

Peningkatan Kualitas Biodiesel Methyl Ester Minyak Sawit Dengan Proses *Catalytic Cracking*

Nurkholis Hamidi^{a1}, Winarto, Dhafy Muhammad Hawari^a

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jalan M.T. Haryono 167, Malang (65145), Indonesia

hamidy@ub.ac.id

ABSTRACT

Biodiesel from palm oil is one of the most promising renewable energy sources today. Palm oil is one of the most widely used vegetable oils as a raw material for biodiesel. Therefore, research on the processing of palm oil into biodiesel fuel needs to be improved. Transesterification is the most common method currently used to produce biodiesel from vegetable oil. However, biodiesel still has problems related to high viscosity, high flame temperature, low calorific value, low burning rate, and long ignition delay. These problems are likely caused by the hydrocarbon chain of methyl esters, which is too long. Therefore, a method is needed to break the long chain of methyl esters into shorter chains. In this study, the catalytic cracking method was used to break the long hydrocarbon chain bonds of methyl esters into shorter chains. The catalytic cracking process of palm oil methyl ester biodiesel was carried out by heating it at 100 C for 15 minutes. An H-zeolite catalyst is used to reduce the activation energy of the chain cleavage of methyl ester. Natural zeolite is activated into H-zeolite to be used as a catalyst in the biodiesel cracking process. From the observation results, the results showed an improvement in the properties of biodiesel through the cracking process with an H-zeolite catalyst. The observation results showed a decrease in viscosity, density, and flash point values after cracking. However, there was an effect of decreasing the calorific value of the fuel due to the process.

Keywords: *Catalytic cracking*, H-zeolit, minyak kelapa sawit, metyl ester, sifat fisik, gugus fungsi

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590803

PENDAHULUAN

Dewasa ini, kebutuhan energi dunia kian meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Seiring meningkatnya kebutuhan energi untuk menunjang peningkatan teknologi, diimbangi pula dengan meningkatnya kebutuhan akan sumber energi. Menurut kementerian energi dan sumber daya mineral, sebesar 80% dari total kebutuhan energi dipasok oleh bahan bakar fosil. Disisi lain bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang terbatas. Jumlah ini hanya dapat memasok kebutuhan energi Indonesia hingga 20 tahun kedepan. Oleh karena itu dibutuhkan sumber daya alam alternatif untuk dapat memenuhi kebutuhan energi yang kian meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi. Indonesia merupakan salah satu produsen minyak nabati terbesar di dunia. Menurut CNBC Indonesia, GAPKI atau gabungan pengusaha kelapa sawit Indonesia mencatat bahwa pada tahun 2021, produksi minyak sawit Indonesia mencapai angka 51,30 juta ton dan diprediksikan akan meningkat hingga 5-10% pada akhir tahun 2022. Besarnya angka produksi minyak sawit di Indonesia ini memberikan suatu peluang untuk mendapatkan sumber daya alam terbarukan untuk memenuhi perkembangan teknologi yang kian pesat.

Transesterifikasi merupakan metode yang saat ini paling umum digunakan untuk memproduksi biodiesel dari minyak nabati. Fatty acid methyl ester (FAME) merupakan salah satu komponen biodiesel yang paling menjanjikan sebagai sumber energi alternatif. FAME diproduksi menggunakan metode transesterifikasi, yaitu reaksi trigliserida dari minyak nabati menggunakan metanol berlebih dengan adanya katalis [1-3]. Asam lemak (FA) merupakan senyawa organik berupa rantai hidrokarbon yang dihubungkan oleh gugus karboksil (COOH). Struktur molekul bahan bakar ditentukan oleh panjang dan derajat kejenuhan rantai karbonnya [4]. Asam lemak dapat diklasifikasikan sebagai jenuh atau tak jenuh berdasarkan kandungan hidrokarbonnya. FA jenuh mengandung rantai karbon dengan ikatan tunggal (C-C), sedangkan FA tak jenuh memiliki satu atau lebih ikatan rangkap (C=C) [5]. FA memiliki satu ikatan tunggal C-O dan satu ikatan tunggal O-H, sedangkan ester alkil memiliki dua ikatan tunggal C-O. Semua FA dan ester mengandung gugus karbonil sebagai ikatan rangkap C=O [6]. Sifat fisik dan kimia FA, seperti keberadaan ikatan rangkap, panjang rantai, posisi, geometri konfigurasi trans ikatan rangkap, dan percabangan gugus alkil dalam rantai FA, mempengaruhi sifat biodiesel. Telah diamati bahwa densitas biodiesel meningkat ketika tersusun dari FA dengan rantai hidrokarbon panjang dan ikatan

rangkap. Densitas biodiesel yang tinggi dapat mempengaruhi proses atomisasi, penguapan, dan proses pembakaran [7, 8]. Oleh karena itu diperlukan suatu metode untuk memutuskan rantai panjang dari metil ester agar menjadi rantai yang lebih pendek.

Terdapat dua metode proses perengkahan, yaitu degradasi termal dan degradasi katalis. Degradasi termal merupakan proses yang mudah, karena degradasi termal hanya membutuhkan panas untuk melakukan proses perengkahan. Perengkahan katalis merupakan proses degradasi rantai hidrocarbon menggunakan katalis. Katalis yang digunakan harus dapat menahan kestabilannya dalam temperatur tinggi, dan dapat dengan mudah dipisahkan dari produknya. Katalis yang memiliki karakteristik seperti yang disebutkan adalah katalis heterogen yang terdiri dari logam dengan bahan aktif. [9].

Pada Penelitian ini katalis yang akan digunakan adalah katalis dari zeolit alam. Zeolit digunakan untuk proses *catalytic cracking* karena zeolit memiliki situs asam Lewis dan Bronsted yang sangat penting dalam reaksi katalitik. Zeolit dimanfaatkan sebagai katalis karena tersedianya pusat aktif dalam sistem pori katalis. Sistem pori ini berhubungan dengan sifat kristal dari zeolit. Zeolit dapat berfungsi sebagai katalis asam karena kationnya dapat dipertukarkan [10].

METODOLOGI

Bahan

Pada penelitian ini peneliti melakukan eksperimen perengkahan metil ester dari minyak kelapa sawit dengan menggunakan metode *catalytic cracking* yang menggunakan katalis H-zeolit, untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar yang dapat menggantikan bahan bakar diesel. Hasil dari eksperimen akan dianalisis sifat fisik dan gugus fungsinya.

Pembuatan biodiesel methyl ester dari minyak sawit dilakukan dengan metode esterifikasi seperti pada umumnya. Metanol digunakan sebagai alkohol dalam transesterifikasi biodiesel. Hasil esterifikasi selanjutnya diproses cracking dengan bantuan katalis zeolite.

Persiapan katalis H-zeolit dimulai dengan mencuci zeolit menggunakan aquades, setelah itu zeolit yang sudah dicuci lalu dikeringkan, dan selanjutnya zeolite direndam dalam larutan HCl 2M, lalu dioven selama 3 jam pada suhu 500°C.

Catalytic cracking dan Pengujian

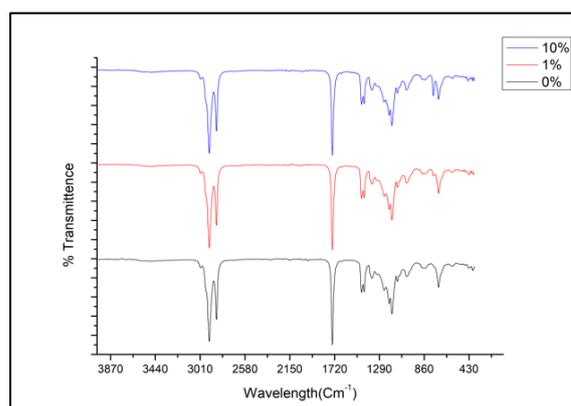
Pelaksanaan proses cracking biodiesel dilakukan dengan mencampurkan katalis H-zeolit kedalam biodiesel (methyl ester) dengan variasi massa 1%, 3%, 5%, 7%, dan 10% dari massa minyak. Massa methyl ester yang digunakan dalam setiap pengujian sebanyak 300 gram. Campuran minyak dan zeolite selanjutnya dipanaskan di dalam suatu reactor tertutup rapat dengan temperatur pemanasan 100°C derajat celcius, dan waktu pemanasan selama 15 menit.

Setelah dilakukannya perengkahan katalitik dari methyl ester minyak kelapa sawit menggunakan katalis H-zeolit pada setiap variasi, sampel akan dibiarkan hingga mencapai temperature ruangan, dan setelah itu akan dilakukan pengujian sifat. Pengujian-pengujian untuk karakterisasi biodiesel meliputi beberapa pengujian berikut: uji FTIR, densitas, viskositas, dan flash point.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis FTIR

Pada gambar 1 dapat dilihat ditunjukkan grafik FTIR untuk methyl ester, pada gambar 1 dapat dilihat ditunjukkan grafik FTIR untuk sampel dengan penggunaan katalis 1% dan pada gambar 1 ditunjukkan grafik FTIR untuk sampel dengan penggunaan katalis 10%. Dapat dilihat terjadi perubahan gugus fungsi pada sampel hasil perengkahan katalitik, dibandingkan dengan methyl ester. Gugus fungsi yang terdapat pada sampel dapat dianalisis dengan cara dilihat panjang geombangnya pada grafik yang dihasilkan. Setiap gugus fungsi bergetar dengan frekuensi yang berbeda. Konsentrasi dari gugus fungsi juga dapat dilihat melalui *transmittance* yang terdapat pada sumbu Y grafik. Jika pada grafik persentase *transmittance* semakin rendah maka konsentrasi gugus fungsinya semakin tinggi.



Gambar 1 Uji FTIR pada *methyl ester*, sampel dengan persentase zeolite 1%, dan sampel dengan persentase zeolite 10%

Identifikasi gugus fungsi pada *methyl ester*, sampel dengan penggunaan katalis 1%, dan sampel pada penggunaan katalis 10% yang didapatkan dari pengujian *fourier-transform infrared spectroscopy*.

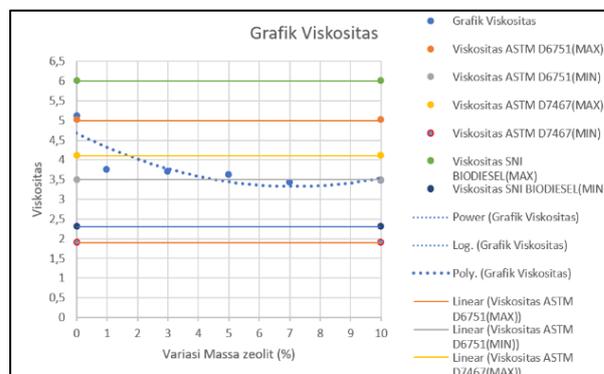
Proses perengkahan katalitik bertujuan untuk memutuskan ikatan rantai hidrokarbon panjang menjadi ikatan hidrokarbon yang lebih pendek. Dapat dilihat pada tabel 1 pada *methyl ester* tidak terdapat gugus (C-C) bending, dan pada sampel dengan penggunaan katalis 1% juga tidak terdapat gugus (C-C) bending, lalu pada sampel dengan penggunaan katalis 10% terdapat gugus (C-C) bending. Hal ini membuktikan bahwa terjadi pemutusan ikatan rantai hidrokarbon *methyl ester* yang ditunjukkan dengan keberadaan gugus fungsi (C-C) bending yang memiliki wave number 771.58 cm⁻¹. Terbentuknya gugus fungsi (C-C) bending pada penggunaan katalis sebesar 10% ini membuktikan bahwa penggunaan katalis dapat menurunkan energi aktivasi untuk memutuskan rantai hidrokarbon yang dimiliki oleh *methyl ester* dengan dipanaskan pada 100°C dengan waktu pemanasan selama 15 menit. Namun pada penggunaan katalis sebesar 1% dan dengan temperature dan waktu pemanasan yang sama, belum cukup untuk dapat menurunkan energi aktivasi pemutusan rantai *methyl ester* sehingga belum terjadi pemutusan rantai hidrokarbon dari *methyl ester* tersebut yang ditunjukkan dengan ketidak beradaan gugus fungsi (C-C) bending tersebut.

Analisa Hasil Pengujian Viskositas

Gambar 2 menunjukkan hubungan persentase massa zeolite terhadap nilai viskositas bahan bakar. Penurunan nilai viskositas dari sampel hasil perengkahan katalitik minyak *methyl ester* menggunakan katalis H-zeolit diakibatkan terputusnya rantai hidrokarbon panjang minyak *methyl ester* menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek. Seiring dengan bertambahnya persentase massa katalis yang digunakan dalam proses perengkahan katalitik semakin didapat pula penurunan pada nilai viskositasnya namun pada penggunaan massa katalis sebesar 10% didapat bahwa terjadi kenaikan nilai viskositas. Hal ini dikarenakan katalis berfungsi sebagai penurun energi aktivasi dalam pemutusan ikatan rantai pada hydrocarbon, sehingga seiring dengan penambahan massa katalis, semakin banyak juga luas permukaan katalis yang dapat bersentuhan dengan *methyl ester* pada waktu yang sama, sehingga semakin banyak terjadi pemutusan rantai hidrokarbon, yang menyebabkan terjadinya penurunan viskositas.

Pada grafik FTIR ditunjukkan pula bahwa terdapat gugus fungsi (C-C) bending yang menandakan bahwa

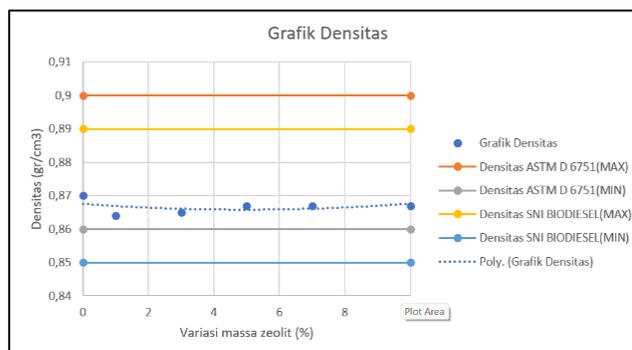
terjadi pemutusan rantai tunggal dari *methyl ester*, menjadi dua rantai yang lebih pendek yaitu rantai tunggal dan rantai rangkap dua. Akibatnya terjadi penurunan nilai viskositas pada sampel. Lalu pada sampel dengan penggunaan katalis sebesar 10% terjadi kenaikan nilai viskositas akibat terbentuknya ikatan C-Br yang mempunyai gaya intramolekul yang kuat, sehingga menyebabkan nilai viskositas meningkat.



Gambar 2 Hubungan persentase massa zeolite terhadap nilai viskositas bahan bakar

Analisa Hasil Pengujian Densitas

Penurunan nilai densitas dari sampel hasil perengkahan katalitik minyak *methyl ester* menggunakan katalis H-zeolit diakibatkan terputusnya rantai hidrokarbon panjang minyak *methyl ester* menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek. Dengan terputusnya rantai hidrokarbon ini menyebabkan bertambahnya jumlah rantai pendek yang memiliki gaya tarik menarik antar molekul yang lebih lemah, akibatnya jarak antara molekul yang satu dengan molekul yang lainnya menjadi lebih renggang, yang mana ditunjukkan dengan menurunnya nilai densitas seperti yang terlihat pada gambar 3.



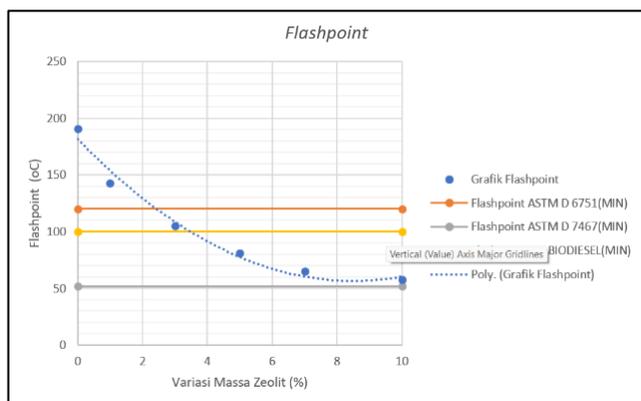
Gambar 3 Grafik hubungan persentase massa zeolite terhadap nilai densitas bahan bakar

Pada grafik FTIR ditunjukkan pula bahwa terdapat gugus fungsi (C-C) bending yang menandakan bahwa terjadi pemutusan rantai tunggal dari *methyl ester*,

menjadi dua rantai yang lebih pendek yaitu rantai tunggal dan rantai rangkap dua. Ikatan (C-C) bending memiliki gaya intramolekul yang lemah sehingga menyebabkan gaya Tarik menarik antar molekul yang ikut melemah dan berakibat pada meregangnya jarak antara molekul yang ditunjukkan pada menurunnya nilai densitas. Lalu semakin bertambahnya penggunaan massa katalis, semakin banyak pula kandungan Br yang dapat terlepas dari katalis H-zeolit dan terikat pada atom carbon, karena ikatan C-Br mempunyai gaya intramolekul yang kuat, hal ini mengakibatkan gaya antar molekul yang semakin meningkat yang dapat dilihat pada kenaikan nilai densitas seiring dengan penambahan massa katalis.

Analisa Hasil Pengujian Flashpoint

Penurunan nilai *flash point* dari sampel hasil perengkahan katalitik minyak *methyl ester* menggunakan katalis H-zeolit diakibatkan terputusnya rantai hidrokarbon panjang minyak *methyl ester* menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek. Seiring dengan bertambahnya persentase massa katalis yang digunakan dalam proses perengkahan katalitik semakin didapat pula penurunan pada nilai *flash point* nya. Hal ini diakibatkan oleh terputusnya rantai panjang yang dimiliki *methyl ester* dan terbentuk rantai baru yang lebih pendek yang memiliki gaya antar molekul yang lebih rendah, sehingga dibutuhkan energi yang lebih sedikit untuk menguapkan sampel hasil perengkahan katalitik, yang mengakibatkan pada menurunnya nilai *flash point*. Semakin besar penggunaan katalis maka semakin luas pula permukaan katalis yang dapat bersentuhan dengan *methyl ester* pada waktu yang sama, sehingga semakin banyak pula terputusnya molekul dengan rantai panjang yang dimiliki *methyl ester* yang ditunjukkan dengan semakin menurunnya nilai *flash point* seperti yang terlihat pada gambar 4.



Gambar 4 Grafik hubungan persentase massa zeolite terhadap nilai *flash point* bahan bakar

Pada grafik FTIR ditunjukkan pula bahwa terdapat gugus fungsi (C-C) bending yang menandakan bahwa terjadi pemutusan rantai tunggal dari methyl ester, menjadi dua rantai yang lebih pendek yaitu rantai tunggal dan rantai rangkap dua. Ikatan (C-C) bending memiliki gaya intramolekul yang lemah, hal ini mengakibatkan gaya Tarik menarik antar molekul yang ikut melemah. Hal ini mengakibatkan semakin mudahnya sampel untuk diuapkan yang ditunjukkan dengan menurunnya nilai flash point.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian maka dapat diambil beberapa Kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan katalis H-zeolit dalam proses cracking dapat menurunkan nilai viskositas, densitas, dan flash point dari methyl ester biodiesel. Hal ini dikarenakan proses perengkahan katalitik menyebabkan terputusnya rantai metil ester menjadi rantai-rantai yang lebih pendek, sehingga sifat fisik dari sampel pun turut mengalami penurunan.
2. Proses perengkahan katalitik menggunakan katalis H-zeolit menyebabkan perubahan gugus fungsi yang ditunjukkan dari pengujian FTIR. Pada pengujian FTIR dengan metyl ester tanpa perlakuan, didapatkan bahwa tidak terdapatnya gugus fungsi C-C (bending), C-Cl, dan C-Br, lalu pada pengujian FTIR pada metyl ester dengan perlakuan perengkahan katalitik menggunakan katalis H-zeolit dideteksi terdapat gugus fungsi C-C (bending), C-Cl, dan C-Br yang menunjukkan bahwa terputusnya atom carbon dari rantai hidrokarbon metyl ester, dan terhubung kembali dengan sesama atom carbon, atom Cl, maupun atom Br, yang terdapat pada katalis.
3. Penggunaan massa katalis sebesar 7% menurunkan nilai sifat fisik paling signifikan dibandingkan penggunaan massa katalis sebesar 1%, 3%, 5%, dan 10%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Guru Besar 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Knothe, G. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*,

- 86(10), 1059–1070.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.002>
- [2] M.A.R. Jamil, A.S. Touchy, S.S. Poly, M.N. Rashed, S.M.A.H. Siddiki, T. Toyao, Z. Maeno, K. ichi Shimizu, High-silica HB zeolite catalyzed methanolysis of triglycerides to form fatty acid methyl esters (FAMEs), *Fuel Process. Technol.* 197 (2020) 106204. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106204>.
- [3] A.J. Folayan, P.A.L. Anawe, A.E. Aladejare, A.O. Ayeni, Experimental investigation of the effect of fatty acids configuration, chain length, branching and degree of unsaturation on biodiesel fuel properties obtained from lauric oils, high-oleic and high-linoleic vegetable oil biomass, *Energy Reports.* 5 (2019) 793–806. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.06.013>.
- [4] S.K. Aggarwal, Single droplet ignition: Theoretical analyses and experimental findings, *Prog. Energy Combust. Sci.* 45 (2014) 79–107. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2014.05.002>.
- [5] A.J. Folayan, P.A.L. Anawe, A.E. Aladejare, A.O. Ayeni, Experimental investigation of the effect of fatty acids configuration, chain length, branching and degree of unsaturation on biodiesel fuel properties obtained from lauric oils, high-oleic and high-linoleic vegetable oil biomass, *Energy Reports.* 5 (2019) 793–806. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.06.013>.
- [6] F. Levine, R. V. Kayea, R. Wexler, D.J. Sadvary, C. Melick, J. La Scala, Heats of combustion of fatty acids and fatty acid esters, *JAOCs, J. Am. Oil Chem. Soc.* 91 (2014) 235–249. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2367->
- [7] P. Benjumea, J.R. Agudelo, Effect of the degree of unsaturation of biodiesel fuels on engine performance, combustion characteristics, and emissions, *Energy & Fuels.* 25 (2011) 77–85. <https://doi.org/10.1021/ef101096x>.
- [8] S. Deshmukh, R. Kumar, K. Bala, Microalgae biodiesel: A review on oil extraction, fatty acid composition, properties and effect on engine performance and emissions, 191 (2019) 232–247. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.03.013>.
- [9] Prabasari, I. G., Sarip, R., Rahmayani, S., & Nazarudin. (2019). Catalytic Cracking of Used Cooking Oil Using Cobalt-impregnated Carbon Catalysts. *Makara Journal of Science*, 23(3). <https://doi.org/10.7454/mss.v23i3.11264>
- [10] Thivasasith, A., Maihom, T., Pengpanich, S., & Wattanakit, C. (2019). Nanocavity effects of various zeolite frameworks on: N-pentane cracking to light olefins: Combination studies of DFT calculations and experiments. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 21(40), 22215–22223. <https://doi.org/10.1039/c9cp03871j>