

SINTESIS KATALIS KARBON AKTIF CANGKANG BIJI KARET DIIMPREGNASI CaO DAN KOH UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH

SYNTHESIS OF RUBBER SEED SHELL ACTIVATED CARBON IMPREGNATED BY CaO AND KOH AS CATALYST FOR BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OIL

Raka Ade Dwi Cahaya¹, Fadarina HC², Mustain Zamhari³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Kimia Program Studi Teknologi Kimia Industri
Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Srijaya Negara Bukit Besar Palembang
e-mail : ¹rakaadc@gmail.com, ²fadarinahc@email.ac.id, ³mz.oetara1961@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan katalis sangat berpengaruh pada pembuatan biodiesel karena dapat mempercepat produksi biodiesel yang sangat dibutuhkan. Katalis yang sering digunakan pembuatan biodiesel adalah katalis basa homogen seperti NaOH dan KOH. Penggunaan katalis basa lebih cepat dibandingkan katalis asam, sehingga katalis basa lebih sering digunakan. Katalis homogen memiliki kekurangan yaitu sulit dipisahkan yang diatasi dengan menggunakan katalis heterogen. Masalah yang dihadapi ketika menggunakan katalis heterogen adalah proses difusi, sehingga katalis heterogen harus memiliki luas area yang besar. Bahan dengan luas permukaan besar yang berpotensi menjadi bagian katalis adalah karbon aktif dari cangkang biji karet. Karbon aktif tidak bisa langsung digunakan sebagai katalis pada pembuatan biodiesel karena tidak memiliki sisi aktif, sehingga karbon aktif perlu dipreparasi dengan cara impregnasi sisi aktif ke permukaan karbon aktif seperti CaO dan KOH. Penelitian ini memvariasikan rasio campuran saat impregnasi antara karbon aktif CaO dan KOH lalu diuji pada pembuatan biodiesel untuk mengetahui aktivitas dan selektivitas dari katalis. Rasio CaO:AC yang terbaik pada pembuatan katalis CaO/KOH/AC adalah (2,5 : 7,5) dengan konsentrasi KOH yang terbaik yaitu 25% yang menghasilkan *yield* sebesar 96,4%. Biodiesel yang dihasilkan menggunakan katalis CaO/KOH/AC telah memenuhi beberapa parameter SNI 7182:2015, dimana katalis dengan *yield* terbaik menghasilkan densitas sebesar 0,866 gr/ml, viskositas 4,00 cSt, titik nyala 162,6 dan angka setana 75,5.

Kata Kunci : Katalis, Biodiesel, Karbon Aktif, CaO, KOH

ABSTRACT

The use of catalysts is very influential in the production of biodiesel because it can accelerate the production of biodiesel. The catalysts that are often used to make biodiesel are homogeneous base catalysts such as NaOH and KOH. The use of alkaline catalysts is faster than acid catalysts, so alkaline catalysts are more often used. Homogeneous catalysts have the disadvantage that they are difficult to separate. Disadvantages are overcome by using heterogeneous catalysts. The problem encountered when using heterogeneous catalysts is the diffusion process, so the heterogeneous catalyst must have a large surface area. The material with a large surface area that has the potential to be part of the catalyst is activated carbon from rubber seed shell. Activated carbon cannot directly used as a catalyst in the production of biodiesel because it does not have an active site, so activated carbon needs to be prepared by impregnation of the active site onto the surface of activated carbon such as CaO and KOH. This research varying the mixture ratio when impregnation between activated carbon CaO and KOH and then tested on the production of biodiesel for check the activity and selectivity of catalyst. The best CaO:AC ratio in the synthesis of CaO/KOH/AC catalysts is (2.5 : 7.5) with the best KOH concentration of 25% which produces a yield of 96.4%. The biodiesel produced using a CaO/KOH/AC catalyst has met several parameters of SNI 7182:2015, where the catalyst with the best yield produces a density of 0.866 gr/ml, a viscosity of 4.00 cSt, a flash point of 162.6 and a cetane number of 75.5.

Keywords: Catalyst, Biodiesel, Activated Carbon, CaO, KOH

1. PENDAHULUAN

Katalis adalah zat atau substansi yang berfungsi mempercepat laju suatu reaksi tanpa terlibat permanen dalam reaksi (Richardson, 1989). Salah satu penerapan penggunaan katalis adalah pada reaksi transesterifikasi yang mengubah trigliserida menjadi metil ester atau biodiesel. Penggunaan katalis sangat berpengaruh pada pembuatan biodiesel karena dapat mempercepat produksi biodiesel yang sangat dibutuhkan untuk menggantikan solar yang semakin menipis akibat meningkatnya populasi manusia di dunia yang

menggunakan sumber daya solar (Suzihaque dkk., 2022). Katalis yang baik dapat dilihat dari kemampuan katalis menghasilkan produk atau *yield* dan kemampuan katalis menghasilkan produk sesuai dengan yang diinginkan atau selektivitasnya.

Katalis yang sering digunakan pembuatan biodiesel adalah katalis basa homogen seperti NaOH dan KOH. Penggunaan katalis basa dalam pembuatan biodiesel 4000 kali lebih cepat dibandingkan katalis asam, sehingga katalis basa lebih sering digunakan (Maleki dkk., 2022). Meskipun begitu, katalis homogen

memiliki kekurangan utama yaitu sulit dipisahkan. Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan katalis heterogen (Hadiyanto dkk., 2017).

Katalis heterogen bekerja dengan prinsip adsorpsi, dimana katalis padat menyuplai sisi aktif untuk alkohol dan trigliserida sehingga mempercepat proses reaksi (Maleki dkk., 2022). Masalah yang dihadapi ketika menggunakan katalis heterogen adalah proses difusi, sehingga katalis heterogen harus memiliki luas area yang besar. Bahan dengan luas permukaan besar yang berpotensi menjadi bagian katalis adalah karbon aktif (Kaban, 2018).

Karbon aktif sebagai bagian katalis berfungsi sebagai penyangga sisi aktif katalis. Karbon aktif terbukti sangat efektif sebagai bagian dari katalis heterogen karena memiliki luas permukaan yang besar dan kemudahan dalam pemisahannya. Syarat karbon aktif untuk menjadi penyangga katalis yang baik harus mempunyai luas permukaan 500-1000 m²/gram (Richardson, 1989) atau lebih. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan dengan kandungan lignoselulosa yang tinggi seperti cangkang biji karet dan berdasarkan hasil penelitian terdahulu bahwasanya karbon aktif dari cangkang biji karet memiliki spesifikasi dengan luas permukaan yang tinggi (Borhan dan Kamil, 2012).

Karbon aktif tidak bisa langsung digunakan sebagai katalis pada pembuatan biodiesel karena tidak memiliki sisi aktif, sehingga karbon aktif perlu dipreparasi terlebih dahulu dengan cara menempelkan bahan/zat yang berfungsi sebagai sisi aktif ke permukaan karbon aktif seperti CaO dan KOH. Berdasarkan penelitian sebelumnya, pada pembuatan katalis karbon aktif sebagai penyangga CaO dan NaOH menyimpulkan berdasarkan hasil uji katalis dalam pembuatan biodiesel dari minyak kedelai bahwa metode impregnasi menjadi metode yang terbaik dibandingkan dengan metode kopresipitasi (Faria dkk., 2020).

Sisi aktif katalis adalah bagian utama tempat terjadinya proses katalitik pada saat reaksi transesterifikasi terjadi. Salah satu bahan yang dapat dijadikan sisi aktif katalis yaitu kalsium oksida (CaO). Kalsium oksida (CaO) adalah logam oksida dipilih sebagai sisi aktif katalis karena CaO murah, tidak korosif dan memiliki kebasaaan yang tinggi dibandingkan logam alkali tanah yang lain, namun memiliki kekurangan pada luas permukaannya (Chua dkk., 2020). Penambahan penyangga karbon aktif pada CaO dapat mengatasi masalah luas permukaan CaO, namun kebasaaan CaO sebagai sisi aktif akan melemah karena mudahnya CaO bereaksi dengan air menjadi Ca(OH)₂ pada saat proses impregnasi bagian perendaman sehingga aktivitas katalitik katalis akan menurun. Mengatasi melemahnya kebasaaan yang berakibat pada menurunnya sifat katalitik katalis dapat diatasi dengan perendaman menggunakan larutan basa kuat seperti KOH, sehingga dapat menghasilkan katalis dengan sifat katalitik yang tinggi (Hadiyanto dkk., 2017).

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan katalis karbon aktif diimpregnasi CaO dan KOH

(CaO/KOH/AC) dengan memvariasikan rasio campuran saat impregnasi. Katalis yang telah terbentuk (CaO/KOH/AC) diuji kemampuannya dalam menghasilkan biodiesel/*yield* untuk melihat komposisi rasio terbaik pada pembuatan biodiesel dari minyak jelantah pada kondisi operasi rasio molar minyak dan metanol 1 : 9, suhu reaksi 60°C selama 60 menit dengan jumlah katalis yang digunakan 3% dari berat total minyak. Biodiesel yang dihasilkan diuji mutunya sesuai dengan SNI 7182:2015.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei - Juli 2022 di Laboratorium Utilitas dan Satuan Proses Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan *Furnace*, cawan porselen, pengaduk magnit, neraca digital, blender, ayakan, corong pisah, labu bundar leher dua, corong kaca, spatula, pengaduk kaca, kertas saring, gelas kimia, hotplate, alu dan mortar. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu cangkang biji karet, CaO teknis, KOH PA, minyak jelantah dengan FFA 0,82%, metanol teknis 99% dan akuades.

2.3 Pembuatan Katalis Karbon Aktif Diimpregnasi CaO dan KOH

Metode pembuatan katalis karbon aktif cangkang biji karet yang digunakan merujuk pada metode hasil penelitian Borhan dan Kamil (2012) yang berhasil membuat karbon aktif dari cangkang biji karet dengan luas permukaan yang mencapai 1200 m²/gr kemudian diimpregnasi dengan CaO dan KOH. Mula-mula mencuci biji karet untuk melepaskan debu dan pengotor yang menempel pada biji karet. Selanjutnya, menjemur biji karet dibawah sinar matahari sampai kering. Setelah kering, memisahkan biji karet yang telah kering antara cangkang dan kernelnya dengan cara ditumbuk. Selanjutnya, mengeringkan cangkang biji karet di dalam *oven* pada suhu 110°C selama 1 jam. Selanjutnya, menghaluskan cangkang biji karet menggunakan *blender*, lalu mengayak serbuk cangkang biji karet sampai lolos ukuran 0,5-1 mm. Selanjutnya, merendam/mengaktivasi serbuk cangkang biji karet yang telah diayak dengan cara merendam serbuk dengan larutan KOH 10% dengan rasio berat cangkang biji karet dan KOH 1 : 1 (10 gram serbuk : 10 gram KOH *pellet*) dalam 100 ml pada suhu ruang selama 24 jam, proses aktivasi dilakukan dengan tujuan memperluas permukaan karbon aktif. Selanjutnya, mengeringkan campuran, lalu mengkarbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 500°C selama 3 jam. Mendinginkan karbon aktif yang terbentuk, kemudian mencuci dengan akuades dan mengeringkan didalam *oven* pada suhu 110°C. Selanjutnya, mengayak karbon aktif (AC) yang telah kering sampai lolos ukuran 0,5 mm. Proses dilanjutkan ke impregnasi dilakukan dengan cara mencampurkan CaO teknis dan karbon aktif dengan variasi 7,5 : 2,5; 5 : 5; 2,5 : 7,5; dan 0 : 10, lalu direndam

dengan larutan KOH 25, 30 dan 35% dalam 100 ml, diaduk selama 1 jam dan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah 24 jam, dilakukan proses pengeringan dengan pemanasan menggunakan *hotplate* pada suhu 100°C sampai campuran mengering. Setelah dikeringkan, campuran dikalsinasi dalam *furnace* pada suhu 500°C selama 5 jam. Katalis yang terbentuk didinginkan kemudian disimpan di wadah tertutup.

2.4 Pengujian Aktivitas Katalis pada Pembuatan Biodiesel

Pengujian katalis dilakukan pada reaksi transesterifikasi dengan kondisi operasi rasio molar minyak dan metanol 1 : 9, suhu 60°C selama 60 menit. Minyak jelantah dimasukkan kedalam labu bundar leher dua, kemudian dipanaskan sampai suhu 60°C. Selanjutnya, mencampurkan metanol dengan katalis sebanyak 3% berat/berat total minyak lalu diaduk. Campuran metanol dan katalis kemudian dimasukkan ke dalam labu bundar yang berisi minyak yang telah dipanaskan. Suhu reaksi dijaga 60°C dengan pengadukan menggunakan *hotplate* selama 60 menit terhitung mulai dari pengadukan dimulai. Setelah waktu tercapai, hasil proses dimasukkan ke corong pisah dan didiamkan sampai terbentuk 3 lapisan pada suhu kamar. Lapisan terdiri dari metil ester/biodiesel, gliserol dan katalis. Ketiga lapisan dipisahkan dan meninggalkan metil ester didalam corong pisah. Metil ester kemudian dicuci dengan akuades panas beberapa kali untuk menghilangkan gliserol dan metanol yang masih terkandung pada metil ester sampai air pencuci berwarna bening yang menandakan tidak ada zat terlarut dalam biodiesel. Metil ester kemudian dipanaskan pada suhu 100°C untuk menghilangkan air sampai berwarna bening. Metil ester atau biodiesel didinginkan dan dimasukkan ke wadah tertutup kemudian ditimbang. Hasil berupa *yield* biodiesel dapat dihitung dengan persamaan (1). Biodiesel dengan *yield* yang terbesar dianalisis densitas, viskositas, titik nyala dan angka setananya untuk melihat kemampuan selektivitas dari katalis.

$$Yield\ biodiesel\ (\%) = \frac{\text{berat produk yang didapat}}{\text{berat minyak nabati}} \times 100 \dots (1)$$

2.5 Pengujian Mutu Biodiesel

Pengujian mutu biodiesel yang dihasilkan dilakukan mengikuti metode SNI dan metode dari penelitian yang sebelumnya. Parameter yang diuji pada penelitian ini yaitu densitas, viskositas kinematik, titik nyala dan angka setana.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Katalis dengan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

Analisis AAS bertujuan untuk mengetahui kandungan ion kalium yang terkandung dalam karbon aktif sebelum dan sesudah diimpregnasi. Hasil analisis AAS dari karbon aktif sebelum impregnasi dengan katalis karbon aktif yang telah terimpregnasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Meningkatnya kandungan kalium dan kalsium menunjukkan impregnasi berhasil terjadi pada karbon aktif dan katalis CaO/KOH/AC telah terbentuk.

Tabel 1. Hasil Analisis Katalis Karbon Aktif Sebelum dan Sesudah Impregnasi

No.	Sampel	Hasil Analisis (ppm)	
		Kalium	Kalsium
1	Karbon Aktif Sebelum Impregnasi	0	0
2	Karbon Aktif setelah Impregnasi (Katalis)	641,56	1,19

3.2 Analisis Katalis dengan X-Ray Diffraction (XRD)

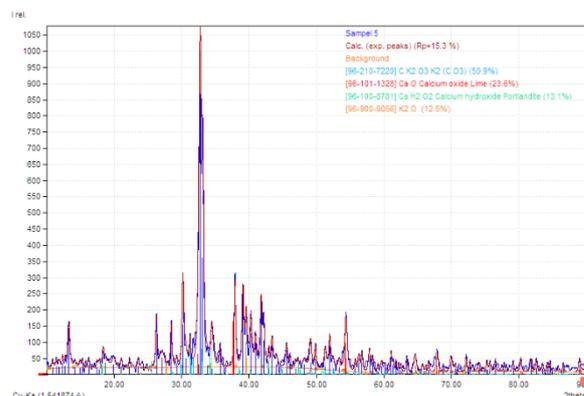
Analisis XRD bertujuan untuk memastikan proses impregnasi telah terjadi yang ditunjukkan dengan berubahnya karbon aktif yang berfasa amorf ke katalis karbon aktif yang diimpregnasi CaO dan KOH berfasa kristal. Grafik hasil XRD dapat dilihat pada Gambar 1.

Katalis terbaik yang dihasilkan dianalisis kandungannya menggunakan XRD, kandungan yang diharapkan adalah terbentuknya CaO, K₂O dan K₂CO₃ sebagai sisi aktif dari katalis. Berdasarkan Gambar 1 yang didapatkan dari aplikasi pencocokan pola difraksi sampel dengan *database*, dapat dilihat CaO dan K₂O berhasil terbentuk. Terbentuknya CaO dan K₂O akibat dari proses kalsinasi yang dilakukan. Selain CaO dan K₂O, terdapat senyawa lain yang terdeteksi yaitu K₂CO₃ dan Ca(OH)₂.

Senyawa senyawa tersebut terbentuk dikarenakan adanya reaksi antara karbon aktif dengan KOH sebagai berikut (Yang dkk., 2013):



Selain itu, Senyawa Ca(OH)₂ terbentuk dikarenakan terjadinya proses kalsinasi yang kurang sempurna sehingga Ca(OH)₂ masih terbentuk. Dengan terbentuknya CaO, K₂O dan K₂CO₃, maka proses impregnasi telah terjadi pada karbon aktif (Dejean dkk., 2017).



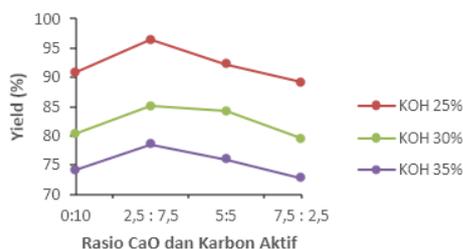
Gambar 1. Karbon aktif setelah Impregnasi(Katalis)

3.3 Analisis Pengaruh Variasi Rasio Impregnasi terhadap Yield Biodiesel

Analisis pengaruh variasi impregnasi saat pembuatan katalis menjadi salah satu pengaruh aktivitas katalitik dari suatu katalis. Hasil analisis pengaruh variasi rasio impregnasi terhadap *yield* biodiesel dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan grafik pada Gambar 2, dapat diketahui bahwasanya rasio massa CaO:Karbon Aktif (2,5 : 7,5) dengan larutan KOH 25% menghasilkan *yield* tertinggi. *Yield* mengalami kenaikan saat adanya

penambahan rasio CaO dari 0 ke 2,5, hal ini menunjukkan aktivitas katalitik CaO dalam meningkatkan *yield*. Namun, seiring dengan peningkatan rasio dari CaO maka *yield* akan semakin menurun, hal ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwasanya semakin tinggi rasio CaO dari penyangga katalis akan menurunkan aktivitas katalitik dari CaO (Oko dkk., 2021). Penjelasan penurunan aktivitas katalitik dari CaO yang menyatakan bahwasanya penambahan CaO yang terlalu banyak dapat membuat terjadinya proses penggumpalan CaO, gumpalan tersebut akan menutupi pori pada permukaan dari karbon aktif sehingga mengurangi kontak antara sisi aktif katalis dengan reaktan (Helwani dkk., 2021). Pengurangan rasio karbon aktif akan menyebabkan *yield* akan semakin menurun, hal ini disebabkan luas permukaan katalis yang disediakan oleh karbon aktif berkurang sehingga kontak antara katalis dan reaktan akan menjadi sedikit. Meskipun begitu, *yield* akan tetap menurun jika penyangga kurang memiliki sisi aktif (Oko dkk., 2021). Selama reaksi berlangsung, karbon aktif berperan sebagai penyedia luas permukaan untuk sisi aktif katalis sehingga memperluas bidang kontak katalis dengan reaktan (Kaban, 2018). Pengaruh KOH pada campuran dengan variasi penambahan KOH 25, 30 dan 35% dalam 100 ml yaitu semakin besar konsentrasi maka *yield* akan semakin menurun. Penurunan *yield* akibat konsentrasi KOH disebabkan konsentrasi KOH yang tinggi dapat mengurangi keaktifan dari katalis karena akan melarutkan CaO sehingga mengurangi sisi aktif dari katalis (Helwani dkk., 2021). Selain itu, semakin tinggi konsentrasi KOH maka akan merusak penyangga karbon aktif (Kaban, 2018). Basa kuat dengan konsentrasi tinggi memiliki efek merusak sisi aktif pada katalis, namun jika konsentrasi terlalu rendah akan menyebabkan sisi aktif akan berkurang dan melemahkan aktivitas dari katalis (Hadiyanto dkk., 2017). Pada saat campuran rasio antara CaO dan karbon aktif (0 : 10), karbon aktif tetap dapat menghasilkan *yield*. Hal ini menunjukkan bahwasanya peran KOH sebagai sisi aktif lebih besar dibandingkan dengan CaO.



Gambar 2. Pengaruh Variasi Rasio Impregnasi terhadap *Yield* Biodiesel

3.4 Analisis Biodiesel

Setelah dilakukan uji kemampuan katalis dalam pembuatan biodiesel dilanjutkan dengan pengujian mutu biodiesel. Pengujian mutu biodiesel dilakukan bertujuan untuk menguji kinerja selektivitas katalis yang dihasilkan. Uji mutu biodiesel meliputi densitas,

viskositas, titik nyala dan angka setana yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Rasio CaO : AC	Larutan KOH (%)	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Titik Nyala (°C)	Angka Setana
2,5 : 7,5	25	0,866	4,00	162,6	75,5
Minyak Jelantah		0,9024	39,74-56,04	198-290	-
SNI 7182:2015		0,850-0,890	2,3-6	Min 100	Min 51

Berdasarkan Tabel 2, menunjukkan bahwa katalis dapat mengubah mutu dari minyak jelantah (Alias dkk., 2018; Yusof dkk., 2021) menjadi mutu biodiesel. Sehingga katalis CaO/KOH/AC memiliki fungsi selektivitas yang baik dengan terpenuhinya beberapa parameter SNI 7182:2015 biodiesel seperti densitas, viskositas, titik nyala dan angka setana.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan yaitu katalis CaO/KOH/AC berhasil disintesis dengan rasio CaO:AC yang terbaik adalah 2,5 : 7,5 dengan konsentrasi KOH yang terbaik yaitu 25% yang menghasilkan *yield* sebesar 96,4%. Penambahan CaO, KOH, serta jumlah penyangga yang sedikit dapat menurunkan *yield*.

Biodiesel yang dihasilkan menggunakan katalis CaO/KOH/AC telah memenuhi beberapa parameter SNI 7182:2015, dimana katalis dengan *yield* terbaik menghasilkan biodiesel dengan mutu densitas sebesar 0,866 gr/ml, viskositas 4,00 cSt, titik nyala 162,6°C dan angka setana 75,5.

DAFTAR PUSTAKA

- Alias, N. I., Kumar, J., Jayakumar, A. / L., dan Zain, S. M. (2018): Characterization of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production, *Jurnal Kejuruteraan SI*, diperoleh melalui situs internet: [http://dx.doi.org/10.17576/jkukm-2018-si1_1\(2\)_79-83](http://dx.doi.org/10.17576/jkukm-2018-si1_1(2)_79-83).
- Borhan, A., dan Kamil, A. F. (2012): Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rubber-Seed Shell by Chemical Activation, *Journal of Applied Sciences*, **12**(11), 1124-1129. <https://doi.org/10.3923/jas.2012.1124.1129>
- Chua, S. Y., Periasamy, L. A., Goh, C. M. H., Tan, Y. H., Mubarak, N. M., Kandedo, J., Khalid, M., Walvekar, R., dan Abdullah, E. C. (2020): Biodiesel Synthesis Using Natural Solid Catalyst Derived from Biomass Waste — A Review, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **81**, 41-60. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.09.022>
- Dejean, A., Ouédraogo, I. W. K., Mouras, S., Valette, J., dan Blin, J. (2017): Shea Nut Shell Based Catalysts for The Production of Ethanol Biodiesel, *Energy for Sustainable Development*, **40**, 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.07.006>
- Faria, D. N., Cipriano, D. F., Schettino, M. A., Neto, Á. C., Cunha, A. G., dan Freitas, J. C. C. (2020): Na,Ca-Based Catalysts Supported on Activated Carbon for Synthesis of Biodiesel from Soybean Oil, *Materials Chemistry and Physics*, **249**. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123173>
- Hadiyanto, H., Afianti, A. H., Navi'A, U. I., Adetya, N. P., Widayat, W., dan Sutanto, H. (2017): The Development of Heterogeneous Catalyst C/CaO/NaOH from Waste

- of Green Mussel Shell (*Perna Varidis*) for Biodiesel Synthesis, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **5**(5), 4559–4563. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.08.049>
- Helwani, Z., Zahrina, I., Amraini, S. Z., Sianturi, R. I., Idroes, G. M., Muslem, dan Idroes, R. (2021): CaO from Chicken Eggshell Supported on Activated Carbon and KOH (CaO/C/KOH) as Catalyst for Biodiesel Production from Off Grade Palm Oil, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1087/1/012053>
- Kaban, G. S. (2018): *Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif dari Cangkang Kemiri Yang Diimpregnasi KOH: Pengaruh Konsentrasi KOH dan Waktu Impregnasi*, Universitas Sumatera Utara.
- Maleki, B., Ashraf Talesh, S. S., dan Mansouri, M. (2022): Comparison of catalysts types performance in the generation of sustainable biodiesel via transesterification of various oil sources: a review study, *Materials Today Sustainability*, **18**. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2022.100157>
- Oko, S., Kurniawan, A., dan Rahmatina, J. (2021): *Pengaruh Perbandingan Massa Ca dan C pada Katalis NaOH / CaO / C dalam Sintesis Biodiesel Menggunakan Minyak Jelantah*, Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung, 1–6.
- Richardson, J. T. (1989): *Principles of Catalyst Development* (M. V Twigg dan M. S. Spencer, Ed.), Plenum Press, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3725-4>
- Suzihaque, M. U. H., Alwi, H., Kalthum Ibrahim, U., Abdullah, S., dan Haron, N. (2022): *Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: A Brief Review*, *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, Malaysia, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.527>
- Yang, L., Chou, X. wei, Li, C., Long, X. li, dan Yuan, W. kang (2013): Reduction of [Fe(III)EDTA]- catalyzed by activated carbon modified with KOH solution, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **19**(3), 784–790. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.10.017>
- Yusof, S. N. A., Sidik, N. A. C., Asako, Y., Basharie, S. M., dan Mohamed, S. B. (2021): Characterization of Crude Palm Oil (CPO), Corn Oil and Waste Cooking Oil for Biodiesel Production, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, **86**(2), 136–146. <https://doi.org/10.37934/arfmts.86.2.136146>