

## Analisis Karakteristik Minyak Jelantah Hasil Perlakuan Plasma

Nasruddin Azis<sup>1\*</sup>, Andi Erwin Eka Putra<sup>1</sup>, Dian Kusumawati<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorium Motor Bakar, Departemen Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, Gowa 92171, Indonesia  
\*nasruddin.aziz@unhas.ac.id

**Abstract:** *Alternative fuels are becoming increasingly important because the use of petroleum is increasing every year. One of the most popular renewable sources is vegetable oil. Wasted cooking vegetable oil can be used as a raw material for making liquid fuels. However, due to its characteristics such as density, viscosity, mixing ability does not match the engine and must be improved. Many attempts, regarding improvement the characteristics have been made in recent times for wasted cooking oil. Due to which process such as microwave in liquid plasma are invented for achieving increased characteristics of wasted cooking oil. The goals of the research were to study the effect of plasma ignition timing on characteristics of wasted cooking oil, specifically density, viscosity, calorific value, and flash point. For this process, 150 ml wasted cooking oil has a plasma ignition duration of 1 minute, 3 minutes and 5 minutes on 1 atm. The results of the study showed that the length of the microwave plasma in liquid process did not have a significant effect on increasing the characteristics of used cooking oil. Whether it's from the value of viscosity, density, or from the flash point. The highest calorific value, viscosity and density were obtained from plasma produced oil with an ignition time of 3 minutes, where the resulting calorific value reached 36869 kJ/kg which had an increase calorific value of the raw material 5129 kJ/kg, viscosity 59.9 cps and density 0.9144 gr/ml. The lowest viscosity and density were found at 1 minute plasma ignition, which were 55.6 cst and 0.913 gr / ml, respectively. As for the flash point parameters of all samples found > 210°C. While the optimal heating value is obtained from the plasma ignition time of 3 minutes, which is 36869 kJ / kg. The treatment oil obtained can then be diluted to overcome the viscosity and density values.*

**Keywords:** *Microwave in-liquid plasma, viscosity, density, heating value, flash point.*

**Abstrak:** Bahan bakar alternatif menjadi semakin penting karena penggunaan minyak bumi meningkat setiap tahun. Salah satu sumber terbarukan yang paling populer adalah minyak nabati. Minyak nabati bekas penggorengan dapat digunakan sebagai bahan baku untuk membuat bahan bakar cair. Namun, karena karakteristiknya, kemampuan pencampuran menjadi tidak cocok dengan mesin sehingga harus ditingkatkan. Banyak upaya, sehubungan dengan peningkatan karakteristik telah dilakukan berbahan baku minyak jelantah. Oleh karena itu dilakukan proses seperti microwave in-liquid plasma untuk mencapai peningkatan karakteristik dari minyak jelantah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh waktu penyalaaan plasma terhadap karakteristik dari minyak jelantah, khususnya Densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala. Untuk proses tersebut, minyak jelantah 150 ml mengalami lama penyalaaan plasma 1 menit, 3 menit, dan 5 menit dalam kondisi 1 atm. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa lama proses microwave plasma in liquid tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan karakteristik minyak jelantah. Baik itu dari nilai viskositas, densitas, maupun dari titik nyala. Nilai kalor, viskositas, dan densitas yang paling tinggi diperoleh dari minyak hasil plasma dengan waktu penyalaaan 3 menit, dimana nilai kalor yang dihasilkan mencapai 36869 kJ/kg yang memiliki kenaikan nilai kalor dari bahan baku sebesar 5129 kJ/kg, viskositas yang dihasilkan adalah 59,9 cps, dan untuk densitas yang dihasilkan sebesar 0,9144 gr/ml. Viskositas dan densitas terendah ditemukan pada penyalaaan plasma 1 menit, yaitu masing-masing sebesar 55,6 cst dan 0,913 gr/ml. Sedangkan untuk parameter titik nyala dari semua sampel ditemukan >210°C. Sedangkan nilai kalor optimal diperoleh dari waktu penyalaaan plasma 3 menit, yaitu 36869 kJ/kg. Minyak hasil treatment yang diperoleh selanjutnya dapat dilakukan pengenceran untuk mengatasi nilai viskositas dan densitas.

**Kata kunci :** Microwave in-liquid plasma, viskositas, densitas, nilai kalor, titik nyala.

### I. PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan bakar minyak bumi semakin hari semakin terbatas. Indonesia yang saat ini dikenal sebagai salah satu negara pengekspor minyak bumi juga diperkirakan akan mengimpor bahan bakar minyak pada 10 tahun mendatang, karena produksi dalam negeri tidak dapat lagi memenuhi permintaan pasar yang meningkat dengan cepat akibat pertumbuhan penduduk dan industri[1].

Bahan bakar alternatif menjadi semakin penting karena penggunaan minyak bumi meningkat setiap tahun. Salah satu sumber terbarukan yang paling populer adalah minyak nabati yang dapat

langsung dikonversi menjadi bahan bakar cair. Minyak nabati cocok untuk digunakan sebagai bahan bakar cair karena struktur molekul dan kandungan energinya yang tinggi. Khususnya, hidrokarbon rantai panjang, jenuh yang tidak bercabang cocok untuk dijadikan bahan bakar cair. Minyak nabati terutama terdiri dari trigliserida, yang dapat diberi perlakuan plasma untuk menghasilkan bahan bakar cair kaya hidrokarbon [2].

Salah satu kendala yang dihadapi dalam penggunaan biodiesel sekarang ini adalah harganya yang lebih mahal dari bahan bakar diesel. Untuk itu diperlukan cara untuk menekan biaya produksi biodiesel. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah menggunakan bahan baku yang berasal dari minyak goreng bekas. Minyak ini secara ekonomis sudah tidak diperhitungkan lagi dan cenderung dibuang sebagai limbah karena selain merusak citra makanan yang diolah juga dapat merusak kesehatan manusia. Pemanfaatan minyak goreng bekas untuk pembuatan biodiesel akan memberikan beberapa keuntungan, diantaranya : dapat mereduksi limbah rumah tangga atau industri makanan dan mereduksi biaya produksi biodiesel sehingga harganya lebih murah dibanding dengan menggunakan minyak nabati murni [3].

Di masa lalu, minyak nabati secara langsung digunakan sebagai bahan bakar cair atau campuran untuk bahan bakar minyak bumi. Namun, karena sifatnya seperti viskositas, kemampuan pencampuran tidak cocok dengan mesin dan harus ditingkatkan secara signifikan. Biasanya ada empat metode yang digunakan untuk meningkatkan sifat minyak nabati, yaitu: (1) pengenceran dengan bahan bakar diesel atau pelarut, (2) mikroemifikasi, (3) transesterifikasi, dan (4) plasma [4].

Sistem elektro-katalisis plasma cukup menjanjikan untuk biodiesel perpaduan dari minyak nabati karena waktu reaksi yang sangat singkat, bahkan tidak diperlukan katalis, tidak ada pembentukan sabun, dan tidak ada produk sampingan gliserol [5]. Namun, plasma lebih menarik karena lebih ramah lingkungan. Plasma atau perengkahan termal bahan trigliserida berperan sebagai metode alternatif untuk menghasilkan produk bahan bakar berbasis bio yang terbarukan. Keuntungan signifikan dari teknologi ini jika dibandingkan dengan proses transesterifikasi adalah biaya pemrosesan yang lebih rendah, kompatibilitas dengan infrastruktur, energi dan standar bahan bakar [6].

Teknologi plasma merupakan metode lain yang menjanjikan dalam proses pembuatan biodiesel. Plasma adalah gas terionisasi, yang terdiri dari berbagai spesies reaktif, termasuk ion positif, ion negatif, elektron, radikal bebas, atom gas, atom dan / atau molekul keadaan tereksitasi, dan foton (terlihat dan UV) [7]. Derajat ionisasi bisa dikontrol dengan tegangan yang diaplikasikan. Plasma dapat juga dinyatakan sebagai fase ke empat selain cairan, padat dan gas [8]. Plasma fase cair yang disebut dengan solution plasma process (SPP). SPP mencakup memasukkan energi, yang dibentuk oleh pelepasan listrik bertegangan tinggi atau arus tinggi, langsung ke larutan encer melalui saluran plasma antara dua elektroda [9].

Saat ini beberapa peneliti telah beralih ke sumber daya gelombang mikro untuk membangkitkan plasma karena pembangkit gelombang mikro tidak memerlukan peralatan elektroda sehingga dapat menghindari proses kontaminasi. Eksitasi gelombang mikro sangat efisien untuk menghasilkan konsentrasi radikal dan rapat plasma yang tinggi. Di samping itu harga generator gelombang mikro sebanding dengan generator RF yang biasa digunakan untuk membangkitkan plasma [10].

Ketika proses transesterifikasi konvensional memerlukan waktu 75 menit, proses dengan microwave hanya memerlukan waktu 4 menit. Pada kenaikan persentase daya, dalam waktu yang sama, jumlah konversi yang didapat agak konstan. Penggunaan proses transesterifikasi dengan bantuan gelombang mikro secara dramatis mengurangi waktu reaksi dari 75 menit menjadi 4 menit, (pada 60 °C) sehingga sangat menghemat waktu. Waktu iradiasi harus dikontrol untuk menghindari overheating yang dapat menghancurkan beberapa molekul organik. Level daya radiasi tidak boleh terlalu tinggi, yang dapat menyebabkan kerusakan molekul organik [11].

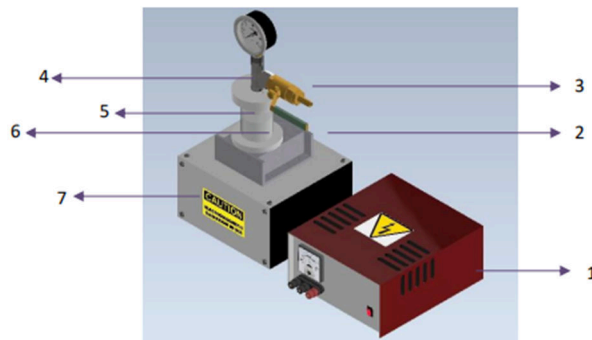
Beberapa contoh metode transesterifikasi dengan menggunakan iradiasi gelombang mikro telah dilakukan baik secara batch maupun kontinyu. Leadbeater dan Stencil telah melaporkan penggunaan gelombang mikro sebagai cara cepat dan sederhana untuk pembuatan biodiesel [12].

Berdasarkan uraian di atas maka penelitian ini menerapkan metode liquid plasma untuk

meningkatkan mutu dari minyak jelantah. Minyak jelantah yang telah diberi treatment plasma selanjutnya akan dilakukan penelitian lebih lanjut guna mengetahui karakteristiknya.

## II. METODE PENELITIAN

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak jelantah yang merupakan minyak bekas penggorengan jajanan kantin yang diperoleh dari kantin Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



Keterangan:

1. Power Supply
2. Pengarah gelombang elektromagnetik
3. Keran pembuangan gas
4. Penutup reaktor
5. Tabung reaktor akrilik
6. Minyak
7. Microwave generator

Gambar 1. Alat pengujian

Minyak jelantah dimasukkan ke dalam reaktor. Selanjutnya tutup reaktor dengan rapat dan letakkan reaktor di atas *waveguide*. Proses plasma ini dilakukan dengan menggunakan alat pembangkit plasma 2,45 GHz seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Pada penelitian ini digunakan tiga variasi waktu penyalaan plasma, yaitu 1 menit, 3 menit, dan 5 menit, serta menggunakan tegangan listrik sebesar 200 volt.

Produk cair akan dianalisis karakteristiknya dengan menggunakan beberapa pengujian, yaitu pengujian nilai kalor dan titik nyala yang dilakukan di Laboratorium Motor Bakar dan Plasma Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, serta pengujian densitas dan viskositas yang dilakukan di Laboratorium Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

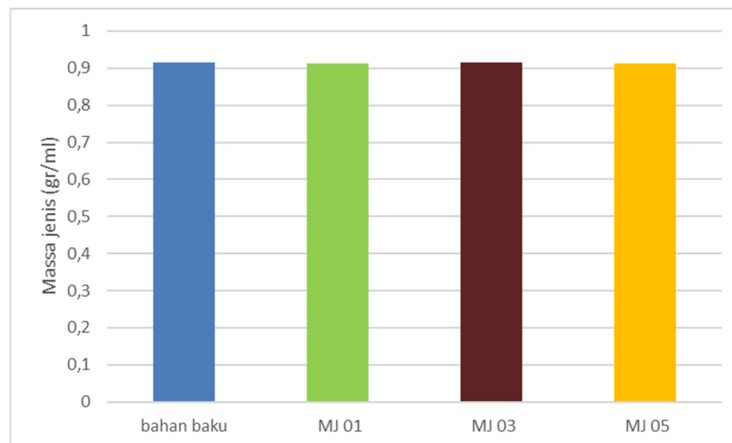
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Karakterisasi Minyak Jelantah Setelah Perlakuan Plasma

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan bahan baku minyak jelantah yang diolah sendiri kemudian diberi perlakuan plasma dengan 3 variasi waktu penyalaan, yaitu 1 menit, 3 menit, dan 5 menit. Setiap satu variasi waktu, dilakukan masing-masing 3 kali pengambilan data sehingga dihasilkan 9 sampel minyak. Minyak yang telah dihasilkan diberi kode MJ 01-1, MJ 01-2, MJ 01-3, MJ 03-1, MJ 03-2, MJ 03-3, MJ 05-1, MJ 05-2, dan MJ 05-3. Kode MJ merupakan bahan baku yang digunakan yaitu minyak jelantah. Kemudian angka 01, 03, dan 05 merupakan variasi waktu penyalaan plasma, sedangkan angka terakhir merupakan urutan pengambilan data.

#### a. Densitas

Densitas minyak hasil plasma dapat diketahui dengan menggunakan alat yang biasa disebut dengan piknometer dengan menggunakan standar ASTM D1217. Dengan cara menghitung perbandingan antara massa minyak dengan volume minyak. Pengujian Densitas kali ini dilakukan pada suhu 40°C.

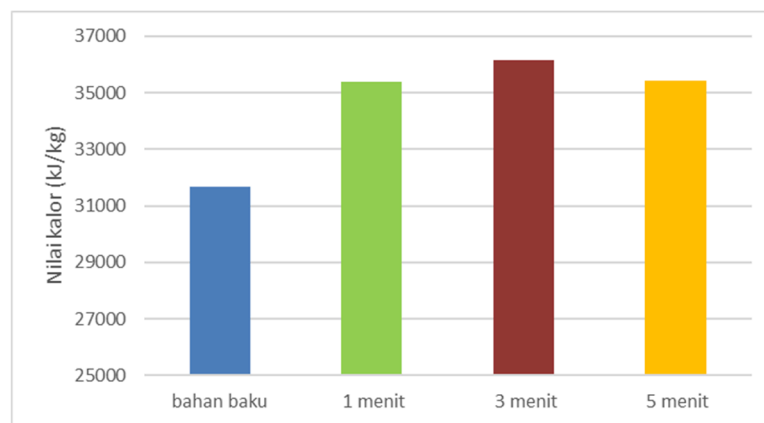


Gambar 2. Rata-rata densitas bahan baku dan produk hasil plasma

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai densitas minyak jelantah yang telah diberi treatment plasma, baik itu dengan waktu penyalaan plasma selama 1 menit, 3 menit, maupun 5 menit, mengalami penurunan jika dibandingkan dengan minyak jelantah yang belum diberi treatment apa-apa. Densitas yang paling rendah diperoleh dari produk hasil plasma dengan waktu penyalaan plasma selama 1 menit dengan nilai densitas sebesar 0,9130 gr/ml, sedangkan densitas yang paling tinggi diperoleh dari produk hasil plasma dengan waktu penyalaan plasma selama 3 menit, yaitu sebesar 0,9144 gr/ml.

b. Nilai Kalor

Nilai kalor adalah jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran suatu bahan bakar. Untuk mengetahui nilai kalor minyak hasil plasma pada penelitian ini menggunakan pengujian *bomb calorimeter* dengan menggunakan standar standar ASTM D240.



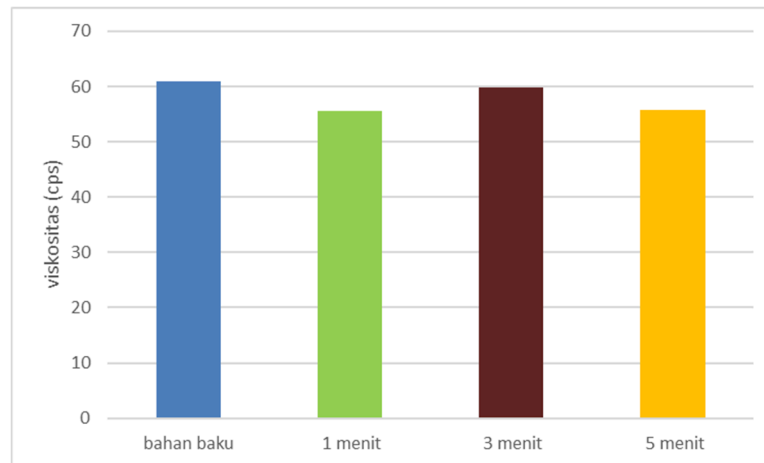
Gambar 3. Nilai kalor produk hasil plasma

Gambar 3 menunjukkan lama penyalaan plasma terhadap minyak jelantah tidak secara signifikan mempengaruhi nilai kalor dari produk. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, nilai kalor yang dihasilkan dari proses transesterifikasi sedikit lebih besar dibandingkan metode yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu 37410 kJ/kg. Meskipun demikian, metode plasma yang digunakan membutuhkan waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan dengan metode transesterifikasi. Metode plasma hanya membutuhkan waktu kurang dari 5 menit, sedangkan untuk metode transesterifikasi membutuhkan waktu kurang lebih dua jam. Selain itu, metode plasma tidak digunakan katalis kimia

beracun yaitu asam kuat maupun basa kuat.

c. Viskositas

Nilai kekentalan minyak dari hasil plasma dapat dilakukan dengan pengujian menggunakan alat yang biasa disebut dengan Viskometer Brookfield dengan menggunakan standar ASTM D2983. Pengerjaan uji viskositas ini dilakukan pada suhu ruang atau 25°C.



Gambar 4. Rata-rata nilai viskositas bahan baku dan produk hasil plasma

Dari gambar 4 menunjukkan jika dibandingkan dengan viskositas dari bahan baku minyak yang telah mengalami proses plasma memiliki nilai viskositas yang lebih rendah. Berdasarkan hasil pengujian, nilai viskositas yang paling rendah ditemukan pada produk hasil plasma dengan waktu penyalaan 1 menit, yaitu 55,67 cps dan yang paling tinggi ditunjukkan oleh produk hasil plasma dengan lama penyalaan plasma 3 menit, yaitu 59,9 cps. Sama halnya dengan massa jenis, nilai viskositas dari semua minyak jelantah yang telah diberi *treatment* plasma tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Dengan adanya variasi waktu yaitu 1 menit, 3 menit, dan 5 menit yang diberikan, tidak memberi pengaruh yang besar.

d. Titik Nyala

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian titik nyala terhadap bahan baku dan semua minyak hasil *treatment* plasma, namun tidak ada nilai titik nyala yang diperoleh hingga mencapai temperatur maksimal dari magnetic stirrer yaitu 210°C. Sehingga dilakukan pencampuran dengan B0 (solar). Berikut ini adalah perbedaan karakteristik dari beberapa biodiesel dari minyak jelantah (Tabel 1)

Tabel 1. Karakteristik biodiesel

No.	Parameter Uji	Syarat SNI	Penelitian sebelumnya	Produk perusahaan lokal	Penelitian ini
1.	Densitas pada 40°C (gr/ml)	0,850-0,890	0,887	0,856	0,914
2.	Viskositas kinematis pada 40°C (cps)	2,3-6,0	4,683	4,568	57,04
3.	Titik Nyala (°C)	Min. 100	178	178	-
4.	Nilai Kalor (kJ/kg)	-	37410	34742	36172

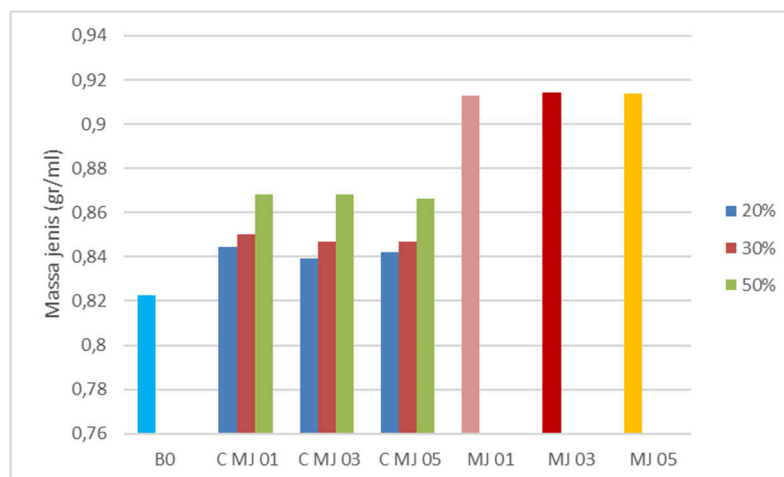
## 2. Karakterisasi Campuran B0 dengan Minyak Jelantah Setelah *Treatment* Plasma

Dari gambar 5 dapat dilihat yang dimaksud dari C MJ 01 adalah hasil campuran antara minyak jelantah dengan waktu penyalan selama 1 menit dengan B0, dengan variasi konsentrasi volume minyak jelantah adalah 20%, 30%, dan 50%. Begitupun dengan C MJ 03 dan C MJ 05, yaitu masing-masing merupakan campuran minyak jelantah dengan lama penyalan 3 menit yang dicampur solar B0 dan campuran antara minyak jelantah dengan waktu penyalan plasma selama 5 menit dengan B0.

### a. Densitas

Pada penelitian kali ini, minyak jelantah yang telah diberi *treatment* plasma dicampurkan dengan solar B0 atau perta dex dari Pertamina. Dilakukan 3 pencampuran, yaitu masing-masing dengan perbandingan volume 1:4 atau menggunakan 20% minyak hasil plasma, 3:7 atau menggunakan 30% minyak hasil plasma, dan 1:1 atau menggunakan 50% minyak hasil plasma.

Sama dengan cara pengujian massa jenis pada minyak hasil plasma, massa jenis sampel campuran dapat diketahui dengan menggunakan alat yang biasa disebut dengan piknometer dengan menggunakan standar ASTM D1217. Dengan cara menghitung perbandingan antara massa minyak dengan volume minyak. Pengujian massa jenis kali ini dilakukan pada suhu 40°C.

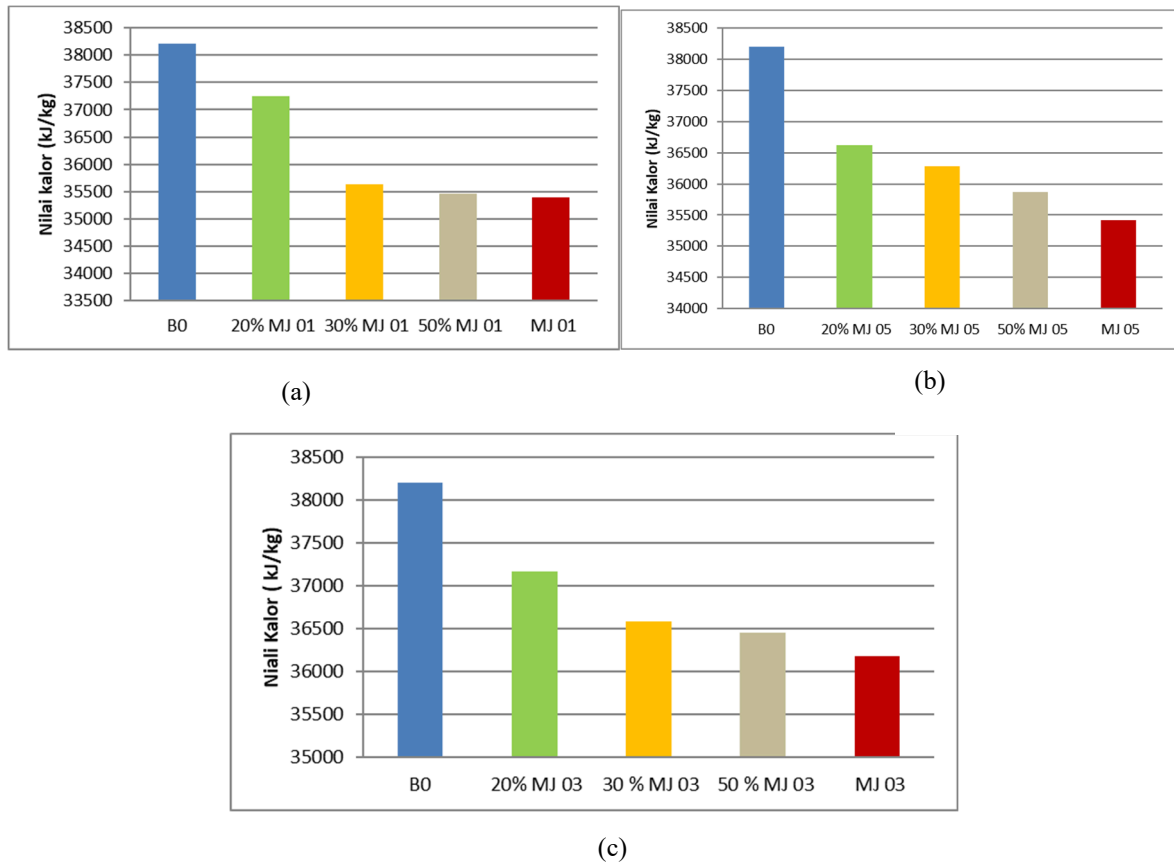


Gambar 5. Perbandingan nilai densitas (massa jenis) B0, minyak jelantah hasil plasma, dan beberapa minyak campuran

Dari Gambar 5 diketahui bahwa massa jenis minyak campuran untuk konsentrasi minyak jelantah hasil plasma sebesar 20%, memperoleh angka yang paling rendah, sedangkan nilai massa jenis yang paling tinggi ditunjukkan oleh campuran dengan konsentrasi 50% minyak jelantah hasil plasma. Hasil pengujian ini sudah sesuai dengan kaidah pencampuran. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi konsentrasi minyak jelantah hasil plasma dalam campuran, maka semakin tinggi pula massa jenis campuran yang dihasilkan. Sebaliknya semakin tinggi konsentrasi solar B0 dalam campuran, maka semakin rendah nilai massa jenis yang diperoleh.

### b. Nilai Kalor

Untuk mengetahui nilai kalor minyak campuran pada penelitian ini, dilakukan pengujian dan perhitungan yang sama seperti pengujian untuk mengetahui nilai kalor pada minyak jelantah hasil plasma, yaitu menggunakan pengujian bomb calorimeter dengan menggunakan standar standar ASTM D240.

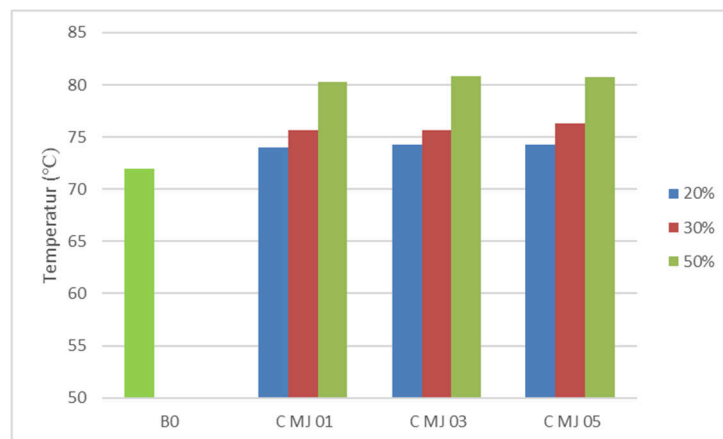


Gambar 6. (a) Perbandingan antara B0, minyak jelantah hasil plasma 1 menit, dan campuran keduanya, (b) Perbandingan antara B0, minyak jelantah hasil plasma 3 menit, dan campuran keduanya, (c) Perbandingan antara B0, minyak jelantah hasil plasma 5 menit, dan campuran keduanya,

Gambar 6 menunjukkan bahwa sesuai dengan kaidah pencampuran nilai kalor dari konsentrasi 20% minyak jelantah memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dari campuran dengan konsentrasi 30% dan 50% minyak jelantah hasil plasma. Nilai kalor campuran yang paling rendah untuk ketiga variasi campuran ditemukan pada campuran dengan konsentrasi 50% minyak hasil plasma. Maka kesimpulannya adalah semakin sedikit konsentrasi minyak jelantah hasil plasma di dalam campuran maka semakin tinggi nilai kalor campuran.

c. Titik Nyala

Titik nyala dari solar B0 adalah sebesar 72°C. Dari pengujian titik nyala dari minyak campuran ini, terlihat bahwa titik nyala dari masing-masing campuran dengan konsentrasi minyak jelantah yang sama memperoleh titik nyala yang kurang lebih sama. Misalnya terlihat dari tabel 4.8, diperoleh titik nyala sebesar 74°C, 74,3°C, dan 74,3°C untuk konsentrasi 20% minyak jelantah hasil plasma. Hal yang sama dapat dilihat pada konsentrasi 30% dan 50%.



Gambar 7. Nilai titik nyala yang dihasilkan dari pencampuran minyak hasil plasma sebanyak 20%, 30% dan 50% dengan B0

Gambar 7 memperlihatkan pula kecenderungan titik nyala akan semakin tinggi untuk campuran dengan konsentrasi minyak jelantah hasil plasma yang lebih tinggi. Semakin tinggi konsentrasi minyak jelantah hasil plasma yang digunakan dalam campuran, maka semakin tinggi pula titik nyala dari campuran tersebut. Sebaliknya semakin banyak konsentrasi solar B0 yang digunakan dalam campuran, maka akan semakin rendah pula titik nyala dari hasil campuran.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut:

- Nilai kalor, viskositas, dan densitas yang paling tinggi diperoleh dari minyak hasil plasma dengan waktu penyalaan 3 menit, dimana nilai kalor yang dihasilkan mencapai 36869 kJ/kg yang memiliki kenaikan nilai kalor dari bahan baku sebesar 5129 kJ/kg, viskositas yang dihasilkan adalah 59,9 cps, dan untuk densitas yang dihasilkan sebesar 0,9144 gr/ml.
- Variasi waktu penyalaan plasma terhadap minyak jelantah tidak memberi pengaruh yang signifikan. Satu-satunya pengaruh signifikan yang terlihat ditunjukkan oleh pengujian nilai kalor minyak yang diberi treatment selama 3 menit yang mencapai kenaikan sebesar 5129 kJ/kg, sedangkan untuk minyak lainnya hanya mengalami kenaikan berkisar 3321 kJ/kg sampai 4187 kJ/kg.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Elma, S. Anugerah Suhendra, J. A. Yani Km, and K. Selatan, "Proses Pembuatan Biodiesel Dari Campuran Minyak Kelapa Dan Minyak Jelantah," 2016.
- [2] P. Meeprasertsagool, A. Watthanaphanit, T. Ueno, N. Saito, and P. Reubroycharoen, "New insights into vegetable oil pyrolysis by cold plasma technique," in *Energy Procedia*, 2017, vol. 138, pp. 1153–1158. doi: 10.1016/j.egypro.2017.10.224.
- [3] I. Istadi, A. D. Yudhistira, D. D. Anggoro, and L. Buchori, "Electro-catalysis system for biodiesel synthesis from palm oil over Dielectric-Barrier Discharge plasma reactor," *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, vol. 9, no. 2, pp. 111–120, 2014, doi: 10.9767/bcrec.9.2.6090.111-120.



- [4] A. Suryanto, S. Suprpto, and M. Mahfud, "Production biodiesel from coconut oil using microwave: Effect of some parameters on transesterification reaction by NaOH catalyst," *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, vol. 10, no. 2, pp. 162–168, 2015, doi: 10.9767/bcrec.10.2.8080.162-168.
- [5] I. Istadi, A. D. Yudhistira, D. D. Anggoro, and L. Buchori, "Electro-catalysis system for biodiesel synthesis from palm oil over Dielectric-Barrier Discharge plasma reactor," *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, vol. 9, no. 2, pp. 111–120, 2014, doi: 10.9767/bcrec.9.2.6090.111-120.
- [6] J. Li *et al.*, "Inactivation of soybean trypsin inhibitor by dielectric-barrier discharge (DBD) plasma," *Food Chem*, vol. 232, pp. 515–522, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.03.167.
- [7] Q. Lu, W. Z. Li, and X. F. Zhu, "Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils," *Energy Convers Manag*, vol. 50, no. 5, pp. 1376–1383, May 2009, doi: 10.1016/j.enconman.2009.01.001.
- [8] P. Marwoto, "Karakterisasi Reaktor Plasma CVD," *Seminar Nasional Informatika*, 2008.
- [9] O. Takai, "Solution plasma processing (SPP)," in *Pure and Applied Chemistry*, Sep. 2008, vol. 80, no. 9, pp. 2003–2011. doi: 10.1351/pac200880092003.
- [10] H. Sutanto, A. Subagio, E. Supriyanto, P. Arifin, M. Budiman, and M. Barmawi, "Pengaruh Laju Alir Gas Nitrogen Terhadap Intensitas Emisi Optik Plasma Nitrogen Yang Dibangkitkan Oleh Gelombang Mikro 2,45 Ghz Dengan Metoda Optical Emission Spectroscopy," vol. 7, pp. 22–28, 2005.
- [11] N. M. Saifuddin and C. Kok Hua, "Production of ethyl ester (biodiesel) from used frying oil: Optimization of transesterification process using microwave irradiation Bio-CNG View project," 2004. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/284060888>
- [12] T. M. Barnard, N. E. Leadbeater, M. B. Boucher, L. M. Stencel, and B. A. Wilhite, "Continuous-flow preparation of biodiesel using microwave heating," *Energy and Fuels*, vol. 21, no. 3, pp. 1777–1781, May 2007, doi: 10.1021/ef0606207.