



Identifikasi Karakter Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Instrumen Gas Cromatografi Mass Spectroscopy (GC-MS)

*¹Gargazi, ²Hendrawani, ³Hulyadi

¹Prodi Pendidikan Teknologi Informasi, FSTT, Universitas Pendidikan Mandalika, Jalan Pemuda No. 59A Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia 83125.

^{2&3}Prodi Pendidikan Kimia, FSTT, Universitas Pendidikan Mandalika, Jalan Pemuda No. 59A Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia 83125.

*Email Korespondensi: gargazi@undikma.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi dan karakterisasi biodiesel dari minyak jelantah. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif. Variabel yang diamati dalam penelitian ini antara lain senyawa kimia dan struktur molekul penyusun biodiesel dari minyak jelantah. Penentuan senyawa-seyawa kimia serta struktur molekul penyusun biodiesel dari minyak jelantah diukur menggunakan instrumen GC-MS. Hasil pengukuran selanjutnya dijadikan dasar dalam mengidentifikasi karakter biodiesel. Komponen tertinggi berupa senyawa asam lemak. Asam lemak berupa asam oktadekanoat dengan % area 45,10, selanjutnya metil ester heksadekanoat dengan % area 35,99%. Komponen ketiga dengan jumlah tertinggi berupa senyawa metil ester oktadekanoat dengan % area 9,42. Komponen keempat berupa metil ester tetradekanoat dengan % area 3,43. Metil ester C16 masih rendah yaitu sebesar 35,99%. Karakter biodiesel dari minyak jelantah masih banyak mengandung asam lemak bebas golongan oktadekanoat dan konsentrasi C16 yang menjadi dasar kemudahan biodiesel untuk terbakar masih rendah.

Kata kunci: Karakter Biodiesel, Minyak Jelantah, Gas Cromatografi Mass Spectroscopy.

Identification of Characteristics of Used Cooking Oil Biodiesel Using Gas Chromatography Mass Spectroscopy (GC-MS) Instruments

Abstract

The purpose of this study is to identify and characterize biodiesel from used cooking noodles. This research is a qualitative descriptive research. The variables observed in this study include chemical compounds and the molecular structure of biodiesel constituents from used cooking oil. The determination of chemical compounds and the molecular structure of biodiesel constituents of used cooking oil was measured using the GC-MS instrument. The results of the next measurement are used as a basis in identifying biodiesel krakters. The highest component is in the form of fatty acid compounds. Fatty acids are octadecanoic acid with a % area of 45.10, then methyl hexadecanoic ester with a % area of 35.99%. The third component with the highest amount is the octachonate methyl ester compound with a % area of 9.42. The fourth component is methyl ester tetradecanoate with % area 3.43. Methyl ester C16 is still low at 35.99%. The character of biodiesel from used cooking oil still contains a lot of free fatty acids of the octadecanoic group and C16 concentration, which is the basis for the ease of biodiesel to burn is still low.

Keywords: Biodiesel Character, Used Cooking Oil, Gas Cromatografi Mass Spectroscopy.

How to Cite: Gargazi, G., Hendrawani, H., & Hulyadi, H. (2022). Identifikasi Karakter Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Instrumen Gas Cromatografi Mass Spectroscopy (GC-MS). *Empiricism Journal*, 3(2), 333–340. <https://doi.org/10.36312/ej.v3i2.1083>



<https://doi.org/10.36312/ej.v3i2.1083>

Copyright© 2022, Gargazi, et al.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Krisis energi kini melanda dunia. Sebagian besar bagian dunia masih menggunakan energi yang bersumber dari fosil. Kita telah ketahui bersama sumber energi dari fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui. Hasil uji saintifik menunjukkan energi dari fosil menyumbang pencemaran bagi lingkungan paling besar. Dampak seperti menipisnya lapisan ozon, pemanasan global dan munculnya anomali iklim merupakan serangkaian dampak negatif energi fosil (Ali et al., 2020; Martins et al., 2019; Umar et al, 2021). Penggunaan energi hijau menjadi solusi yang banyak ditawarkan oleh ilmuwan. Energi hijau ditinjau dari emisi

karbon yang diproduksi dalam proses penggunaannya (Guo et al., 2019; Laohalidanond & Kerdsuwan, 2021; Li et al, 2020). Energi yang harus dapat diperharui menjadi solusi selanjutnya yang ditawarkan ditengah krisis energi yang melanda dunia saat ini. Pemanfaatan limbah organik khusus yang mengandung trigliserida atau lipada menjadi biodiesel menjadi trending saat ini (Reig et al, 2020).

Indonesia merupakan penghasil minyak kelapa sawit terbesar didunia. Kelapa sawit merupakan bahan utama pembuatan minyak goreng. Sebagai negara terbesar penghasil kelapa sawit, indonesia berpotensi menjadi negara penghasil biodiesel terbesar didunia. Minyak goreng menjadi salah satu produk olahan kelapa sawit. Minyak goreng merupakan kebutuhan primer masyarakat Indonesia. Hampir sebagian besar pengolahan makanan menggunakan minyak. Penggunaan minyak yang terus menerus dan pada suhu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada minyak (Bouaid et al., 2016; Liu et al., 2019; Marino et al., 2021). Minyak goreng yang terpapar suhu tinggi dalam waktu lama akan berubah menjadi asam lemak dan radikal bebas yang dapat menyebabkan beragam penyakit pada tubuh (Bhatnagar et al., 2009; Surtini & Badriyah, 2021). Potensi asam lemak dan radikal bebas yang terdapat dalam minyak goreng dalam menimbulkan beragam penyakit perlu diatasi. Masyarakat Indonesia sebagian besar belum menyadari dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh minyak goreng bekas. Dampak negatif ini dapat dihindari dengan mengolah minyak goreng bekas menjadi biodiesel. Minyak goreng bekas atau sering kita kenal dengan minyak jelantah dapat diolah menjadi biodisel melalui proses reaksi kimia. Minyak jelantah direaksikan dengan alkohol yang dikatalis dengan basa akan menghasilkan biodiesel proses ini dalam kimia disebut reaksi esterifikasi (Farabi et al., 2019; Muanruksa, 2020; Sarno and Luliano, 2019; Wang et al., 2021).

Asam lemak pada minyak jelantah mempengaruhi reaksi esterifikasi. Jika asam lemak tidak dihilangkan dapat menyebabkan terjadinya reaksi penyabunan. Pristiwa ini menyebabkan rendahnya produksi biodiesel (Meng et al, 2021; Odetoye et al, 2021; Sugebo et al, 2021; Wu et al., 2022). Dibutuhkan identifikasi dan karakterisasi minyak jelantah untuk mendapatkan biodisel yang berkualitas tinggi. Kajian struktur asam lemak diperlukan untuk dapat menentukan perlakuan selanjutnya sebelum minyak jelantah diproduksi menjadi biodiesel. Kajian struktur senyawa organik membutuhkan instrumen yang mampu membaca struktur dengan tepat dan akurat. Instrumen kimia yang biasanya digunakan untuk mengidentifikasi struktur salah satunya adalah Gas Cromatografi Mass Spektroskopi (GC-MS) (Arismendi et al., 2019; Chiu & Kuo, 2020). Instrumen GC-MS mampu membaca semua struktur molekul yang terdapat pada sampel yang diinjeksi ke alat. GC-MS mampu membaca massa molekul komponen yang terdapat pada sampel. Molekul selanjutnya terpragmen setelah melalui proses penembakan elektron pada elektron bebas dan elektron ikatan (Eckenrode, 2001; Pawar et al., 2022; Ruben et al, 2020).

Identifikasi dan karakterisasi struktur molekul minyak jelantah penting untuk dilakukan. Informasi ini sangat dibutuhkan untuk mengambil tindakan yang tepat sebelum minyak jelantah mendasar dan dapat klarifikasi lagi pada pragmennya menjadi dasar yang kuat dalam penentuan struktur molekul-molekul pada minyak jelantah. Sampel yang masuk kedalam instrumen GC-MS diubah dulu menjadi ester. Perubahan ini dilakukan untuk lebih memudahkan kerja instrument dalam mengidentifikasi sampel (Pawar et al., 2022). Peraparasi minyak jelantah sebelum diolah menjadi biodiesel sangat dibutuhkan untuk mendapatkan produk yang diharapkan (Ma et al., 2021; Zhang et al., 2020). Literasi tentang karakter biodiesel sangat dibutuhkan untuk dapat mengambil solusi yang tepat persiapan minyak jelantah sebelum diolah menjadi biodiesel. Minyak jelantah mengandung asam lemak yang tinggi (Awogbemi et al, 2019; Farabi et al., 2019; Lam et al, 2010; Niu et al., 2018). Asam lemak yang tinggi menjadi faktor yang sering mempengaruhi produksi biodiesel. Asam lemak pada minyak jelantah dapat meningkatkan laju reaksi terhadap pembentukan sabun atau sering dikenal dengan reaksi *saponification* (Glass RL, 1971; KunWu et al, 2022; Meng et al, 2021; Wu et al., 2022). Reaksi pembentukan biodiesel disebut sebagai reaksi pembentukan ester. Adanya asam lemak menjadi salah satu penghambat pembentukan ester (Kun Wu et al, 2022).

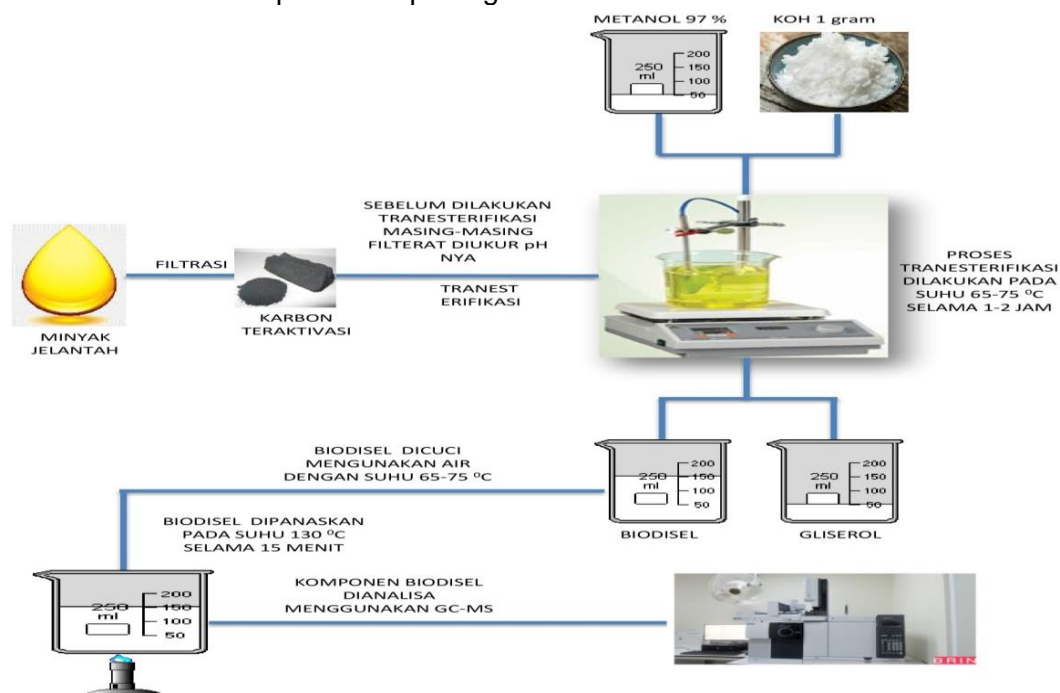
Identifikasi struktur senyawa organik dapat menggunakan instrument kimia seperti GC-MS, IR, C-NMR, H-NMR dan UV (Becker et al, 2020; Vázquez et al, 2008; Yang et al, 2022). Instrument terbukti mampu mengidentifikasi struktur secara akurat dan presisi. GC-MS merupakan instrument kimia yang mampu membaca struktur kimia dengan seksama

khususnya pada massa molekul dan karakternya dapat ditelusuri melalui fragmen-fragmennya selama melawati instrument. Instrumen ini banyak digunakan oleh para peneliti senyawa organik untuk menganalisa strukturnya berdasarkan massa molekulnya (Filiciotto et al., 2019). Pemilihan instrument terbilang tepat untuk menggambarkan struktur molekul awal berdasarkan massa molekul dan fragmen ion positif molekulnya (Zhang et al, 2019).

Asam lemak dalam minyak jelantah perlu diidentifikasi dan ditentukan strukturnya. Informasi ini sangat diperlukan oleh peneliti supaya perlakuan yang diberikan terhadap minyak jelantah efektif. Informasi karakteristik asam lemak dapat membantu peneliti selanjutnya memilih adsorben atau reagen yang tepat dalam menurunkan asam lemak pada minyak jelantah (Awogbemi et al, 2019; Muanruksa, 2020; Pietro et al, 2020). Penggunaan reaktan adsorben dapat disesuaikan dengan struktur asam lemak pada biodiesel (Walker et al, 2019). Intraksi antar molekul dapat dijadikan dasar dalam menarik dan menyerap asam lemak dari minyak jelantah (Lu et al, 2020). Berdasarkan kajian diatas identifikasi dan karakterisasi minyak jelantah sebagai bahan utama pembuatan biodiesel penting untuk dilakukan. Informasi ini dibutuhkan untuk membuat alternatif solusi dari masalah yang ditimbulkan oleh asam lemak dalam pembuatan biodiesel.

METODE

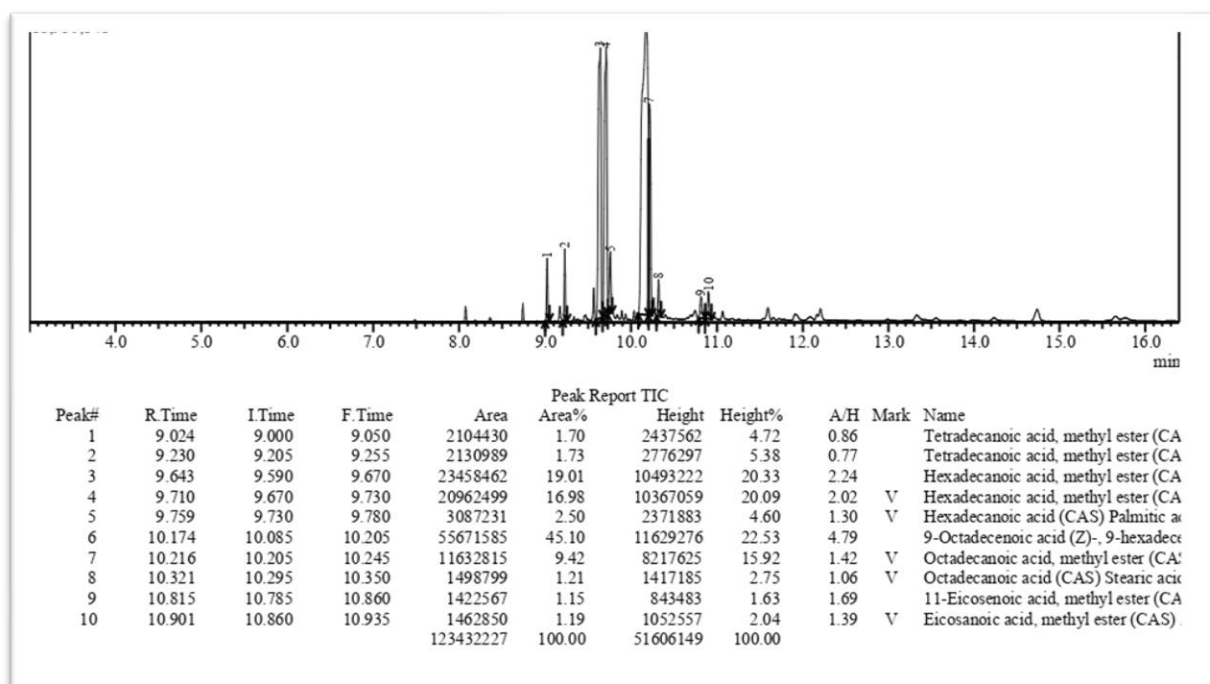
Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif. Penelitian ini dilaksanakan dilaboratorium Kimia Universitas Pendidikan Mandalika dan Laboratorium Analitik Universitas Mataram. Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah karakteristik biodiesel dari minyak jelantah. Karakteristik diamati dari semua senyawa kimia yang terdapat pada biodiesel. Minyak jelantah diperoleh dari pedagang gorengan sekitdar wilayah kota mataram. Biodiesel dibuat dengan mencampurkan minyak jelantah dan larutan metoksi. Larutan metoksi dibuat dengan mereaksikan methanol dan kalium hidroksida. Semua bahan selanjutnya dipanaskan pada suhu 65-75 °C selama 2 jam. Proses ini berlangsung dalam pemanas magnetic stirrer. Setelah 2 jam bahan dibiarkan selama 30 menit sampai terbentuk 2 lapisan. Bahan selanjutnya dipisahkan menggunakan corong pisah. Produk dari proses ini dihasilkan biodiesel dan gliserol. Biodiesel selanjutnya dicuci menggunakan air hangat dan dipanaskan pada suhu 120-130°C. Biodiesel selanjutnya diidentifikasi komposisinya menggunakan instrument GC-MS. Hasil uji ini digunakan untuk mengavuluisi dan mengidentifikasi karakter biodiesel yang dihasil. Data yang diperoleh dideskripsikan untuk mendapat gambaran yang lebih jelas tentang karakter biodiesel yang dihasil dari minyak jelantah. Sekema metode dan karakterisasi biodiesel dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Alur Penelitian

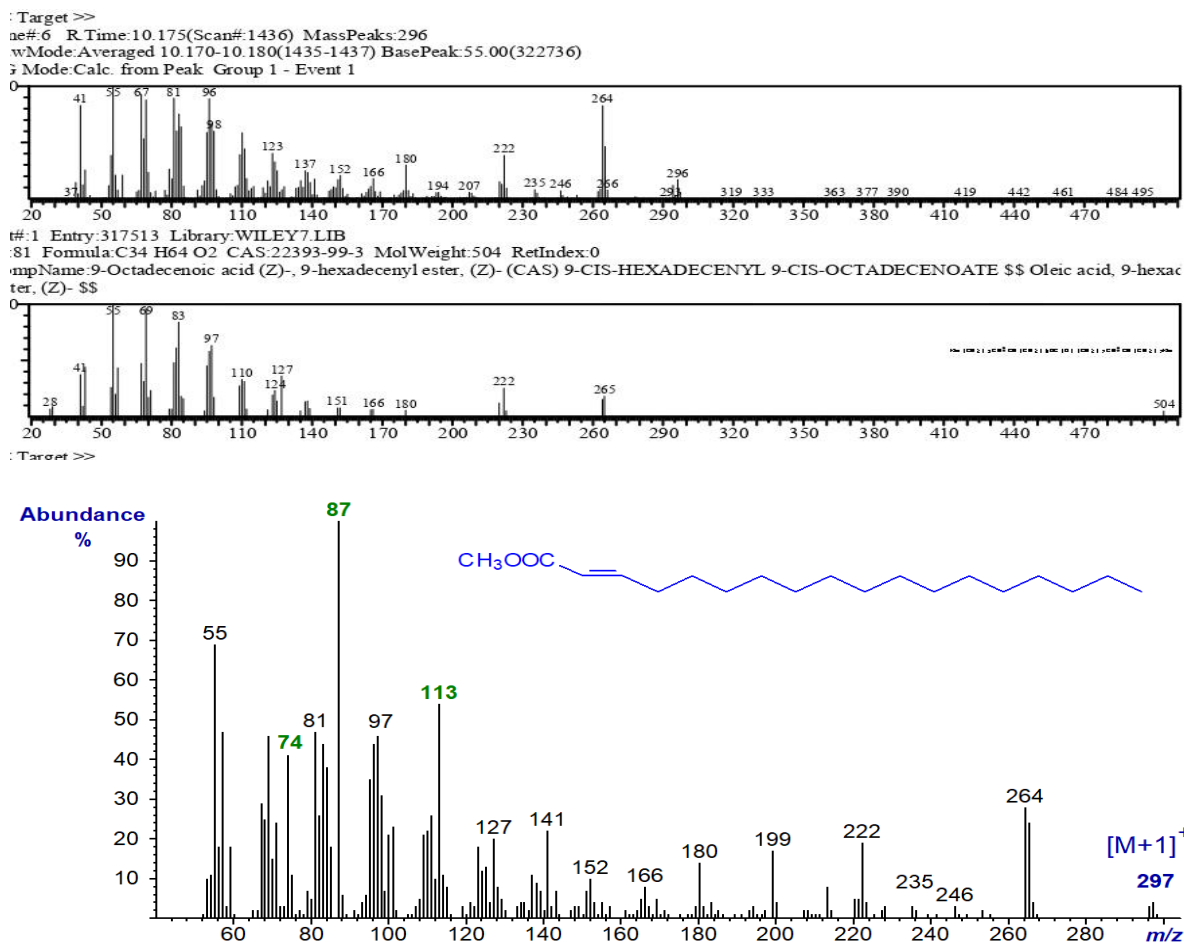
HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi biodiesel dari minyak jelantah menggunakan instrument GC-MS. Instrument ini tervalidasi mampu mengukur konsentrasi setiap komponen dalam sebuah sampel dan mampu mengidentifikasi strukturnya melalui ion molekul positif dan pragmennya. Ion molekul awal mampu memberikan gambaran massa molekul dari sebuah komponen. Pemastian strukturnya dapat diidentifikasi dari fragmen-fragmen molekul selama melewati instrument GC-MS. Intumen GC-MS merupakan gabungan dua instrumen kimia yaitu Gas Chromatography dan Mass Spektroskopi. Gas Chromatography berperan memisahkan komponen-komponen dalam sebuah sampel berdasarkan intraksi komponen dan kolom kromatografi yang dibawa oleh gas. Mass Spektroskopi berperan menembakkan elektron pada setiap komponen sehingga dihasil ion molekul positif yang selanjutnya terpragmen menjadi ion positif dan negatif (Cai et al., 2019; Fazaieli et al, 2020). Hasil indentifikasi biodiesel dari minyak jelantah dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Kromatogram Biodiesel Dari Minyak Jelantah

Berdasarkan Kromatogram diatas dapat dilihat dalam minyak jelantah terdapat lima komponen senyawa dalam biodiesel dari minyak jelantah. Komponen tertinggi berupa senyawa asam lemak. Asam lemak berupa asam oktadekanoat dengan % area 45,10, selanjutnya metil ester heksadekanoat dengan % area 35,99%. Komponen ketiga dengan jumlah tertinggi berupa senyawa metil ester oktadekanoat dengan % area 9,42. Komponen keempat berupa metil ester tetradekanoat dengan % area 3,43. Komponen kelima berupa metil ester eikosanoat % area sebesar 2,33. % area menunjukkan konsentrasi komponen dalam sampel. Berdasarkan gambar 2 47,6% merupakan asam lemak pada biodiesel. Hasil uji ini memberikan gambaran tinggi asam lemak yang terdapat pada biodiesel. Hasil ini tentu sangat mempengaruhi kualitas biodiesel. Hasil uji ini menunjukkan asam lemak menjadi salah satu faktor yang paling dominan dalam pembuatan biodiesel dari minyak jelantah (Chuah et al, 2017). Asam lemak dalam biodiesel menjadi faktor yang sangat diperhatikan karena asam lemak dapat menyebabkan terjadi penyumbatan pada filter pembakaran jika diaplikasikan pada kendaraan bermotor. Identifikasi dan krakterisasi biodiesel dari minyak jelantah diperkuat oleh spectrum biodiesel dibawah ini. Spectrum dibawah ini menggambarkan struktur asam oktadekanoat hal ini diperkuat dari massa ion positif yang terbaca oleh instrumen GC-MS yaitu 298. Massa molekul ini menunjukkan berat molekul yang dimiliki oleh metyl ester oktadekanoat (Japp et al, 1977; Manduapessy and Kaimudin, 2020; Mohan et al, 2016). Spketrum GC-MS okta dekanooat ditunjuk pada gambar 3.



Gambar 3. Spektrum GC-MS okta dekanoa

(Chuah et al., 2017; Sivaramakrishnan & Ravikumar, 2012) menyatakan tinggi rendahnya cetana number (CN) menggambarkan kualitas biodiesel. CN menggambarkan jumlah C16 pada biodiesel semakin tinggi kadarnya semakin mudah terbakar. C16 terdapat pada komponen biodiesel heksadekanoat. Konsentrasi metil ester heksadekanoat sekitar 35,99% jika dilihat dari % area kromatografinya. Jika ingin memperoleh kualitas biodiesel dengan CN tinggi maka asam lemak yang mengandung jumlah karbon lebih tinggi dari 16 harus dibersihkan dari minyak jelantah. Teknik pembersihan asam lemak dari minyak jelantah penting untuk dikuasai jika kita hendak memproduksi biodiesel yang dapat bersaing dipasar internasional. Berdasarkan kajian strukturnya asam lemak pada minyak jelantah kaya dengan gugus hidroksil dan karboksilat. Senyawa yang mengandung dua gugus ini memiliki kemampuan mengadsorpsi asam lemak dengan memanfaatkan terjadinya intraksi ikatan hidrogen antara gugus-gugus hidroksil pada asam lemak dengan adsorben yang digunakan (Cramer et al., 2019; Zhu et al., 2019).

KESIMPULAN

Biodiesel minyak jelantah mengandung konsentrasi karbon C16 masih rendah yaitu sebesar 35,99%. Biodiesel dari minyak jelantah masih sangat tinggi mengandung asam lemak bebas. Berdasarkan hasil temuan ini dapat disimpulkan karakter biodiesel yang diperoleh tidak mudah terbakar karena konsentrasi C16 masih rendah. Konsentrasi asam lemak bebas yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan filter pembakaran mesin diesel.

REKOMENDASI

Diperlukan pereparasi awal minyak jelantah sebelum dibuat menjadi biodiesel. Asam lemak pada biodiesel bisa dihilangkan dengan memilih bahan yang mirip dengan struktur asam lemak bebas minyak jelantah. Berdasarkan strukturnya asam lemak dapat diserap oleh senyawa yang kaya dengan gugus hidroksil dan karboksilat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali et al. (2020). Fossil energy consumption, economic development, inward FDI impact on CO₂ emissions in Pakistan: Testing EKC hypothesis through ARDL model—Ali—2021—International Journal of Finance & Economics—Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ijfe.1958>
- Arismendi, D., Becerra-Herrera, M., Cerrato, I., & Richter, P. (2019). Simultaneous determination of multiresidue and multiclass emerging contaminants in waters by rotating-disk sorptive extraction–derivatization–gas chromatography/mass spectrometry. *Talanta*, 201, 480–489. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.03.120>
- Awogbemi et al. (2019). Comparative study of properties and fatty acid composition of some neat vegetable oils and waste cooking oils | International Journal of Low-Carbon Technologies | Oxford Academic. <https://academic.oup.com/ijlct/article/14/3/417/5527146>
- Becker et al. (2020). Quantification of microplastics in a freshwater suspended organic matter using different thermoanalytical methods – outcome of an interlaboratory comparison—ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237019309507>
- Bhatnagar et al. (2009). Fatty Acid Composition, Oxidative Stability, and Radical Scavenging Activity of Vegetable Oil Blends with Coconut Oil—Bhatnagar—2009—Journal of the American Oil Chemists' Society—Wiley Online Library. <https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1007/s11746-009-1435-y>
- Bouaid et al. (2016). Effect of free fatty acids contents on biodiesel quality. Pilot plant studies—ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236116000272>
- Cai, H., Liu, J., Xie, W., Kuo, J., Buyukada, M., & Evrendilek, F. (2019). Pyrolytic kinetics, reaction mechanisms and products of waste tea via TG-FTIR and Py-GC/MS. *Energy Conversion and Management*, 184, 436–447. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.031>
- Chiu, H.-H., & Kuo, C.-H. (2020). Gas chromatography-mass spectrometry-based analytical strategies for fatty acid analysis in biological samples. *Journal of Food and Drug Analysis*, 28(1), 60–73. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2019.10.003>
- Chuah et al. (2017). Influence of fatty acids in waste cooking oil for cleaner biodiesel | SpringerLink. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-016-1274-0>
- Cramer, J., Sager, C., & Ernst, B. (2019). Hydroxyl Groups in Synthetic and Natural Product Derived Therapeutics – A Perspective on a Common Functional Group. *Journal of Medicinal Chemistry*, 62. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.9b00179>
- Eckenrode. (2001). Environmental and Forensic applications of field-portable GC-MS: An overview | Journal of the American Society for Mass Spectrometry. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1016/S1044-0305%2801%2900251-3>
- Farabi et al. (2019). Esterification of palm fatty acid distillate using sulfonated carbon-based catalyst derived from palm kernel shell and bamboo—ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890418313682>
- Fazaieli et al. (2020). Development of organic solvents-free mode of solidification of floating organic droplet-based dispersive liquid–liquid microextraction for the extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from honey samples before their determination by gas chromatography–mass spectrometry—Fazaieli—2020—Journal of Separation Science—Wiley Online Library. <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jssc.202000136>
- Filiciotto, L., Balu, A. M., Romero, A. A., Angelici, C., van der Waal, J. C., & Luque, R. (2019). Reconstruction of humins formation mechanism from decomposition products: A GC-MS study based on catalytic continuous flow depolymerizations. *Molecular Catalysis*, 479, 110564. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110564>
- Glass RL. (1971). Alcoholysis, saponification and the preparation of fatty acid methyl esters | SpringerLink. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02531175>
- Guo, Z., Sun, Y., Pan, S.-Y., & Chiang, P.-C. (2019). Integration of Green Energy and Advanced Energy-Efficient Technologies for Municipal Wastewater Treatment Plants.

- International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(7), Article 7.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16071282>
- Japp et al. (1977). *Lipids*—Wiley Online Library.
<https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1007/BF02570901>
- KunWu et al. (2022). Saponification with calcium has different impacts on anaerobic digestion of saturated/unsaturated long chain fatty acids—ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852421014760>
- Lam et al. (2010). Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review—ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975010000388>
- Laohalidanond & Kerdsuwan. (2021). GREEN ENERGY RECOVERY FROM WASTE IN THAILAND: CURRENT SITUATION AND PERSPECTIVES - International Journal of Energy for a Clean Environment, Volume 22, 2021, Issue 5—Begell House Digital Library.
<https://www.dl.begellhouse.com/journals/6d18a859536a7b02,0012e12051b59272,49b8b02d00ca4d99.html>
- Li et al. (2020). Water Splitting: From Electrode to Green Energy System | SpringerLink.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40820-020-00469-3>
- Liu et al. (2019). Effect of frying oils' fatty acid profile on quality, free radical and volatiles over deep-frying process: A comparative study using chemometrics—ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818309836>
- Lu et al. (2020). Optical Waveguiding Organic Single Crystals Exhibiting Physical and Chemical Bending Features—Lu—2020—Angewandte Chemie International Edition—Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.201914026>
- Ma, J., Hu, M., Sun, D., Lu, T., Sun, G., Ling, S., & Xu, L. (2021). Understanding the role of waste cooking oil residue during the preparation of rubber asphalt. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105235.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105235>
- Manduapessy and Kaimudin. (2020). Fatty Acid Profile of Fresh and Processed Shortfin Scad Fish (*Decapterus macrochomus*)—IOPscience.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1463/1/012024/meta>
- Marino, V. M., Rapisarda, T., Caccamo, M., Valenti, B., Priolo, A., Luciano, G., Natalello, A., Campione, A., & Pauselli, M. (2021). Effect of Dietary Hazelnut Peels on the Contents of Fatty Acids, Cholesterol, Tocopherols, and on the Shelf-Life of Ripened Ewe Cheese. *Antioxidants*, 10(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/antiox10040538>
- Martins et al. (2019). *Energies* | Free Full-Text | Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/964>
- Meng et al. (2021). Production of polyhydroxyalkanoates from propylene oxide saponification wastewater residual sludge using volatile fatty acids and bacterial community succession—ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852421002510>
- Mohan et al. (2016). Mass spectrum of octadecanoic acid, methyl ester | Download Scientific Diagram. https://www.researchgate.net/figure/Mass-spectrum-of-octadecanoic-acid-methyl-ester_fig3_311557844
- Muanruksa. (2020). Combination of fatty acids extraction and enzymatic esterification for biodiesel production using sludge palm oil as a low-cost substrate. *Renewable Energy*, 146, 901–906. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.027>
- Niu, S., Ning, Y., Lu, C., Han, K., Yu, H., & Zhou, Y. (2018). Esterification of oleic acid to produce biodiesel catalyzed by sulfonated activated carbon from bamboo. *Energy Conversion and Management*, 163, 59–65.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.02.055>
- Odetoye et al. (2021). Biodiesel production from poultry wastes: Waste chicken fat and eggshell—ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221334372100631X>

- Pawar, K., Sankpal, P., Patil, S., Patil, P., Pawar, A., & Shinde, P. (2022). Applications of GC-MS used in Herbal plants. *Asian Journal of Pharmaceutical Analysis*, 53–55. <https://doi.org/10.52711/2231-5675.2022.00010>
- Pietro et al. (2020). Processes | Free Full-Text | NMR Determination of Free Fatty Acids in Vegetable Oils. <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/4/410>
- Reig et al. (2020). Applied Sciences | Free Full-Text | Trends in Biodiesel Production from Animal Fat Waste. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/10/3644>
- Ruben et al. (2020). Revealing hidden information in GC–MS spectra from isomeric drugs: Chemometrics based identification from 15 eV and 70 eV EI mass spectra—ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468170920300138>
- Sarno and Iuliano. (2019). Biodiesel production from waste cooking oil. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/gps-2019-0053/html>
- Sivaramakrishnan, K., & Ravikumar, P. (2012). Determination of cetane number of biodiesel and it's influence on physical properties. *Asian Journal of Applied Sciences*, 7, 205–211.
- Sugebo et al. (2021). Evaluation and characterization of rubber seed oil for biodiesel production | SpringerLink. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-021-01900-4>
- Surtini, & Badriyah, Z. (2021). Correlation of Repeat Cooking Oil Use to Increasing Cholesterol Levels in Community, Gandong Village, Bandung District, Tulungagung Regency In 2021. *The 3rd Joint International Conference*, 3(1), 254–259.
- Umar et al. (2021). The imperativeness of environmental quality in the United States transportation sector amidst biomass-fossil energy consumption and growth—ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620349076>
- Vázquez et al. (2008). Combining TXRF, FT-IR and GC–MS information for identification of inorganic and organic components in black pigments of rock art from Alero Hornillos 2 (Jujuy, Argentina) | SpringerLink. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00216-008-2038-4>
- Walker et al. (2019). Molecular curvature, specific intermolecular interactions and the twist-bend nematic phase: The synthesis and characterisation of the 1-(4-cyanobiphenyl-4'-yl)-6-(4-alkylanilinebenzylidene-4'-oxy)hexanes (CB6O.m)—Soft Matter (RSC Publishing). <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/sm/c9sm00026g/unauth>
- Wang, S., Yu, H., Su, Q., & Zuo, J. (2021). Exploring the role of heterotrophs in partial nitrification-anammox process treating thermal hydrolysis process—Anaerobic digestion reject water. *Bioresource Technology*, 341, 125762. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125762>
- Wu, K., Xu, W., Wang, C., Lu, J., & He, X. (2022). Saponification with calcium has different impacts on anaerobic digestion of saturated/unsaturated long chain fatty acids. *Bioresource Technology*, 343, 126134. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126134>
- Yang et al. (2022). IJERPH | Free Full-Text | Characterization of Dissolved Organic Matter in Solar Ponds by Elemental Analysis, Infrared Spectroscopy, Nuclear Magnetic Resonance and Pyrolysis–GC–MS. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/15/9067>
- Zhang et al. (2019). Single particle ICP-MS and GC-MS provide a new insight into the formation mechanisms during the green synthesis of AgNPs—New Journal of Chemistry (RSC Publishing). <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/nj/c8nj06291a/unauth>
- Zhang, W., Ji, H., Song, Y., Ma, S., Xiong, W., Chen, C., Chen, B., & Zhang, X. (2020). Green preparation of branched biolubricant by chemically modifying waste cooking oil with lipase and ionic liquid. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122918. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122918>
- Zhu, L., Tong, L., Zhao, N., Li, J., & Lv, Y. (2019). Coupling interaction between porous biochar and nano zero valent iron/nano α -hydroxyl iron oxide improves the remediation efficiency of cadmium in aqueous solution. *Chemosphere*, 219, 493–503. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.013>