

## Pengaruh Daya Microwave Terhadap Pembuatan Biodiesel Dengan Katalis Fly Ash/ $\text{Na}_2\text{O}$ Menggunakan Iradiasi Microwave

Syarifuddin Oko\*, Citra Natali Kasih Mattanggung, Muhammad Naufal Aulia,  
Reza Firdaus

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda  
Jl. Cipto Mangunkusumo, Kota Samarinda, Kode Pos 75131, Indonesia  
Email: syarifuddinoko@polnes.ac.id

### Abstrak

Minyak goreng yang telah digunakan berkali-kali akan mengalami penurunan kualitas sehingga tidak layak lagi untuk digunakan kembali. Saat ini telah ditemukan metode baru untuk pengolahan biodiesel ramah lingkungan dari limbah minyak goreng yakni dengan menggunakan gelombang mikro. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi daya alat microwave terhadap rendemen, densitas, viskositas kinematik, dan kadar air biodiesel yang dihasilkan berdasarkan Standar Nasional Indonesia Nomor 7182:2015 Tentang Biodiesel. Proses dilakukan menggunakan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi untuk pembentukan metil esternya dengan bantuan katalis fly ash/ $\text{Na}_2\text{O}$ . Pembuatan katalis dilakukan dengan melakukan impregnasi pada fly ash batu bara menggunakan NaOH dengan proses pemanasan di dalam furnace selama 1 jam pada temperatur 750 °C. Daya alat gelombang mikro yang digunakan adalah 180, 300, 450, 600, dan 800 watt dengan waktu reaksi selama 4 menit dan katalis fly ash/ $\text{Na}_2\text{O}$  sebanyak 15 gram. Pembuatan biodiesel menggunakan acuan Standar Nasional Indonesia Nomor 7182:2015 Tentang Biodiesel, dengan rincian syarat mutu biodiesel berupa densitas biodiesel pada 40 °C berada pada rentang 850 – 890 kg/m<sup>3</sup>, viskositas kinematik pada 40 °C berada pada rentang 2,3 – 6,0 mm<sup>2</sup>/s (cSt), dan kadar air dan sedimen maksimal sebanyak 0,05 % volume, sehingga karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari seluruh variasi daya di luar standar biodiesel yang berlaku.

**Kata kunci :** biodiesel, gelombang mikro, metil ester, minyak goreng, minyak jelantah

### Abstract

#### **Effect Of Microwave Power on Biodiesel Production with Fly Ash/ $\text{Na}_2\text{O}$ Catalyst Using Microwave Irradiation**

Cooking oil that has been used many times will experience decrease in quality and no longer suitable for consumption. Currently, a new method has been invented for processing environmentally friendly biodiesel from waste cooking oil by using microwaves. The purposes of this research are to determine effect of varying the microwave power on the rendement, density, kinematic viscosity, and water residue of the biodiesel based on Indonesian National Standard Number 7182:2015 About Biodiesel. Using esterification and transesterification reaction to form methyl ester and using fly ash/ $\text{Na}_2\text{O}$  as catalyst. Catalyst was prepared by impregnation coal fly ash with NaOH with heating process using furnace for 1 hour at 750 °C. Microwaves power that used was 180, 300, 450, 600, and 800 watts with 4 minutes reaction time and 15 grams fly ash/ $\text{Na}_2\text{O}$  catalyst. The production of biodiesel refers to Indonesian National Standard Number 7182:2015 About Biodiesel, with details of biodiesel quality requirements density at 40 °C in the range of 850 – 890 kg/m<sup>3</sup>, kinematic viscosity at 40 °C in the range of 2,3 – 6,0 mm<sup>2</sup>/s (cSt), and maximum water residue is 0,05 % volume, so that the characteristics of the biodiesel from all power variations still out of the standards.

**Keywords:** biodiesel, cooking oil, microwave, metyhl ester, waste of cooking oil

## PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu yang cukup pesat menghasilkan penemuan-penemuan baru yang bermanfaat bagi kehidupan manusia. Saat ini telah ditemukan metode baru untuk pengolahan biodiesel ramah lingkungan dari limbah minyak goreng/minyak jelantah yakni dengan menggunakan gelombang mikro yang memiliki waktu reaksi transesterifikasi yang jauh lebih singkat bila dibandingkan dengan metode konvensional, kontrol proses yang lebih optimal, dan membantu meningkatkan efisiensi perpindahan panas (Harinda & Hidayati, 2019).

Minyak goreng bekas umum menjadi bahan baku pembuatan biodiesel. Minyak goreng yang telah digunakan berkali-kali akan mengalami penurunan kualitas sehingga tidak layak lagi untuk digunakan. Salah satu cara untuk mengatasi limbah minyak jelantah adalah dengan mengolah minyak jelantah menjadi biodiesel yang ramah lingkungan. Keberadaan minyak jelantah di Kota Samarinda pun sangat melimpah, pemerintah kota Samarinda meraih rekor MURI dengan mengumpulkan 14,36 ton minyak jelantah.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang terbuat dari minyak nabati atau lemak hewan yang terdiri dari campuran mono-alkil ester dari rantai panjang asam lemak. Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar memiliki banyak keuntungan karena bersumber dari bahan yang dapat diperbarui (renewable) dan mudah ditemukan, dan mudah terurai secara biologis (Haryanto *et al.*, 2015).

Saat ini, katalis basa homogen sudah mulai dikurangi penggunaannya, dan diganti dengan katalis heterogen. Katalis heterogen memiliki berbagai kelebihan seperti, mudah dipisahkan dari produk, dapat digunakan kembali, lebih ramah lingkungan, lebih stabil dan tidak korosif (Adhari *et al.*, 2016). Salah satu katalis heterogen yang dikembangkan adalah pemanfaatan fly ash/abu layang yang diimpregnasi dengan  $\text{Na}_2\text{O}$ . Fly ash atau abu layang merupakan limbah yang dihasilkan dari sisa pembakaran, baik dari pembakaran batu bara maupun biomassa lainnya (Harinda & Hidayati, 2019). Fly ash terbentuk karena adanya mineral-mineral yang tidak mudah terbakar yang terkandung di dalam batu bara, seperti Silika (Si), Alumina (Al) dan Besi (Fe)

(Tualeka, 2016). Fly ash mengandung 30-60%  $\text{SiO}_2$ , 10-20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 5-10 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 5-10%  $\text{MgO}$  dan 2-4 %  $\text{CaO}$  dengan kandungan silika dan alumina silika yang tinggi (Ambaroh, 2019).

Proses aktivasi fly ash dilakukan dengan menggunakan proses impregnasi dan kalsinasi (Harinda & Hidayati, 2019). Diikuti dengan reaksi esterifikasi yang bertujuan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dalam minyak jelantah (Sartika *et al.*, 2015). Reaksi esterifikasi umumnya menggunakan katalis asam homogen berupa HCl dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Isnaini, 2018).

Setelah kadar asam lemak bebas berhasil diturunkan, reaksi selanjutnya adalah reaksi transesterifikasi. Reaksi transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida dalam minyak jelantah dengan alkohol dan membentuk produk utama berupa metil ester asam lemak (biodiesel) dan produk samping berupa gliserol (Isnaini, 2018). Oleh karena itu di dalam penelitian ini akan dilakukan pengembangan dengan memvariasikan pengaruh daya microwave, pengaruh jumlah katalis, dan pengaruh waktu reaksi transesterifikasi dari minyak jelantah dengan katalis fly ash/ $\text{Na}_2\text{O}$  menggunakan iradiasi gelombang mikro terhadap rendemen, densitas, viskositas kinematik, dan kadar air berdasarkan Standar Nasional Indonesia 7182:2015 tentang biodiesel.

## METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak jelantah, fly ash batubara, sodium hidroksida, metanol, dan asam sulfat. Peralatan yang digunakan adalah ayakan, penjepit, furnace, oven, desikator, microwave, kompor listrik, pengaduk elektrik & magnet pengaduk, cawan porselen, neraca digital, pompa vakum, klem & statif, labu leher satu, buret, corong kaca, kaca arloji, bulp, pipet ukur, piknometer, gelas beaker, gelas ukur, dan cawan petridis.

Prosedur penelitian terbagi menjadi 3 bagian, yaitu pembuatan katalis fly ash/ $\text{Na}_2\text{O}$ , esterifikasi, dan transesterifikasi (Harinda & Hidayati, 2019). Pembuatan katalis fly ash/ $\text{Na}_2\text{O}$  dilakukan dengan mengayak fly ash batu bara menggunakan ayakan berukuran 200 mesh dan 325 mesh hingga fly ash batu bara mampu melewati ayakan ukuran 200 mesh dan tertahan

pada ukuran 325 mesh, dan dipanaskan dalam furnace dengan suhu 540 °C selama 1 jam. Impregnasi dilakukan menggunakan NaOH dengan proses pemanasan dalam furnace dengan suhu 750 °C selama 1 jam dengan rasio massa fly ash batu bara dan NaOH 1:1,2. Campuran fly ash dan Na<sub>2</sub>O didinginkan dalam desikator. Tekstur campuran fly ash dan Na<sub>2</sub>O akan mengeras sehingga dihancurkan menjadi ukuran yang lebih kecil dan diayak kembali menggunakan ayakan -200+325 mesh dan dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 105 °C selama 3 jam. Proses esterifikasi dilakukan dengan melakukan preparasi bahan baku berupa penyaringan minyak jelantah dan analisis kadar asam lemak bebas. Bahan baku yang telah dipreparasi kemudian ditimbang sebanyak 100 gram dan ditambahkan 52 gram metanol serta 1 mL asam sulfat ke dalam gelas beaker. Campuran larutan dipanaskan menggunakan kompor listrik dengan suhu 50-60 °C selama 1 jam dan diletakkan dalam corong pisah untuk proses pemisahan. Lapisan atas merupakan metanol dan lapisan bawah merupakan minyak hasil esterifikasinya. Minyak hasil esterifikasi dianalisis kadar asam lemak bebasnya (jika hasil <1% minyak bisa dilakukan transesterifikasi) penentuan kadar asam lemak bebas menggunakan rumus menurut Rezeika *et al.* (2018).

$$\text{FFA (\%)} = \frac{25,6 \times V_{\text{NaOH}}(\text{ml}) \times N_{\text{NaOH}}(\text{N})}{m_{\text{minyak jelantah}}(\text{g})}$$

Proses transesterifikasi dilakukan dengan pengadukan campuran katalis fly ash/ Na<sub>2</sub>O sebanyak 15 gram dan metanol sebanyak 150 mL di dalam gelas beaker menggunakan pengaduk elektrik dan magnet pengaduk selama 1 jam. Proses pemanasan minyak hasil esterifikasi sebanyak 50 mL dengan suhu mencapai 60 °C, setelah mencapai suhu 60 °C kemudian mencampurkan minyak hasil esterifikasi dengan campuran metanol dan katalis. Campuran sampel direaksikan di dalam microwave dengan daya 180, 300, 450, 600, dan 800 watt dalam waktu 4 menit. Campuran sampel yang telah direaksikan disaring menggunakan pompa vakum untuk memisahkan antara larutan dan padatan katalis, kemudian

disimpan selama 24 jam di dalam corong pisah untuk memisahkan antara biodiesel dengan zat lainnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

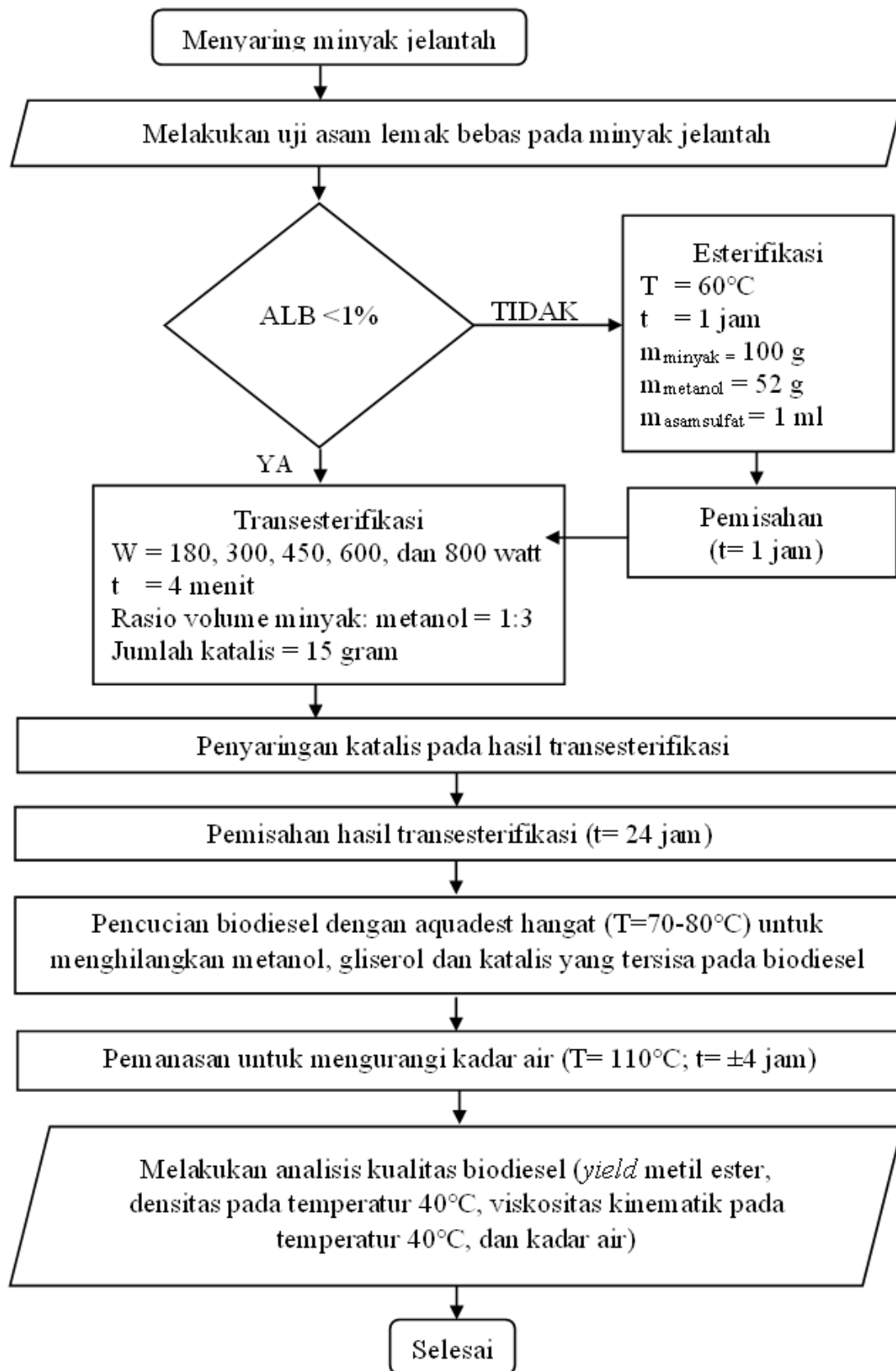
Minyak jelantah sebagai bahan baku utam pembentukan biodiesel terlebih dahulu dilakukan analisis densitas, viskositas kinematik, dan kadar asam lemak bebas. Adapun karakterisasi dari minyak jelantah Tabel 1.

Berdasarkan hasil analisis dari minyak jelantah sebagai bahan baku pembuatan biodiesel pada Tabel 1 menunjukkan bahwa densitas sebesar 0,8660 g/mL, nilai ini sebenarnya sudah memenuhi standar biodiesel SNI 7182:2015 yang berada di angka, 0,850-0,890 g/mL. Tingginya nilai viskositas kinematik sebesar 16,5794 cSt belum memenuhi standar biodiesel SNI 7182:2015 yang berada di rentang 2,3-6,0 cSt. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan trigliserida dan asam lemak bebas (Oko *et al.*, 2021). Maksimal kadar asam lemak bebas dalam reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel adalah 1% (Sartika *et al.*, 2015). Asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak jelantah dapat membentuk sabun dan menyulitkan proses pemisahan biodiesel (Oko *et al.*, 2021). Sehingga minyak jelantah perlu dilakukan reaksi esterifikasi sebelum ditransesterifikasi (Gambar 1).

Katalis fly ash/Na<sub>2</sub>O sebagai bahan untuk mempercepat reaksi pembuatan biodiesel terlebih dahulu dilakukan analisis XRD untuk mengetahui kandungan senyawa di dalamnya agar dapat mengetahui senyawa apa saja yang berperan menjadi katalis dalam reaksi. Pengujian x-Ray Diffraction (XRD) dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

**Tabel 1.** Hasil analisis bahan baku

| Bahan           | Densitas (g/mL) | Viskositas Kinematik (cSt) | Asam Lemak Bebas (%) | Warna Fisik   |
|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------|---------------|
| Minyak jelantah | 0,8660          | 16,5794                    | 2,8502               | Cokelat gelap |



**Gambar 1.** Diagram alir pembuatan pembuatan biodiesel

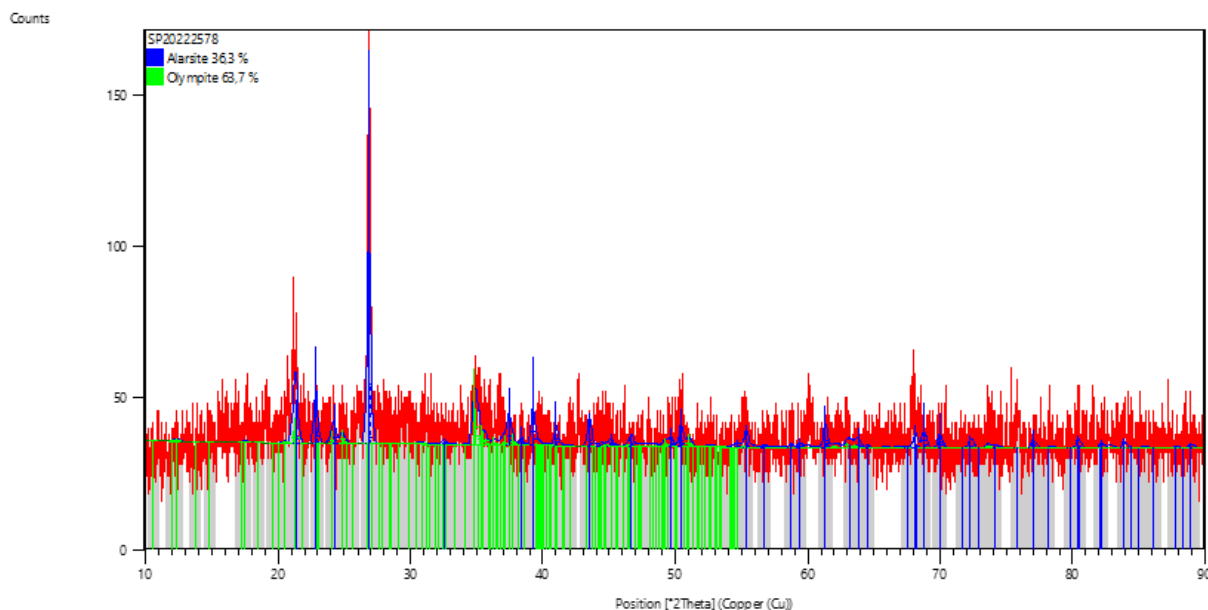
Komponen-komponen yang terkandung di dalam katalis dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil analisis dari katalis pada Gambar 2 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa terdapat kandungan  $\text{Na}_2\text{O}$  di dalamnya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Harinda & Hidayati, dimana fly ash mengandung senyawa Natrium Oksida ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). Senyawa kimia inilah yang berperan menjadi katalis dalam reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel.

Nilai rendemen sangat penting dalam pembuatan biodiesel, karena nilai rendemen merupakan angka untuk menentukan besarnya produk biodiesel yang dihasilkan dari bahan baku awal. Oleh karena itu dilakukan perhitungan rendemen pada sampel biodiesel.

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai optimum rendemen diperoleh sebesar 90,584% pada daya microwave 450 watt dan pada daya lainnya berada di bawah nilai optimum (<90,584%). Hal ini disebabkan oleh transfer panas yang efektif dan membuat suhu naik dengan

cepat pada saat reaksi berlangsung (Harinda & Hidayati, 2019). Kemudian rendemen mengalami penurunan pada daya 600 watt dan 800 watt. Temperatur yang dihasilkan lebih tinggi bila dibandingkan dengan titik didih metanol sehingga mengakibatkan penurunan efektifitas reaksi karena metanol terlebih dahulu menjadi fasa uap sebelum bereaksi dengan metanol (Harinda & Hidayati, 2019). Pada daya 800 watt, metanol menguap dengan cepat sebelum bereaksi dengan sempurna dengan minyak dan katalis. Metanol yang menguap menyebabkan adanya reaksi lebih dari katalis dan minyak jelantah sehingga membentuk sabun (Oko *et al.*, 2021).

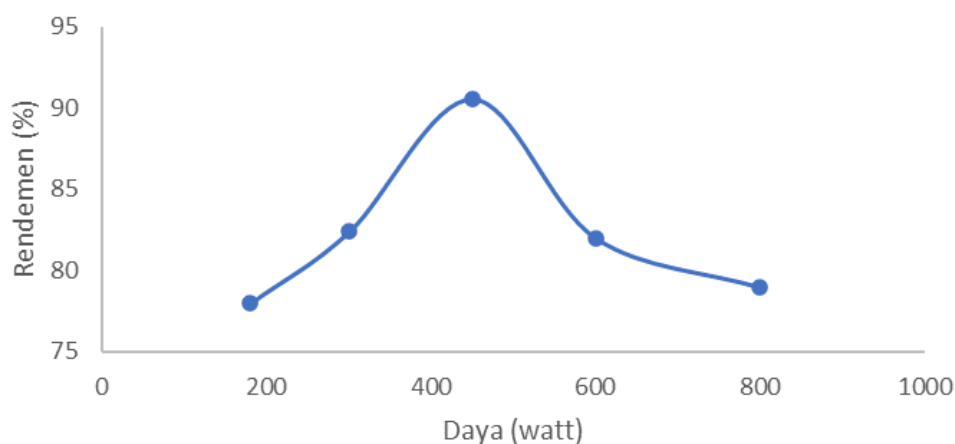
Nilai densitas yang tinggi akan menyebabkan reaksi pembakaran menjadi tidak sempurna sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan mesin (Moulita *et al.*, 2019). Karena nilai densitas memiliki risiko terhadap kerusakan mesin, maka nilai densitas biodiesel perlu dianalisis. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian densitas pada sampel biodiesel.



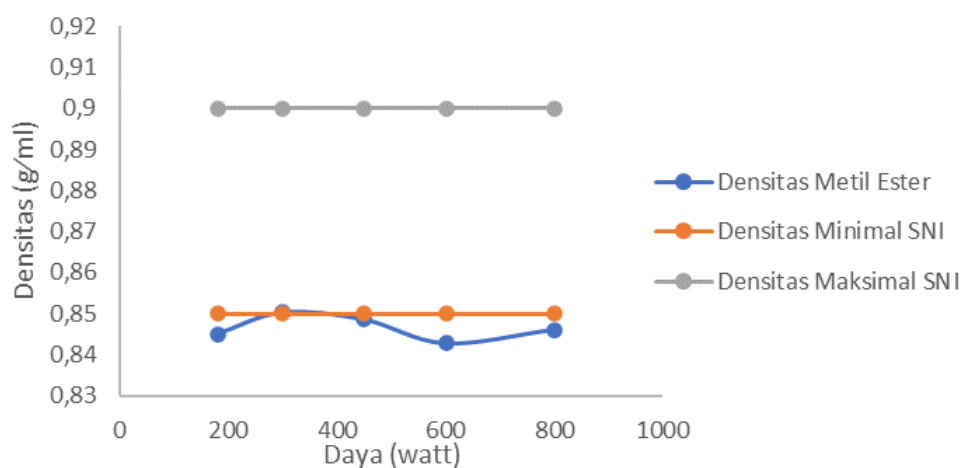
**Gambar 2.** Spektrum analisis XRD katalis fly ash/ $\text{Na}_2\text{O}$

**Tabel 2.** Hasil analisis katalis fly ash/ $\text{Na}_2\text{O}$

| Kode Ref.   | Nama Komponen | Rumus Kimia                    | Komposisi Senyawa (Webmineral, 2023)                                       | Presentase Komponen |
|-------------|---------------|--------------------------------|--|---------------------|
| 96-900-8405 | Alarsite      | $\text{AlAsO}_4$               | $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{As}_2\text{O}_5$ , O                      | 36,3%               |
| 96-901-2623 | Olympite      | $\text{LiNa}_5(\text{PO}_4)_2$ | $\text{Li}_2\text{O}$ , $\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{P}_2\text{O}_5$ , O | 63,7%               |



**Gambar 3.** Hubungan daya microwave terhadap rendemen biodiesel



**Gambar 4.** Hubungan daya microwave terhadap densitas biodiesel

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa densitas produk cenderung meningkat seiring semakin besar daya yang digunakan. Namun hanya terdapat satu hasil produk yang memenuhi SNI 7182:2015 Tentang Biodiesel, yakni produk metil ester yang menggunakan daya sebesar 300 watt. Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya laju konversi trigliserida menjadi metil ester, sehingga densitas biodiesel akan menurun, mengingat densitas metil ester lebih rendah bila dibandingkan dengan trigliserida (Yunsari *et al.*, 2019). Saat pengujian densitas pada bahan baku, hasil uji densitas menunjukkan angka 0,8660 (g/mL), sehingga pada saat dilakukan proses transesterifikasi densitas metil ester mengalami penurunan karena konversi trigliserida menjadi metil ester.

Nilai viskositas yang terlalu rendah dapat membuat pompa injeksi bahan bakar menjadi bocor, dan nilai viskositas yang terlalu tinggi mampu mempengaruhi kecepatan kerja pompa injeksi serta mempersulit pengabutan bahan bakar (Aziz *et al.*, 2011). Karena itu perlu dilakukan pengujian viskositas pada sampel biodiesel.

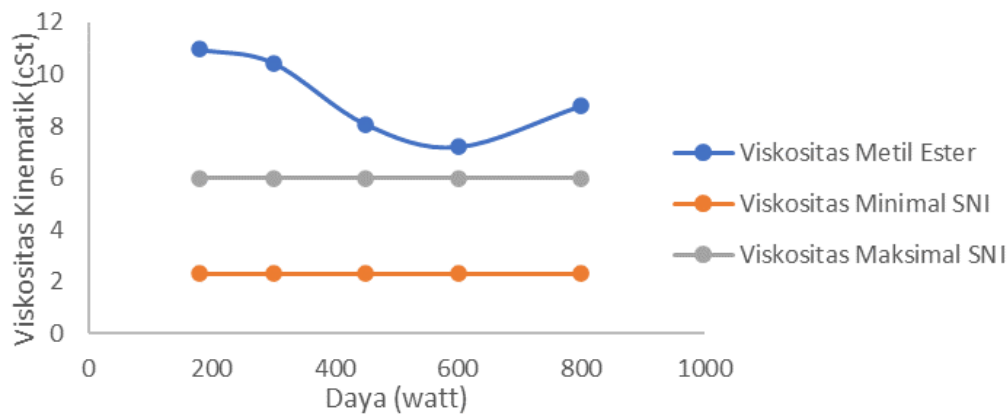
Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa nilai viskositas terbaik dalam penelitian ini berada pada daya microwave 600 watt dengan nilai 7,2117 cSt dan pada daya lainnya berada di bawah 7,2117 cSt. Pada penelitian ini keseluruhan daya masih memiliki nilai viskositas di atas standar yang berlaku, hal ini disebabkan karena metil ester yang terbentuk hanya sebesar 58,2570% dan 41,7430% sisanya adalah zat lain, zat lain inilah yang menyebabkan nilai viskositas tidak berada di

rentang 2,3-6,0 cSt. Viskositas yang tinggi disebabkan oleh gliserol & zat lainnya dan daya yang terlalu rendah sehingga viskositas produk tidak menurun (Yunsari *et al.*, 2019). Air yang terkandung di dalam produk pun akan membuat penyaluran bahan bakar ke piston menjadi terhambat (Moulita *et al.*, 2019). Untuk itu perlu dilakukan pengujian kadar air pada sampel biodiesel. Berdasarkan Gambar 6, kadar air produk biodiesel tidak ada satu pun yang memenuhi SNI 7182 Tentang Biodiesel. Kadar air dari hasil produk masih berada di atas batas yang diizinkan. Air yang terkandung di dalam disebabkan oleh sisa air hasil pemurnian produk (Moulita *et al.*, 2019). Saat melakukan pencucian, air yang digunakan untuk mencuci tidak dibiarkan dalam waktu lama sehingga pemisahan fasa antara metil ester dan air tidak sempurna.

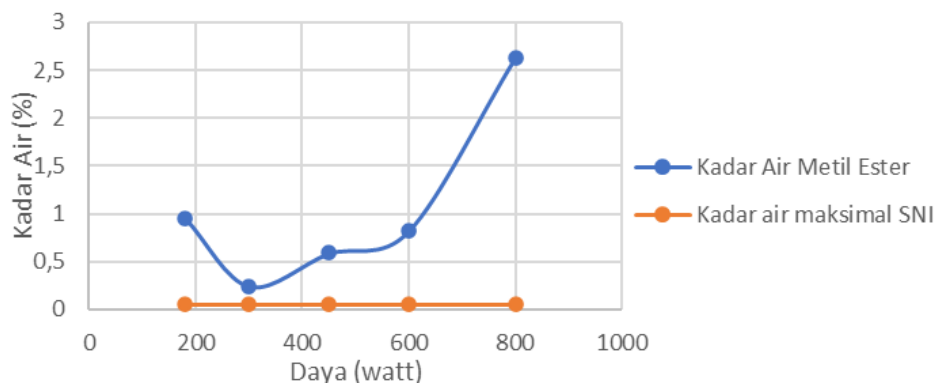
Sampel metil ester yang diuji FTIR merupakan sampel yang memiliki nilai viskositas

yang paling mendekati SNI 7182:2015 Tentang Biodiesel, yakni sampel metil ester yang melalui transesterifikasi dengan daya gelombang mikro 600 watt. Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kandungan metil ester di dalam sampel biodiesel, dan mengetahui gugus fungsi dari serapan gelombang yang dihasilkan.

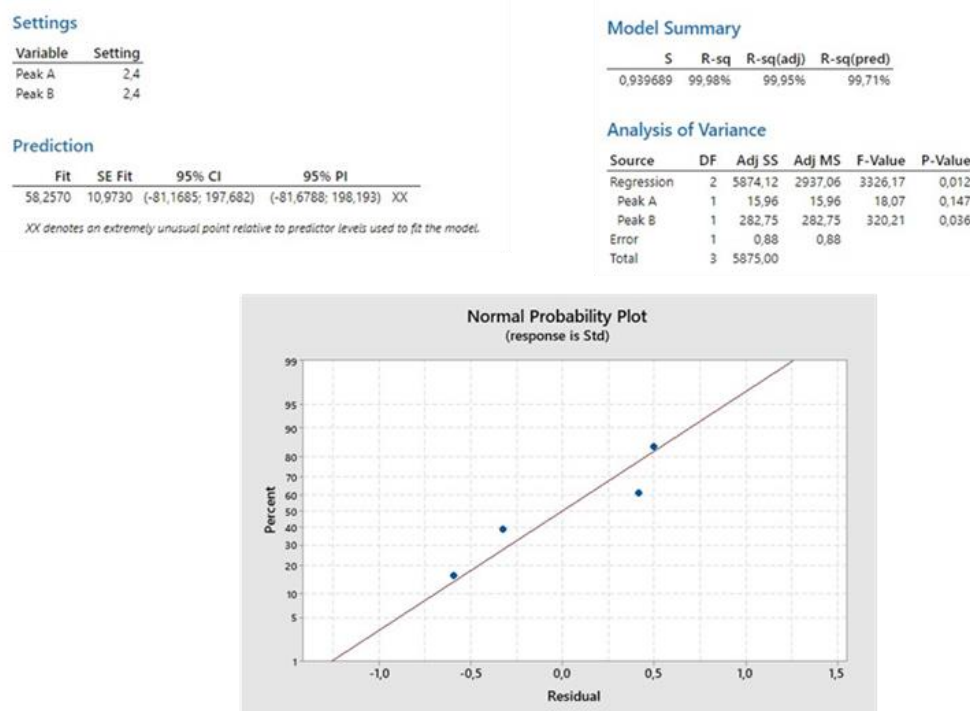
Ikatan-ikatan kimia yang terkandung di dalam biodiesel dapat dilihat pada Tabel 3. Pengujian FTIR (Fourier Transform Infrared) dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Kalimantan. Berdasarkan Gambar 7 dan Tabel 3, serapan-serapan pada panjang gelombang tersebut memiliki rumus kimia yang sesuai dengan teori pembentukan metil ester dari trigliserida, dimana ikatan CO, CH, CO rangkap 2, CH<sub>2</sub>, dan CH<sub>3</sub> pada produk mengindikasikan bahwa terdapat kandungan metil ester di dalamnya.



Gambar 5. Hubungan daya microwave terhadap viskositas kinematik biodiesel



Gambar 6. Hubungan daya microwave terhadap kadar air biodiesel



Gambar 7. Hasil analisis FTIR biodiesel

Tabel 3. Hasil analisis FTIR

| No. | Panjang Gelombang (cm <sup>-1</sup> ) | Serapan sampel (cm <sup>-1</sup> ) | Jenis Ikatan                          |
|-----|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1.  | 1000-1300                             | 1031,71                            | CO                                    |
| 2.  |                                       | 1160,53                            |                                       |
| 3.  | 1300-1475                             | 1375,07                            | CH                                    |
| 4.  |                                       | 1461,61                            |                                       |
| 5.  | 1650-1900                             | 1743,11                            | CO rangkap 2                          |
| 6.  | 2700-3000                             | 2852,93                            | CH, CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> |
| 7.  |                                       | 2921,92                            |                                       |

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pengaruh microwave terhadap pembuatan biodiesel mendapatkan hasil berupa biodiesel yang dihasilkan belum memenuhi Standar Nasional Indonesia Nomor 7182:2015 Tentang Biodiesel, dimana karakteristik biodiesel (densitas temperatur 40 °C, viskositas temperatur 40 °C, dan kadar air) seluruh variasi daya berada di luar standar yang berlaku dan penggunaan microwave terhadap pembuatan biodiesel (metil ester) ini memerlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi daya microwave.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhari, H., Yusnimar, & Utami, S.P. 2016. Pemanfaatan Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel Dengan Katalis ZnO Presipitan Zinc Karbonat: Pengaruh Waktu Reaksi. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*. 3(2):1-7.
- Ambaroh, D.A.N., 2019, Pengaruh Waktu Reaksi Dan Konsentrasi Katalis Terhadap Proses Transesterifikasi Dalam Pembuatan Biodiesel Dari Jelantah Dengan Katalis Abu Layang Batubara, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas



- Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Aritonang, H.F., & Tangkuman, H.D. 2009. Reaksi Esterifikasi Garam Asam Lemak Dengan Alkil Klorida Berantai Panjang Menggunakan Tridodekilamin Hidroklorida Sebagai Katalis Perpindahan Dua Fasa. *Jurnal Chemistry Program*, 2(1): 22-28.
- Aziz, I., Nurbayti, S., & Ulum, B. 2011. Pembuatan produk biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(3), 443-448.
- Harinda, Z.T., & Hidayati, N. 2019. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalis Na<sub>2</sub>O/Fly Ash Menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro, *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, Yogyakarta, 25 April 2019
- Haryanto, A., Silviana, U., Triyono, S., & Prabawa, S. 2015. Produksi Biodiesel Dari Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya Dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen Dan Karakteristik Biodiesel. *Jurnal Agritech*, 35(2), 234-240.
- Isnaini, I.A., 2018. Analisis Pengaruh Suhu Pemanasan Pada Transesterifikasi Minyak Jarak (*Ricinus communis*) Menggunakan Katalis Heterogen KOH/Zeolit Dalam Pembuatan Biodiesel, Skripsi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Moulita, R.A.N., Rusdianasari, & Kalsum, L. 2019. Converting Waste Cooking Oil into Biodiesel using Microwaves and High Voltage Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1167:1-10.
- Oko, S., Kurniawan, A., & 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, 4-5 Agustus 2021*
- Rezeika, S.H., Ulfan, I., & Ni'mah, Y.L. 2018. Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalis NaOH dengan Variasi Waktu Reaksi Transesterifikasi dan Uji Performanya dengan Mesin Diesel. *Jurnal Akta Kimia Indonesia*, 3(2): 175-189. DOI: 10.12962/jj25493736.v3i2.3098
- Sartika, A., Nurhayati, & Muhdarina. 2015. Esterifikasi Minyak Goreng Bekas dengan Katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan Transesterifikasi dengan Katalis CaO dari Cangkang Kerang Darah: Variasi Kondisi Esterifikasi. *Jurnal Online Mahasiswa FMIPA*, 2(1):178-185.
- Yunsari, S., Rusdianasari, & Husaini, A. 2019. CPO Based Biodiesel Production using Microwaves Assisted Method. *Conference Series, Journal of Physics*, 1167: 1-7.