

PENGARUH CAMPURAN BAHAN BAKAR BIOETANOL DARI *MOLASSES* DAN SHELL SUPER TERHADAP KARAKTERISTIK NYALA API DIFUSI

Rifqy Maulana Linrung

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: rifqy.22095@mhs.unesa.ac.id

Handini Novita Sari

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: handinisari@unesa.ac.id

Abstrak

Bioetanol merupakan bahan bakar alternatif yang memiliki kandungan oksigen intrinsik dan berpotensi digunakan sebagai campuran bahan bakar bensin untuk mendukung pengembangan energi yang lebih berkelanjutan. Kandungan oksigen dalam bioetanol dapat memengaruhi proses oksidasi dan karakteristik pembakaran, sehingga diperlukan kajian terhadap perilaku nyala api dari campuran bioetanol dan bensin. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi campuran bioetanol dari molasses dan Shell Super terhadap karakteristik nyala api difusi pada laju aliran bahan bakar $25,10 \pm 0,33$ m/s. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan variasi bahan bakar E0, E10, E20, E30, E40, E50, dan E100. Parameter yang diamati meliputi temperatur rata-rata, luas nyala api, tinggi nyala api, dan distribusi warna nyala api. Temperatur diukur menggunakan termokopel tipe K, sedangkan karakteristik visual nyala api dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur rata-rata meningkat dari $827,08^\circ\text{C}$ pada E0 menjadi $919,08^\circ\text{C}$ pada E100. Luas nyala api terbesar diperoleh pada E20 sebesar $211,28 \pm 4,83$ cm², sedangkan tinggi nyala api tertinggi diperoleh pada E40 sebesar $57,57 \pm 0,83$ cm. Distribusi warna nyala api juga mengalami perubahan seiring peningkatan kadar bioetanol, meskipun persentase warna biru tidak meningkat secara linier. Dengan demikian, penambahan bioetanol molasses memengaruhi karakteristik nyala api difusi campuran Shell Super–bioetanol, dengan E100 menghasilkan temperatur tertinggi dan E20 menghasilkan luas nyala api terbesar.

Kata Kunci: bioetanol, molasses, Shell Super, nyala api difusi, laju aliran bahan bakar

Abstract

Bioethanol is an alternative fuel containing intrinsic oxygen and has the potential to be used as a gasoline blend to support the development of more sustainable energy. The oxygen content in bioethanol can affect the oxidation process and combustion characteristics; therefore, it is necessary to investigate the flame behavior of bioethanol–gasoline blends. This study aimed to analyze the effect of molasses-derived bioethanol and Shell Super fuel blends on diffusion flame characteristics at a fuel flow velocity of 25.10 ± 0.33 m/s. The research method used was a laboratory experiment with fuel blend variations of E0, E10, E20, E30, E40, E50, and E100. The observed parameters included average flame temperature, flame area, flame height, and flame color distribution. Flame temperature was measured using a K-type thermocouple, while the visual characteristics of the flame were analyzed using ImageJ software. The results showed that the average flame temperature increased from 827.08°C for E0 to 919.08°C for E100. The largest flame area was obtained for E20 at 211.28 ± 4.83 cm², while the highest flame height was obtained for E40 at 57.57 ± 0.83 cm. The flame color distribution also changed with increasing bioethanol content, although the percentage of blue color did not increase linearly. Thus, the addition of molasses-derived bioethanol affects the diffusion flame characteristics of Shell Super–bioethanol blends, with E100 producing the highest flame temperature and E20 producing the largest flame area..

Keywords: bioethanol, molasses, Shell Super, diffusion flame, fuel flow velocity

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang terus meningkat masih diikuti oleh tingginya penggunaan bahan bakar fosil, khususnya pada sektor transportasi dan industri. Penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus dapat menimbulkan permasalahan berupa keterbatasan cadangan energi serta peningkatan emisi gas buang hasil pembakaran. International Energy Agency (2023) menyebutkan bahwa konsumsi energi dunia masih didominasi oleh minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Kondisi tersebut mendorong pengembangan bahan bakar alternatif yang lebih

berkelanjutan, salah satunya bioetanol (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2022).

Bioetanol merupakan bahan bakar nabati yang dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar bensin karena memiliki kandungan oksigen dan angka oktan yang relatif tinggi. Kandungan oksigen pada bioetanol dapat membantu proses oksidasi selama pembakaran, sedangkan angka oktan yang tinggi berpotensi meningkatkan kualitas bahan bakar campuran (Demirbas, 2009). Bioetanol dapat diproduksi dari berbagai bahan biomassa, salah satunya tetes tebu atau molasses. Molasses merupakan produk samping industri gula yang masih mengandung gula fermentable, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai

bahan baku pembuatan bioetanol (Rein, 2017). Selain itu, molasses dapat difermentasi menggunakan mikroorganisme untuk menghasilkan etanol, sehingga pemanfaatannya dapat mendukung pengembangan energi terbarukan berbasis limbah industri gula (Hawaz *et al.*, 2024).

Dalam penggunaannya sebagai bahan bakar, bioetanol dapat dicampurkan dengan bahan bakar bensin, salah satunya Shell Super. Shell Super memiliki nilai oktan RON 92 dan termasuk bahan bakar bensin yang umum digunakan pada kendaraan bermesin bensin di Indonesia (Shell Indonesia, 2016). Pencampuran bioetanol dengan Shell Super berpotensi memengaruhi perilaku pembakaran, terutama proses penguapan, pencampuran bahan bakar dengan udara, dan pembentukan zona reaksi pada nyala api difusi. Kandungan oksigen dalam bioetanol dapat membantu proses oksidasi, sedangkan perbedaan kadar bioetanol dalam campuran dapat memengaruhi temperatur, luas, tinggi, dan warna nyala api.

Salah satu metode untuk mengetahui karakteristik pembakaran bahan bakar adalah melalui pengamatan nyala api difusi. Nyala api difusi terjadi ketika bahan bakar dan oksidator tidak bercampur terlebih dahulu sebelum reaksi pembakaran berlangsung, sehingga proses pembakaran dipengaruhi oleh difusi bahan bakar dan udara pada daerah nyala api (Turns, 2021). Pada pembakaran campuran etanol dan bensin, perubahan komposisi bahan bakar dapat memengaruhi karakteristik nyala api, termasuk temperatur, luas nyala, dan pembentukan jelaga (Do *et al.*, 2024). Oleh karena itu, pengujian nyala api difusi dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi campuran bioetanol dan Shell Super terhadap perilaku pembakaran.

Berdasarkan uraian tersebut, permasalahan yang dikaji adalah pengaruh variasi campuran bahan bakar bioetanol dari molasses dan Shell Super terhadap karakteristik nyala api difusi. Variasi campuran bahan bakar yang digunakan meliputi E0, E10, E20, E30, E40, E50, dan E100. Pengujian difokuskan pada laju aliran bahan bakar $25,10 \pm 0,33$ m/s dengan parameter yang diamati berupa temperatur nyala api, luas nyala api, tinggi nyala api, dan distribusi warna nyala api. Tujuan kajian ini adalah menganalisis perubahan karakteristik nyala api difusi akibat peningkatan kadar bioetanol dalam campuran Shell Super.

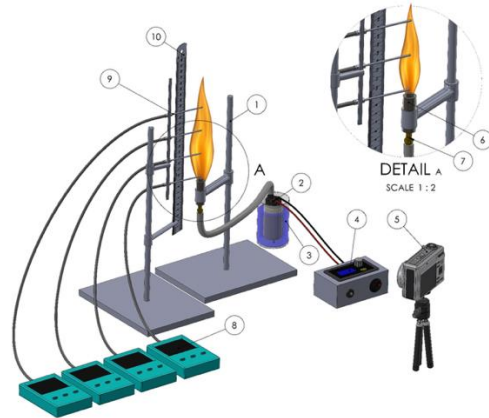
METODE

Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium untuk menganalisis pengaruh variasi campuran bahan bakar bioetanol dari molasses dan Shell Super terhadap karakteristik nyala api difusi. Karakteristik nyala api difusi yang diamati meliputi temperatur nyala api, luas nyala api, tinggi nyala api, dan distribusi warna nyala api. Data yang diperoleh berupa temperatur nyala api, luas nyala api, tinggi nyala api, dan persentase warna nyala api.

Bahan yang digunakan adalah bioetanol dari tetes tebu dengan kadar etanol 99,86% yang diperoleh dari PT Energi Agro Nusantara, Mojokerto, serta bahan bakar Shell Super. Variabel bebas berupa variasi campuran bahan bakar bioetanol *molasses* dan Shell Super, yaitu E0, E10, E20, E30, E40, E50, dan E100. Parameter yang dianalisis meliputi temperatur nyala api, luas nyala api, tinggi nyala

api, dan persentase warna nyala api pada setiap variasi campuran bahan bakar.

Variabel yang dijaga tetap meliputi jenis burner, diameter nozzle, posisi kamera, jarak kamera terhadap nyala api, posisi titik pengukuran temperatur, kondisi ruang pengujian, serta laju aliran bahan bakar sebesar $25,10 \pm 0,33$ m/s. Laju aliran bahan bakar tersebut diperoleh dari hasil kalibrasi pada pengaturan PWM 95%.

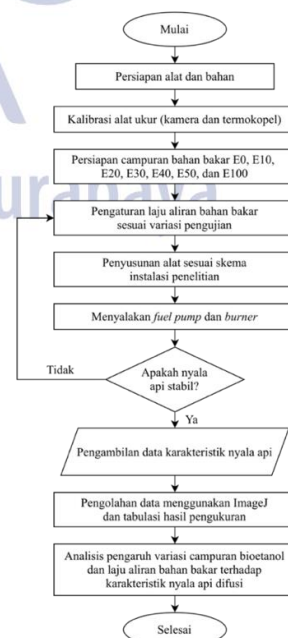


Gambar 1. Instalasi alat pengujian nyala api

Keterangan:

1. Statif
2. Fuel Pump
3. Gelas
4. PWM Controller
5. Kamera
6. Burner
7. Nozzle Spray
8. Data Logger
9. Termokopel
10. Penggaris Logam

Desain eksperimen disusun untuk menggambarkan tahapan pengujian karakteristik nyala api difusi campuran bahan bakar bioetanol molasses dan Shell Super.



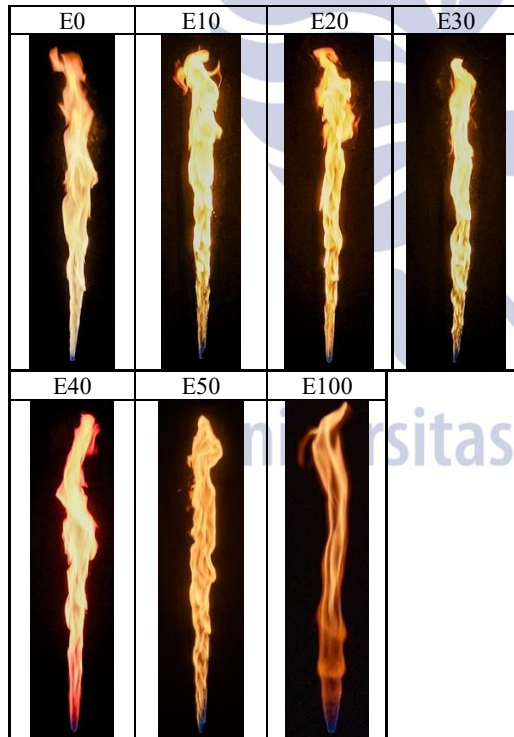
Gambar 2. Tahapan penelitian

Tahapan pengujian diawali dengan persiapan alat dan bahan, kalibrasi alat ukur, pembuatan variasi campuran bahan bakar E0, E10, E20, E30, E40, E50, dan E100, serta pengaturan laju aliran bahan bakar sebesar $25,10 \pm 0,33$ m/s. Setelah alat disusun sesuai skema instalasi, pengujian dilakukan dengan menyalakan fuel pump dan burner hingga nyala api stabil. Temperatur nyala api diukur menggunakan termokopel tipe K, sedangkan citra nyala api diolah menggunakan ImageJ untuk memperoleh luas nyala api, tinggi nyala api, dan distribusi warna nyala api

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Data temperatur nyala api dianalisis berdasarkan perubahan temperatur rata-rata pada setiap variasi campuran bahan bakar. Data luas nyala api dianalisis dari hasil pengolahan citra menggunakan ImageJ. Data tinggi nyala api dianalisis berdasarkan jarak dari pangkal nyala api hingga ujung nyala api yang terlihat pada citra. Distribusi warna nyala api dianalisis berdasarkan persentase warna dominan yang diperoleh dari hasil pengolahan citra. Selanjutnya, hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menunjukkan kecenderungan perubahan karakteristik nyala api akibat peningkatan kadar bioetanol dalam campuran bahan bakar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Visualisasi Nyala Api

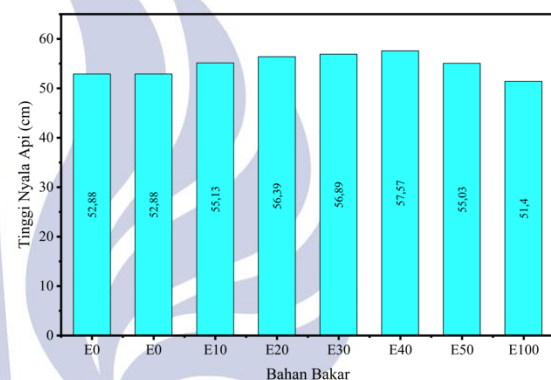


Gambar 3. Visualisasi nyala api

Visualisasi nyala api digunakan untuk memperkuat hasil pengolahan citra terhadap perubahan bentuk dan

warna nyala api. Pada laju aliran bahan bakar $25,10 \pm 0,33$ m/s, variasi E0 menunjukkan nyala api yang relatif lebih memanjang dengan dominasi warna kuning-oranye. Variasi E20 menghasilkan daerah nyala api yang lebih luas, sesuai dengan hasil pengukuran luas nyala api. Sementara itu, E100 menunjukkan bentuk nyala api yang lebih kecil dibandingkan campuran lainnya, namun menghasilkan temperatur rata-rata tertinggi. Perbedaan visual tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kadar bioetanol memengaruhi perkembangan zona reaksi pada nyala api difusi. Kandungan oksigen pada bioetanol dapat mengubah struktur nyala api dan memengaruhi proses pembentukan jelaga pada pembakaran difusi (Do *et al.*, 2024; Turns, 2021).

Tinggi Nyala Api Difusi



Gambar 4. Tinggi nyala api difusi

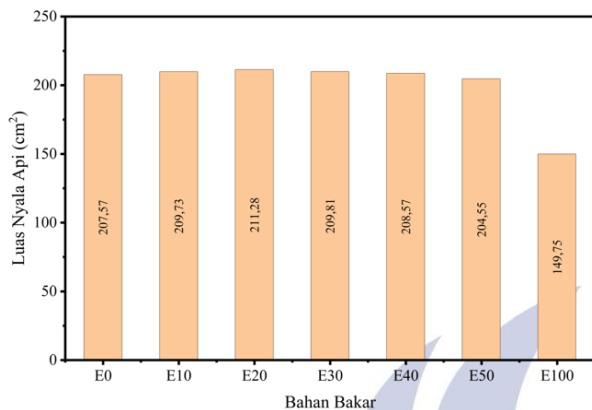
Berdasarkan **Gambar 4**, tinggi nyala api pada laju aliran bahan bakar $25,10 \pm 0,33$ m/s mengalami perubahan seiring bertambahnya kadar bioetanol dalam campuran bahan bakar. Tinggi nyala api tertinggi diperoleh pada E40 sebesar $57,57 \pm 0,83$ cm, sedangkan variasi E100 menunjukkan tinggi nyala api yang lebih rendah dibandingkan beberapa variasi campuran lainnya.

Perubahan tinggi nyala api dipengaruhi oleh perbedaan komposisi campuran bahan bakar yang memengaruhi proses penguapan, pencampuran bahan bakar dengan udara, serta laju reaksi pembakaran. Fenomena ini sejalan dengan teori nyala api difusi yang menyatakan bahwa karakteristik nyala dipengaruhi oleh proses difusi bahan bakar dan oksidator serta kinetika reaksi pembakaran (Turns, 2021). Penambahan bioetanol hingga komposisi tertentu dapat memperpanjang daerah reaksi akibat meningkatnya proses oksidasi, sehingga tinggi nyala api meningkat. Namun, pada kadar bioetanol yang lebih tinggi, rendahnya nilai kalor dan tingginya panas laten penguapan bioetanol menyebabkan energi yang tersedia untuk perkembangan nyala api menjadi lebih terbatas. Akibatnya, tinggi nyala api tidak terus meningkat dan cenderung menurun pada E100.

Pada kadar bioetanol rendah hingga menengah, kandungan oksigen tambahan dapat membantu pembakaran berlangsung lebih aktif. Namun, pada kadar bioetanol yang lebih tinggi, perkembangan luas nyala api

mulai terbatas karena energi pembakaran sebagian digunakan untuk proses penguapan bahan bakar. Hal ini menyebabkan E100 memiliki luas nyala api lebih kecil meskipun temperatur rata-ratanya paling tinggi.

Luas Nyala Api Difusi



Gambar 5. Luas nyala api difusi

Berdasarkan Gambar 5, luas nyala api pada laju aliran bahan bakar $25,10 \pm 0,33$ m/s meningkat dari $207,57 \pm 7,39$ cm² pada E0 menjadi $211,28 \pm 4,83$ cm² pada E20, kemudian mengalami penurunan hingga $149,75 \pm 10,66$ cm² pada E100. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan bioetanol pada kadar tertentu mampu memperbesar daerah reaksi pembakaran, namun pada kadar yang lebih tinggi justru menyebabkan luas nyala api menurun.

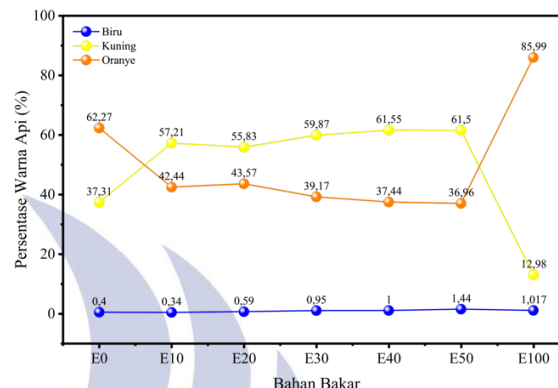
Peningkatan luas nyala api pada E10 hingga E20 dipengaruhi oleh kandungan oksigen dalam bioetanol yang membantu proses oksidasi sehingga daerah reaksi pembakaran menjadi lebih luas. Namun, setelah melewati komposisi optimum, luas nyala api mulai menurun akibat karakteristik bioetanol yang memiliki nilai kalor lebih rendah dibandingkan bensin. Selain itu, bioetanol memiliki panas laten penguapan yang tinggi sehingga sebagian energi pembakaran digunakan untuk proses penguapan bahan bakar. Kondisi tersebut menyebabkan perkembangan daerah reaksi menjadi lebih terbatas dan luas nyala api cenderung menurun pada campuran dengan kadar bioetanol tinggi, terutama E100.

Luas nyala api yang paling besar pada E20 menunjukkan adanya komposisi campuran yang lebih mendukung perkembangan daerah reaksi. Pada kadar bioetanol rendah hingga menengah, kandungan oksigen tambahan dapat membantu pembakaran berlangsung lebih aktif. Namun, pada kadar bioetanol yang lebih tinggi, perkembangan luas nyala api mulai terbatas karena energi pembakaran sebagian digunakan untuk proses penguapan bahan bakar. Hal ini menyebabkan E100 memiliki luas nyala api lebih kecil meskipun temperatur rata-ratanya paling tinggi.

Persentase Warna Nyala Api

Berdasarkan pengamatan, penambahan bioetanol menyebabkan perubahan distribusi warna nyala api, meskipun peningkatan persentase warna biru tidak

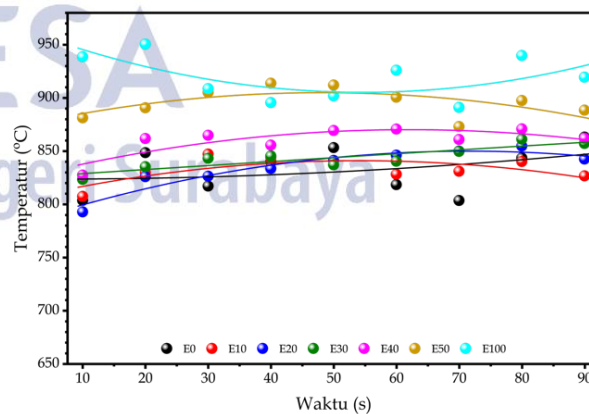
berlangsung secara linier pada setiap variasi campuran bahan bakar. Pada laju aliran bahan bakar $25,10 \pm 0,33$ m/s, persentase warna biru tertinggi diperoleh pada E50, sedangkan E100 tidak menunjukkan persentase warna biru tertinggi. Peningkatan warna biru menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung lebih sempurna karena warna biru umumnya berkaitan dengan zona reaksi yang memiliki ketersediaan oksigen lebih baik dan pembentukan jelaga yang lebih rendah.



Gambar 6. Persentase nyala api difusi

Kandungan oksigen intrinsik dalam bioetanol membantu meningkatkan proses oksidasi bahan bakar sehingga pembentukan partikel karbon yang tidak terbakar dapat dikurangi. Persentase warna biru yang muncul menunjukkan adanya perubahan zona reaksi pada nyala api. Namun, perubahan tersebut tidak meningkat secara linier karena distribusi warna juga dipengaruhi oleh penguapan bahan bakar, pencampuran bahan bakar dengan udara, serta intensitas cahaya nyala api yang terekam pada citra. Oleh karena itu, penambahan bioetanol lebih tepat dinyatakan memengaruhi distribusi warna nyala api, bukan selalu meningkatkan warna biru secara bertahap.

Temperatur Nyala Api Difusi terhadap Waktu

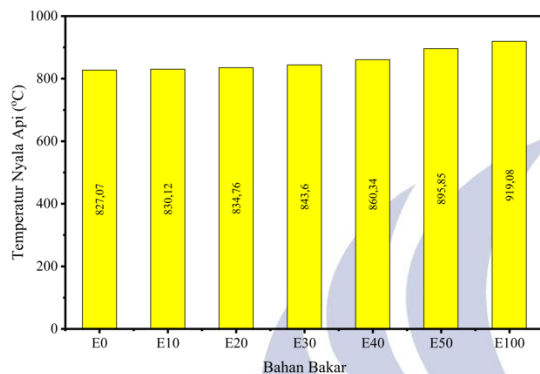


Gambar 7. Temperatur api terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 7, temperatur nyala api pada setiap variasi campuran bahan bakar mengalami fluktuasi selama proses pembakaran. Fluktuasi tersebut menunjukkan bahwa nyala api difusi tidak berada dalam kondisi benar-benar konstan, karena proses penguapan bahan bakar, pencampuran bahan bakar dengan udara, dan

reaksi pembakaran berlangsung secara dinamis. Secara umum, variasi dengan kadar bioetanol lebih tinggi menunjukkan temperatur yang lebih besar dibandingkan Shell Super murni. E100 cenderung menghasilkan temperatur paling tinggi selama pengujian, sedangkan E0 menunjukkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan variasi campuran lainnya. Hal ini memperkuat hasil temperatur rata-rata bahwa peningkatan kadar bioetanol dapat meningkatkan temperatur nyala api difusi.

Temperatur Rata-rata Nyala Api Difusi



Gambar 8. Rata-rata temperature nyala api

Berdasarkan **Gambar 8**, temperatur rata-rata nyala api menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya kadar bioetanol dalam campuran bahan bakar. Temperatur rata-rata meningkat dari 827,08°C pada E0 menjadi 830,13°C pada E10, 834,76°C pada E20, 843,61°C pada E30, 860,34°C pada E40, 895,85°C pada E50, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 919,08°C pada E100. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan bioetanol memberikan pengaruh terhadap peningkatan temperatur pembakaran pada nyala api difusi.

Peningkatan temperatur tersebut dipengaruhi oleh kandungan oksigen intrinsik dalam molekul bioetanol yang membantu proses oksidasi bahan bakar selama pembakaran berlangsung. Hasil ini sesuai dengan Glassman *et al.* (2014) yang menjelaskan bahwa keberadaan oksigen dan pembentukan radikal aktif selama pembakaran dapat meningkatkan efisiensi reaksi sehingga temperatur nyala api meningkat. Meskipun bioetanol memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan bensin, keberadaan oksigen tambahan tersebut mampu meningkatkan efisiensi reaksi pembakaran sehingga energi panas yang dilepaskan menjadi lebih besar. Selain itu, pembentukan radikal aktif seperti OH turut mempercepat reaksi pembakaran dan meningkatkan temperatur nyala api. Oleh karena itu, semakin tinggi persentase bioetanol yang digunakan, temperatur rata-rata nyala api cenderung semakin tinggi.

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian, variasi campuran bahan bakar bioetanol molasses dan Shell Super berpengaruh terhadap karakteristik nyala api difusi pada laju aliran bahan bakar $25,10 \pm 0,33$ m/s. Temperatur rata-rata nyala api cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar bioetanol, dengan temperatur tertinggi diperoleh pada E100

sebesar 919,08°C. Luas nyala api terbesar diperoleh pada E20 sebesar $211,28 \pm 4,83$ cm², sedangkan tinggi nyala api tertinggi diperoleh pada E40 sebesar $57,57 \pm 0,83$ cm. Distribusi warna nyala api mengalami perubahan akibat penambahan bioetanol, meskipun perubahan warna biru tidak meningkat secara linier pada setiap variasi campuran bahan bakar. Dengan demikian, peningkatan kadar bioetanol memberikan pengaruh berbeda terhadap temperatur, luas, tinggi, dan distribusi warna nyala api difusi.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian emisi gas buang, seperti CO, CO₂, HC, dan NO_x, agar pengaruh campuran bioetanol molasses dan Shell Super terhadap kualitas pembakaran dapat dianalisis lebih mendalam. Selain itu, variasi campuran bahan bakar dapat dibuat lebih rapat, terutama pada rentang E10 hingga E30, karena luas nyala api terbesar diperoleh pada variasi E20. Pengujian juga dapat dikembangkan dengan menggunakan variasi diameter nozzle atau sistem atomisasi yang berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap temperatur dan luas nyala api difusi. Dengan demikian, karakteristik pembakaran campuran bioetanol molasses dan Shell Super dapat diperoleh secara lebih lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- Demirbas, A. (2009). *Biofuels: Securing the planet's future energy needs*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-011-1>
- Do, H. Q., Therssen, E., Sood, K., Giarracca-Mehl, L., Lefort, B., Tran, L. S., & Mercier, X. (2024). Characterization of the impact of ethanol on the formation of soot particles in gasoline turbulent diffusion flames. *Proceedings of the Combustion Institute*, 40(1–4), 105468. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2024.105468>
- Glassman, I., Yetter, R. A., & Glumac, N. G. (2014). *Combustion* (5th ed.). Academic Press.
- Hawaz, E., Tafesse, M., Tesfaye, A., Kiros, S., Beyene, D., Kebede, G., Boekhout, T., Groenewald, M., Theelen, B., Degefe, A., Degu, S., Admasu, A., Hunde, B., & Muleta, D. (2024). Bioethanol production from sugarcane molasses by co-fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* isolate TA2 and *Wickerhamomyces anomalus* isolate HCJ2F-19. *Annals of Microbiology*, 74, Article 13. <https://doi.org/10.1186/s13213-024-01757-8>
- International Energy Agency. (2023). *World energy outlook 2023*. International Energy Agency.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2022). *Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2022*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- PT Shell Indonesia. (2016). *Lembar data keselamatan bahan: Shell Super 92 E2* (Versi 4.0). PT Shell Indonesia.

- Rein, P. (2017). *Cane sugar engineering* (2nd ed.).
Bartens.
- Turns, S. R. (2021). *An introduction to combustion:
Concepts and applications* (4th ed.). McGraw-Hill
Education.

