

ANALISIS KARAKTERISTIK NYALA API PEMBAKARAN PREMIXED DARI BAHAN BAKAR BIOETANOL TETES TEBU DAN SHELL SUPER

M. Fazrah Andi Riko

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: mrikofazrah.22016@mhs.unesa.ac.id

Handini Novita Sari

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

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan nilai kalor bahan bakar terhadap temperatur nyala api pada pembakaran premixed campuran Shell Super dan bioetanol tetes tebu. Variasi bahan bakar yang digunakan terdiri atas E0, E10, E20, E30, E40, E50, dan E100. Metode penelitian dilakukan secara eksperimen dengan mencampurkan Shell Super dan bioetanol tetes tebu sesuai variasi komposisi. Nilai kalor bahan bakar diperoleh melalui pengujian, sedangkan temperatur nyala api diukur menggunakan termokopel pada sistem pembakaran premixed. Selama pengujian, laju aliran bahan bakar dan udara dibuat tetap agar perubahan temperatur nyala api dapat diamati berdasarkan perbedaan komposisi bahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor menurun seiring meningkatnya kadar bioetanol, yaitu dari 11.390 kal/g pada E0 menjadi 8.179 kal/g pada E100, atau menurun sebesar 28,19 persen. Sebaliknya, temperatur rata-rata nyala api meningkat dari 828°C pada E0 menjadi 926°C pada E100, atau meningkat sebesar 11,8 persen. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan bioetanol menurunkan energi panas per satuan massa bahan bakar, tetapi kandungan oksigen dalam bioetanol dapat mendukung proses oksidasi sehingga temperatur nyala api meningkat. Dengan demikian, bioetanol tetes tebu berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran premixed, terutama pada nilai kalor dan temperatur nyala api.

Kata Kunci: bioetanol, tetes tebu, shell super, nyala api premixed

Abstract

This study aims to analyze the relationship between fuel heating value and flame temperature in premixed combustion of Shell Super and Molase bioethanol blends. The fuel variations consisted of E0, E10, E20, E30, E40, E50, and E100. The research was conducted experimentally by blending Shell Super and Molase bioethanol according to the selected composition. The heating value was obtained through fuel testing, while the flame temperature was measured using thermocouples in a premixed combustion system. During the experiment, the fuel and air flow rates were kept constant to observe the effect of fuel composition on flame temperature. The results showed that the heating value decreased as the bioethanol content increased, from 11,390 calories per gram in E0 to 8,179 calories per gram in E100, representing a decrease of 28.19 percent. In contrast, the average flame temperature increased from 828°C in E0 to 926°C in E100, representing an increase of 11.8 percent. These results indicate that bioethanol addition reduces the heat energy per unit mass of fuel, but the oxygen content in bioethanol can support the oxidation process and increase flame temperature. Therefore, Molase bioethanol affects the premixed combustion characteristics, especially the heating value and flame temperature.

Keywords: bioethanol, sugarcane Molase, shell super, premixed flame

PENDAHULUAN

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil masih menjadi persoalan penting dalam sektor energi dan transportasi. Penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon, penurunan cadangan energi, serta kebutuhan pengembangan bahan bakar alternatif yang lebih berkelanjutan (Cherwoo et al., 2023). Sektor transportasi menjadi salah satu pengguna energi terbesar, sehingga upaya pencampuran bahan bakar fosil dengan bahan bakar terbarukan menjadi langkah penting untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak (Rifa'i dkk., 2022). Salah satu bahan bakar alternatif yang banyak dikaji adalah bioetanol karena memiliki kandungan oksigen, angka oktan tinggi, serta dapat dicampurkan dengan bahan bakar bensin untuk

mendukung proses pembakaran yang lebih baik (Jasper et al., 2022).

Bioetanol dapat diproduksi dari berbagai bahan baku biomassa, salah satunya tetes tebu atau molase. Molase merupakan produk samping industri gula yang masih mengandung gula fermentabel, seperti sukrosa, glukosa, dan fruktosa, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan baku produksi bioetanol melalui proses fermentasi. Pemanfaatan molase sebagai bioetanol tidak hanya meningkatkan nilai guna limbah agroindustri, tetapi juga mendukung pengembangan energi terbarukan berbasis biomassa (Dewi & Rasmiyana, 2025). Penelitian (Khairul et al., 2022) menunjukkan bahwa molase memiliki potensi sebagai substrat produksi bioetanol karena kaya akan gula fermentabel dan dapat dikonversi melalui fermentasi mikroorganisme.

Dalam sistem pembakaran, karakteristik bahan bakar berperan penting terhadap kualitas pembakaran dan karakteristik nyala api (Pignatelli, 2023). Salah satu parameter utama bahan bakar adalah nilai kalor, yaitu jumlah energi panas yang dapat dilepaskan saat bahan bakar mengalami pembakaran. Pada campuran bensin dan bioetanol, peningkatan kadar bioetanol umumnya menurunkan nilai kalor karena etanol memiliki kandungan energi lebih rendah dibandingkan bensin (Szabó *et al.*, 2025). Namun, bioetanol juga memiliki kandungan oksigen dalam struktur kimianya (Lee *et al.*, 2015). Kandungan oksigen tersebut dapat membantu proses oksidasi bahan bakar, sehingga karakteristik pembakaran tidak hanya ditentukan oleh nilai kalor, tetapi juga oleh komposisi kimia dan kualitas pencampuran udara-bahan bakar.

Pembakaran premixed terjadi ketika bahan bakar dan udara telah bercampur sebelum memasuki zona reaksi (Najarnikoo *et al.*, 2019). Pada kondisi ini, perubahan komposisi bahan bakar dapat memengaruhi temperatur nyala api, kestabilan api, serta intensitas pembakaran. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan etanol pada campuran bahan bakar dapat memengaruhi kecepatan rambat api dan karakteristik pembakaran premixed (Perdana *et al.*, 2025). (Almarzooq *et al.*, 2023) menjelaskan bahwa peningkatan kadar etanol pada campuran gasoline surrogate dapat meningkatkan laminar flame speed. (Lu *et al.*, 2023) juga menyatakan bahwa etanol memiliki karakteristik pembakaran laminar yang penting untuk dikaji karena berkaitan dengan reaktivitas dan perkembangan nyala api.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, bioetanol dari berbagai bahan baku telah dikaji sebagai campuran bahan bakar bensin. Namun, kajian yang secara khusus membahas hubungan nilai kalor bahan bakar dan temperatur nyala api pada pembakaran premixed campuran bioetanol tetes tebu dengan Shell Super RON 92 masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi campuran Shell Super dan bioetanol tetes tebu terhadap nilai kalor bahan bakar dan temperatur nyala api. Variasi bahan bakar yang digunakan meliputi E0, E10, E20, E30, E40, E50, dan E100. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai hubungan antara penurunan nilai kalor dan perubahan temperatur nyala api pada pembakaran premixed campuran bioetanol tetes tebu dan Shell Super.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis hubungan nilai kalor bahan bakar terhadap temperatur nyala api pada pembakaran premixed campuran Shell Super dan bioetanol tetes tebu. Data yang dikaji dalam artikel ini terdiri atas nilai kalor bahan bakar dan temperatur nyala api.

Pengujian nilai kalor dilakukan untuk mengetahui energi panas yang dapat dilepaskan oleh setiap variasi bahan bakar. Sementara itu, pengujian temperatur nyala api dilakukan menggunakan rangkaian pembakaran premixed. Bahan bakar dialirkan menuju nozzle spray menggunakan pompa dengan pengaturan PWM 40%, sedangkan udara pembakaran disuplai melalui kompresor

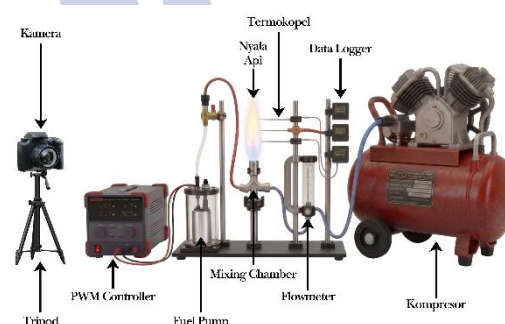
dengan laju aliran 11,57 L/menit. Campuran udara dan bahan bakar kemudian masuk ke mixing chamber sebelum keluar melalui burner dan membentuk nyala api.

Temperatur nyala api diukur menggunakan termokopel yang dipasang pada tiga titik vertikal dengan jarak 5 cm. Data temperatur direkam menggunakan data logger selama proses pengujian. Data penelitian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai kalor dan temperatur nyala api pada setiap variasi bahan bakar. Selanjutnya, perubahan nilai kalor dan temperatur dihitung berdasarkan selisih serta persentase perubahan dari E0 ke E100.

WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Waktu penelitian dilakukan setelah seminar proposal tugas akhir dan telah disetujui oleh penguji dan pembimbing, yaitu mulai Maret 2026 sampai Juni 2026. Penelitian dilakukan di Laboratorium Performa, Gedung A8, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

INSTRUMEN PENELITIAN



Gambar 1. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian ini terdiri dari kamera, tripod, PWM controller, fuel pump, nozzle spray, mixing chamber, burner, flowmeter, termokopel, data logger, dan kompresor. Fuel pump yang dikendalikan PWM digunakan untuk mengalirkan bahan bakar menuju nozzle spray. Udara dari kompresor diatur melalui flowmeter, kemudian bercampur dengan bahan bakar di dalam mixing chamber sebelum terbakar pada burner. Temperatur nyala api diukur menggunakan termokopel dan direkam melalui data logger, sedangkan kamera digunakan untuk mendokumentasikan visual nyala api.

AIR FUEL RATIO

Air Fuel Ratio (AFR) merupakan perbandingan antara massa udara dan massa bahan bakar yang masuk ke dalam proses pembakaran. AFR menjadi parameter penting karena menentukan kecukupan udara dalam proses oksidasi bahan bakar. Keseimbangan antara udara dan bahan bakar berpengaruh terhadap temperatur nyala api, di mana temperatur maksimum umumnya dapat dicapai ketika campuran berada mendekati kondisi stoikiometri atau rasio ekivalen mendekati satu (Sankar *et al.*, 2023).

1. Air Fuel Ratio

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} \quad (\text{Bakhri dkk., 2021})$$

Keterangan:

m_a = laju massa udara

m_f = laju massa bahan bakar

2. Rasio Ekvivalen (ϕ)

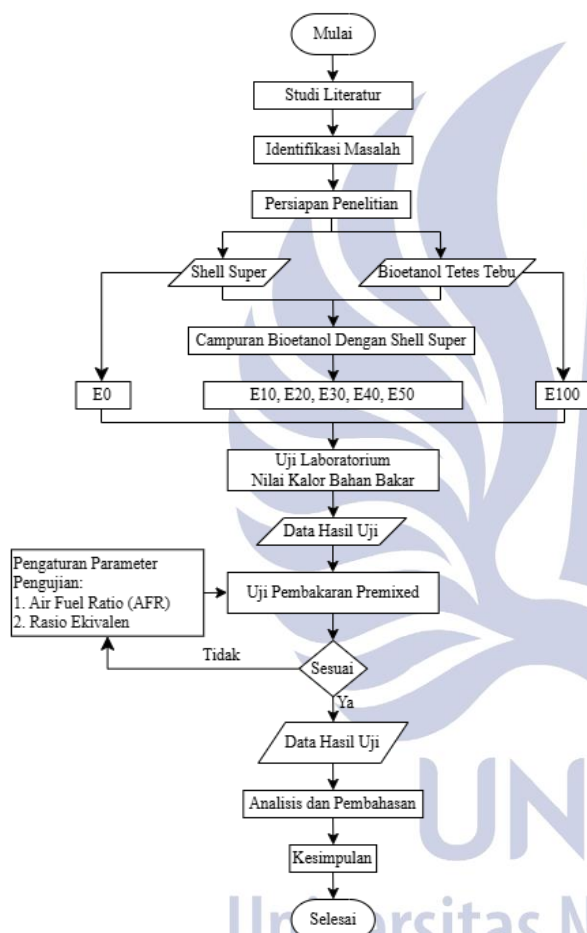
$$\phi = \frac{AFR_s}{AFR_a} \quad (\text{Bakhri dkk., 2021})$$

Keterangan:

AFR_s = Rasio udara-bahan bakar Stoikiometri

AFR_a = Rasio udara-bahan bakar Aktual

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

VARIABEL PENELITIAN

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas

- E0 : 100% Shell Super
- E10 : 90% Shell Super + 10% Bioetanol
- E20 : 80% Shell Super + 20% Bioetanol
- E30 : 70% Shell Super + 30% Bioetanol
- E40 : 60% Shell Super + 40% Bioetanol
- E50 : 50% Shell Super + 50% Bioetanol
- E100: 100% Bioetanol Tetes Tebu

2. Variabel Terikat

a. Karakteristik Bahan Bakar: Nilai Kalor

b. Karakteristik Nyala Api : Temperatur

3. Variabel Kontrol

- Laju aliran bahan bakar dan udara dijaga tetap
- Jarak setiap termokopel dijaga tetap
- Pengujian dilakukan pada ruangan tertutup

HASIL DAN PEMBAHASAN

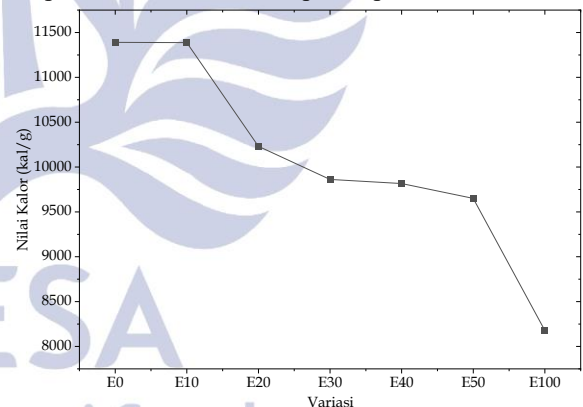
1. Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor dilakukan untuk mengetahui jumlah energi panas yang dapat dilepaskan oleh setiap variasi bahan bakar. Sementara itu, pengujian temperatur nyala api dilakukan untuk mengetahui respons termal pembakaran premixed pada campuran Shell Super dan bioetanol tetes tebu. Data hasil pengujian nilai kalor disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Nilai Kalor

No	Variasi	Nilai Kalor (kal/g)
1	E0	11.390
2	E10	11.387
3	E20	10.231
4	E30	9.862
5	E40	9.816
6	E50	9.650
7	E100	8.179

Hasil pengujian nilai kalor pada setiap variasi campuran bahan bakar ditampilkan pada Gambar berikut:



Gambar 3. Grafik Nilai Kalor

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 3, nilai kalor bahan bakar menunjukkan kecenderungan menurun seiring meningkatnya kadar bioetanol dalam campuran Shell Super. Nilai kalor tertinggi terdapat pada E0 sebesar 11.390 kal/g, sedangkan nilai kalor terendah terdapat pada E100 sebesar 8.179 kal/g. Secara keseluruhan, nilai kalor mengalami penurunan sebesar 3.211 kal/g atau sekitar 28,19% dari E0 ke E100. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar bioetanol dalam campuran bahan bakar, energi panas per satuan massa bahan bakar cenderung semakin rendah. Kondisi tersebut terjadi karena bioetanol memiliki kandungan energi yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar bensin.

2. Temperatur Api

Data hasil pengujian temperatur nyala api tiap variasi disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Temperatur E0

Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata
10	803	808	878	830
20	815	886	895	865
30	815	819	843	826
40	754	798	834	796
50	821	823	826	823
60	805	852	822	826

Tabel 3. Hasil Pengujian Temperatur E10

Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata
10	818	789	768	791
20	856	855	774	828
30	873	844	794	837
40	868	845	810	841
50	855	845	826	842
60	851	860	803	838

Tabel 4. Hasil Pengujian Temperatur E20

Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata
10	885	746	868	833
20	888	563	876	775
30	872	821	852	848
40	842	865	823	843
50	830	867	845	847
60	852	863	832	849

Tabel 5. Hasil Pengujian Temperatur E30

Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata
10	807	849	864	840
20	789	897	791	825
30	838	885	832	851
40	827	866	819	837
50	812	835	868	838
60	829	852	833	838

Tabel 6. Hasil Pengujian Temperatur E40

Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata
10	927	743	856	842
20	820	885	878	861
30	822	890	878	863
40	764	867	845	825
50	792	846	861	833
60	778	833	835	815

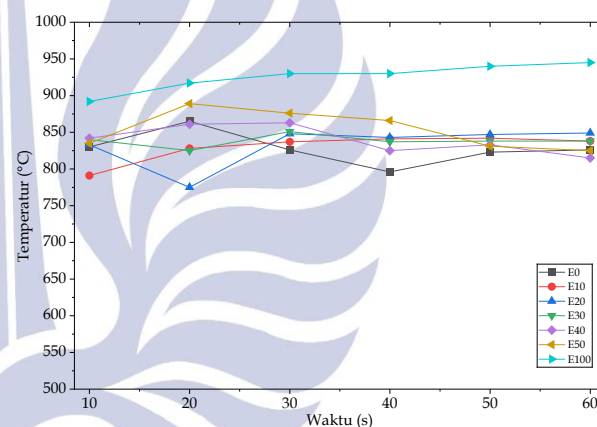
Tabel 7. Hasil Pengujian Temperatur E50

Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata
10	887	845	772	835
20	933	850	884	889
30	888	841	898	876
40	848	846	903	866
50	815	827	851	831
60	753	861	862	825

Tabel 8. Hasil Pengujian Temperatur E100

Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata
10	927	923	826	892
20	920	908	924	917
30	930	928	933	930
40	934	948	909	930
50	937	928	956	940
60	943	947	946	945

Perubahan temperatur nyala api pada setiap variasi campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar grafik dibawah ini:

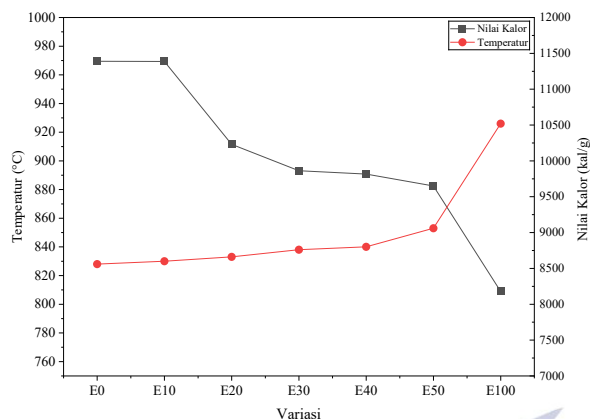


Gambar 4. Grafik Temperatur Tiap Variasi Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 4, temperatur nyala api pada setiap variasi bahan bakar menunjukkan perubahan selama waktu pengamatan 10 sampai 60 detik. Secara umum, variasi E100 menghasilkan temperatur paling tinggi dibandingkan variasi lainnya. Pada E100, temperatur meningkat dari 892°C pada detik ke-10 menjadi 945°C pada detik ke-60. Sementara itu, variasi E0 menunjukkan temperatur yang lebih rendah, yaitu berada pada kisaran 828°C. Perbedaan ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar bioetanol dalam campuran bahan bakar berpengaruh terhadap kenaikan temperatur nyala api pada pembakaran premixed.

Jika dilihat berdasarkan temperatur rata-rata tiap variasi, temperatur nyala api meningkat dari 828°C pada E0 menjadi 926°C pada E100. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan temperatur sebesar 98°C atau sekitar 11,8%. Kenaikan temperatur ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar bioetanol dalam campuran Shell Super, maka respons termal pembakaran cenderung

meningkat. Peningkatan paling jelas terlihat pada variasi E100, yang menunjukkan temperatur lebih tinggi dan relatif stabil selama waktu pengamatan.



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Temperatur Total Terhadap Nilai Kalor

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai temperature tiap variasi berlawanan dengan kecenderungan nilai kalor bahan bakar. Berdasarkan hasil pengujian sebelumnya, nilai kalor menurun dari 11.390 kal/g pada E0 menjadi 8.179 kal/g pada E100, atau turun sekitar 28,19%. Artinya, penurunan nilai kalor tidak selalu menyebabkan penurunan temperatur nyala api. Pada penelitian ini, temperatur justru meningkat seiring bertambahnya kadar bioetanol. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa temperatur nyala api tidak hanya dipengaruhi oleh nilai kalor, tetapi juga oleh komposisi kimia bahan bakar dan kualitas proses pembakaran (Marzouk, 2023).

Peningkatan temperatur pada campuran dengan kadar bioetanol lebih tinggi dapat dikaitkan dengan karakteristik bioetanol sebagai bahan bakar beroksigen. Kandungan oksigen dalam bioetanol dapat membantu proses oksidasi bahan bakar sehingga pembakaran berlangsung lebih baik pada sistem premixed. Bioetanol memiliki kandungan oksigen yang dapat mendukung proses pembakaran lebih sempurna, meskipun etanol memiliki kandungan energi lebih rendah dibandingkan bensin (Szabó et al., 2025). Peningkatan kecepatan rambat api ini menunjukkan bahwa reaksi pembakaran berlangsung lebih cepat dan aktif, sehingga dapat mendukung kenaikan temperatur nyala api pada campuran dengan kadar bioetanol lebih tinggi.

Dengan demikian, hubungan antara nilai kalor dan temperatur nyala api pada penelitian ini menunjukkan kecenderungan negatif. Nilai kalor menurun seiring meningkatnya kadar bioetanol, tetapi temperatur nyala api meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan oksigen dalam bioetanol dan karakteristik pembakaran premixed berperan penting dalam meningkatkan intensitas pembakaran, meskipun energi panas per satuan massa bahan bakar lebih rendah.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan bioetanol tetes tebu pada bahan bakar Shell Super berpengaruh terhadap nilai kalor bahan bakar dan temperatur nyala api pada pembakaran premixed. Peningkatan kadar bioetanol menyebabkan nilai kalor campuran bahan bakar menurun karena bioetanol memiliki kandungan energi lebih rendah dibandingkan bensin. Namun, penurunan nilai kalor tersebut tidak diikuti oleh penurunan temperatur nyala api. Temperatur nyala api justru meningkat seiring bertambahnya kadar bioetanol dalam campuran. Kondisi ini menunjukkan bahwa temperatur nyala api tidak hanya ditentukan oleh nilai kalor, tetapi juga dipengaruhi oleh komposisi kimia bahan bakar dan kualitas proses pembakaran. Kandungan oksigen dalam bioetanol berperan dalam membantu proses oksidasi sehingga pembakaran premixed dapat berlangsung lebih baik. Dengan demikian, bioetanol tetes tebu memiliki potensi sebagai bahan bakar campuran yang dapat memengaruhi karakteristik pembakaran, terutama melalui perubahan nilai kalor dan peningkatan temperatur nyala api.

DAFTAR PUSTAKA

- Almarzooq, Y. M., Schoegl, I., & Petersen, E. L. (2023). Laminar flame speed measurements of a gasoline surrogate and its mixtures with ethanol at elevated pressure and temperature. *Fuel*, 343, 128003.
- Bakhri, S., Wahyudi, D., & Muhammad, A. (2021). Uji karakteristik nyala api pembakaran premix bioetanol dari ampas tebu. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 10(2).
- Cherwoo, L., Gupta, I., Flora, G., Verma, R., Kapil, M., Arya, S. K., Ravindran, B., Khoo, K. S., Bhatia, S. K., Chang, S. W., Ngamcharussrivichai, C., & Ashokkumar, V. (2023). Biofuels an alternative to traditional fossil fuels: A comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60, 103503.
- Dewi, P. S., & Rasmiyana, R. (2025). Kajian Literatur Molase Tebu: Kandungan, Tantangan, dan Pemanfaatannya Sebagai Bahan Baku Bernilai Ekonomis. *Jurnal Teknologi dan Mutu Pangan*, 4(1), 1–9. h
- Jasper, M., Rafati, N., Schimmel, K., Shahbazi, A., Li, F., Mba-Wright, M., & Wang, L. (2022). Carbon negative transportation fuels – A techno-economic-environmental analysis of biomass pathways for transportation. *Energy Conversion and Management: X*, 14, 100208.
- Khairul, M. S.-A., Mahyudin, N. A., Abas, F., Jamaludin, N.-S., & Mahmud Ab Rashid, N. K. (2022). THE PROXIMATE COMPOSITION AND METABOLITE PROFILING OF

- SUGARCANE (*Saccharum officinarum*)
MOLASSES. *Malaysian Applied Biology*,
51(2), 63–68.
- Lee, S., Speight, J. G., & Loyalka, S. K. (2015).
Handbook of Alternative Fuel Technologies,
Second Edition. CRC Press.
- Lu, C., Zhou, J., Oppong, F., & Feng, A. (2023). Laminar
premixed burning characteristics of
methanol/ethanol/air at high temperature and
pressure. *Thermal Science*, 27(5 Part B), 4235–
4245.
- Marzouk, O. A. (2023). Adiabatic Flame Temperatures
for Oxy-Methane, Oxy-Hydrogen, Air-
Methane, and Air-Hydrogen Stoichiometric
Combustion using the NASA CEARUN Tool,
GRI-Mech 3.0 Reaction Mechanism, and
Cantera Python Package. *Engineering*,
Technology & Applied Science Research,
13(4), 11437–11444.
- Najarnikoo, M., Targhi, M. Z., & Pasharshahi, H.
(2019). Experimental study on the flame
stability and color characterization of
cylindrical premixed perforated burner of
condensing boiler by image processing method.
Energy, 189, 116130.
- Perdana, D., Rohman, M. N., Rosidin, M. K., & Muhaji.
(2025). Flame Behavior During the
Combustion of Premixed Kapok Oil Influenced
by Oxygen and Magnetic Field. *Jurnal Teknik*
Pertanian Lampung, 14(1), 92–98.
- Pignatelli, F. (2023). *Turbulent premixed flames in a
model gas turbine combustor: Fuel sensitivity
and flame dynamics*. Department of Energy
Sciences, Lund University.
- Sankar, V., Sudarsanan, S., Mukhopadhyay, S., Selvaraj,
P., Balakrishnan, A., & Velamati, R. K. (2023).
Towards the Development of Miniature Scale
Liquid Fuel Combustors for Power Generation
Application—A Review. *Energies*, 16(10),
4035.
- Szabó, Á. I., Mursi, Z. T., Wégerer, A., & Nagy, G.
(2025). Comprehensive Efficiency Analysis of
Ethanol–Gasoline Blends in Spark Ignition
Engines. *Eng*, 6(10), 256.