

PEMODELAN KOMPUTASI KOMPONEN CIS DAN TRANS METIL OLEAT DALAM BIODIESEL YANG DISINTESIS DARI MINYAK KELAPA SAWIT

H. Hasby¹, N. Nurhafidhah^{1*}, dan G. Pamungkas²

¹Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Samudra, Langsa, Aceh, Indonesia
²PT. Polychem Indonesia, Banten, Indonesia
*Email: nurhafidhah@unsam.ac.id

ABSTRAK

Biodiesel adalah senyawa *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang dapat disintesis dari minyak nabati, seperti minyak sawit. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh metil oleat sebagai komponen dominan FAME terhadap kualitas biodiesel yang disintesis dari minyak kelapa sawit berdasarkan hasil eksperimen dan komputasi. Metode sintesis biodiesel meliputi pengujian kadar FFA, proses esterifikasi, dan proses transesterifikasi. Selanjutnya persentase kandungan metil oleat ditentukan dengan menggunakan GC-MS (*Chromatography Gas-Massa Spectroscopy*). Metode komputasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah DFT/B3LYP/6-31G dengan melakukan optimasi parameter geometris, analisis energi HOMO-LUMO dan energi gap terhadap molekul cis dan trans metil oleat. Hasil sintesis biodiesel pada pengujian kadar FFA dari minyak sawit adalah sebesar 4,022%, sehingga harus dilanjutkan dengan tahap esterifikasi dan transesterifikasi. Biodiesel berwarna kuning keemasan beraroma khas minyak sawit, merupakan produk dari penelitian ini. Pengujian kualitas biodiesel didapatkan hasil pH 3, densitas 852 kg/m³, viskositas 5,9 Mm²/s, bilangan asam 0,28 mg-KOH/g dan titik nyala 140°C, yang telah memenuhi SNI 7028:2015. Hasil karakterisasi dengan menggunakan GC-MS menunjukkan bahwa kandungan metil oleat sebesar 42,72%. Pengaruh keberadaan metil oleat dalam biodiesel tidak hanya meningkatkan kinerja suhu rendah biodiesel, tetapi juga berdampak positif pada stabilitas oksidasi biodiesel. Hasil komputasi menunjukkan bahwa celah energi (energi gap) untuk trans metil oleat dan cis metil oleat, masing-masing sebesar 6.18730069 eV dan 6.09342137 eV ini membuat trans metil oleat sedikit kurang stabil dan kemungkinan lebih reaktif di bandingkan molekul cis metil oleat.

Kata kunci: biodiesel, esterifikasi, studi komputasi, transesterifikasi.

ABSTRACT

Biodiesel is a *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) compound which can be synthesized from vegetable oils, such as palm oil. The purpose of this study was to determine how much influence methyl oleate as the dominant component of FAME had on the quality of biodiesel synthesized from palm oil based on experimental and computational results. Biodiesel synthesis methods include testing FFA levels, esterification process, and transesterification process. Furthermore, the percentage of methyl oleate content was determined using GC-MS (Gas-Mass Chromatography Spectroscopy). The computational method used in this research is DFT/B3LYP/6-31G by performing geometric parameter optimization, energy analysis of HOMO-LUMO and energy gap of cis and trans-methyl oleate molecules. The yield of the biodiesel synthesis in testing the FFA content of palm oil was 4.022%, so it had to be continued with the esterification and transesterification stages. Biodiesel with a distinctive golden yellow aroma of palm oil was the product of this research. The biodiesel quality tests resulted in pH of 3, density of 852 kg/m³, viscosity of 5.9 Mm²/s, acid number of 0.28 mg-KOH/g and flash point of 140°C, that had met SNI 7028: 2015. The characterization results using GC-MS showed that the methyl oleate content was 42.72%. The effect of the presence of methyl oleate in the biodiesel not only increased the low temperature performance, but also had a positive impact on the oxidation stability of the biodiesel. The computation results indicated that the energy gaps for trans methyl oleate and cis methyl oleate were 6.18730069 eV and 6.09342137 eV respectively, made the trans methyl oleate slightly less stable and possibly more reactive than the cis methyl oleate molecule.

Keywords: biodiesel, computational studies, esterification, transesterification.

PENDAHULUAN

Biodiesel dianggap sebagai sumber energi terbarukan yang sangat banyak digunakan dan telah memenuhi permintaan energi yang terus meningkat serta memberikan solusi yang layak atas menipisnya bahan bakar fosil. Biodiesel merupakan biofuel rantai karbon yang memiliki asam lemak dan gugus alkil yang dihubungkan melalui ikatan ester dan dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi, dimana asam lemak dalam trigliserida bereaksi dengan gugus alkil membentuk biodiesel sebagai produk utama dan gliserol sebagai produk sampingan (Gokul *et al.*, 2009)

Bahan dasar biodiesel adalah senyawa *Fatty Acid Methyl Ester* yang beberapa diantaranya dapat disintesis dari minyak kelapa, kelapa sawit dan minyak jarak, dari ketiga bahan dasar tersebut kelapa sawit menghasilkan minyak nabati paling tinggi, yaitu 5,950 liter/tahun. Kelapa sawit juga merupakan sumber bahan baku penghasil minyak terefisien dibandingkan dengan tanaman penghasil minyak nabati lainnya (Haryono *et al.*, 2017). Indonesia sebagai produsen terbesar minyak kelapa sawit atau CPO (*Crude Palm Oil*) di dunia mempunyai visi mewujudkan Indonesia menggunakan sumber energi baru terbarukan (pengganti fosil) sebanyak 25% pada tahun 2025 dalam rangka konservasi energi dan diversifikasi energi. Salah satu program pemerintah pada tahun 2016 yaitu pencanangan penggunaan B20 (pengganti solar dengan komposisi 20% biodiesel dan 80% solar) (Laila *et al.*, 2017).

Sintesis biodiesel secara konvensional umumnya dilakukan dengan bantuan katalis basa homogen, seperti NaOH dan KOH. Penggunaan katalis basa homogen akan membantu reaksi pembentukan biodiesel secara efektif jika minyak nabati yang digunakan memiliki kadar asam lemak bebas kurang dari 1% dan kadar air kurang dari 0,5%. Jika kadar asam lemak bebas dan kadar air melebihi batas maksimal tersebut, penggunaan katalis basa homogen cenderung tidak menguntungkan. Permasalahan utama yang timbul adalah terjadinya reaksi penyabunan antara basa dengan asam lemak bebas yang telah terdapat di dalam minyak dan/ yang terbentuk akibat reaksi hidrolisis (Haryono *et al.*, 2017).

Sejumlah penelitian tentang biodiesel terkait dengan optimasi teoritis dan eksperimental reaksi serta parameternya (Kurniasih, 2019), sifat termofisikokimia (Saksono *et al.*, 2019), studi karakteristik mesin secara komprehensif (Singh *et al.*, 2018), telah dilakukan untuk memahami kelayakannya sebagai pengganti bahan bakar diesel untuk dikomersilkan. Menariknya, asam lemak ester (FAME) yang ada dalam biodiesel memberikan peran penting dalam menentukan sifat termal & fisikokimia (Barabás *et al.*, 2011). Meskipun banyak penelitian telah dilakukan untuk ester asam lemak, belum ada studi komprehensif tentang ester asam lemak (FAME) dari minyak sawit yang telah dilakukan untuk memahami sifat kuantumnya melalui studi komputasi. Maka dari itu diperlukan karakterisasi untuk memahami perilaku molekuler komponen FAME melalui studi komputasi.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh metil oleat sebagai komponen dominan FAME terhadap kualitas biodiesel yang disintesis dari minyak kelapa sawit berdasarkan hasil eksperimen dan komputasi. Optimasi parameter geometris, analisis energi HOMO-LUMO dan energi gap dilakukan terhadap molekul cis dan trans metil oleat. Hal ini diperlukan sebagai data fundamental untuk komponen FAME kelapa sawit yang dapat digunakan untuk berbagai perhitungan yang berkaitan dengan kinetika reaksi dan sifat pembakaran secara kimia.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan yaitu *Crude Palm Oil* (CPO), H₂SO₄, NaOH, KOH, *anhydrous* Na₂SO₄, aquadest (H₂O), dan methanol.

Alat

Eksperimen kualitatif menggunakan peralatan diantaranya yaitu seperangkat GCMS. Sementara itu eksperimen kuantitatif menggunakan kondensor, labu leher tiga, termometer, dan alat-alat gelas yang umum digunakan di laboratorium.

Perhitungan komputasi menggunakan dua perangkat yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras untuk perhitungan menggunakan *Personal Computer*

(PC). Perangkat lunak untuk perhitungan komputasi menggunakan *Nwchem*. Visualisasi hasil perhitungan digunakan beberapa piranti lunak yaitu *Avogadro* dan *jmol/marvin sketch*.

Prosedur

Sintesis Biodiesel

Pengujian Kadar FFA (*Free Fatty Acid*)

Dibuat larutan NaOH 0,1 N untuk menitrasi, kemudian ditimbang CPO sebanyak 2 gram di dalam erlenmeyer dan ditambahkan metanol (metanol dipanaskan sebanyak 20 mL hingga mencapai suhu 55°C). Setelah itu, ditambahkan indikator pp sebanyak 3 tetes, lalu dititrasi sampai terjadi perubahan warna menjadi merah muda. Dicatat volume NaOH 0,1 N yang terpakai kemudian dihitung kadar FFAnya.

Tahap Esterifikasi

Dimasukkan CPO sebanyak 200 mL ke dalam labu destilasi dan dimasukkan *magnetic stirrer*, labu destilasi dihubungkan dengan kondensor kemudian dipanaskan di atas *hot plate* hingga mencapai temperatur 60°C, kecepatan *magnetic stirrer* diatur dengan kecepatan sedang. Pada tempat terpisah katalis H₂SO₄ sebanyak 1,25% dari volume minyak dicampur dengan metanol kemudian diaduk. Setelah temperatur 60°C tercapai, campuran asam sulfat dan metanol dimasukkan ke dalam labu destilasi secara perlahan dan ditutup dengan cepat. Campuran tersebut diaduk selama 2 jam pada suhu konstan 60°C. Setelah itu, hasil reaksi dimasukkan kedalam corong pisah dan didiamkan ± 1 hari. Setelah proses pemisahan selesai, maka didapat metil ester dan metanol yang terikat dengan zat pengotor yang disebut metanol sisa dan kemudian dipisahkan di wadah yang berbeda.

Tahap Transesterifikasi

CPO hasil esterifikasi dimasukkan kedalam labu destilasi lalu dimasukkan *magnetic stirrer*, labu destilasi dihubungkan dengan kondensor kemudian dipanaskan di atas *hot plate* hingga mencapai temperatur 60°C hingga ± 1 jam. Pada tempat terpisah katalis KOH sebanyak 2 gram dicampur dengan metanol 34,56 gram dan dipanaskan hingga suhu 50°C. Setelah temperatur CPO mencapai 60°C, campuran KOH dan metanol dimasukkan kedalam labu destilasi secara perlahan dan langsung ditutup rapat dengan cepat. Campuran

tersebut diaduk selama 3 jam pada suhu konstan 60°C dengan kecepatan *magnetic stirrer* diatur. Hasil reaksi dimasukkan kedalam corong pisah kemudian didiamkan ± 1 jam, setelah proses pemisahan selesai produk metil ester dan gliserol dipisahkan kedalam wadah yang berbeda. Air bersih dipanaskan hingga 55°C di atas *hot plate*, setelah dipanaskan air tersebut dimasukkan kedalam corong pisah yang berisi metil ester kemudian didiamkan sejenak hingga terbentuk 2 lapisan. Air cucian pada lapisan bawah dibuang dan bagian atas berupa biodiesel yang sudah dicuci, pencucian ini dilakukan hingga air pencucian jernih. Hasil pencucian berupa biodiesel ditambahkan Na₂SO₄ dan dipisahkan kembali antara biodiesel dengan Na₂SO₄ (Purnomo *et al.*, 2020).

Studi Komputasi

Metode komputasi yang digunakan adalah DFT/B3LYP/6-31G. Perangkat lunak untuk perhitungan komputasi menggunakan *Nwchem*. Visualisasi hasil perhitungan digunakan beberapa piranti lunak yaitu *Avogadro* dan *jmol/marvin sketch*. Optimasi parameter geometris, analisis energi HOMO-LUMO dan energi gap dilakukan terhadap molekul *cis* dan *trans* metil oleat (Hasby *et al.*, 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Sintesis Biodiesel

Pengujian awal untuk membuat biodiesel dari minyak sawit adalah menguji kadar FFA (*Free Fatty Acid*). Persen kadar FFA dari minyak sawit sebesar 4,022%, nilai tersebut masih tergolong tinggi sehingga dilakukan proses esterifikasi dan dilanjutkan dengan transesterifikasi. Hasil eksperimen biodiesel yang disintesis dari minyak sawit berupa biodiesel berwarna kuning keemasan dan beraroma khas minyak sawit, hasil biodiesel dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya, dilakukan pengujian kualitas biodiesel berupa pengujian pH (pH = 3), densitas (852 kg/m³), viskositas (5,9 Mm²/s), bilangan asam (0,28 mg-KOH/g) dan titik nyala (140°C), hasil tersebut telah memenuhi SNI 7028:2015. Gambar 1 menunjukkan biodiesel dari minyak sawit yang dihasilkan dari penelitian ini.



Gambar 1. Hasil biodiesel dari minyak sawit

Karakterisasi komponen FAME khususnya metil oleat dalam biodiesel dapat dianalisis menggunakan GC-MS (*Chromatography Gas-Mass Spectroscopy*). Untuk mengetahui kadar metil oleat hasil GC-MS Persentase kandungan metil oleat dalam biodiesel hasil penelitian ini dan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil GC-MS kadar metil oleat dari beberapa biodiesel

Bahan Biodiesel	Komposisi (%)	Sumber
Minyak kelapa sawit	42,72	Hasil penelitian
Minyak jarak pagar	38,108	Purnomo, V, <i>et al</i> , 2020, h.78 [8]
Minyak Kemiri Sunan	38,03	Djenar, N.S, dkk, 2012, h.220 [10]
Minyak biji kapuk	5,27	Santoso, M.P, dkk. 2012, h.102 [11]

Pengaruh Metil Oleat Terhadap Karakteristik Biodiesel

Metil oleat merupakan asam lemak bebas yang penting dalam pembuatan biodiesel. Metil oleat dapat digunakan untuk mensimulasikan bahan baku bernilai asam tinggi dalam proses esterifikasi, dimana secara efektif dapat mendeteksi aktivitas katalis dalam pembuatan biodiesel dengan pra-esterifikasi. Metil oleat sendiri disintesis oleh reaksi asam oleat dengan metanol dan katalis (Wenchao *et al.*, 2020).

Selain itu, metil oleat menjadi salah satu bahan yang sangat dibutuhkan karena

perannya sebagai bahan baku asam oleat dan triolein. Pada saat reaksi transesterifikasi, asam oleat yang terkandung dalam minyak sawit akan berubah menjadi metil ester (biodiesel). Reaksi ini merupakan reaksi *reversible* sehingga produk biodiesel yang dihasilkan tidak selalu mengikuti analisis stoikiometrinya. Kenaikan rasio molar antar reaktan (metanol dengan NaOH) akan mengakibatkan kecepatan reaksi meningkat. Sehingga kesetimbangan akan bergeser kearah produk, hal ini akan memaksimalkan jumlah produk biodiesel yang dihasilkan (Hiskah *et al.*, 2019). Pengaruh keberadaan metil oleat dalam biodiesel tidak hanya meningkatkan kinerja suhu rendah biodiesel, tetapi juga berdampak positif pada stabilitas oksidasi biodiesel (Wenchao *et al.*, 2020).

Titik leleh suatu biodiesel dipengaruhi oleh sifat asam lemak yang terkandung di dalam biodiesel tersebut, diantaranya semakin panjang rantai C, maka titik leleh semakin tinggi. Sebaliknya, semakin banyak ikatan rangkap, maka titik leleh semakin rendah. Hal ini disebabkan ikatan rangkap antar molekul asam lemak tidak jenuh dan tidak lurus (cis-trans metil oleat), sehingga ikatannya kurang kuat. Adapun bentuk trans menyebabkan titik leleh lebih tinggi dari pada asam lemak dalam bentuk cis (Sulastri, 2011). Ikatan rangkap cis adalah sebuah konfigurasi berenergi tinggi, sehingga molekul asam lemak tak jenuh cis tidak linear dan bersifat cair pada suhu kamar (titik leleh asam oleat 16,3°C). Sebaliknya ikatan trans merupakan konfigurasi berenergi lebih rendah. Sehingga molekul asam lemak tidak jenuh trans berbentuk linear dan bersifat padat pada suhu kamar (titik leleh asam elaidat 45°C) (Sartika, 2008).

Optimasi Parameter Geometris

Teknik optimasi geometris untuk menghitung konfigurasi energi minimum dapat menggunakan fungsi gelombang dan perbedaan energi dalam geometri pada tingkat energi awal dan terendah dalam suatu molekul. Sifat geometris yang dioptimalkan seperti panjang ikatan dan sudut ikatan dapat dihitung menggunakan metode DFT (B3LYP/6-31G). Perhitungan panjang ikatan dalam molekul biodiesel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan panjang ikatan komponen FAME pada biodiesel

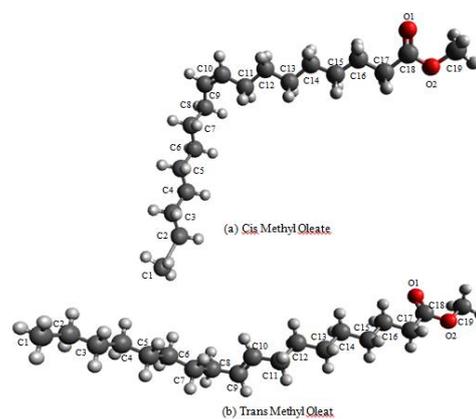
Atom 1	Atom 2	Cis Metil Oleat n = 18	Trans Metil Oleat n = 18
C1	C2	1.520	1.517
C2	C3	1.528	1.525
C3	C4	1.529	1.524
C4	C5	1.529	1.521
C5	C6	1.529	1.524
C6	C7	1.530	1.518
C7	C8	1.530	1.526
C8	C9	1.503	1.495
C9	C10	1.344	1.341
C10	C11	1.504	1.488
C11	C12	1.531	1.519
C12	C13	1.531	1.518
C13	C14	1.529	1.519
C14	C15	1.530	1.521
C15	C16	1.529	1.521
C16	C17	1.528	1.522
C17	C18	1.511	1.506
Cn	O1	1.222	1.223
Cn	O2	1.364	1.362
O2	Cn	1.428	1.426

Data pada Tabel 2 menyimpulkan bahwa rata-rata panjang ikatan C-C untuk Cis Metil Oleat adalah 1,513 Å, panjang ikatan CO dan C=O sebesar 1,364 Å dan 1,222 Å serta panjang ikatan C=C (C9-C10) adalah 1,344 Å. Kemudian, rata-rata panjang ikatan C-C untuk Trans Metil Oleat adalah 1,506 Å, panjang ikatan CO dan C=O sebesar 1,362 Å dan 1,223 Å serta panjang ikatan C=C (C9-C10) adalah 1,341 Å. Sedangkan perhitungan sudut ikatan dalam molekul biodiesel ditunjukkan pada Tabel 3.

Demikian pula, sudut ikatan antara atom karbon tak jenuh yaitu Cis Metil Oleat dan Trans Metil Oleat ditemukan menjadi 125 HAI dan 124 HAI yang mewakili nilai trigonal. Akhirnya, semua nilai geometris ditemukan sesuai dengan kisaran aktual dan bertindak sebagai data dasar untuk menghitung kalkulasi lanjutan termasuk momentum getaran. Gambar 2 menunjukkan struktur molekul 3D dari cis dan trans metil oleat yang dioptimasi.

Tabel 3. Perhitungan sudut ikatan dalam komponen FAME biodiesel

Atom 1	Atom 2	Atom 3	Cis Metil Oleat n = 18	Trans Metil Oleat n = 18
C1	C2	C3	111.5	111.2
C2	C3	C4	111.3	110.4
C3	C4	C5	111.3	110.8
C4	C5	C6	111.3	110.5
C5	C6	C7	111.2	109.6
C6	C7	C8	111.3	111.5
C7	C8	C9	111.0	108.7
C8	C9	C10	126.2	120.6
C9	C10	C11	125.6	124.0
C10	C11	C12	112.2	109.1
C11	C12	C13	110.9	110.0
C12	C13	C14	111.5	110.2
C13	C14	C15	111.3	110.0
C14	C15	C16	111.2	110.4
C15	C16	C17	111.5	110.6
C16	C17	C18	111.8	111.1
Cn	Cn	O1	125.6	125.6
O1	Cn	O2	125.1	125.2
Cn	O2	Cn	113.9	113.5



Gambar 2. Struktur Molekul 3D yang dioptimasi (a) Cis metil oleat; (b) Trans metil oleat

Dari Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa ester asam lemak tak jenuh memiliki struktur nonlinier karena adanya karbon sp² sehingga menimbulkan trigonal planar daripada struktur tetrahedral.

HOMO, LUMO dan Energi Gap

Secara umum, orbital molekul membantu memprediksi posisi yang sangat reaktif dalam sistem elektron π berdasarkan energi gap. Pemisahan energi orbital molekul terisi tertinggi (HOMO) dan orbital molekul tak terisi terendah (LUMO) membantu dalam mengkarakterisasi molekul konjugasi dan mempengaruhi stabilitas kimianya berdasarkan perbedaan tingkat energi yang disebut celah energi HOMO dan LUMO juga

mendefinisikan kemampuan molekul untuk menyumbangkan atau menerima elektron masing-masing. Transisi elektron dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi pertama ketika elektron melompat dari orbital molekul terisi tertinggi (HOMO) ke orbital molekul tak terisi terendah (LUMO), dan juga menentukan potensial ionisasi atom (menggunakan HOMO) dan afinitas elektronnya (menggunakan LUMO). Energi HOMO dan LUMO ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Energi HOMO dan LUMO

Tipe Orbital	Cis Metil Oleat		Trans Metil Oleat	
	Orbital	Energi Orbital	Orbital	Energi Orbital
HOMO	84	0.035202	84	0.032208
LUMO	83	-0.262581	83	-0.256137
Energi Gap	6.18730069 eV		6.09342137 eV	

Energi orbital dari HOMO dan LUMO dari ester asam lemak dominan dihitung menggunakan metode Density Functional Theory (DFT) pada level B3LYP dengan basis set 6-31G. Pada Tabel 4, menunjukkan bahwa celah energi (energi gap) sebesar 6.18730069 eV dan 6.09342137 eV secara berturut-turut untuk cis metil oleat dan trans metil oleat. Hal ini menjadikan trans metil oleat sedikit kurang stabil dan kemungkinan lebih reaktif dibandingkan cis metil oleat. Semakin besar energi gapnya maka semakin stabil molekul tersebut (Hasby *et al.*, 2020). Artinya molekul cis metil oleat lebih stabil dibandingkan trans metil oleat.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit berwarna kuning keemasan dan beraroma khas minyak sawit. Pengujian kualitas biodiesel telah memenuhi SNI 7028:2015 dengan pH=3, densitas 852 kg/m³, viskositas 5,9 Mm²/s, bilangan asam 0,28 mg-KOH/g dan titik nyala 140°C. Hasil komputasi menunjukkan bahwa celah energi (energi gap) sebesar 6.18730069 eV dan 6.09342137 eV secara berturut-turut untuk cis metil oleat dan trans metil oleat. Hal ini menjadikan trans metil oleat sedikit kurang stabil dan kemungkinan lebih reaktif dibandingkan cis metil oleat. Semakin besar energi gapnya maka semakin stabil molekul

tersebut. Artinya molekul cis metil oleat lebih stabil dibandingkan trans metil oleat. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan komponen cis metil oleat sebagai lemak ester (FAME) yang dominan dalam biodiesel yang disintesis dari minyak kelapa sawit. Secara komputasi, Kestabilan elektronik menunjukkan komponen cis lebih stabil dibanding trans. Hal ini tentu akan mempengaruhi sifat fisis dari biodiesel yang dihasilkan, yaitu semakin banyak komponen cis metil oleat akan menyebabkan biodiesel tidak akan lebih mudah memadat pada suhu kamar.

Saran

Perlu dilakukan sintesis biodiesel dengan menggunakan katalis alami yang keberadaan berlimpah dan mudah didapatkan serta mudah dihasilkan. Selain itu juga pemodelan komputasi harus dilakukan dengan menggunakan katalis, sehingga dapat ditentukan secara kinetika, katalis mana yang lebih berpotensi menghasilkan biodiesel yang baik dilihat dari kandungan metil oleatnya. Selain itu juga untuk memperkuat hasil komputasi perlu dilakukan pemodelan cis dan trans metil oleat dengan metode komputasi yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Barabás, I. & Todoruț, I. A. 2011. Biodiesel Quality, Standart and Properties. Biodiesel Quality, Emissions and By-

- Product., Gisela Montero and Margarita Stoytcheva. *Intechopen, Rijeka*. 3-28.
- Gokul, R.S & Jambulingan, R. 2019. Computational Analysis of Methyl Oleate in Biodiesel Produced From Waste Beef Tallow. *Research Journal of Chemistry and Environment*. 23(2): 50-59.
- Haryono, Nathanel, C. L & Yuliyati, Y. B. 2017. Pengaruh Rasio Mol Minyak-Metanol Terhadap Perolehan dan Kualitas Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Kalsium Oksida. *Prosiding SNaPP Sains dan Teknologi*, 7(1): 194-201.
- Hasby, H., Nurhafidhah, N., Pamungkas G., & Akbar, S. A. 2020. Dye-Sensitized Solar Cells Properties from Natural Dye as Light-Reaping Materials Extracted From Gayo Arabika Coffee Husks. *Rasayan J.Chem*. 13(1): 38-43.
- Kurniasih, E. 2019. Produksi Biodiesel Berbahan Baku Crude Palm Oil off Grade: Komparasi Temperatur Pengembangan Zeolite/KI. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. 3(1): A295-A298.
- Laila, L & Oktavia L. 2017. Kaji Eksperimen Angka Asam Asam dan Viskositas Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit dari PT Smart Tbk. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*. 2(1): 27-31.
- Purnomo, V., Hidayatullah, A. S., In'am, A. J., Prastuti, O. P., Septiani, E. L & Herwoto, R. P. (2020). Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar dengan Transesterifikasi Metanol Subkritis. *Jurnal Teknik Kimia*. 14(2): 73-79.
- Riskah, F., Ridhay. A., Mappiratu, Rahim, E. A. 2019. Produksi Metil Oleat Melalui Reaksi Metanolisis Minyak Biji Kelor (*Moringa oleifera* Lam). *Jurnal Riset Kimia*. 5(1): 1-8.
- Saksono, P., Gunawan, & Fauzi, R. 2019. Analisis Penggunaan Biodiesel B-20 Dengan Penambahan Zat Aditif Terhadap Performansi *Engine* Mercedes-Benz Om 501 La. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. 1(1): 15-20.
- Sartika, R. A. D. 2008. Pengaruh Asam Lemak Jenuh, Tidak Jenuh dan Asam Lemak Trans Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*. 4(2): 154-160.
- Singh, G., Mohapatra, S. K. S., Ragit, S. and Kundu, K. 2018. Optimization of Biodiesel Production from Grape Seed Oil Using Taguchi's Orthogonal Array. *Energi Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 40(18): 2144-2153.
- Sulastri. 2011. Uji Sifat Fisiko-Kimia dan Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Mahoni (*Swietenia mahagoni* (L). Jacq). *Tesis*. Fakultas MIPA. Universitas Indonesia. Depok.
- Wenchao, W, Fashe, L & Ying, L. 2020. Effect of Biodiesel Ester Structure Optimization on Low Temperature Performance and Oxidation Stability. *Journal of Materials Research and Technology*. 9(3): 2727-2736.