi, volatilitas, titik didih, dan jumlah setana rendah yang akan menyebabkan masalah seperti pembakaran tidak sempurna, kontaminasi oli mesin, dan emisi asap yang tinggi. Penggunaan minyak nabati untuk bahan bakar harus melalui proses perengkahan. Minyak nabati yang telah mengalami perengkahan memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat diintegrasikan dalam kilang minyak mentah karena kemiripannya dengan peningkatan minyak bumi, dapat dicampur dengan bahan bakar konvensional, dapat digunakan pada mesin tanpa perlu modifikasi, dan menghasilkan produk akhir dengan kualitas sesuai standar seperti aliran dingin, titik beku, dan stabilitas termal (Vásquez, Silva, & Castillo, 2017). Beberapa tanaman yang menghasilkan minyak nabati untuk produksi *biogasoline* komersial saat ini meliputi: lobak, bunga matahari, kedelai, jarak pagar, kelapa sawit, dan karet (Zhao, Wei, Cheng, & Julson, 2017). Berikut adalah data kandungan asam lemak yang terdapat pada minyak nabati yang digunakan dalam produksi *biogasoline* menggunakan katalis HZSM-5.

**Tabel 1.** Kandungan asam lemak pada minyak nabati sebagai bahan baku *biogasoline* menggunakan katalis HZSM-5

Jenis Minyak Nabati	Kandungan (%)					Ref.
	<i>Palmitic Acid</i> (C <sub>16:0</sub> )	<i>Stearic Acid</i> (C <sub>18:0</sub> )	<i>Oleic Acid</i> (C <sub>18:1</sub> )	<i>Linoleic Acid</i> (C <sub>18:2</sub> )	<i>Linolenic Acid</i> (C <sub>18:3</sub> )	
Minyak Sawit	49,8	3,6	36,2	7,9	-	(Lin, Chen, & Wang, 2020)
Minyak Biji Karet	10,24	8,19	24,37	31,14	23,17	(Yubao <i>et al.</i> , 2017)
Minyak Jarak Pagar	15,20	6,80	44,60	32,20	-	(Ismail, Mansour, Yossif, Bekhit, & Negm, 2018)
Minyak Kedelai	12,5	2,9	34,8	49,1	-	(Zheng <i>et al.</i> , 2017)
Minyak Lobak	4,43	1,6	56,89	22,63	11,95	(Ramos, García, Botas, & Serrano, 2016)
Minyak Sayur	4,8	1,5	51,5	21,2	5,8	(Wu <i>et al.</i> , 2017)
Minyak Pongamia	8,9	8,2	65,8	12,1	-	(Ganesan, Thiripuranthagan, & Subba, 2019)
Minyak Bunga Matahari	6,9	1,9	19,7	71,3	-	(Doronin, Potapenko, Lipin, & Sorokina, 2014)

Tabel 1 menunjukkan komposisi asam lemak utama pada minyak nabati. Komposisi tersebut menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi hasil %*biogasoline* yang diproduksi. Asam lemak dari minyak nabati memiliki pengaruh terhadap viskositas, titik leleh dan titik didihnya. Selain itu, asam lemak mempengaruhi kinerja katalis seperti selektivitas dan aktivitasnya selama peningkatan minyak nabati (Zhao *et al.*, 2017).

### 3. Metode *Catalytic Cracking* Minyak Nabati

Bahan bakar alternatif minyak yang ramah lingkungan dapat diproduksi dengan metode *catalytic cracking* (Zaher, Gad, Aly, & Hamed, 2017). Metode *catalytic cracking* merupakan jalur untuk konversi minyak nabati menjadi *biogasoline* (Zhao *et al.*, 2017). Kelebihan dari *catalytic cracking* yaitu hasil *biogasoline* yang tinggi dari minyak nabati pada suhu reaksi yang relatif lebih rendah (Gurdeep Singh *et al.*, 2020). Selain itu, *catalytic cracking* memberikan produk yang lebih banyak tetapi tidak membutuhkan bahan baku tambahan sehingga hemat biaya dan sederhana untuk mengubah minyak nabati menjadi *biogasoline* (Hasan, Sani, Azis, Sulaiman, & Daud, 2014).

Proses *catalytic cracking* mengubah produk hidrokarbon rantai panjang menjadi produk hidrokarbon berantai pendek (Majed & Tye, 2018). Selama proses *catalytic cracking*, panjang rantai hidrokarbon dipecah menjadi hidrokarbon sederhana rantai pendek dengan bantuan katalis. Katalis mengurangi energi aktivasi reaksi *catalytic cracking* dan mengontrol selektivitas produk (Alfernando, Sarip, Anggraini, & Nazarudin, 2019). Pada proses *catalytic cracking* kondisi operasi dan katalis memiliki faktor yang signifikan untuk meningkatkan perengkahan minyak nabati (Zhao *et al.*, 2017). Proses perengkahan menggunakan metode *catalytic cracking* yaitu asam lemak yang terdapat di dalam trigliserida direngkahkan untuk mendapatkan rantai alifatik atau hidrokarbon aromatik dan isoparaffin (Wang *et al.*, 2016). Kandungan aromatik dan isoparaffin menghasilkan produk akhir salah satunya yaitu hidrokarbon yang sesuai dengan rentang titik didih fraksi bensin (60-120°C) (Molefe *et al.*, 2019).

#### 4. Katalis HZSM-5

Salah satu zeolit yang umum digunakan dan efektif untuk merengkah minyak nabati adalah HZSM-5 (Molefe *et al.*, 2019). Katalis HZSM-5 memiliki kemampuan yang baik dalam selektivitas dan aktivitas untuk memecahkan molekul yang lebih berat, seperti trigliserida yang berpengaruh terhadap hasil *cracking* (Ramya *et al.*, 2015). Hasil *cracking*nya yaitu katalis HZSM-5 mengubah asam lemak menjadi parafin, olefin, dan senyawa aromatik dalam kisaran *biogasoline* (Arumugam *et al.*, 2021). Katalis HZSM-5 memiliki struktur berpotongan 3 dimensi dengan ukuran pori yang mirip dengan senyawa aromatik seperti: toluena, xylene dan benzena (Hu, Xiao, & Zhang, 2017). Hal tersebut yang menyebabkan HZSM-5 mempromosikan pembentukan senyawa aromatik dalam fraksi bensin (Gurdeep Singh *et al.*, 2020).

HZSM-5 merupakan katalis yang bentuknya paling selektif untuk mengkonversi fraksi *biogasoline* daripada zeolit sintesis lainnya (Ramya *et al.*, 2015; Vu & Armbruster, 2018; Wu *et al.*, 2017). Hal ini karena penggunaan katalis HZSM-5 memungkinkan berbagai reaksi seperti isomerisasi dan aromatisasi yang menghasilkan sedikit kokas (Ramya *et al.*, 2015). Hasil reaksi menunjukkan produk aromatik dan komposisi isoparafin tinggi yang dapat menurunkan komposisi parafin yang tidak diinginkan (Gurdeep Singh *et al.*, 2019). Selain itu, katalis HZSM-5 memiliki kelebihan yaitu aktivitas katalitik yang lebih baik, stabilitas dan selektivitas yang lebih tinggi, serta lebih sedikit kepekaan terhadap penonaktifan oleh kokas (Luo, Bhaskar, Yeh, & Gorte, 2014). Katalis HZSM-5 menunjukkan konversi yang lebih tinggi dan yang lebih efektif dibandingkan zeolit jenis lainnya (Kim *et al.*, 2014).

Katalis HZSM-5 sebagian besar memiliki situs asam Bronsted dengan asam tinggi yang berasal dari gugus hidroksil yang terhubung ke kerangka atom aluminium. Situs asam merupakan faktor yang sangat penting bagi katalis karena berpengaruh terhadap selektivitas, aktivitas, dan daya tahan katalis (Aini, Al-Muttaqii, Roesyadi, & Kurniawansyah, 2020). Situs asam Bronsted sangat aktif terhadap banyak reaksi katalitik sebagai donor proton yang memiliki peran penting dalam aplikasi penyulingan minyak dan industri petrokimia (Ramos *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2014). Situs asam kuat yang dimiliki HZSM-5 dapat menghasilkan isoparafin tinggi yang dapat meningkatkan angka oktan (Sonthalia & Kumar, 2017). Sementara itu, jika parafin lebih tinggi akan mengurangi angka oktan bahan bakar. Semakin tinggi angka oktan maka semakin tinggi kualitas bensin yang dihasilkan. Hal ini karena adanya pengurangan ketahanan bahan bakar terhadap ketukan atau ping selama pembakaran sehingga akan meningkatkan kinerja mesin (Fotouh TM, Mazen, & Ashour, 2017).

#### 5. Produksi *Biogasoline* Menggunakan Katalis HZSM-5

**Tabel 2.** Hasil %*biogasoline* menggunakan katalis HZSM-5 pada minyak nabati menggunakan metode *catalytic cracking*

No .	Bahan Baku	Reaktor	Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Surface Area (m <sup>2</sup> /g)	Ukuran Pori (nm)	<i>Biogasoline</i> (%)	Ref.
1	Minyak biji karet	<i>Batch reactor</i>	450	90	431,7	2,43	80	(Gurdeep Singh <i>et al.</i> , 2019)
2	Minyak biji karet	<i>Batch reactor</i>	450	90	432	2,43	68	(Gurdeep Singh <i>et al.</i> , 2020)
3	Minyak sayur	<i>Fixed bed</i>	500	30	358	-	60,7	(Wu <i>et al.</i> , 2017)
4	Minyak jarak pagar	<i>Fixed bed</i>	400	%	431,7	5,5	50	(Ramya <i>et al.</i> , 2015)

No	Bahan Baku	Reaktor	Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Surface Area (m <sup>2</sup> /g)	Ukuran Pori (nm)	Biogasoline (%)	Ref.
5	Minyak pongamia	<i>Fixed bed</i>	400	60	431,7	5,5	50	(Ramya <i>et al.</i> , 2015)
6	Minyak jarak pagar	<i>Fixed bed</i>	400	60	483	-	49	(Li <i>et al.</i> , 2014)
7	Minyak pongamia	<i>Fixed bed</i>	400	60	483	-	49	(Ganesan <i>et al.</i> , 2019)
8	Minyak lobak	<i>Fixed bed</i>	550	180	404	-	45	(Ramos <i>et al.</i> , 2016)
9	Minyak bunga matahari	<i>Fixed bed</i>	450	300	-	-	43,5	(Doronin <i>et al.</i> , 2014)
10	Minyak lobak	<i>Fixed bed</i>	550	180	377	-	39	(Botas, Serrano, García, Vicente, & Ramos, 2012)
11	Minyak kedelai	-	450	90	299	1,99	38,8	(Ortiz-Bravo, Zandonai, Olsen-Scaliante, & Fernandes, 2020)
12	Minyak sawit	<i>Fixed bed</i>	550	-	373	-	35	(Vu & Armbruster, 2018)
13	Minyak sawit	<i>Fixed bed</i>	450	120	213,524	1,3	28,87	(Sirajudin, Jusoff, & Yani, 2013)
14	Minyak bunga matahari	<i>Fixed bed</i>	450	-	456	-	28,3	(Doronin <i>et al.</i> , 2018)
15	Minyak bunga matahari	<i>Fixed bed</i>	450	300	-	-	26,9	(Doronin, Potapenko, Lipin, Sorokina, & Buluchevsckaya, 2012)
16	Minyak sawit	<i>Fixed bed</i>	350	-	106,508	1,93	23	(Budianto, Prajitno, & Budhikarjono, 2014)
17	Minyak sawit	-	420	300	452,73	4,4	20,27	(Sangdara, Subsadsana, & Ruangviriyachai, 2017)
18	Minyak sawit	<i>Fixed bed</i>	450	120	213,352	1,32	17,55	(Roesyadi, Hariprajitno, Nurjannah, & Savitri, 2012)
19	Minyak sawit	<i>Fixed bed</i>	450	-	424,648	-	10,92	(Musa, Mat, & Abdullah, 2018)
20	Minyak sawit	-	350	60	-	-	9	(Chang & Tye, 2013)
21	Minyak sawit	<i>batch reactor</i>	400	120	345,9	-	6,3	(Subsadsana & Ruangviriyachai, 2016)

### 5.1 Pengaruh Jenis Reaktor

Tabel 2 menunjukkan kemajuan terbaru pada *catalytic cracking* minyak nabati menjadi *biogasoline* menggunakan katalis HZSM-5. Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 2 dengan menggunakan minyak nabati yang sama yaitu minyak sawit dan digunakan reaktor yang berbeda yaitu reaktor *batch* dan *fixed*



*bed* terdapat perbedaan hasil %*biogasoline* yaitu 35% pada penelitian (Vu & Armbruster, 2018) dengan reaktor *fixed bed* dan 6,3% pada penelitian (Subsadsana & Ruangviriyachai, 2016) dengan reaktor *batch*. Reaktor *fixed bed* menunjukkan hasil %*biogasoline* yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan reaktor *batch*. Penggunaan reaktor yang berbeda pada minyak yang sama dapat mempengaruhi hasil %*biogasoline*. Sedangkan pada Tabel 2 dengan minyak yang berbeda menggunakan reaktor yang sama yaitu *batch* hasil tertinggi diperoleh dari penelitian (Gurdeep Singh *et al.*, 2019) dengan minyak biji karet yaitu 80% dibandingkan dengan penelitian (Subsadsana & Ruangviriyachai, 2016) dengan minyak sawit 35%. Pada reaktor *fixed bed* hasil tertinggi ditunjukkan pada penelitian (Wu *et al.*, 2017) menggunakan minyak sayur yaitu 60,7% dibandingkan dengan penelitian (Musa *et al.*, 2018) menggunakan minyak sawit yaitu 9%. Pada kedua reaktor tersebut menunjukkan hasil yang sama rendah untuk minyak sawit. Berikut adalah perbandingan kelebihan dan kekurangan dari reaktor *fixed bed* dan *batch*.

Tabel 3. Perbandingan reaktor *fixed bed* dan *batch*

Reaktor	<i>Fixed Bed</i>	<i>Batch</i>
<b>Kelebihan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selektivitas tinggi</li> <li>- Skala kompleks</li> <li>- Kompatibel dengan tekanan dan kondisi suhu yang sangat tinggi</li> <li>- Proses sederhana dan hemat biaya</li> <li>- Hasil produk tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membutuhkan suhu yang relatif rendah</li> <li>- Fleksibilitas yang lebih tinggi</li> </ul>
<b>Kekurangan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membutuhkan suhu yang relatif tinggi</li> <li>- Potensi reaksi samping yang lebih tinggi</li> <li>- Kontrol suhu yang lebih sulit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selektivitas rendah</li> <li>- Skala sederhana</li> <li>- Biaya lebih mahal</li> <li>- Hasil produk rendah</li> </ul>

Referensi: (Tabatabaei *et al.*, 2019)

Berdasarkan pada Tabel 3 reaktor yang efisien digunakan dalam produksi *biogasoline* yaitu reaktor *fixed bed*. Hal tersebut karena reaktor *fixed bed* memiliki keuntungan yaitu mudah dioperasikan dan memiliki selektivitas yang tinggi dibandingkan dengan reaktor *batch*. Reaktor *fixed bed* dapat digunakan dalam kisaran suhu yang luas dan pemisahan cairan/katalis dapat dilakukan dengan mudah dan biaya rendah, membuat jenis reaktor ini cocok untuk digunakan pada *catalytic cracking*. Reaktor *fixed bed* menghasilkan %*biogasoline* yang lebih tinggi daripada reaktor *batch* dalam waktu reaksi yang cukup cepat. Waktu reaksi yang pendek antara minyak dengan katalis dapat mengurangi deposisi kokas dan meningkatkan produksi bensin (Sangdara *et al.*, 2017).

## 5.2 Pengaruh Kondisi Suhu Operasi

Suhu operasi mempengaruhi hasil %*biogasoline*. Tabel 2 menyajikan hasil dari *catalytic cracking* menggunakan katalis HZSM-5. Suhu reaksi untuk *catalytic cracking* minyak nabati menggunakan katalis HZSM-5 berkisar antara 350°C – 550°C. Berdasarkan data pada Tabel 2 dengan minyak nabati yang berbeda dan suhu yang berbeda, penelitian (Gurdeep Singh *et al.*, 2019) menghasilkan %*biogasoline* tertinggi pada suhu 450°C menggunakan minyak biji karet sedangkan hasil %*biogasoline* yang terendah yaitu penelitian (Subsadsana & Ruangviriyachai, 2016) pada suhu 400°C menggunakan minyak sawit. Ditinjau dari minyak yang berbeda dengan suhu yang sama yaitu 450°C pada penelitian (Gurdeep Singh *et al.*, 2019) minyak biji karet memiliki hasil tertinggi yaitu 80%

dibandingkan dengan beberapa penelitian diantaranya yaitu minyak bunga matahari penelitian (Botas *et al.*, 2012; Doronin *et al.*, 2012; Doronin *et al.*, 2014; Doronin *et al.*, 2018), minyak kedelai penelitian (Ortiz-Bravo *et al.*, 2020) dan minyak sawit (Roesyadi *et al.*, 2012; Chang & Tye, 2013; Budianto *et al.*, 2014; Subsadsana & Ruangviriyachai, 2016; Sangdara *et al.*, 2017; Musa *et al.*, 2018). Pada suhu reaksi 450°C katalis HZSM-5 dapat bekerja secara maksimal untuk menghasilkan *biogasoline*.

Peningkatan suhu reaksi menyebabkan aktivitas katalis semakin tinggi yang menyebabkan hasil residu penyulingan rendah. Suhu tinggi dapat menyediakan lebih banyak energi panas yang diperlukan untuk transisi fase minyak cair menjadi gas dan untuk memutus ikatan kimia minyak. Rantai panjang dari asam karboksilat setelah dekomposisi trigliserida akan dipecah menjadi senyawa molekul yang lebih kecil pada suhu reaksi yang lebih tinggi (Zhao *et al.*, 2016). Semakin meningkatnya suhu maka energi kinetik yang dimiliki senyawa semakin besar, sehingga tumbukan yang terjadi antar molekul akan semakin tinggi yang menyebabkan reaksi berlangsung lebih cepat sehingga pemutusan ikatan senyawa berat semakin tinggi juga (Haji, Rp, & Budianto, 2019). Oleh karena itu, produk *biogasoline* yang dihasilkan juga akan meningkat (Prihanto & Irawan, 2018). Akan tetapi, jika suhu reaksi terlalu tinggi hasil produk cair akan rendah karena peningkatan formasi gas (Zhao *et al.*, 2017). Semakin tinggi suhu perengkahan maka semakin rendah selektivitas *biogasoline*. Hal tersebut karena terjadi kenaikan selektivitas *biokerosene* seiring dengan kenaikan suhu (Budianto *et al.*, 2019). Selain itu, terjadi pembentukan kokas dari hidrokarbon aromatik melalui polimerisasi dan aromatisasi yang mengakibatkan *yield* kokas tinggi (Sangdara *et al.*, 2017). Sedangkan, jika suhu reaksi terlalu rendah minyak nabati sulit untuk direngkahkan.

### 5.3 Pengaruh Waktu Reaksi

Peningkatan hasil persen *biogasoline* seiring dengan meningkatnya waktu reaksi. Ditinjau berdasarkan data Tabel 2 pada waktu reaksi yang berbeda dengan menggunakan minyak nabati yang sama yaitu minyak sawit, penelitian (Chang & Tye, 2013) memiliki hasil %*biogasoline* yang lebih rendah dalam waktu reaksi 60 menit dibandingkan dengan penelitian (Sirajudin *et al.*, 2013) dalam waktu reaksi 120 menit. Sedangkan ditinjau dari minyak nabati yang berbeda dengan waktu reaksi yang berbeda, diperoleh hasil tertinggi %*biogasoline* pada penelitian (Gurdeep Singh *et al.*, 2019) dalam waktu 90 menit menggunakan minyak biji karet yaitu 80% dibandingkan dengan penelitian (Subsadsana & Ruangviriyachai, 2016) dalam waktu 120 menit menggunakan minyak sawit yaitu 6,3% dan pada penelitian (Sangdara *et al.*, 2017) dalam waktu reaksi 300 menit menggunakan minyak bunga matahari yaitu 20,27%. Pada waktu reaksi 90 menit merupakan waktu optimum yang menunjukkan hasil %*biogasoline* tinggi pada berbagai jenis minyak nabati.

Perbedaan waktu lama reaksi menghasilkan %*biogasoline* yang berbeda. Semakin cepat waktu reaksi terjadi maka hasil %*biogasoline* yang dihasilkan akan lebih rendah karena adanya oligomerisasi. Sementara itu, semakin lama waktu reaksi terjadi, tren produk sedikit berubah karena jalur reaksi perengkahan yang sama. Namun, selektivitas terhadap bensin menjadi lebih tinggi ketika waktu reaksi meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa sisa trigliserida dan/atau asam lemak semakin terengkah menjadi hidrokarbon menyebabkan penurunan hasil residu penyulingan dan pengaruh situs asam Lewis pada katalis dipromosikan beberapa jalur reaksi untuk mengubah trigliserida dan asam lemak menjadi fraksi bensin

(Sangdara *et al.*, 2017). Akan tetapi, jika waktu reaksi terlalu lama dilakukan akan menyebabkan produk *biogasoline* cenderung menurun karena penurunan kinerja katalis dari waktu ke waktu (Rosmawati, Arita, Komariyah, & Alfernando, 2019). Selain itu, akan terjadi pembentukan gas dan aromatik yang kemudian menghasilkan kokas yang tinggi sehingga hasil %*biogasoline* akan menurun (Li *et al.*, 2014).

#### 5.4 Pengaruh Luas Permukaan (*Surface Area*) dan Ukuran Pori Katalis HZSM-5

Luas permukaan (*surface area*) dan ukuran pori katalis HZSM-5 mempengaruhi hasil %*biogasoline*. Berdasarkan pada Tabel 2 ditinjau dari luas permukaan dan ukuran pori katalis HZSM-5 yang berbeda menggunakan minyak nabati yang sama yaitu minyak sawit pada penelitian (Gurdeep Singh *et al.*, 2020) memiliki luas permukaan dan ukuran pori yang lebih besar menghasilkan %*biogasoline* yang lebih tinggi yaitu 28,87% dibandingkan dengan penelitian (Roesyadi *et al.*, 2012) yang menghasilkan %*biogasoline* 17,55%. Sedangkan berdasarkan pada minyak nabati yang berbeda dengan luas permukaan dan ukuran pori katalis HZSM-5 yang berbeda pada penelitian (Gurdeep Singh *et al.*, 2019) menggunakan minyak biji karet dengan katalis HZSM-5 yang memiliki luas permukaan dan ukuran pori yang lebih besar menghasilkan %*biogasoline* yang lebih tinggi yaitu 80% dibandingkan dengan penelitian (Roesyadi *et al.*, 2012) menggunakan minyak sawit yaitu 17,55%.

Luas permukaan mempengaruhi aktivitas dari katalis. Semakin luas permukaan suatu katalis maka fasa aktif yang tersebar semakin banyak sehingga meningkatkan aktivitas katalis dan dapat meningkatkan jumlah produk (Savitri, Nugraha, & Aziz, 2016). Luas permukaan dan ukuran pori yang besar menyebabkan adanya situs aktif yang lebih banyak pada katalis HZSM-5, sehingga reaksi kontak antara minyak dengan katalis terjadi lebih banyak dan produk akhirnya akan semakin meningkat (Rahayu, 2013). Katalis HZSM-5 memiliki selektivitas yang cukup baik untuk memproduksi *biogasoline* melalui pori-porinya ditunjukkan dengan aktivitas perengkahan yang efisien dan ketahanan yang kuat terhadap penonaktifan katalis (Ramya *et al.*, 2015).

#### 5.5 Pengaruh Jenis Minyak Nabati

Jenis minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku berpengaruh terhadap %*biogasoline* yang akan dihasilkan. Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa pada jenis minyak nabati yang berbeda, penelitian (Gurdeep Singh *et al.*, 2019) menggunakan minyak biji karet memberikan hasil %*biogasoline* yang paling tinggi yaitu 80% dibandingkan dengan menggunakan minyak sawit dengan memberikan hasil %*biogasoline* cukup rendah pada beberapa penelitian yang telah dilakukan (Budianto *et al.*, 2014; Sangdara *et al.*, 2017; Roesyadi *et al.*, 2012; Musa *et al.*, 2018; Chang & Tye, 2013; Subsadsana & Ruangviriyachai, 2016). Minyak nabati yang memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan minyak sawit yaitu minyak biji karet 80% (Gurdeep Singh *et al.*, 2019), minyak jarak pagar 50% (Ramya *et al.*, 2015), minyak pongamia 50% (Ramya *et al.*, 2015), minyak lobak 45% (Li *et al.*, 2014), minyak bunga matahari 43,5% (Ganesan *et al.*, 2019) dan minyak kedelai 38,8% (Ortiz-Bravo *et al.*, 2020) sehingga berpotensi digunakan untuk produksi *biogasoline*. Persentase hasil *biogasoline* menggunakan berbagai jenis minyak nabati dapat ditunjukkan dengan urutan sebagai berikut:

Minyak biji karet > minyak jarak pagar > minyak pongamia > minyak lobak > minyak bunga matahari > minyak kedelai > minyak sawit

Sifat fisika dan kimia minyak nabati seperti panjang rantai hidrokarbon memberikan pengaruh terhadap aktivitas katalitik HZSM-5 untuk merengkah minyak nabati yang berbeda (Gurdeep Singh *et al.*, 2019). Hal tersebut sesuai dengan data kandungan minyak nabati pada Tabel 1 yang menunjukkan bahwa minyak biji karet memiliki kandungan asam lemak berantai panjang seperti *oleic acid*, *linoleic acid* dan *linolenic acid* yang tinggi sehingga %*biogasoline* yang dihasilkan juga tinggi.

Tingkat asam lemak tak jenuh ganda yang lebih tinggi, terutama *linoleic acid* sangat cocok untuk produksi *biogasoline*. Hal tersebut karena asam lemak tak jenuh terurai dan deoksigenasi lebih cepat daripada asam lemak jenuh. *Linoleic acid* adalah asam lemak tak jenuh ganda dengan dua ikatan ganda karbon-karbon dengan formula kimia  $C_{18}H_{32}O_2$ . Akibatnya, minyak biji karet lebih cocok untuk produksi *biogasoline* daripada minyak kelapa sawit karena komposisi *linoleic acid* minyak biji karet (31%) secara signifikan lebih tinggi daripada minyak kelapa sawit (7,9%). *Oleic acid* (asam lemak tak jenuh) memberikan hasil *biogasoline* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *palmitic acid* (asam lemak jenuh) (Gurdeep Singh *et al.*, 2020). Semakin meningkat nilai asam lemak tak jenuh minyak nabati, hasil dari berbagai hidrokarbon aromatik dalam produk *cracking* seperti isoparaffin akan semakin meningkat yang menyebabkan hasil parafin dan olefin berkurang (Doronin *et al.*, 2014).

## SIMPULAN

Katalis HZSM-5 menunjukkan aktivitas yang baik terhadap beberapa jenis minyak nabati untuk mendapatkan *biogasoline* menggunakan metode *catalytic cracking*. Hal tersebut dibuktikan melalui data %*biogasoline* yang telah diperoleh. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil dari %*biogasoline* yaitu jenis reaktor, suhu operasi, waktu reaksi, luas permukaan dan ukuran pori katalis serta jenis minyak nabati.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aini, A. N., Al-Muttaqii, M., Roesyadi, A., & Kurniawansyah, F. (2020). Kinerja Katalis Ni-Cu/HZSM-5 dalam Pembuatan Biogasoil dari Minyak Bintaro (Cerbera Manghas) dengan Proses Hydrocracking. *Berkala Saintek*, 5.
- Alfernando, O., Sarip, R., Anggraini, T., & Nazarudin, N. (2019). Catalytic Cracking of Methyl Ester from Used Cooking Oil with Ni-Ion-Exchanged ZSM-5 Catalyst. *Makara Journal of Science*, 169–178. <https://doi.org/10.7454/mss.v23i4.11509>.
- Arumugam, M., Goh, C. K., Zainal, Z., Triwahyono, S., Lee, A. F., Wilson, K., & Taufiq-Yap, Y. H. (2021). Hierarchical HZSM-5 for Catalytic Cracking of Oleic Acid to Biofuels. *Nanomaterials*, 11(3), 747. <https://doi.org/10.3390/nano11030747>.
- Aziz, I., Adhani, L., Yolanda, T., & Saridewi, N. (2019). Catalytic Cracking Of Jatropha Curcas Oil Using Natural Zeolite Of Lampung As A Catalyst. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 299, 012065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/299/1/012065>.

- Botas, J. A., Serrano, D. P., García, A., Vicente, J. de, & Ramos, R. (2012). Catalytic Conversion of Rapeseed Oil into Raw Chemicals and Fuels Over Ni and Mo-Modified Nanocrystalline ZSM-5 Zeolite. *Catalysis Today*, 59–70.
- BPH MIGAS. (2017). Konsumsi BBM Nasional Per Tahun. Retrieved September 2, 2020, from <https://www.bphmigas.go.id/konsumsi-bbm-nasional/>.
- Budianto, A., Sumari, S., Pambudi, W. S., Andriani, N., Mardianto, A. A., & Kimia, J. (2019). Uji Coba Produksi Biofuel dari RBD Stearin dalam Reaktor Fixed Bed dengan Metode Cracking. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII 2019*, 6.
- Budianto, A., Prajitno, D. H., & Budhikarjono, K. (2014). Biofuel Production from Candlenut Oil Using Catalytic Cracking Process with Zn/HZSM-5 Catalyst. *Journal of Engineering And Applied Sciences*, 9(11), 4.
- Chang, W. H., & Tye, C. T. (2013). Catalytic Cracking of Used Palm Oil Using Composite Zeolite. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 17(1), 9.
- Doronin, V. P., Lipin, P. V., Potapenko, O. V., Vysotskii, V. V., Gulyaeva, T. I., & Sorokina, T. P. (2018). Modifying Zeolite ZSM-5 to Increase the Yield of Light Olefins in Cracking Feedstocks of Petroleum and Vegetable Origin. *Catalysis in Industry*, 10(4), 335–343. <https://doi.org/10.1134/S2070050418040050>.
- Doronin, V. P., Potapenko, O. V., Lipin, P. V., & Sorokina, T. P. (2014). Conversion of Vegetable Oils under Conditions of Catalytic Cracking. *Catalysis in Industry*, 6(1), 53–59. <https://doi.org/10.1134/S207005041401005X>.
- Doronin, V. P., Potapenko, O. V., Lipin, P. V., Sorokina, T. P., & Buluchevskaya, L. A. (2012). Catalytic Cracking of Vegetable Oils for Production of High-Octane Gasoline and Petrochemical Feedstock. *Petroleum Chemistry*, 52(6), 392–400. <https://doi.org/10.1134/S0965544112060059>.
- Fotouh TM, A., Mazen, O. A., & Ashour, I. (2017). An Experimental Study on the Influence of Ethanol and Automotive Gasoline Blends. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*, 08(01). <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000318>.
- Ganesan, R., Thiripuranthagan, S., & Subba, S. (2019). Synthesis and Characterization of Core-Shell Modeled AIMCM-48/HZSM-5 Composite Catalyst and Studies on Its Catalytic Activity in Cracking of Pongamia Oil into Bio Liquid Products. *BioEnergy Research*, 12(2), 388–399. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09976-7>.
- Gurdeep Singh, H. K., Yusup, S., Quitain, A. T., Abdullah, B., Ameen, M., Sasaki, M., ... Cheah, K. W. (2020). Biogasoline Production from Linoleic Acid via Catalytic Cracking Over Nickel and Copper-doped ZSM-5 Catalysts. *Environmental Research*, 186, 109616. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109616>.
- Gurdeep Singh, H. K., Yusup, S., Quitain, A. T., Kida, T., Sasaki, M., Cheah, K. W., & Ameen, M. (2019). Production of gasoline range hydrocarbons from catalytic

- cracking of linoleic acid over various acidic zeolite catalysts. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), 34039–34046. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3223-4>.
- Hajj, D. S., Rp, D. A., & Budianto, A. (2019). Pembuatan Biofuel dengan Proses Perengkahan dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menggunakan Katalis CaO. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII 2019*, 8.
- Haryani, N., Harahap, H., Taslim, & Irvan. (2020). Biogasoline Production via Catalytic Cracking Process Using Zeolite and Zeolite Catalyst Modified with Metals: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 801, 012051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/801/1/012051>.
- Hasan, S. N., Sani, Y. M., Azis, A. R. A., Sulaiman, N. M. N., & Daud, W. M. A. W. (2014). Biogasoline: An Out of The Box To The Food For Fuel And Land Use Competitions. *Elsevier*.
- Hu, C., Xiao, R., & Zhang, H. (2017). Ex-situ Catalytic Fast Pyrolysis of Biomass Over HZSM-5 in A Two-Stage Fluidized-Bed/Fixed-Bed Combination Reactor. *Bioresource Technology*, 243, 1133–1140. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.011>.
- Ismail, A., Mansour, S., Yossif, M., Bekhit, M., & Negm, N. (2018). Production of Jet Biofuels from Catalytic Cracking of Vegetable Oils Using Acidic Catalysts. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 27(4), 1–9. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2018/41162>.
- Kim, J., Hyeon, D. H., Park, S. H., Chun, B.-H., Jeong, B. H., Han, J. S., & Kim, S. H. (2014). Catalytic Endothermic Reactions of Exo-Tetrahydrodicyclopentadiene With Zeolites And Improvement Of Heat Of Reactions. *Catalysis Today*, 232, 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.10.045>.
- Li, L., Quan, K., Xu, J., Liu, F., Liu, S., Yu, S., ... Ge, X. (2014). Liquid Hydrocarbon Fuels from Catalytic Cracking of Rubber Seed Oil Using USY As Catalyst. *Fuel*, 123, 189–193. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.01.049>.
- Lin, C.-H., Chen, Y.-K., & Wang, W.-C. (2020). The Production of Bio-Jet Fuel From Palm Oil Derived Alkanes. *Fuel*, 260, 116345. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116345>.
- Luo, J., Bhaskar, B. V., Yeh, Y.-H., & Gorte, R. J. (2014). N-Hexane Cracking At High Pressures On H-ZSM-5, H-BEA, H-MOR, and USY For Endothermic Reforming. *Applied Catalysis A: General*, 478, 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2014.04.010>.
- Majed, M. A. A., & Tye, C. T. (2018). Catalytic Cracking of Used Vegetable Oil to Green Fuel With Metal Functionalized ZSM-5 Catalysts. *Malaysian Journal of Analytical Science*, 22(1), 9. <https://doi.org/10.17576/mjas-2018-2201-02>.

- Molefe, M., Nkazi, D., & Mukaya, H. E. (2019). Method Selection for Biojet and Biogasoline Fuel Production from Castor Oil: A Review. *Energy & Fuels*, 33(7), 5918–5932. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00384>.
- Musa, M. L., Mat, R., & Abdullah, T. A. T. (2018). Catalytic Conversion of Residual Palm Oil in Spent Bleaching Earth (SBE) by HZSM-5 Zeolite Based Catalysts. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 456–465.
- Ortiz-Bravo, C. A., Zandonai, C. H., Olsen-Scaliante, M. H. N., & Fernandes, N. R. C. (2020). Producing Gasoline Like Hydrocarbons by Cracking Crude Soybean Oil: Tuning The NaZSM-5 Zeolite's Acidity for Increasing The Catalyst Lifetime. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s43153-020-00067-1>.
- Prihanto, A., & Irawan, T. A. B. (2018). Pengaruh Temperatur, Konsentrasi Katalis Dan Rasio Molar Metanol-Minyak Terhadap Yield Biodisel Dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Netralisasi-Transesterifikasi. *Metana*, 13(1), 30. <https://doi.org/10.14710/metana.v13i1.11340>.
- Rahayu, P. E. (2013). Konversi Minyak Sawit Menjadi Biogasoline Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6.
- Ramos, R., García, A., Botas, J. A., & Serrano, D. P. (2016). Enhanced Production of Aromatic Hydrocarbons by Rapeseed Oil Conversion over Ga and Zn Modified ZSM-5 Catalysts. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(50), 12723–12732. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b03050>.
- Ramya, G., Sivakumar, T., Arif, M., & Ahmed, Z. (2015). Application of Microporous Catalysts in the Production of Biofuels from NonEdible Vegetable Oils and Used Restaurant Oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37(8), 878–885. <https://doi.org/10.1080/15567036.2011.590855>.
- Roesyadi, A., Hariprajitno, D., Nurjannah, & Savitri, S. D. (2012). The Catalyst Selectivity to Cracking Product of Palm Oil. *Proceeding of International Conference on Chemical and Material Engineering*, 6.
- Rosmawati, Arita, S., Komariyah, L. N., & Alfernando, O. (2019). The effect of H-USY catalyst in catalytic cracking of waste cooking oil to produce biofuel. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 5.
- Sangdara, P., Subsadsana, M., & Ruangviriyachai, C. (2017). Liquid Biofuel Production from Palm Oil Using Dual-Function of Zn/HZSM-5 Catalyst. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(5), 2257–2262. <https://doi.org/10.13005/ojc/330513>.
- Savitri, S., Nugraha, A. S., & Aziz, I. (2016). Pembuatan Katalis Asam (Ni/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan Katalis Basa (Mg/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.3104>.

- Sirajudin, N., Jusoff, K., & Yani, S. (2013). Biofuel Production from Catalytic Cracking of Palm Oil. *World Applied Sciences Journal*, 6. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.26.nrrdsi.26012>.
- Sonthalia, A., & Kumar, N. (2017). Hydroprocessed Vegetable Oil as A Fuel for Transportation Sector: A review. *Journal of The Energy Institute*, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2017.10.008>.
- Subsadsana, M., & Ruangviriyachai, C. (2016). Effect of NiW Modified HZSM-5 and HY Zeolites on Hydrocracking Conversion of Crude Palm Oil to Liquid Hydrocarbons. *Oriental Journal of Chemistry*, 32(2), 839–844. <https://doi.org/10.13005/ojc/320208>.
- Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Dehghani, M., Panahi, H. K. S., Mollahosseini, A., Hosseini, M., & Soufiyan, M. M. (2019). Reactor Technologies for Biodiesel Production and Processing: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 74, 239–303. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.06.001>.
- Vásquez, M. C., Silva, E. E., & Castillo, E. F. (2017). Hydrotreatment of Vegetable Oils: A Review of The Technologies and Its Developments for Jet Biofuel Production. *Biomass and Bioenergy*, 105, 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.07.008>.
- Vu, X. H., & Armbruster, U. (2018). Catalytic Cracking of Triglycerides Over Micro/Mesoporous Zeolitic Composites Prepared from ZSM-5 Precursors with Varying Aluminum Contents. *Reac Kinet Mech Cat*. <https://doi.org/10.1007/s11144-018-1415-z>.
- Wang, W.-C., Tao, L., Markham, J., Zhang, Y., Tan, E., Batan, L., ... Bidy, M. (2016). *Review of Biojet Fuel Conversion Technologies* (No. NREL/TP--5100-66291, 1278318; p. NREL/TP--5100-66291, 1278318). <https://doi.org/10.2172/1278318>.
- Wu, X., Jiang, P., Jin, F., Liu, J., Zhang, Y., Zhu, L., ... Li, Q. (2017). Production of Jet Fuel Range Biofuels by Catalytic Transformation of Triglycerides Based Oils. *Fuel*, 188, 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.10.030>.
- Yubao, C., Yajie, H., Yongyan, Z., Liming, Z., Shunping, Y., Yanni, G., ... 2. Kunming Institute of Precious Metals, Kunming 650106, Yunnan, China. (2017). Converting Rubber Seed Oil into Hydrocarbon Fuels via Supported Pd-Catalyst. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(6), 201–209. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20171006.2742>.
- Zaher, F., Gad, M. S., Aly, S. M., & Hamed, S. F. (2017). Catalytic Cracking of Vegetable Oils for Producing Biofuel. *Egyptian Journal of Chemistry*, 60(2), 291–300. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2017.2967>.
- Zhao, X., Wei, L., Cheng, S., & Julson, J. (2017). Review of Heterogeneous Catalysts for Catalytically Upgrading Vegetable Oils into Hydrocarbon Biofuels. *Catalysts*, 7(12), 83. <https://doi.org/10.3390/catal7030083>.



- Zhao, X., Wei, L., Cheng, S., Julson, J., Anderson, G., Muthukumarappan, K., & Qiu, C. (2016). Development of Hydrocarbon Biofuel from Sunflower seed and Sunflower meat Oils Over ZSM-5. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(1), 013109. <https://doi.org/10.1063/1.4941911>.
- Zheng, Q., Huo, L., Li, H., Mi, S., Li, X., Zhu, X., ... Shen, B. (2017). Exploring Structural Features of USY Zeolite in The Catalytic Cracking of *Jatropha Curcas* L. Seed Oil Towards Higher Gasoline/Diesel Yield and Lower CO<sub>2</sub> Emission. *Fuel*, 202, 563–571. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.04.073>.