

Pengaruh Densitas dan Viskositas terhadap Sudut Injeksi Biodiesel *Jatropha*-Jagung (1:4 dan 4:1)

Wahyudi^{a*}, Novi Caroko^a, Hanif Budi Sampurna^a

^aUniversitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia, (+62) 274 387656
e-mail: wahyudi@ft.umy.ac.id

Kata kunci:

biodiesel; densitas;
viskositas; sudut
injeksi.

ABSTRAK

Biodiesel telah menarik perhatian sebagai bahan bakar alternatif dalam upaya mengurangi emisi dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Di antara berbagai sumber potensial untuk produksi biodiesel, minyak *jatropha* dan jagung lebih menonjol karena ketersediaan dan potensi rendemen yang tinggi. Namun, kedua sumber bahan tersebut memiliki karakteristik unik yang mempengaruhi performa sebagai bahan bakar. Minyak *jatropha* memiliki densitas dan viskositas yang relatif tinggi, sementara densitas dan viskositas pada minyak jagung relatif lebih rendah. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi potensi kombinasi biodiesel *jatropha* dan jagung dalam proporsi yang berbeda dan dampaknya terhadap karakteristik bahan bakar dan injeksi mesin diesel. Kedua jenis minyak diproses menjadi biodiesel melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi. Selanjutnya, dibuat campuran biodiesel dengan perbandingan 1:4 dan 4:1. Masing-masing campuran divariasikan dengan solar menjadi B5, B10, B15, B20, B25, B30, B35, dan B40. Setiap sampel diuji sifat fisiknya seperti densitas dan viskositas, dan sudut injeksi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai densitas dan viskositas dari campuran biodiesel *jatropha*-jagung 1:4 lebih rendah dari campuran biodiesel *jatropha*-jagung 4:1. Terdapat hubungan signifikan antara viskositas dan densitas dengan sudut injeksi. Semakin tinggi densitas dan viskositas, sudut injeksi semakin menyempit.

Keywords:

*biodiesel; density;
viscosity; spray angle.*

ABSTRACT

Biodiesel has attracted attention as an alternative fuel in efforts to reduce emissions and dependence on fossil fuels. Among various potential sources for biodiesel production, jatropha and corn oil have stood out due to their availability and high yield potential. However, each has unique characteristics that affect their performance as fuels. Jatropha oil has a relatively high density and viscosity, while the density and viscosity of corn oil is relatively lower. This study aimed to explore the potential of combining jatropha and corn biodiesel in different proportions and its impact on fuel characteristics and diesel engine spray injection. Both types of oil were processed into biodiesel through esterification and transesterification processes. Subsequently, biodiesel mixtures were created in ratios of 1:4 and 4:1. Each mixture was then varied with diesel to produce B5, B10, B15, B20, B25, B30, B35, and B40. Each sample was tested for its physical properties such as density and viscosity, and injection spray angle. The results of this study indicated that the density and viscosity values of the 1:4 jatropha-corn biodiesel mixture were lower than those of the 4:1 jatropha-corn biodiesel mixture. There was a significant relationship between viscosity and density with the injection angle. The higher the density and viscosity, the narrower the injection angle.

1. PENDAHULUAN

Pada abad ini, pertumbuhan industri mengalami peningkatan yang signifikan sehingga berdampak langsung pada peningkatan kebutuhan energi di seluruh dunia [1]. Dalam menjawab tuntutan tersebut, bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam menjadi andalan utama. Namun, ketersediaan sumber daya ini semakin terbatas [2], mengingat sifatnya yang *non-renewable* dan konsumsi yang semakin banyak dari waktu ke waktu. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil juga menimbulkan masalah serius terkait polusi lingkungan, terutama emisi gas rumah kaca sebagai penyebab utama perubahan iklim[3].

Dampak negatif penggunaan bahan bakar fosil mencakup pencemaran udara, tanah, dan air yang dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan dan kerusakan ekosistem. Pencemaran ini disebabkan oleh emisi gas berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen oksida (NO_x) yang dapat merusak kualitas udara dan mempercepat pemanasan global.

Dalam mencari solusi atas krisis energi dan lingkungan, biodiesel muncul sebagai alternatif bahan bakar minyak yang berpotensi [2]. Biodiesel yang dihasilkan dari minyak nabati dapat memberikan keuntungan berupa reduksi emisi gas berbahaya dan sumber daya yang terbarukan. Beberapa jenis tanaman seperti *jatropha* dan jagung telah terbukti efektif sebagai sumber bahan baku biodiesel [4], [5].

Meskipun biodiesel memiliki potensi besar sebagai pengganti bahan bakar fosil, terdapat beberapa kekurangan yang perlu diatasi. Produksi biodiesel sering menghabiskan lahan yang seharusnya digunakan untuk pertanian pangan, menyebabkan kontradiksi antara kebutuhan energi dan pangan [6]. Selain itu, penggunaan tanaman yang dapat dimakan (*edible*) sebagai bahan baku biodiesel menimbulkan kontroversi karena dapat meningkatkan harga pangan dan memperburuk masalah kelaparan [7].

Jatropha merupakan tanaman yang tumbuh di daerah tropis dan subtropis serta telah dikenal sebagai sumber minyak nabati yang potensial untuk produksi biodiesel [4]. Minyak *Jatropha* memiliki kelebihan, seperti ketahanannya terhadap kondisi tanah yang kurang subur dan kemampuannya untuk tumbuh di daerah dengan ketersediaan air yang terbatas sehingga tanaman tersebut dapat menjadi pilihan yang menarik sebagai bahan baku biodiesel [8]. Namun, salah satu kekurangan minyak *jatropha* adalah viskositasnya yang relatif tinggi dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional yang dapat mempengaruhi proses injeksi dan pembakaran dalam mesin diesel [9].

Di sisi lain, minyak jagung merupakan salah satu sumber minyak nabati utama di dunia. Kelebihannya terletak pada ketersediaan dan produktivitasnya yang tinggi sehingga jagung menjadi bahan baku yang berpotensi untuk produksi biodiesel. Namun, penggunaan minyak jagung sebagai bahan baku biodiesel juga menimbulkan kekhawatiran, mengingat jagung merupakan bahan pangan pokok di berbagai negara. Konversi jagung menjadi biodiesel dapat meningkatkan harga jagung dan mempengaruhi ketahanan pangan global [5].

Penelitian mengenai penggunaan minyak *jatropha* dan minyak jagung sebagai bahan baku biodiesel telah banyak dilakukan. Namun, studi mengenai kombinasi kedua minyak ini masih tergolong jarang. Kombinasi ini diharapkan dapat menghasilkan biodiesel dengan karakteristik yang lebih baik [10] dengan menggabungkan kelebihan dari kedua minyak, seperti ketahanan terhadap kondisi ekstrem dari minyak *jatropha* dan produktivitas tinggi dari minyak jagung.

Penggabungan minyak *jatropha* dan minyak jagung dalam produksi biodiesel menjadi ide yang inovatif dan memiliki potensi yang besar. Maka dari itu, diharapkan dengan menggabungkan kedua jenis minyak ini, kelebihan dari masing-masing minyak dapat saling melengkapi dan mengatasi kekurangannya [11]. Viskositas tinggi dari minyak *jatropha* dapat diatasi dengan karakteristik minyak jagung yang lebih ringan. Melalui sinergi ini, diharapkan akan dihasilkan biodiesel dengan kualitas dan efisiensi yang lebih tinggi.

Sudut injeksi merupakan parameter kunci dalam proses pembakaran mesin diesel yang mempengaruhi efisiensi pembakaran dan emisi gas buang. Penelitian tentang sudut injeksi penting untuk mengoptimalkan performa mesin dan mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan biodiesel [10].

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengkaji potensi kombinasi minyak *jatropha* dan minyak jagung sebagai bahan baku biodiesel melalui pengujian densitas, viskositas, dan pengaruhnya terhadap karakteristik injeksi bahan bakar. Densitas dan viskositas memiliki peran penting dalam menentukan sifat fisik biodiesel yang pada akhirnya akan mempengaruhi proses injeksi dan pembakaran di dalam mesin. Hasil dari penelitian ini diharapkan tidak hanya dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi biodiesel yang lebih efisien dan berkelanjutan, tetapi juga dapat membuka peluang baru dalam diversifikasi sumber bahan baku biodiesel sehingga akhirnya akan memberikan dampak positif terhadap ketahanan energi dan lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Produksi Biodiesel

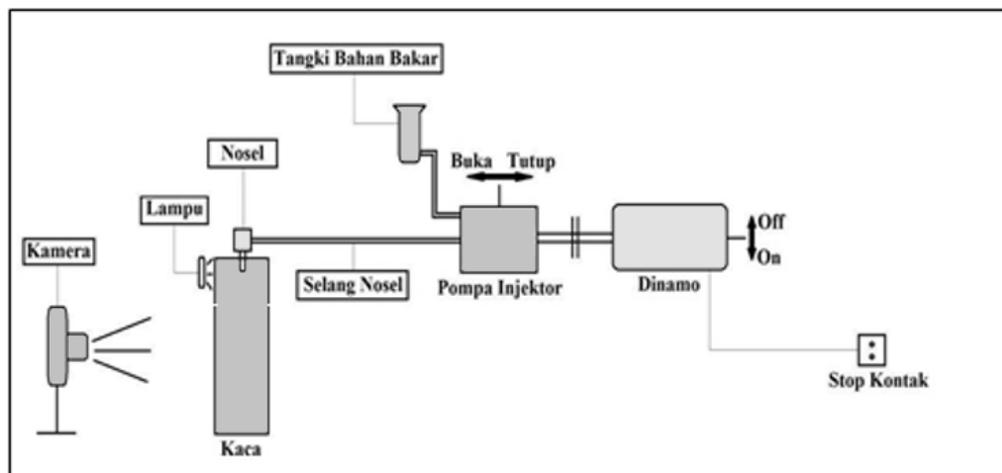
Biodiesel dibuat melalui dua reaksi utama yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Proses esterifikasi dimulai dengan mereaksikan minyak *jatropha* dengan methanol (22,5% dari volume minyak) dan asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 0,5% volume minyak pada $60^\circ C$ selama satu jam. Setelah itu, minyak dibiarkan mengendap selama 12 jam untuk memisahkan gliserol. Minyak yang telah terpisah kemudian dicuci dengan air pada $65^\circ C$ dan dikeringkan pada $105^\circ C$ untuk mengurangi kadar air.

Proses berikutnya adalah transesterifikasi bahwa produk esterifikasi direaksikan dengan tambahan 15% metanol dari volume minyak dan katalis Kalium Hidroksida (KOH) 1% dari volume minyak pada $60^\circ C$ selama satu jam. Proses ini diikuti oleh pengendapan, pencucian, dan pengeringan untuk menghasilkan biodiesel *jatropha*.

Proses yang sama dilakukan pada minyak jagung untuk mendapatkan biodiesel jagung. Selanjutnya, biodiesel *jatropha* dan biodiesel jagung dicampur sehingga menghasilkan campuran biodiesel *jatropha*-jagung dengan rasio 1 : 4 dan rasio 4:1. Setiap campuran biodiesel tersebut kemudian dicampur dengan solar untuk mendapatkan variasi B5 (5% biodiesel dan 95% solar) hingga B40 (40% biodiesel dan 60% solar). Pencampuran dengan solar dilakukan pada temperatur $60^\circ C$ selama 60 menit.

2.2. Pengukuran Karakteristik Fisik Bahan Bakar dan Performa Mesin Diesel

Setiap sampel diuji untuk menentukan karakteristik fisiknya, termasuk densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala. Densitas semua sampel biodiesel diukur pada suhu $40^\circ C$. Massa dari 50 ml sampel diukur menggunakan neraca digital dan selanjutnya densitas dihitung dengan membagi massa sampel terhadap volumenya. Pengukuran viskositas dinamik juga dilakukan pada suhu $40^\circ C$ untuk semua sampel biodiesel menggunakan viskometer NDJ-8S. Viskositas kenematik dihitung dengan membagi viskositas dinamik terhadap densitasnya. Uji injeksi juga dilakukan untuk menentukan sudut injeksi bahan bakar. Uji karakteristik injeksi dilakukan menggunakan nozel mesin diesel pada tekanan 1 atm. Skema pengujian diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengujian karakteristik injeksi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Bahan Baku Biodiesel

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak *jatropha* dan minyak jagung. Pada penelitian ini, sifat fisik biodiesel yang diuji adalah densitas, viskositas, dan karakteristik injeksi berupa sudut penetrasi semprotan. Data hasil pengujian bahan baku biodiesel dapat dilihat pada Tabel 1.

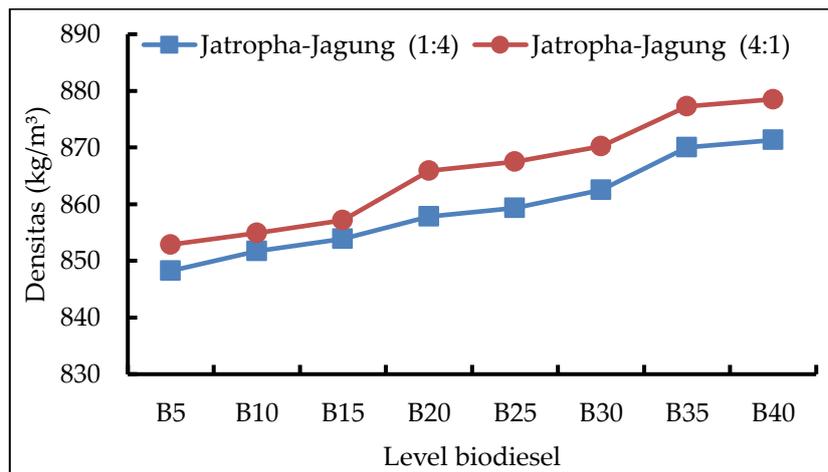
Tabel 1. Sifat fisik minyak *jatropha* dan minyak jagung

Sifat Fisik	Biodiesel <i>Jatropha</i>	Biodiesel Jagung	Biodiesel <i>Jatropha</i> -Jagung (1:4)	Biodiesel <i>Jatropha</i> -Jagung (4:1)	Minyak Solar
Densitas, 40°C (kg/m ³)	900,26	887,23	923,58	943,51	810,6
Viskositas, 40°C (cSt)	14,8	9,79	16,3	34,67	3,18

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai sifat fisik berupa densitas dan viskositas biodiesel *jatropha* lebih besar dibandingkan biodiesel jagung, sedangkan densitas dan viskositas campuran biodiesel *jatropha*-jagung (1:4) lebih rendah dibandingkan biodiesel *jatropha*-jagung (4:1). Hal ini disebabkan oleh komposisi biodiesel jagung lebih banyak dari biodiesel *jatropha* dimana biodiesel jagung memiliki densitas dan viskositas yang lebih rendah dari biodiesel *jatropha* [12].

3.2. Densitas

Densitas adalah properti fisik yang mengukur massa bahan per unit volume dan biasanya diukur dalam kilogram per meter kubik (kg/m³). Densitas bahan bakar adalah parameter kunci yang mempengaruhi berbagai aspek performa mesin, termasuk konsumsi bahan bakar, pembakaran, dan emisi [13]. Bahan bakar dengan densitas yang lebih tinggi umumnya mengandung lebih banyak energi per unit volume [14] sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Namun, densitas yang terlalu tinggi juga dapat mempengaruhi injeksi dan proses atomisasi bahan bakar di dalam mesin.



Gambar 2. Densitas campuran biodiesel *jatropha*-jagung (1:4 dan 4:1) level B5 sampai B40

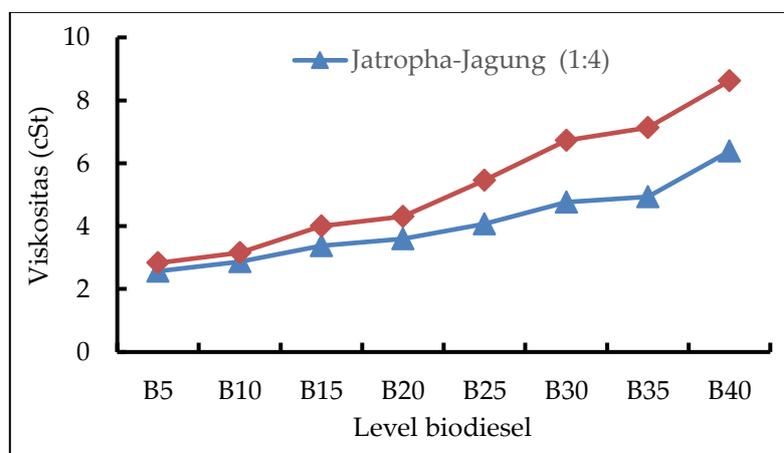
Hasil pengujian densitas campuran biodiesel *jatropha*-jagung (1:4 dan 4:1) level B5, B10, B15, B20, B25, B30, B35, dan B40 disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan data yang diperoleh, terdapat peningkatan densitas pada kedua campuran biodiesel *jatropha*-jagung dengan peningkatan konsentrasi biodiesel (B5 hingga B40). Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan proporsi biodiesel dalam campuran meningkatkan densitas bahan bakar. Untuk campuran *jatropha*-jagung 1:4, densitas berkisar antara 848,23 kg/m³ hingga 871,31 kg/m³, sementara untuk campuran 4:1, densitas lebih tinggi, dengan rentang antara 852,87 kg/m³ hingga 878,52 kg/m³.

Ketika membandingkan kedua campuran, terlihat bahwa campuran *jatropha*-jagung dengan rasio 4:1 secara konsisten menunjukkan densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran 1:4 pada setiap level konsentrasi biodiesel. Perbedaan ini disebabkan oleh proporsi yang lebih tinggi dari minyak *jatropha* dalam campuran 4:1 yang memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan minyak jagung. Hal itu menunjukkan bahwa proporsi minyak *jatropha* dan jagung dalam campuran memiliki pengaruh signifikan terhadap densitas bahan bakar [12].

3.3. Viskositas

Viskositas adalah ukuran dari resistensi fluida terhadap deformasi alirannya dan biasanya diukur dalam centistokes (cSt). Dalam konteks bahan bakar, viskositas mempengaruhi proses injeksi dan atomisasi bahan bakar di dalam silinder mesin [15]. Selain itu, viskositas yang lebih tinggi dapat menyebabkan distribusi bahan bakar yang kurang optimal, mengurangi efisiensi pembakaran, dan meningkatkan emisi. Oleh karena itu, pengendalian viskositas merupakan hal yang sangat penting untuk memastikan performa mesin yang optimal dan keberlanjutan lingkungan.

Hasil pengujian viskositas campuran biodiesel *jatropha*-jagung (1:4 dan 4:1) level B5, B10, B15, B20, B25, B30, B35 dan B40 disajikan pada Gambar 3. Data yang diperoleh menunjukkan peningkatan viskositas pada kedua campuran biodiesel *jatropha*-jagung dengan peningkatan konsentrasi biodiesel (B5 hingga B40). Viskositas campuran *jatropha*-jagung 1:4 meningkat dari 2,57 cSt hingga 6,38 cSt, sementara viskositas campuran 4:1 lebih tinggi, berubah dari 2,83 cSt menjadi 8,62 cSt. Hal itu menunjukkan bahwa penambahan proporsi biodiesel dalam campuran dapat meningkatkan viskositas bahan bakar [10], [16] yang dapat memiliki implikasi pada performa mesin.



Gambar 3. Viskositas campuran biodiesel *jatropha*-jagung (1:4 dan 4:1) level B5 sampai B40

Dari data yang ada, campuran *jatropha*-jagung dengan rasio 4:1 menunjukkan viskositas yang secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan campuran 1:4 di seluruh kisaran konsentrasi biodiesel. Perbedaan ini kemungkinan besar diakibatkan oleh kandungan minyak *jatropha* yang lebih tinggi dalam campuran 4:1 yang dikenal memiliki viskositas lebih tinggi dibandingkan dengan minyak jagung. Kenaikan ini dalam viskositas dapat mempengaruhi cara bahan bakar mengalir dan menyemprot dalam sistem injeksi yang dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran dan emisi mesin.

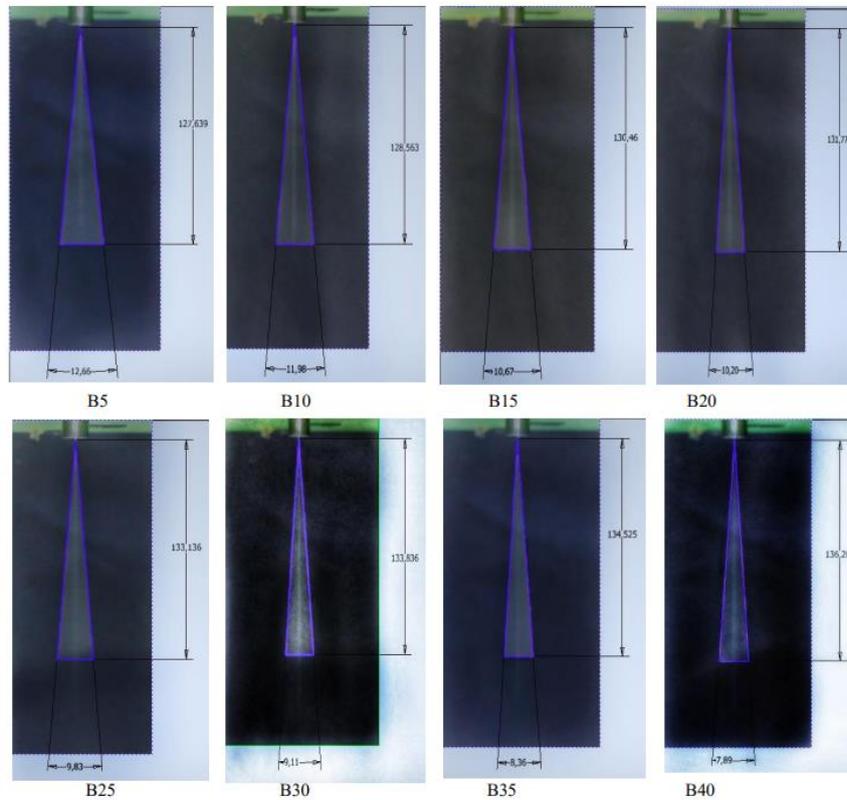
3.4. Sudut Injeksi

Grafik hasil pengujian karakteristik injeksi terhadap campuran biodiesel *jatropha*-jagung dengan perbandingan 1:4 dapat dilihat pada Gambar 4, sedangkan untuk campuran biodiesel *jatropha*-jagung dengan perbandingan 4:1 dapat dilihat pada Gambar 5. Sudut injeksi bahan bakar mengacu pada sudut dalam kondisi bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar mesin. Sudut injeksi mempengaruhi proses pembakaran, efisiensi termal, dan emisi polutan [17]. Selain itu, sudut injeksi yang tepat dapat meningkatkan pencampuran udara dengan bahan bakar, memaksimalkan efisiensi pembakaran, dan mengurangi emisi yang merugikan [18].

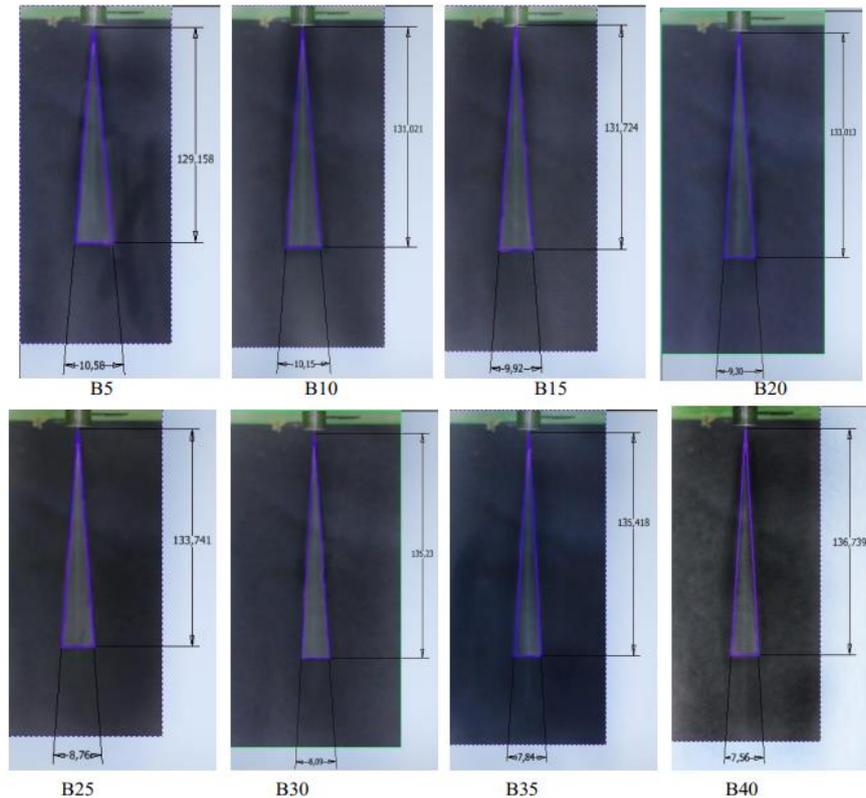
Berdasarkan data yang diperoleh, terdapat penurunan sudut injeksi pada kedua jenis campuran biodiesel *jatropha*-jagung seiring dengan peningkatan konsentrasi biodiesel dari B5 hingga B40. Untuk campuran 1:4, sudut injeksi menurun dari 12,66 derajat ke 7,89 derajat, sementara untuk campuran 4:1, pengurangan tersebut tercatat dari 10,58 derajat menjadi 7,56 derajat. Hal tersebut menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi biodiesel dalam campuran berdampak pada perubahan karakteristik fisik bahan bakar yang mempengaruhi sudut injeksi [10].

Dari analisis data, terlihat bahwa campuran biodiesel *jatropha*-jagung dengan rasio 4:1 memiliki sudut injeksi yang secara konsisten lebih rendah dibandingkan dengan campuran 1:4 di semua level

koncentrasi biodiesel. Hal itu menunjukkan bahwa campuran dengan proporsi minyak *jatropha* yang lebih tinggi menghasilkan karakteristik injeksi yang berbeda. Faktor ini perlu dipertimbangkan ketika merancang dan mengoptimalkan sistem injeksi untuk mesin diesel yang menggunakan campuran biodiesel ini untuk memastikan efisiensi pembakaran yang optimal dan pengurangan emisi.



Gambar 4. Sudut injeksi campuran biodiesel *jatropha*-jagung (1:4) level B5 sampai B40

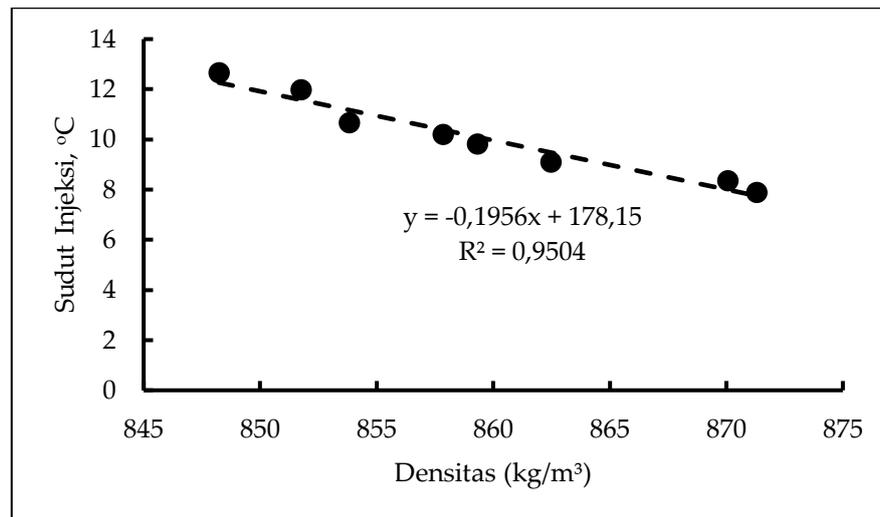


Gambar 5. Sudut injeksi campuran biodiesel *jatropha*-jagung (1:4) level B5 sampai B40

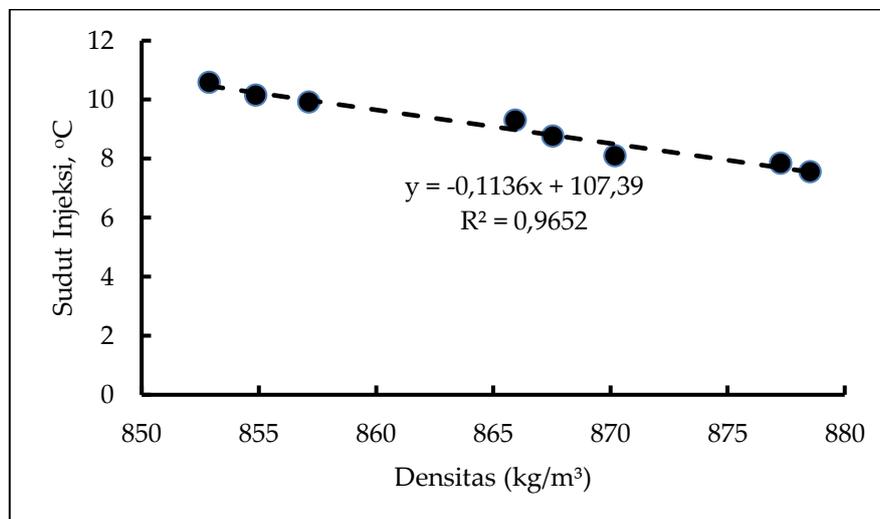
3.5. Keterkaitan Data Sudut Injeksi dengan Data Densitas

Dalam mesin diesel, densitas bahan bakar memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik injeksi, khususnya sudut injeksi. Densitas yang lebih tinggi dapat meningkatkan massa bahan bakar yang disemprotkan [19] yang dapat mempengaruhi pembentukan campuran udara-bahan bakar dan proses pembakaran di dalam silinder.

Dari data yang diperoleh (Gambar 2), dapat dilihat bahwa densitas bahan bakar biodiesel *jatropha*-jagung meningkat seiring dengan kenaikan proporsi biodiesel dalam campuran. Selain itu, tercatat pula penurunan sudut injeksi dengan peningkatan konsentrasi biodiesel. Dalam konteks ini, terdapat korelasi antara peningkatan densitas dan penurunan sudut injeksi.



(a)



(b)

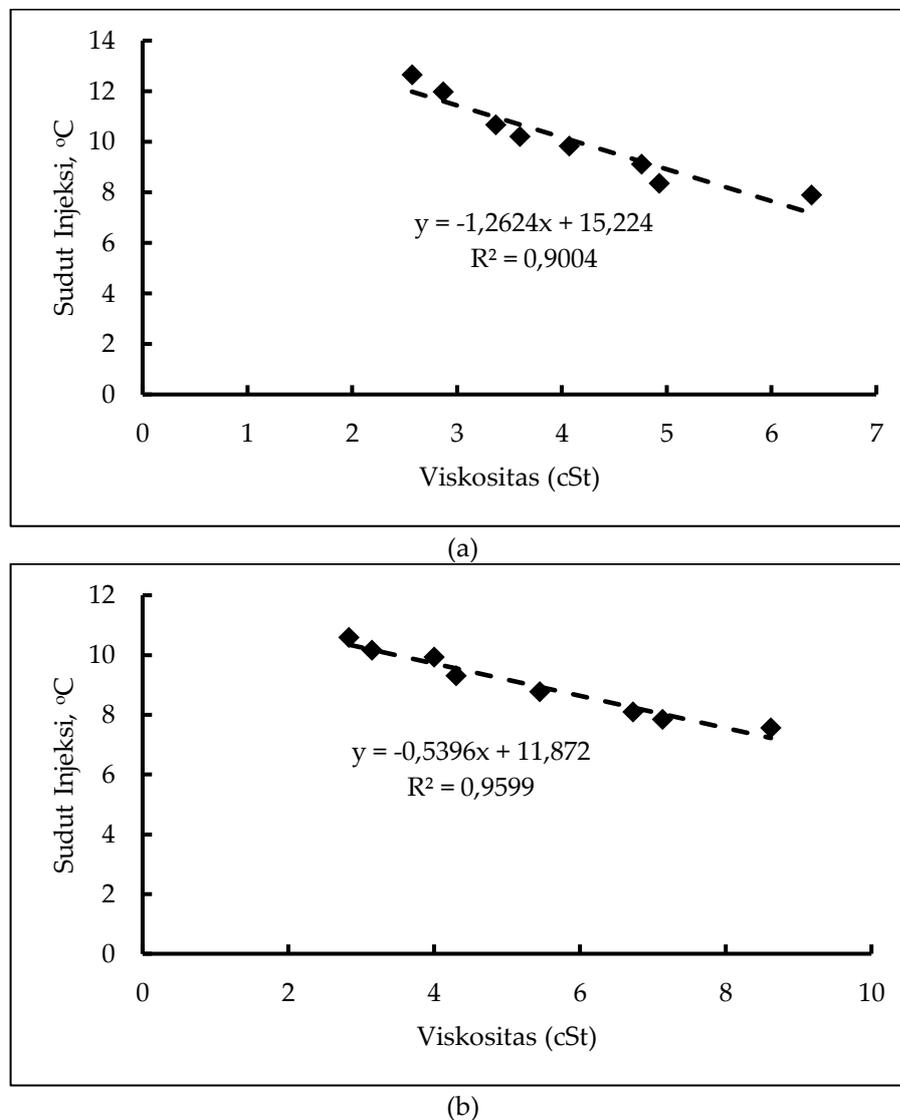
Gambar 6. Grafik sudut injeksi terhadap densitas (a)campuran biodiesel *jatropha*-jagung (1:4) level B5 sampai B40, (b)campuran biodiesel *jatropha*-jagung (4:1) level B5 sampai B40

Gambar 6 menunjukkan korelasi sudut injeksi terhadap densitas biodiesel *jatropha*- jagung level B5 sampai dengan B40. Untuk campuran *jatropha*-jagung 1:4, persamaan *trendline* $y=0.1956x+178.15$ dengan nilai $R^2 =0.9504$ menunjukkan hubungan yang kuat antara densitas dan sudut injeksi. Persamaan ini menunjukkan bahwa dengan setiap peningkatan satu unit densitas, sudut injeksi akan meningkat sebesar 0.1956 derajat. Dengan nilai R^2 yang tinggi, sekitar 95.04% dari variasi dalam sudut injeksi dapat dijelaskan oleh variasi dalam densitas pada campuran ini.

Sementara itu, untuk campuran *jatropha-jagung* 4:1, persamaan *trendline* $y=0.1136x+107.39$ dengan nilai $R^2 =0.9652$ juga menunjukkan korelasi positif yang signifikan antara densitas dan sudut injeksi. Meskipun gradiennya lebih rendah dibandingkan campuran 1:4, indikasinya tetap sama, yaitu peningkatan densitas berhubungan dengan peningkatan sudut injeksi. Nilai R^2 sebesar 96.52% menunjukkan bahwa densitas sangat berpengaruh pada sudut injeksi. Dalam hal campuran biodiesel *jatropha-jagung*, perbedaan proporsi *jatropha* dan jagung dalam campuran menunjukkan pengaruh signifikan terhadap densitas dan sudut injeksi dan ini merupakan pertimbangan penting dalam pengembangan dan aplikasi bahan bakar biodiesel ini pada mesin diesel.

3.6. Keterkaitan Data Sudut Injeksi dengan Data Viskositas

Viskositas bahan bakar berperan penting dalam proses injeksi dan atomisasi bahan bakar di dalam mesin diesel [14]. Bahan bakar dengan viskositas yang lebih tinggi cenderung mengalir lebih lambat dan membentuk butiran yang lebih besar saat disemprotkan [20] yang dapat mempengaruhi sudut injeksi dan efisiensi pembakaran. Dari data yang disajikan (Gambar 3), terlihat bahwa seiring dengan peningkatan konsentrasi biodiesel dalam campuran, viskositas bahan bakar juga mengalami peningkatan. Hal ini berdampak pada penurunan sudut injeksi yang dapat diamati pada semua sampel bahan bakar.



Gambar 7. Grafik sudut injeksi terhadap viskositas (a)campuran biodiesel *jatropha-jagung* (1:4) level B5 sampai B40, (b)campuran biodiesel *jatropha-jagung* (4:1) level B5 sampai B40

Gambar 7 menunjukkan korelasi antara sudut injeksi dan viskositas biodiesel *jatropha*- jagung level B5 sampai dengan B40. Pada campuran *jatropha*-jagung 1:4, persamaan *trendline* yang diperoleh adalah $y=1.2624x+15.224$ dengan nilai $R^2 =0.9004$. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat korelasi positif yang kuat antara viskositas dan sudut injeksi, di mana peningkatan viskositas sebanding dengan peningkatan sudut injeksi. Sementara untuk campuran *jatropha*-jagung 4:1, persamaan *trendline* $y=0.5396x+11.872$ dengan nilai $R^2 =0.9599$ juga menunjukkan hubungan positif antara viskositas dan sudut injeksi. Meskipun gradien dari persamaan ini lebih rendah dibandingkan dengan campuran 1:4, hal ini masih mengindikasikan bahwa peningkatan viskositas berhubungan dengan peningkatan sudut injeksi. Nilai R^2 sebesar 95.99% menunjukkan bahwa variasi dalam sudut injeksi dapat dihubungkan dengan variasi viskositas pada campuran ini.

Analisis tersebut membuktikan bahwa viskositas memiliki pengaruh yang substansial terhadap sudut injeksi pada kedua jenis campuran biodiesel. Peningkatan viskositas bahan bakar cenderung dikaitkan dengan peningkatan sudut injeksi yang berdampak pada karakteristik semprotan dan akhirnya mempengaruhi efisiensi pembakaran di dalam silinder mesin diesel.

4. KESIMPULAN

Biodiesel campuran *jatropha*-jagung 1:4 memiliki nilai densitas dan viskositas yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran 4:1. Selain itu, terdapat hubungan signifikan antara densitas dan viskositas dengan sudut injeksi, bahwa semakin tinggi densitas dan viskositas, sudut injeksi menjadi semakin menyempit. Densitas dan viskositas bahan bakar mempengaruhi karakteristik injeksi. Korelasi positif antara viskositas dan sudut injeksi terbukti pada kedua campuran biodiesel, yakni *jatropha*-jagung 1:4 dan 4:1.

Analisis lebih lanjut mengenai data sudut injeksi dengan densitas dan viskositas menghasilkan model regresi dengan nilai R^2 yang tinggi, menunjukkan bahwa keduanya memiliki korelasi yang kuat. Hal tersebut mengindikasikan bahwa perubahan pada densitas dan viskositas bahan bakar dapat mempengaruhi sudut injeksi. Hal ini menggarisbawahi pentingnya mempertimbangkan karakteristik fisik bahan bakar dalam pengembangan biodiesel untuk optimasi performa mesin. Kombinasi biodiesel *jatropha* dan jagung dalam berbagai level biodiesel (B5 sampai B40) memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif.

REFERENSI

- [1] C. | CGEP, "Energy and Development in a Changing World: A Framework for the 21st Century," Center on Global Energy Policy at Columbia University SIPA | CGEP. Accessed: Sep. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/energy-and-development-changing-world-framework-21st-century/>
- [2] Maftuchah, A. Zainudin, A. Winaya, and Y. Rahmadesi, "Biodiesel generated from *Jatropha* (*Jatropha curcas* Linn.) seeds selected based on various genotypes crossbred," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 345–350, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.egyr.2020.11.160.
- [3] J. Afandi and A. Wibawa, "Implementasi Energi Terbarukan dan Urgensinya Dalam Lingkungan Hidup Society 5.0," *JITET*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2022, doi: 10.17977/um068v2i12022p44-49.
- [4] T. M. I. Riayatsyah et al., "Current Progress of *Jatropha Curcas* Commoditisation as Biodiesel Feedstock: A Comprehensive Review," *Frontiers in Energy Research*, vol. 9, pp. 1–19, 2022.
- [5] V. B. Veljković et al., "Biodiesel production from corn oil: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, pp. 531–548, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.04.024.
- [6] S. Brahma et al., "Biodiesel production from mixed oils: A sustainable approach towards industrial biofuel production," *Chemical Engineering Journal Advances*, vol. 10, pp. 1–31, May 2022, doi: 10.1016/j.cej.2022.100284.
- [7] G. A. Ewunie, J. Morken, O. I. Lekang, and Z. D. Yigezu, "Factors affecting the potential of *Jatropha curcas* for sustainable biodiesel production: A critical review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, p. 110500, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110500.

- [8] S. K. Snehi, A. Srivastava, and S. K. Raj, "Chapter 11 - Diversity of geminiviruses occurring on jatropha (*Jatropha curcus*), a biodiesel crop," in *Geminivirus : Detection, Diagnosis and Management*, R. K. Gaur, P. Sharma, and H. Czosnek, Eds., Academic Press, 2022, pp. 159–169. doi: 10.1016/B978-0-323-90587-9.00032-8.
- [9] N. H. Che Hamzah, N. Khairuddin, B. M. Siddique, and M. A. Hassan, "Potential of *Jatropha curcas* L. as Biodiesel Feedstock in Malaysia: A Concise Review," *Processes*, vol. 8, no. 7, Art. no. 7, Jul. 2020, doi: 10.3390/pr8070786.
- [10] M. Mariono, W. Wahyudi, and M. Nadjib, "Effect of Density and Viscosity on Injection Characteristic of *Jatropha* - waste Cooking Oil Biodiesel Mixture.," *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, vol. 7, no. 1, Art. no. 1, Jul. 2023, doi: 10.18196/jmpm.v7i1.17896.
- [11] W. Wahyudi and K. Krisdiyanto, "Correlation between the properties in *Jatropha* and used cooking oil biodiesel," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2499, no. 1, Nov. 2022, doi: 10.1063/5.0104969.
- [12] W. Wahyudi, A. Sasuta, and M. Nadjib, "Pengaruh Komposisi Biodisel Jagung Terhadap Sifat-Sifat Campuran Biodisel *Jatropha*-Jagung," *Semesta Teknika*, vol. 22, no. 2, Art. no. 2, Nov. 2019.
- [13] Y. Zhang, Y. Zhong, S. Lu, Z. Zhang, and D. Tan, "A Comprehensive Review of the Properties, Performance, Combustion, and Emissions of the Diesel Engine Fueled with Different Generations of Biodiesel," *Processes*, vol. 10, no. 6, Art. no. 6, Jun. 2022, doi: 10.3390/pr10061178.
- [14] N. Acharya, P. Nanda, S. Panda, and S. Acharya, "Analysis of properties and estimation of optimum blending ratio of blended mahua biodiesel," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 20, no. 2, pp. 511–517, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.jestch.2016.12.005.
- [15] W. Saputro, J. Sentanuhady, A. I. Majid, W. Prasadha, N. P. Gunawan, and T. Y. Raditya, "Karakteristik Unjuk Kerja Mesin Diesel Menggunakan Bahan Bakar B100 dan B20 Dalam Jangka Panjang," *Journal of Mechanical Design and Testing*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2020, doi: 10.22146/jmdt.55523.
- [16] W. Wahyudi, S. Sarip, S. Sudarja, and H. Suhatno, "Unjuk Kerja Mesin Diesel Berbahan Bakar Campuran Biodiesel Jarak dan Biodiesel Jelantah," *JMPM : Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, vol. 3, no. 1, Art. no. 1, Feb. 2020, doi: 10.18196/jmpm.3135.
- [17] L. Hakim, N. Ilminnafik, G. Jatisukanto, M. N. Kustanto, and A. Sanata, "Karakteristik spray diesel dan campuran biodiesel nyamplung pada ruang chamber dengan variasi temperatur ambient," *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 11, no. 1, Art. no. 1, Jun. 2022, doi: 10.24127/trb.v11i1.1925.
- [18] W. Zhao et al., "Flame–spray interaction and combustion features in split-injection spray flames under diesel engine-like conditions," *Combustion and Flame*, vol. 210, pp. 204–221, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.combustflame.2019.08.031.
- [19] K. R. Bukkarapu, T. S. Rahul, S. Kundla, and G. V. Vardhan, "Effects of blending on the properties of diesel and palm biodiesel," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 330, no. 1, p. 012092, Mar. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/330/1/012092.
- [20] M. H. A. Rafdi et al., "Uji variasi temperatur dan campuran bahan bakar terhadap karakteristik spray," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, Apr. 2022, doi: 10.29303/dtm.v12i1.501.