

PENGARUH CAMPURAN BAHAN BAKAR SPIRITUS DENGAN MINYAK JELANTAH TERHADAP TEMPERATUR RUANG BURNER

Muhammad Ridho Putra Nusantara¹, Adhes Gamayel¹, M. Zaenudin¹,
M.U.Z. Priyadi^{1,*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Global Jakarta, Indonesia, 16412

Article Info

Article history:

Received 03 April 2024

Revised 20 Mei 2024

Accepted 21 Mei 2024

Keywords:

Bahan Bakar Alternatif
Minyak Jelantah
Metanol
Temperatur Ruang Bakar
Karakteristik Pembakaran

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh campuran bahan bakar spiritus dan minyak jelantah terhadap suhu ruang bakar. Tujuannya adalah menemukan alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan dan efisien. Metode yang digunakan melibatkan pengukuran suhu pada ruang bakar dengan burner silindris menggunakan termokopel tipe K. Campuran bahan bakar diuji dalam berbagai persentase, mulai dari 100% spiritus hingga 80% minyak jelantah. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan persentase minyak jelantah meningkatkan densitas dan viskositas campuran tetapi menurunkan suhu ruang bakar. Suhu tertinggi (98°C) dicapai dengan spiritus murni, sedangkan suhu terendah (42°C) dicapai dengan campuran 20% spiritus dan 80% minyak jelantah. Penelitian ini menyimpulkan bahwa campuran spiritus dan minyak jelantah memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif, meskipun diperlukan optimasi lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.

*Corresponding Author:

M.U.Z. Priyadi

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Global Jakarta, Indonesia, 16412

Email: aemuzap@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.56904/imejour.v2i1.24>

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan industri yang pesat telah mendorong peningkatan konsumsi energi secara global. Ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil, seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara, telah menimbulkan berbagai permasalahan, mulai dari kelangkaan sumber daya hingga dampak negatif terhadap lingkungan. Situasi ini mendorong para peneliti dan ilmuwan untuk mencari alternatif bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan dapat diperbaharui [1]. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penggunaan bahan bakar alternatif yang berasal dari sumber daya terbarukan. Dalam konteks ini, spiritus dan minyak jelantah muncul sebagai kandidat potensial untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif. Spiritus atau metanol, yang merupakan hasil destilasi alkohol, telah lama dikenal sebagai bahan bakar yang mudah terbakar dan relatif bersih. Di sisi lain, minyak jelantah, yang merupakan limbah dari penggunaan minyak goreng, memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar, alih-alih dibuang dan mencemari lingkungan [2].

Penggunaan spiritus sebagai bahan bakar telah diteliti dalam berbagai konteks. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa spiritus memiliki karakteristik pembakaran yang baik, dengan titik nyala yang rendah dan pembakaran yang relatif bersih [3]. Namun, penggunaan

spiritus murni sebagai bahan bakar memiliki beberapa keterbatasan, termasuk nilai kalor yang relatif rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil konvensional.

Minyak jelantah, di sisi lain, telah menarik perhatian sebagai bahan baku potensial untuk produksi biodiesel. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa minyak jelantah dapat dikonversi menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi, menghasilkan bahan bakar yang memiliki karakteristik serupa dengan diesel konvensional [4]. Namun, penggunaan langsung minyak jelantah sebagai bahan bakar masih terbatas karena viskositasnya yang tinggi dan kandungan air yang dapat mengganggu proses pembakaran. Mengingat karakteristik yang saling melengkapi antara spiritus dan minyak jelantah, muncul gagasan untuk menggabungkan keduanya sebagai campuran bahan bakar. Hipotesis yang mendasari pendekatan ini adalah bahwa campuran kedua bahan tersebut dapat menghasilkan bahan bakar dengan karakteristik yang lebih baik dibandingkan penggunaan masing-masing bahan secara terpisah. Spiritus diharapkan dapat meningkatkan kemampuan pembakaran dan mengurangi viskositas minyak jelantah, sementara minyak jelantah dapat meningkatkan nilai kalor campuran bahan bakar [5].

Salah satu aspek kritis dalam pengembangan bahan bakar alternatif adalah pemahaman mendalam tentang karakteristik pembakarannya. Suhu ruang bakar merupakan parameter kunci yang dapat memberikan wawasan tentang efisiensi dan kinerja bahan bakar. Suhu yang lebih tinggi umumnya mengindikasikan pembakaran yang lebih efisien dan pelepasan energi yang lebih besar. Namun, suhu yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan masalah seperti pembentukan NOx yang berlebihan atau kerusakan pada komponen mesin [6].

Dalam konteks ini, penelitian tentang pengaruh campuran bahan bakar spiritus dengan minyak jelantah terhadap suhu ruang bakar burner menjadi sangat relevan dan penting. Burner, sebagai perangkat yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan rumah tangga untuk menghasilkan panas, menawarkan platform yang ideal untuk menguji dan menganalisis karakteristik pembakaran campuran bahan bakar ini [7].

Pemanfaatan minyak jelantah sebagai komponen bahan bakar tidak hanya menawarkan solusi untuk pengelolaan limbah, tetapi juga membuka peluang untuk menciptakan nilai tambah dari bahan yang sebelumnya dianggap sebagai limbah. Sementara itu, penggunaan spiritus, yang dapat diproduksi dari berbagai sumber biomassa, mendukung pengembangan sumber energi terbarukan [8]. Hasil dari penelitian ini tidak hanya akan bermanfaat bagi komunitas ilmiah, tetapi juga dapat memiliki implikasi praktis bagi industri dan pembuat kebijakan dalam upaya mereka untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mempromosikan penggunaan sumber energi yang lebih ramah lingkungan [9].

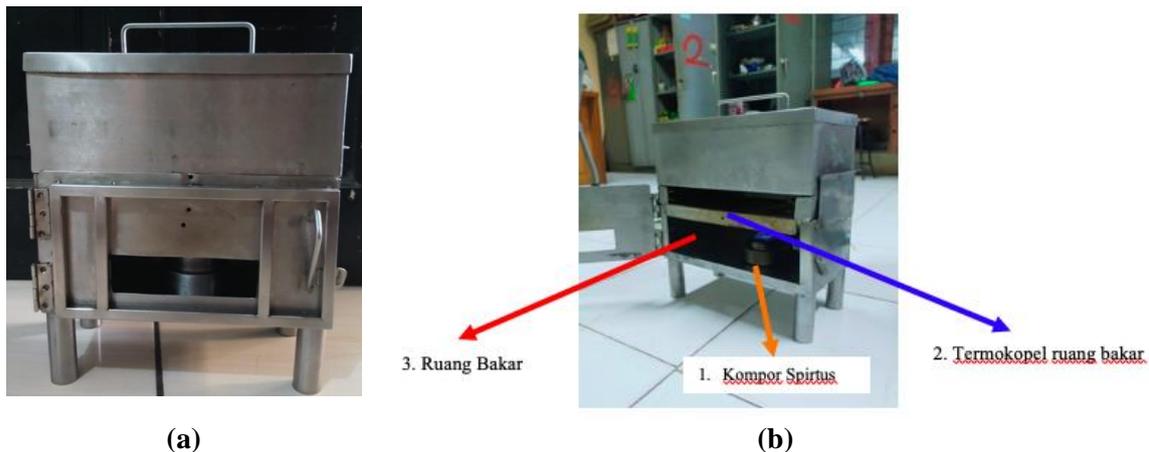
2. METODE

Eksperimen dilakukan menggunakan sebuah burner silindris dengan luar diameter 7 cm dan tinggi 15 cm diletakkan pada ruang bakar berbentuk persegi panjang. Untuk mengukur suhu ruang bakar, digunakan termokopel tipe K (dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada rentang suhu - 200°C sampai 1372°C) yang dipasang di tiga titik berbeda pada dinding ruang bakar. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan sistem akuisisi datalogger Benetech GM1312 Digital Thermometer yang merekam data secara real-time. Bahan bakar dimasukkan ke dalam burner bahan bakar sebanyak 50 ml tiap pengujian.

Table 1. Campuran bahan bakar spiritus (S) dan minyak jelantah (MJ)

No.	Volume Spiritus (ml)	Volume Minyak Jelantah (ml)	Persentase Campuran
1	50	0	100% S + 0% MJ
2	40	10	80% S + 20% MJ
3	30	20	60% S + 40% MJ
4	25	25	50% S + 50% MJ
5	20	30	40% S + 60% MJ
6	12,5	37,5	25% S + 75% MJ
7	10	40	20% S + 80% MJ

Setiap campuran bahan bakar disiapkan dengan mencampurkan spiritus dan minyak jelantah dalam gelas ukur presisi dan diaduk menggunakan pengaduk selama 5 menit untuk memastikan homogenitas campuran. Sebelum setiap percobaan, burner dibersihkan dan dikondisikan untuk memastikan konsistensi kondisi awal. Ruang bakar dikeringkan menggunakan udara panas selama 5 menit untuk menghilangkan kelembaban. Setelah itu, burner didinginkan hingga mencapai suhu kamar ($25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) sebelum memulai percobaan. Untuk setiap campuran bahan bakar, percobaan dilakukan sebanyak tiga kali untuk memastikan reproduibilitas hasil dengan pengukuran suhu dilakukan setiap 30 detik. Data suhu dari ketiga titik pengukuran dirata-ratakan untuk mendapatkan suhu ruang bakar representatif. Skema peralatan eksperimental ditunjukkan pada Gambar 1, yang mencakup burner, sistem pengukuran suhu, sistem suplai bahan bakar, dan peralatan analisis gas buang.



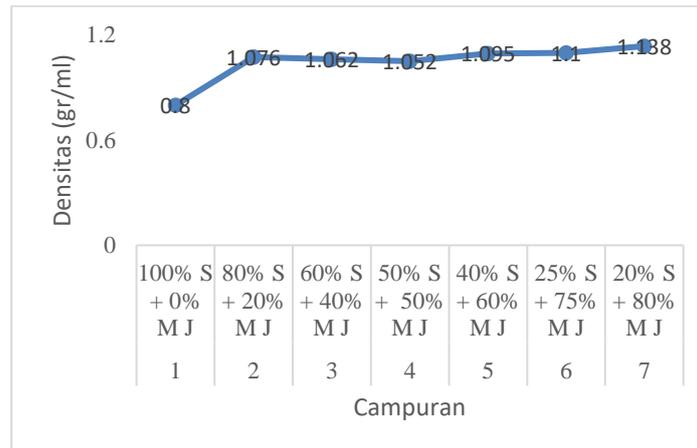
Gambar 1. (a) Burner bahan bakar tampak depan, (b) Burner bahan bakar tampak samping .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengkaji pengaruh campuran bahan bakar spiritus dengan minyak jelantah terhadap karakteristik fisik campuran, khususnya densitas, viskositas dan temperature pembakarannya. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya perubahan signifikan pada semua parameter tersebut seiring dengan variasi komposisi campuran.

3.1. PENGARUH CAMPURAN TERHADAP DENSITAS

Densitas campuran bahan bakar mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase minyak jelantah. Spiritus murni memiliki densitas terendah sebesar 0,80 g/ml, sementara campuran dengan komposisi 20% spiritus dan 80% minyak jelantah menunjukkan densitas tertinggi sebesar 1,138 g/ml. Peningkatan densitas ini dapat dijelaskan oleh perbedaan massa jenis antara spiritus dan minyak jelantah, di mana minyak jelantah memiliki densitas yang lebih tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 2 [2]. Fenomena ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa penambahan minyak nabati ke dalam bahan bakar alkohol cenderung meningkatkan densitas campuran [10].



Gambar 2. Grafik pengaruh berbagai macam campuran bahan bakar terhadap densitas.

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa peningkatan densitas tidak bersifat linear terhadap penambahan persentase minyak jelantah. Hal ini mengindikasikan adanya interaksi molekuler kompleks antara spiritus dan minyak jelantah yang mempengaruhi sifat fisik campuran. Menurut Lapuerta et al. (2010), interaksi ini dapat disebabkan oleh perbedaan struktur molekul dan polaritas antara komponen alkohol dan minyak [11].

Peningkatan densitas campuran bahan bakar memiliki implikasi penting terhadap karakteristik pembakaran. Densitas yang lebih tinggi umumnya berkorelasi dengan peningkatan nilai kalor volumetrik, yang dapat meningkatkan output energi per volume bahan bakar [12]. Namun, Rakopoulos et al. (2011) mengingatkan bahwa densitas yang terlalu tinggi juga dapat mempengaruhi proses atomisasi bahan bakar, yang pada gilirannya dapat berdampak pada efisiensi pembakaran [13].

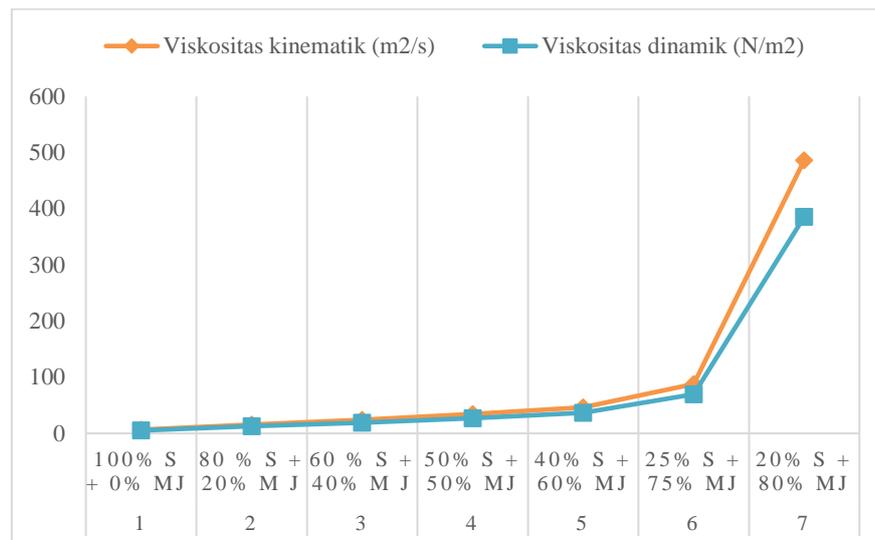
Selain itu, variasi densitas yang diamati dalam penelitian ini memiliki potensi untuk optimasi campuran bahan bakar sesuai dengan kebutuhan aplikasi spesifik. Misalnya, campuran dengan densitas lebih rendah mungkin lebih cocok untuk sistem injeksi bahan bakar tertentu, sementara campuran dengan densitas lebih tinggi dapat memberikan keuntungan dalam hal penyimpanan energi per volume [14].

3.2. PENGARUH CAMPURAN TERHADAP VISKOSITAS

Pada Gambar 3 viskositas campuran menunjukkan tren peningkatan yang signifikan dengan bertambahnya proporsi minyak jelantah. Viskositas kinematik meningkat dari 6,66 m^2/s untuk spiritus murni hingga 486,22 m^2/s untuk campuran dengan 80% minyak jelantah. Peningkatan viskositas yang drastis ini dapat dikaitkan dengan karakteristik minyak jelantah yang memiliki viskositas jauh lebih tinggi dibandingkan spiritus [15]. Viskositas yang tinggi pada campuran dengan persentase minyak jelantah yang besar dapat mempengaruhi proses atomisasi bahan bakar, yang pada gilirannya dapat berdampak pada efisiensi pembakaran [16].

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa peningkatan viskositas tidak linear terhadap penambahan minyak jelantah. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh teori Grunberg-Nissan, yang menyatakan bahwa viskositas campuran dipengaruhi oleh interaksi molekuler antara komponen-komponennya [17]. Dalam konteks ini, interaksi antara molekul spiritus yang polar dengan trigliserida dalam minyak jelantah dapat menghasilkan efek sinergis pada viskositas campuran.

Peningkatan viskositas yang signifikan memiliki implikasi penting terhadap kinerja mesin dan karakteristik pembakaran. Menurut Knothe dan Steidley (2005), viskositas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan atomisasi bahan bakar yang buruk, pembentukan droplet yang lebih besar, dan penetrasi semprot yang tidak optimal [18]. Hal ini dapat mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna, peningkatan emisi partikulat, dan potensi pembentukan deposit pada komponen mesin [19].



Gambar 3. Grafik pengaruh berbagai macam campuran bahan bakar terhadap viskositas kinematik & viskositas dinamik.

Namun, Dwivedi et al. (2011) menunjukkan bahwa peningkatan viskositas dalam batas tertentu dapat memiliki efek positif, seperti peningkatan pelumasan pada komponen sistem bahan bakar, yang dapat memperpanjang umur komponen tersebut [20]. Oleh karena itu, optimasi viskositas campuran menjadi krusial untuk mencapai keseimbangan antara kinerja pembakaran dan durabilitas mesin.

Untuk mengatasi masalah viskositas yang terlalu tinggi, beberapa strategi dapat dipertimbangkan. Misalnya, pemanasan awal bahan bakar sebelum injeksi, yang dapat menurunkan viskositas secara signifikan [21]. Alternatif lain adalah penggunaan aditif penurun viskositas atau pencampuran dengan bahan bakar lain yang memiliki viskositas lebih rendah untuk mencapai karakteristik yang diinginkan [22].

3.3. PENGARUH CAMPURAN TERHADAP TEMPERATUR RUANG BURNER

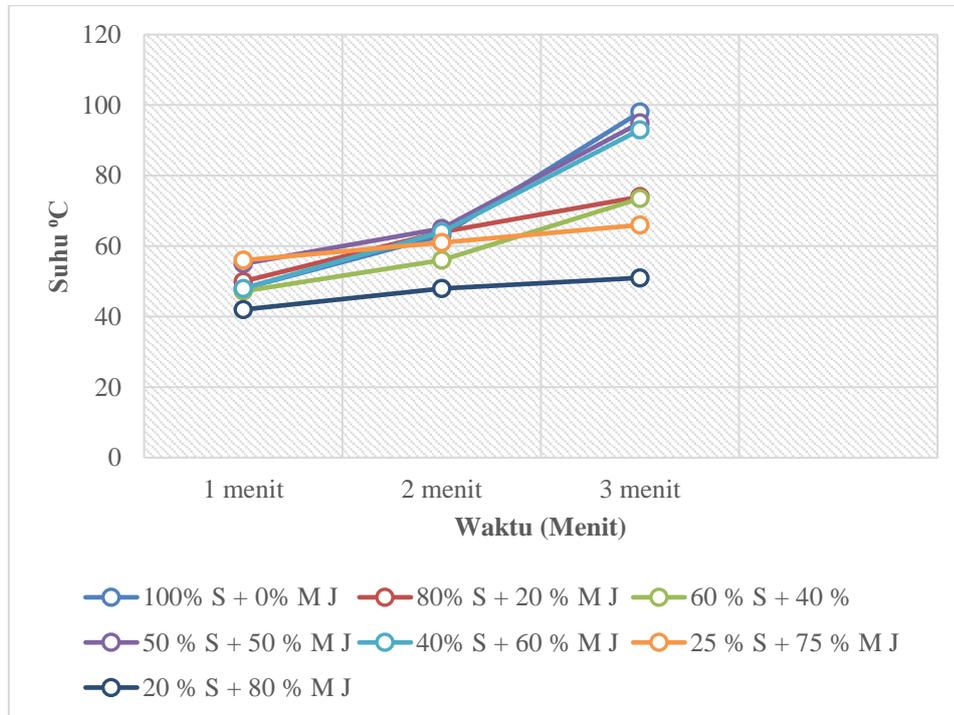
Pengujian temperatur ruang bakar burner bertujuan untuk mengetahui suhu yang dihasilkan dari pembakaran variasi campuran bahan bakar spiritus dengan minyak jelantah, dengan mempertimbangkan pengaruh waktu lama nyala api. Pengambilan data dilakukan dengan membakar satu per satu variasi campuran bahan bakar menggunakan kompor spiritus, dan pengukuran suhu ruang bakar menggunakan termokopel tipe K.

Hasil pengujian pada Gambar 4 menunjukkan bahwa komposisi campuran bahan bakar dan lama waktu nyala api memiliki pengaruh signifikan terhadap temperatur ruang bakar. Temperatur tertinggi diperoleh dari campuran 100% Spiritus (50 ml Spiritus + 0 ml Minyak Jelantah) dengan waktu nyala api selama 3 menit, menghasilkan suhu 98°C. Sebaliknya, temperatur terendah dihasilkan oleh campuran 20% Spiritus + 80% Minyak Jelantah (10 ml Spiritus + 40 ml Minyak Jelantah) dengan waktu nyala api selama 1 menit, menghasilkan suhu 42°C.

Analisis lebih lanjut mengungkapkan bahwa penambahan minyak jelantah cenderung menurunkan temperatur ruang bakar. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pertama, perbedaan nilai kalor antara spiritus dan minyak jelantah. Menurut Demirbas (2008), spiritus (etanol) memiliki nilai kalor sekitar 26,8 MJ/kg, sementara minyak jelantah memiliki nilai kalor yang lebih tinggi, sekitar 39-41 MJ/kg [23]. Namun, meskipun minyak jelantah memiliki nilai kalor yang lebih tinggi, karakteristik pembakarannya yang berbeda dapat mempengaruhi efisiensi transfer panas ke ruang bakar.

Kedua, perbedaan viskositas antara spiritus dan minyak jelantah mempengaruhi proses atomisasi dan pencampuran bahan bakar dengan udara. Menurut Knothe dan Steidley (2005), viskositas yang lebih tinggi pada campuran dengan persentase minyak jelantah yang lebih

besar dapat menyebabkan atomisasi yang kurang optimal, menghasilkan droplet bahan bakar yang lebih besar dan pembakaran yang kurang efisien [18]. Hal ini dapat menjelaskan mengapa campuran dengan persentase minyak jelantah yang lebih tinggi cenderung menghasilkan temperatur ruang bakar yang lebih rendah.



Gambar 4. Grafik pengaruh berbagai macam campuran bahan bakar terhadap temperatur ruang bakar burner.

Ketiga, kandungan oksigen dalam bahan bakar juga mempengaruhi karakteristik pembakaran. Spiritus memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi dibandingkan minyak jelantah, yang dapat mempromosikan pembakaran yang lebih lengkap dan efisien. Lapuerta et al. (2008) menjelaskan bahwa kandungan oksigen yang lebih tinggi dalam bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, terutama dalam kondisi campuran kaya bahan bakar [11].

Pengaruh waktu nyala api terhadap temperatur ruang bakar juga signifikan. Peningkatan waktu nyala api dari 1 menit ke 3 menit konsisten menghasilkan temperatur yang lebih tinggi untuk semua komposisi campuran. Hal ini dapat dijelaskan oleh akumulasi panas dalam ruang bakar seiring berjalannya waktu. Menurut Turns (2011), transfer panas dalam ruang bakar melibatkan mekanisme konduksi, konveksi, dan radiasi, yang memerlukan waktu untuk mencapai kesetimbangan termal [24].

Implikasi praktis dari temuan ini adalah pentingnya optimasi komposisi campuran bahan bakar dan waktu operasi untuk mencapai temperatur ruang bakar yang diinginkan. Untuk aplikasi yang memerlukan temperatur tinggi dalam waktu singkat, penggunaan spiritus murni atau campuran dengan persentase spiritus yang tinggi mungkin lebih sesuai. Sebaliknya, untuk aplikasi yang memerlukan pembakaran yang lebih lama dengan temperatur yang lebih moderat, campuran dengan persentase minyak jelantah yang lebih tinggi dapat dipertimbangkan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang sudah dibahas tentang pengaruh campuran bahan bakar spiritus dengan minyak jelantah ini dapat ditarik kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Komposisi campuran bahan bakar spiritus dan minyak jelantah memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik fisik campuran, terutama densitas dan viskositas.

Densitas campuran meningkat dari 0,80 g/ml untuk spiritus murni hingga 1,138 g/ml untuk campuran dengan 80% minyak jelantah. Sementara itu, viskositas kinematik meningkat drastis dari 6,66 m²/s untuk spiritus murni hingga 486,22 m²/s untuk campuran dengan 80% minyak jelantah. Peningkatan ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik fisik antara spiritus dan minyak jelantah serta interaksi molekuler antara keduanya.

2. Temperatur ruang bakar burner dipengaruhi secara signifikan oleh komposisi campuran bahan bakar dan lama waktu nyala api. Temperatur tertinggi (98°C) dicapai oleh spiritus murni dengan waktu nyala api 3 menit, sedangkan temperatur terendah (42°C) dihasilkan oleh campuran 20% spiritus dan 80% minyak jelantah dengan waktu nyala api 1 menit. Penambahan minyak jelantah cenderung menurunkan temperatur ruang bakar, yang dapat dikaitkan dengan perbedaan nilai kalor, viskositas, dan kandungan oksigen antara spiritus dan minyak jelantah.
3. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi penggunaan campuran spiritus dan minyak jelantah sebagai bahan bakar alternatif, namun memerlukan optimasi lebih lanjut. Meskipun penambahan minyak jelantah dapat meningkatkan densitas dan nilai kalor campuran, peningkatan viskositas yang signifikan dan penurunan temperatur ruang bakar perlu diatasi. Optimasi komposisi campuran dan kondisi operasi (seperti waktu pembakaran) diperlukan untuk mencapai keseimbangan antara karakteristik fisik bahan bakar, efisiensi pembakaran, dan kinerja termal yang diinginkan dalam aplikasi praktis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Para peneliti mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini, terutama kepada Universitas Global Jakarta atas dukungan fasilitas dan sumber daya yang telah disediakan.

REFERENSI

- [1] Priyadi, M. U. Z., Gamayel, A., Saleh, Y. K. P., & Fikri, M. L. S. (2024). Karakteristik Campuran Bahan Bakar Petralite-Ethanol-Minyak Cengkeh Terhadap Level Suara dan Distribusi Temperatur Gas Emisi Exhaust System. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 20(1).
- [2] Zhang, Y., Dubé, M. A., McLean, D. D., & Kates, M. (2003). Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Bioresource Technology*, 89(1), 1-16.
- [3] Verhelst, S., Turner, J. W., Sileghem, L., & Vancoillie, J. (2019). Methanol as a fuel for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 70, 43-88.
- [4] Permana, E., Naswir, M., Sinaga, M. E. T., Alfairuz, A., & Murti, S. S. (2020). Kualitas biodiesel dari minyak jelantah berdasarkan proses saponifikasi dan tanpa saponifikasi. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 6(1), 26-31.
- [5] Wahyudi, W., Nadjib, M., Bari, M. F., & Permana, F. W. (2019). Increasing of quality biodiesel of Jatropha seed oil with biodiesel mixture of waste cooking oil. *Journal of Biotech Research*, 10, 183-189.
- [6] Zhu, C., Liu, S., Liu, H., Yang, J., Liu, X., & Xu, G. (2015). NO_x emission characteristics of fluidized bed combustion in atmospheres rich in oxygen and water vapor for high-nitrogen fuel. *Fuel*, 139, 346-355.
- [7] Rafidi, N., & Blasiak, W. (2006). Heat transfer characteristics of HiTAC heating furnace using regenerative burners. *Applied Thermal Engineering*, 26(16), 2027-2034.
- [8] Chumaidi, A., Moentamaria, D., & Murdani, A. DEHIDRASI METANOL MENJADI DIMETIL ETER DENGAN MEMODIFIKASI KATALIS CuO-ZnO/γ-Al₂O₃.
- [9] Fatkhurrozak, F. (2023). Jatropha Oil Untuk Mengurangi Ketergantungan Bahan Bakar Fosil Diesel.

- [10] Ramírez-Verduzco, L. F., Rodríguez-Rodríguez, J. E., & del Rayo Jaramillo-Jacob, A. (2012). Predicting cetane number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition. *Fuel*, *91*(1), 102-111.
- [11] Lapuerta, M., Armas, O., & Rodríguez-Fernandez, J. (2008). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in energy and combustion science*, *34*(2), 198-223.
- [12] Demirbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy conversion and management*, *50*(1), 14-34.
- [13] Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E. G., Dimaratos, A. M., & Kyritsis, D. C. (2010). Effects of butanol–diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine. *Energy conversion and management*, *51*(10), 1989-1997.
- [14] Alptekin, E., & Canakci, M. (2008). Determination of the density and the viscosities of biodiesel–diesel fuel blends. *Renewable energy*, *33*(12), 2623-2630.
- [15] Yaakob, Z., Mohammad, M., Alherbawi, M., Alam, Z., & Sopian, K. (2013). Overview of the production of biodiesel from waste cooking oil. *Renewable and sustainable energy reviews*, *18*, 184-193.
- [16] Agarwal, A. K., & Rajamanoharan, K. (2009). Experimental investigations of performance and emissions of Karanja oil and its blends in a single cylinder agricultural diesel engine. *Applied energy*, *86*(1), 106-112.
- [17] Al-Hamamre, Z., & Al-Salaymeh, A. (2014). Physical properties of (jojoba oil+ biodiesel),(jojoba oil+ diesel) and (biodiesel+ diesel) blends. *Fuel*, *123*, 175-188.
- [18] Knothe, G., & Steidley, K. R. (2005). Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components. *Fuel*, *84*(9), 1059-1065.
- [19] Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and sustainable energy reviews*, *16*(1), 143-169.
- [20] Dwivedi, G., Jain, S., & Sharma, M. P. (2011). Impact analysis of biodiesel on engine performance—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(9), 4633-4641.
- [21] Shu, Q., Wang, J., Peng, B., Wang, D., & Wang, G. (2008). Predicting the surface tension of biodiesel fuels by a mixture topological index method, at 313 K. *Fuel*, *87*(17-18), 3586-3590.
- [22] Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., & Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(4), 2070-2093.
- [23] Demirbas, A. (2008). Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. *Fuel*, *87*(8-9), 1743-1748.
- [24] Turns, S. R. (1996). *Introduction to combustion* (Vol. 287, p. 569). New York, NY, USA: McGraw-Hill Companies.