

**PENGARUH SUHU DAN KONSENTRASI MINYAK ATSIRI SEREH TERHADAP SIFAT FISIK MINYAK JELANTAH SEBAGAI BAHAN BAKAR PENGGANTI BIODIESEL**

**Theresia Sufin, Elvianto Dwi Daryono\***

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional, Malang, 65143, Indonesia

\*Email: [elviantodaryono@lecturer.itn.ac.id](mailto:elviantodaryono@lecturer.itn.ac.id)

**Abstrak**

Harga biodiesel masih belum bisa bersaing dengan harga solar karena harga bahan baku minyak nabati dan proses pembuatannya yang relatif mahal dan memerlukan banyak energi. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah mencampurkan minyak jelantah dengan bioaditif minyak atsiri sehingga diharapkan hasil campurannya mempunyai sifat fisik seperti biodiesel. Harga minyak atsiri sereh lebih murah jika dibandingkan reaksi transesterifikasi minyak nabati dengan metanol menggunakan katalis basa yang perlu biaya lebih mahal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu pencampuran dan konsentrasi minyak atsiri sereh yang dicampurkan dengan minyak jelantah terhadap sifat fisiknya. Kondisi operasi penelitian meliputi volume minyak jelantah 150 mL, kecepatan pengadukan 500 rpm, waktu pencampuran 60 menit, konsentrasi minyak atsiri sereh (10, 11, 12, 13, dan 14%) dan suhu pencampuran (30, 40, dan 50°C). Penelitian dimulai dengan perlakuan zeolit sebagai adsorben, perlakuan minyak jelantah, dan pencampuran minyak jelantah yang telah dimurnikan dengan minyak atsiri sereh. Hasil penelitian mendapatkan kondisi terbaik pencampuran minyak jelantah dengan bioaditif minyak atsiri sereh pada konsentrasi minyak atsiri 10% dan suhu pencampuran 50°C dengan hasil analisis densitas 0,876 g/mL dan viskositas 4,828 cSt yang memenuhi SNI 7182-2015 serta kadar air 0,1092% yang tidak memenuhi standar.

**Kata Kunci:** Biodiesel; Densitas; Minyak atsiri sereh; Minyak jelantah; Viskositas

**Abstract**

*The price of biodiesel still cannot compete with the cost of diesel because the price of raw materials and the manufacturing process are relatively expensive and require much energy. One solution to overcome this problem is to mix used cooking oil with essential oil bio-additives so that it is hoped that the resulting mixture will have physical properties like biodiesel. The price of lemongrass oil is lower when compared to the transesterification reaction of vegetable oil with methanol using an alkali catalyst, which requires more expensive costs. This study aims to determine the effect of mixing temperature and concentration of lemongrass oil mixed with used cooking oil on its physical properties. The operating conditions used were the volume of used cooking oil of 150 mL, stirring speed of 500 rpm, mixing time of 60 minutes, the concentration of lemongrass oil of 10, 11, 12, 13, and 14%, and mixing temperature of 30, 40, and 50°C. The research began with zeolite treatment as an adsorbent, used cooking oil treatment, and mixing purified used cooking oil with lemongrass oil. The research results obtained the best conditions for mixing used cooking oil with lemongrass oil at an essential oil concentration of 10% and a mixing temperature of 50°C with a density of 0.876 g/mL and a viscosity of 4.828 cSt, which meets SNI 7182-2015 and a water content of 0.1092% which does not meet standards.*

**Keywords:** Biodiesel; Density; Lemongrass oil; Used cooking oil; Viscosity

## 1. PENDAHULUAN

Bahan bakar alternatif yang sesuai untuk menggantikan minyak bumi adalah bahan bakar yang berasal dari minyak nabati dan lemak hewani (Sarungu et al., 2020). Biodiesel dari minyak nabati diperoleh dengan cara memisahkan gliserol dari asam lemak (sebagian besar terdiri dari molekul trigliserida serta sebagian kecil digliserida dan monogliserida). Diperlukan biaya yang mahal untuk mengkonversi minyak nabati menjadi biodiesel dan hal tersebut tidak sebanding dengan harga bahan bakar solar, sehingga perlu dilakukan perbaikan sifat-sifat minyak nabati agar dapat langsung dimanfaatkan tanpa mengubahnya terlebih dulu menjadi biodiesel (Wardoyo et al., 2021). Penambahan 5% minyak kayu putih ke dalam CPO (*crude palm oil*) akan mengurangi viskositas minyak dan *ignition delay time* serta mendapatkan titik nyala yang memenuhi kualitas (Marlina, Basjir, et al., 2020). Minyak kelapa yang ditambahkan minyak kayu putih akan menghasilkan nyala api biru yang terang (Soebiyakto et al., 2020). Minyak jagung yang ditambahkan ekstrak biji pinang (*Areca Catechu*) akan menaikkan suhu dan kecepatan pembakaran (Wardoyo et al., 2020). Pencampuran minyak kelapa dengan minyak jarak akan menurunkan densitas, viskositas, dan titik nyala, serta menaikkan nilai kalor (Wahyudi et al., 2018).

Tahapan panjang proses pembuatan biodiesel dimulai dari ekstraksi minyak mentah, perlakuan minyak mentah, esterifikasi, transesterifikasi, netralisasi katalis, dan pemurnian biodiesel yang membutuhkan banyak waktu dan biaya sehingga tidak efektif (Sativa et al., 2024). Salah satu cara untuk mengurangi biaya produksi adalah menggunakan bahan baku yang murah seperti minyak jelantah (Suryatini & Milati, 2023). Minyak jelantah mempunyai potensi yang cukup tinggi untuk dikembangkan menjadi bahan bakar karena banyak mengandung asam lemak (Sarungu et al., 2020). Memanfaatkan kembali minyak jelantah menjadi suatu bahan yang bermanfaat juga menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi tingkat pencemaran lingkungan (Renilaili, 2022).

Beberapa penelitian mengolah minyak nabati dan menambahkan bioaditif supaya sifat fisiknya mendekati biodiesel. Pencampuran minyak jelantah dengan bioaditif minyak atsiri lemon akan menurunkan viskositas, densitas, dan angka asam minyak (Daryono, Dewi, et al., 2024). Minyak kelapa yang ditambahkan senyawa aromatik sebanyak 250-1250 ppm, viskositasnya akan turun menjadi 19-20 cSt (Wardoyo et al., 2021). Pencampuran minyak kelapa sawit dengan bioaditif minyak kayu putih akan mempermudah penguapan dan pembakaran (Marlina, Basjir, et al., 2020).

Salah satu contoh bioaditif bahan bakar adalah minyak atsiri sereh. Minyak sereh diprediksi mempunyai sifat yang mirip dengan bahan bakar yaitu pada titik didih, volatilitas, dan berat jenisnya (Milenia et al., 2022). Minyak sereh murni digunakan untuk pencampuran dengan solar tanpa proses transesterifikasi (Gangolu et al., 2020). Senyawa

monoterpen pada minyak atsiri sereh yang mempunyai gugus alkohol (-OH) dan aldehida (-CHO) yang mengandung oksigen dalam campuran akan bereaksi dengan gas CO dan arang membentuk CO<sub>2</sub> sehingga menghasilkan emisi CO yang lebih sedikit (Permanasari et al., 2020). Penambahan bahan aditif organik pada biodiesel dapat meningkatkan kinerja dan mengurangi emisi gas buang dari mesin (Nanthagopal et al., 2017; Permanasari et al., 2020). Pada penelitian yang menguji kondisi ruang bakar pada sepeda motor menggunakan bahan bakar pertalite dengan komposisi 30% minyak sereh wangi menunjukkan jumlah jelaga yang lebih sedikit (Milenia et al., 2022). Penambahan minyak atsiri sereh pada biodiesel B20 akan menurunkan titik nyala dan mengurangi laju konsumsi bahan bakar (Permanasari et al., 2020, 2021). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pencampuran minyak atsiri sereh pada bahan bakar akan meningkatkan kualitas bahan bakar.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi optimum pencampuran minyak goreng bekas dan minyak atsiri sereh yang diharapkan mendapat hasil pencampuran bahan bakar yang mendekati sifat fisik biodiesel.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah akuades, zeolit alam, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Sigma-Aldrich, 98%), minyak atsiri sereh (kadar sitronellal 60%), indikator PP, KOH (Merck, 90%), etanol (Sigma-Aldrich, 95%), dan minyak jelantah sisa rumah tangga.

### 2.2 Prosedur Penelitian

#### 2.2.1 Pretreatment zeolit alam

Zeolit diperkecil ukurannya sampai 80 mesh. Zeolit kemudian direndam di dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N selama 80 menit. Zeolit dicuci dengan akuades dan dipanaskan dengan oven pada suhu 300°C selama 2 jam (Aidha, 2013).

#### 2.2.2 Pemurnian minyak jelantah

Minyak jelantah sebanyak 1000 mL ditambahkan zeolit sebanyak 12% dari berat minyak jelantah tersebut kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam pada kecepatan 200 rpm sambil dipanaskan sampai suhu 70°C. Setelah itu minyak jelantah didinginkan dan disaring dengan kain saring supaya kotoran yang ada terpisah (Alamsyah et al., 2017). Analisis karakteristik hasil pemurnian minyak jelantah yang dilakukan meliputi, uji kadar air, densitas, viskositas, dan bilangan asam.

#### 2.2.3 Pencampuran minyak jelantah dengan minyak atsiri sereh

Minyak atsiri sereh sesuai variabel konsentrasi (10, 11, 12, 13, dan 14%) ditambahkan pada minyak jelantah sebanyak 150 mL yang telah dimurnikan. Pencampuran minyak atsiri sereh dilakukan sesuai variabel suhu pencampuran (30, 40, dan 50°C) selama 60 menit dengan kecepatan pengadukan 500 rpm. Setelah itu dilakukan uji angka asam, densitas,

viskositas, dan kadar air pada minyak hasil pencampuran tersebut.

### 2.3 Analisis

#### 2.3.1 Menentukan angka asam

Lima gram sampel ditimbang di dalam erlenmeyer kemudian dicampurkan dengan etanol 95% sebanyak 50 mL. Campuran sampel dipanaskan selama 10 menit hingga mendidih di atas *hot plate* sambil diaduk sesekali. Campuran didinginkan selama 10 menit dan diteteskan 5 tetes indikator PP ke dalam campuran. Campuran dititrasi dengan KOH 0,1 N hingga berubah warna menjadi merah muda. Perhitungan angka asam dengan persamaan (1):

$$\text{Angka asam} = \frac{56,1 \times \text{volume KOH} \times N \text{ KOH}}{\text{Berat sampel}} \quad (1)$$

#### 2.3.2 Menentukan densitas

Piknometer kosong ditimbang untuk mendapatkan berat kosong piknometer. Sampel dimasukkan ke dalam piknometer hingga penuh kemudian piknometer ditutup dan pastikan tidak ada gelembung yang terbentuk. Piknometer yang telah berisi sampel kemudian dipanaskan sampai suhu 40°C. Piknometer yang berisi sampel ditimbang hingga berat konstan. Perhitungan densitas dengan persamaan (2):

$$\text{Densitas} = \frac{\text{Berat pikno berisi} - \text{berat pikno kosong}}{\text{Volume piknometer}} \quad (2)$$

#### 2.3.3 Analisis kadar air

Cawan penguap kosong dioven dengan suhu 105-110°C selama 30 menit kemudian dipindahkan ke desikator. Setelah dingin, cawan penguap ditimbang sehingga diperoleh berat wadah kosong. Lima gram sampel dimasukkan ke dalam cawan penguap kemudian dioven pada suhu 105-110°C selama 30 menit. Sampel didinginkan di dalam desikator kemudian ditimbang hingga berat konstan. Perhitungan kadar air dengan persamaan (3):

$$\text{Kadar air}(\%) = \frac{\text{Berat cawan berisi} - \text{berat cawan kosong}}{\text{Berat cawan kosong}} \times 100\% \quad (3)$$

#### 2.3.4 Analisis viskositas

Viskometer oswalt diisi dengan sampel sampai tanda batas atas. Lubang dari tabung dengan tanda batas ditutup kemudian sampel dikeluarkan dari tabung tanpa tanda batas hingga setengah bola. Tutup lubang dari tabung dilepas dan waktu sampel dihitung dari tanda atas hingga melewati tanda bawah yang telah ditentukan. Untuk kalibrasi, sampel diganti dengan akuades. Uji viskositas dilakukan pada suhu sampel 40°C. Perhitungan viskositas cairan dengan persamaan (4):

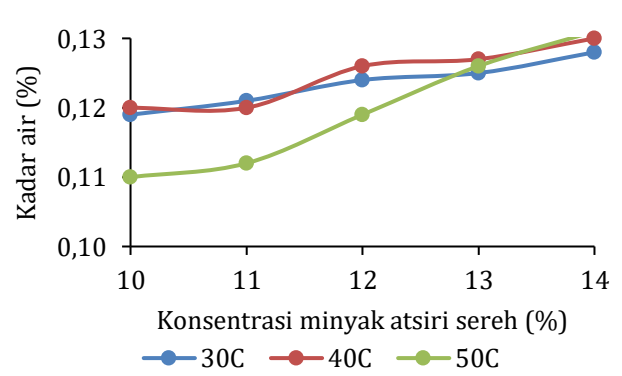
$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\rho_1 \times t_1}{\rho_2 \times t_2} \quad (4)$$

Dimana  $\eta_1$  adalah viskositas sampel,  $\eta_2$  adalah viskositas akuades,  $\rho_1$  adalah densitas sampel,  $t_1$  adalah waktu sampel,  $\rho_2$  adalah densitas akuades, dan  $t_2$  = waktu akuades.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Uji Kadar Air

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa kadar air minyak jelantah terkecil didapatkan pada penambahan konsentrasi minyak atsiri serih 10% pada suhu pencampuran 50°C yaitu 0,1092%. Kadar air tertinggi didapatkan pada suhu pencampuran 50°C dengan penambahan minyak atsiri serih 14% yaitu 0,1314%. Uji kadar air juga dilakukan terhadap minyak jelantah yang sudah dimurnikan yaitu dengan nilai 0,1206%. Semakin banyak penambahan konsentrasi minyak atsiri serih maka nilai kadar airnya semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian pencampuran minyak jelantah dengan minyak atsiri lemon (Daryono, Dewi, et al., 2024). Semakin banyak minyak atsiri yang ditambahkan maka semakin banyak pula air yang terkandung pada minyak atsiri bercampur dengan minyak jelantah. Tidak dilakukan pemanasan pada suhu 100°C untuk mengurangi kadar air karena akan menguapkan minyak atsiri serih sebagai bioaditif. Perlu dilakukan pengurangan kadar air pada perlakuan awal minyak jelantah sehingga diharapkan produk akhir bisa memenuhi standar. Pada proses pembuatan biodiesel bahan baku minyak nabati harus mempunyai % FFA < 3% dan kadar air < 0,6% (Jansri, 2015; Pullen & Saeed, 2015). Jika dilakukan perbandingan dengan kadar air dan sedimen menurut SNI 7182-2015 yang bernilai maksimal 0,05%-vol, maka hasil penelitian ini belum sesuai. Pada Gambar 1 juga menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pencampuran maka kadar air akan semakin turun. Hal ini disebabkan pada suhu pencampuran 50°C ada minyak atsiri serih yang menguap karena sifatnya yang volatil sehingga berpengaruh pada kadar air yang didapatkan.



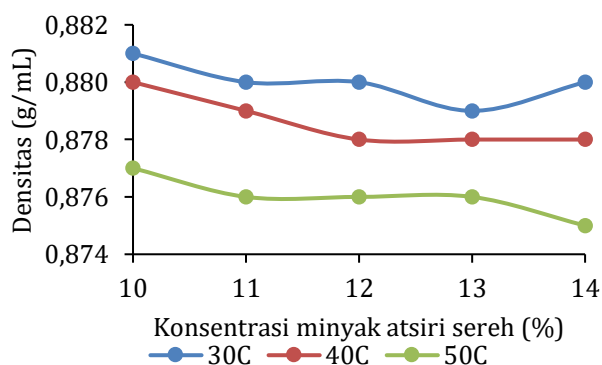
Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi minyak atsiri serih dengan kadar air

### 3.2 Uji Densitas

Gambar 2 menunjukkan bahwa minyak jelantah dengan nilai densitas terendah yaitu pada suhu 50°C dan konsentrasi penambahan minyak atsiri serih 14% yaitu 0,875 g/mL. Densitas tertinggi didapatkan pada penambahan minyak atsiri serih 10% pada suhu 30°C yaitu 0,880 g/mL. Untuk minyak jelantah yang sudah dimurnikan namun belum ditambahkan minyak atsiri serih mempunyai nilai densitas sebesar 0,976 g/mL. Dari hasil analisis diketahui densitas minyak atsiri serih sebesar 0,883 g/mL, dimana nilai ini lebih kecil

dari densitas minyak jelantah yang telah didapatkan yaitu 0,9756 g/mL. Minyak jelantah yang belum ditambahkan minyak atsiri sereh nilai densitasnya masih tinggi, namun setelah ditambahkan minyak atsiri sereh densitas minyak jelantah menurun. Hal ini dikarenakan densitas minyak atsiri lebih kecil daripada densitas minyak jelantah sehingga saat banyak minyak atsiri sereh yang ditambahkan pada minyak jelantah semakin banyak maka densitasnya akan semakin turun. Hasil analisis densitas minyak jelantah pada semua variabel penelitian sudah sesuai dengan SNI 7182-2015 yaitu 0,850-0,890 g/mL. Pencampuran minyak nabati dengan bioaditif akan menurunkan densitas campuran (Marlina, Wijayanti, et al., 2020).

Secara keseluruhan penambahan minyak atsiri sereh cenderung menurunkan densitas campuran terutama pada suhu yang lebih tinggi. Penurunan densitas ini dapat dikaitkan dengan peningkatan fluiditas campuran pada suhu yang lebih tinggi, sehingga molekul-molekul minyak lebih terdispersi, bergerak lebih cepat dan mengurangi kepadatan total (Permanasari et al., 2020). Penurunan densitas dengan meningkatnya suhu juga dapat dijelaskan dengan teori distribusi molekular di mana molekul-molekul minyak menjadi lebih terdispersi pada suhu yang lebih tinggi, mengurangi interaksi antar molekul yang menurunkan densitas (Permanasari et al., 2021).



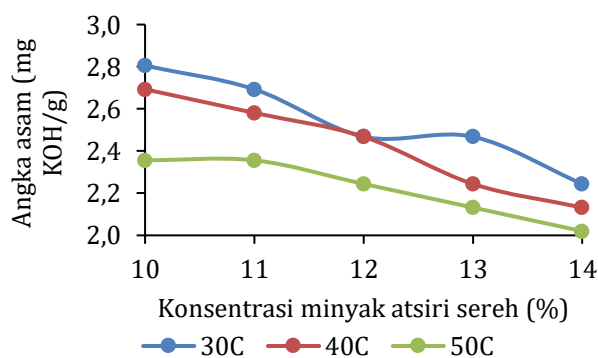
**Gambar 2.** Hubungan antara konsentrasi minyak atsiri sereh dengan densitas

### 3.3 Uji Angka Asam

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai angka asam terkecil pada pencampuran dengan suhu 50°C dan minyak atsiri sereh 14% sebesar 2,020 mg KOH/g, sedangkan angka asam paling besar pada suhu 30°C dan minyak atsiri 10% dengan nilai sebesar 2,805 mg KOH/g. Minyak jelantah yang belum dicampur dengan minyak atsiri sereh mempunyai nilai angka asam sebesar 3,478 mg KOH/g.

Semakin tinggi konsentrasi bahan bioaditif maka semakin turun angka asam, hal ini karena bahan bioaditif seperti minyak atsiri merupakan antioksidan yang mencegah kerusakan minyak (Daryono, 2015; Jia et al., 2020). Penambahan minyak atsiri pada bahan bakar akan meningkatkan kualitas solar selama penyimpanan (Kadarohman et al., 2010, 2012). Seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dimana semakin tinggi suhu pencampuran maka kadar air akan semakin

turun. Adanya kadar air yang tinggi akan memicu terbentuknya reaksi hidrolisa trigliserida menjadi asam lemak bebas yang menyebabkan angka asam tinggi (Van Gerpen et al., 2004). Hasil penelitian ini belum memenuhi standar SNI 7182-2015 yang menetapkan batas maksimal angka asam sebesar 0,5 mg KOH/g. Pada penelitian biodiesel minyak jelantah tanpa pemisahan biokatalis ekstrak daun salam 2% didapatkan nilai angka asam terkecil (Sativa et al., 2024).



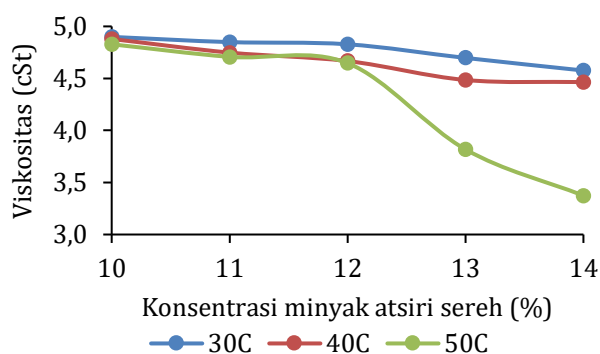
**Gambar 3.** Hubungan konsentrasi minyak atsiri sereh dengan angka asam

### 3.4 Uji Viskositas

Gambar 4 menunjukkan nilai viskositas paling kecil yaitu 3,374 cSt diperoleh dari hasil penambahan minyak atsiri sereh dengan konsentrasi 14% pada suhu 50°C, sedangkan nilai viskositas paling tinggi yaitu 4,899 cSt diperoleh saat penambahan minyak atsiri sereh dengan konsentrasi 10% pada suhu 30°C. Adapun nilai viskositas pada minyak jelantah yang telah dimurnikan namun belum ditambahkan dengan minyak atsiri sereh yaitu 5,172 cSt. Semakin banyak konsentrasi massa minyak atsiri sereh yang ditambahkan maka nilai viskositas pada minyak jelantah semakin menurun. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan minyak sereh pada biodiesel B20 akan menurunkan viskositas bahan bakar (Permanasari et al., 2020, 2021). Hasil analisis viskositas minyak jelantah pada semua variabel penelitian sudah sesuai dengan SNI 7182-2015 biodiesel yaitu 2,3-6,0 cSt. Penambahan bioaditif minyak atsiri pada minyak nabati maupun solar akan menurunkan viskositas dan densitas campuran (Kadarohman et al., 2010, 2012; Marlina, Basjir, et al., 2020).

Secara keseluruhan, peningkatan suhu pencampuran menyebabkan penurunan viskositas minyak jelantah yang telah dimurnikan. Hal ini terlihat dari nilai viskositas yang lebih rendah pada suhu 50°C dibandingkan dengan suhu 30 dan 40°C. Penurunan viskositas ini dapat dikaitkan dengan meningkatnya fluiditas minyak jelantah yang dimurnikan pada suhu yang lebih tinggi, yang mempermudah pencampuran dan mengurangi kekentalan. Menurut hukum Arrhenius, viskositas cairan biasanya menurun ketika suhu meningkat. Hal ini terjadi karena peningkatan suhu menyebabkan peningkatan energi kinetik molekul, yang mengurangi gaya tarik menarik antar

molekul, sehingga cairan menjadi lebih encer (Wardoyo et al., 2021).



**Gambar 4.** Hubungan antara konsentrasi minyak atsiri sereh dengan viskositas

#### 4. KESIMPULAN

Penambahan minyak atsiri sereh berpengaruh dalam meningkatkan kualitas minyak jelantah sebagai bahan bakar alternatif pengganti biodiesel hingga karakteristiknya mendekati SNI 7182-2015. Minyak jelantah dengan bioaditif minyak atsiri sereh 10% dengan suhu pencampuran 50°C mempunyai sifat yang lebih baik dikarenakan kadar air dengan nilai 0,1092% dan angka asam 2,356 mg KOH/g mendekati SNI 7182-2015, serta hasil uji densitas 0,876 g/mL dan nilai viskositas 4,828 cSt memenuhi SNI 7182-2015.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada prodi Teknik Kimia dan staf Laboratorium Bioenergi Institut Teknologi Nasional Malang yang telah membantu sehingga penelitian bisa berjalan dengan lancar.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

Aidha, N. N. (2013). Aktivasi zeolit secara fisika dan kimia untuk menurunkan kadar kesadahan (Ca dan Mg) dalam air tanah. *J. Kimia Kemasan*, 35(1), 58–64.

Alamsyah, M., Kalla, R., & Ifa, L. (2017). Pemurnian minyak jelantah dengan proses adsorpsi. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 02(02), 22–26.

Daryono, E. D. (2015). Reactive extraction process in isolation of eugenol of clove essential oil (*Syzygium aromaticum*) based on temperature and time process. *International Journal of ChemTech Research*, 8(11), 564–569.

Daryono, E. D., Dewi, R. K., Shofy, F., & Magribi, D. (2024). Preliminary study of mixing used cooking oil and lemon peel essential oil as an alternative fuel to replace biodiesel. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 19(8), 468–472.

Gangolu, N. R., Gopidesi, R. K., & Anudeep, I. M. (2020). Effects of lemongrass oil as fuel in diesel engine. *INCAS Bulletin*, 12(4), 63–70.

Jansri, S. (2015). Preparation of vegetable oil as biodiesel feedstock via re-esterification: a suitable catalyst. *Energy Procedia*, 79, 143–148.

Jia, C., Cao, D., Ji, S., Zhang, X., & Muhoza, B. (2020). Tannic acid-assisted cross-linked nanoparticles as a delivery system of eugenol: The characterization, thermal degradation and antioxidant properties. *Food Hydrocolloids*, 104.

Kadarohman, A., Hernani, Khoerunisa, F., & Astuti, R. M. (2010). A potential study on clove oil, eugenol and eugenyl acetate as diesel fuel bio-additives and their performance on one cylinder engine. *Transport*, 25(1), 66–76.

Kadarohman, A., Hernani, Rohman, I., Kusri, R., & Astuti, R. M. (2012). Combustion characteristics of diesel fuel on one cylinder diesel engine using clove oil, eugenol, and eugenyl acetate as fuel bio-additives. *Fuel*, 98, 73–79.

Marlina, E., Basjir, M., Ichyanagi, M., Suzuki, T., Gotama, G. J., & Anggono, W. (2020). The role of eucalyptus oil in crude palm oil as biodiesel fuel. *Automotive Experiences*, 3(1), 33–38.

Marlina, E., Wijayanti, W., Yuliati, L., & Wardana, I. N. G. (2020). The role of pole and molecular geometry of fatty acids in vegetable oils droplet on ignition and boiling characteristics. *Renewable Energy*, 145, 596–603.

Milenia, R., Islam, L. S., Ihsan, M., & Sarosa, A. H. (2022). Studi potensi minyak sereh wangi sebagai alternatif bahan aditif pada bahan bakar minyak. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 6(1), 6–15.

Nanthagopal, K., Ashok, B., Raj, T. K. R., Jathar, S., John samuel, K., Krishnan, R., Sathyanand, T., & Logesh, S. (2017). Lemon essential oil-a partial substitute for petroleum diesel fuel in compression ignition engine. *Internasional Journal of Renewable Energy Research*, 7(2), 467–475.

Permanasari, A. A., Mauludi, M. N., Sukarni, S., Puspitasari, P., Zaine, S. N. A., & Wahyunengsih, W. (2021). The potential of waste cooking oil B20 biodiesel fuel with lemon essential oil bioadditive: physicochemical properties, molecular bonding, and fuel consumption. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 16(3), 555–564.

Permanasari, A. A., Sukarni, S., Wulandari, R., Puspitasari, P., Mauludi, M. N., & Ramadani, R. (2020). Density, flash point, viscosity, and heating value of waste cooking biodiesel (B20) with bioadditive essential oil (lemon, lemongrass, eucalyptus). *Journal of Physics: Conference Series*, 1595(1), 1–7.

Pullen, J., & Saeed, K. (2015). Investigation of the factors affecting the progress of base-catalyzed transesterification of rapeseed oil to biodiesel FAME. *Fuel Processing Technology*, 130(C), 127–135.

Renilaili. (2022). Pemanfaatan minyak jelantah menjadi biodiesel bahan bakar cair alternative dengan metode pengadukan yang konstan. *Jurnal Tekno (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering)*, 19(1), 11–19.

Sarungu, S., Lukman, & Paelongan, S. L. P. (2020). Analisa karakteristik biodiesel hasil

- transesterifikasi minyak jelantah menggunakan katalis KOH. *PETROGAS*, 2(1), 57–76.
- Sativa, F. I. O., Cahyani, T. A. W., Nurfitri, R. N., Purwanti, E. M. A., Alfiniam, A. F., & Daryono, E. D. (2024). Proses interesterifikasi minyak jelantah menjadi metil ester dengan biokatalis ekstrak daun salam (*Syzygium polyanthum*). *Jurnal Integrasi Proses*, 13(1), 29–33.
- Soebiyakto, G., Wardana, I. N. G., Hamidi, N., & Yuliati, L. (2020). Addition of bio-additive as a catalyst of burning vegetable oil influenced by 4 pole magnetic field. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(6), 104.
- Suryatini, K. Y., & Milati, N. M. (2023). Pemanfaatan potensi minyak goreng bekas (jelantah) sebagai biodiesel. *Emasains, Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains*, 12(1), 116–125.
- Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., & Knothe, G. (2004). Biodiesel production technology. In *National Renewable Energy Laboratory (Issue August 2002-January 2004)*.
- Wahyudi, Wardana, I. N. G., Widodo, A., & Wijayanti, W. (2018). Improving vegetable oil properties by transforming fatty acid chain length in jatropha oil and coconut oil blends. *Energies*, 11(394), 1–12.
- Wardoyo, W., Widodo, A. S., Wijayanti, W., & Wardana, I. N. G. (2020). Experimental investigation on combustion characteristics of refine corn oil with Areca catechu extract as additive. *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering*, 5(1), 33.
- Wardoyo, Widodo, A. S., Wijayanti, W., & Wardana, I. N. G. (2021). The role of Areca catechu extract on decreasing viscosity of vegetable oils. *The Scientific World Journal*, 2021(1), 8827427.