

## Studi Kecepatan Pembakaran Laminar dan Tinggi Api Premix Avgas 100 LL dengan Variasi Ekuivalen Rasio

Muhammad Nur Cahyo Hidayat Nasrullah<sup>1</sup>, Muh Nurkoyim Kustanto<sup>2\*</sup>, Mahros Darsin<sup>3</sup>, Nasrul Iminnafik<sup>4</sup>, Skriptyan Noor Hidayatullah Syuhri<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Prodi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember  
<sup>2,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember  
\*Corresponding author: [nurkoyin@unej.ac.id](mailto:nurkoyin@unej.ac.id)

### Abstract

Aviation gasoline or avgas, is the fuel for aircraft with piston engines. This type of aircraft is generally used for flight training and crop spraying. Despite extensive research, limited discussions exist on testing the combustion speed (SL) and flame height of laminar premix of avgas 100 LL. This study discusses the results of experiments aimed at determining the combustion speed and flame height using the bunsen burner method. Both combustion characteristics can be a reference for further researchers to develop alternatives to this fuel. Data taken in the form of measurements based on visualization of the laminar premix flame of avgas 100 LL by varying the equivalent ratio of 0.8; 1.0 and 1.2. The findings of this study found that the highest combustion speed was obtained at an equivalent ratio of 1.0, namely 49.31 cm/sec. However, Flame height at an equivalent ratio of 1.0 showed the lowest measurement of 6.303 mm. The results prove that the maximum combustion velocity is reached at the stoichiometric ratio, which indicates when fuel and air are mixed in the right proportions for complete combustion. This is supported by the flame height value and the discussion of the literature study presented in this article.

**Keywords:** avgas 100 LL, aviation gasoline, combustion speed, energy conversion, flame height, piston engine aircraft.

### Abstrak

Aviation gasoline atau yang umum disebut dengan avgas merupakan bahan bakar bagi pesawat dengan mesin piston. Pesawat tipe ini pada umumnya banyak digunakan untuk pelatihan terbang hingga untuk penyemprotan tanaman. Banyak peneliti yang telah membahas mengenai bahan bakar ini. Namun, masih sedikit yang membahas mengenai pengujian kecepatan pembakaran (SL) dan tinggi api laminar premix menggunakan metode bunsen burner. Penelitian ini membahas hasil eksperimen yang bertujuan untuk menentukan kecepatan pembakaran dan tinggi api menggunakan metode bunsen burner. Kedua karakteristik pembakaran pada avgas 100 LL ini dapat menjadi acuan untuk peneliti selanjutnya untuk mengembangkan alternatif dari bahan bakar ini. Data yang diambil berupa pengukuran berdasarkan visualisasi nyala api laminar premix avgas 100 LL dengan memvariasikan ekuivalen rasio dari 0,8; 1,0 dan 1,2. Hasil temuan pada penelitian ini menemukan bahwa kecepatan pembakaran tertinggi didapatkan pada ekuivalen rasio 1,0 yakni 49,31 cm/detik. Namun pada pengujian tinggi api, ekuivalen rasio 1,0 menghasilkan nilai tinggi api terendah yakni 6,303 mm. Dari hasil penelitian membuktikan bahwa nilai maksimum kecepatan pembakaran tercapai pada rasio stoikiometrik, yang menandakan saat bahan bakar dan udara dicampur dalam proporsi yang tepat untuk pembakaran sempurna hal ini didukung dengan nilai tinggi api dan pembahasan studi literatur yang ditampilkan pada artikel ini.

**Kata kunci:** avgas 100 LL, bahan bakar aviasi, kecepatan pembakaran, konversi energi, pesawat mesin piston, tinggi api.

## 1. Pendahuluan

Aviation gasoline atau yang umum disebut dengan avgas adalah bahan bakar dengan kandungan timbal yang digunakan pada pesawat bertenaga mesin piston [1]. Pesawat tipe ini pada umumnya dimanfaatkan untuk penggunaan dalam pelatihan terbang hingga untuk penyemprotan tanaman. Mesin pesawat piston menggunakan prinsip yang serupa dengan mesin busi yang terdapat dalam

kendaraan darat pada umumnya. Pembeda dari keduanya yakni, mesin pesawat piston atau *piston engine* memiliki kebutuhan kinerja yang jauh lebih tinggi [2]. Bahan bakar pesawat *piston engine* membutuhkan suatu karakteristik yang diwajibkan. Karakteristik ini yakni *anti knock* yang merupakan pencegah terjadinya detonasi. Detonasi dapat membahayakan dan dapat mempengaruhi keselamatan penerbangan serta keandalan operasional pesawat [3].

Salah satu bahan bakar jenis avgas yang populer digunakan pada penerbangan di Indonesia adalah avgas 100 LL [1]. Avgas 100 LL memiliki kandungan timbal yang bertindak sebagai *anti knock* pada proses pembakaran [4]. Umumnya kandungan timbal ini berupa *tetraethyl lead (TEL)* dengan kandungan 0,56 gram/liter [5].

Sejauh ini penelitian mengenai avgas 100 LL sudah banyak dibahas oleh para peneliti yakni diantaranya mengenai *relative detonation index* [6], nilai torsi dan konsumsi bahan bakar [7], tendensi terhadap *vapor lock* [8], *anti knock performance* [3], *motor octane number (MON)*, hingga titik beku dan rentang didih [9]. Namun sejauh ini, penulis belum menemukan riset yang membahas mengenai kecepatan pembakaran laminar dan tinggi api yang diujikan melalui *bunsen burner*. Oleh karena itu, untuk lebih memahami secara mendalam bagaimana sifat bahan bakar ini. Pada penelitian ini akan dibahas beberapa karakteristik pembakaran yang umum digunakan sebagai indikator bahan bakar, yakni mengenai kecepatan pembakaran laminar dan tinggi api premix avgas 100 LL. Kecepatan nyala laminar adalah salah satu parameter kunci yang memberikan wawasan mendalam tentang karakteristik pembakaran, sementara tinggi api adalah faktor penting dalam menentukan stabilitas nyala dan efisiensi proses pembakaran [10]. Dalam praktiknya, kecepatan nyala laminar bahan bakar memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap tingkat pembakaran, kinerja hingga emisi gas buang pada mesin pembakaran dalam. Pada tingkat yang lebih fundamental, kecepatan pembakaran adalah target penting dalam pengembangan dan validasi mekanisme kinetika pembakaran [11]. Sedangkan tinggi api menginterpretasi struktur pembakaran dan pembentukan partikel jelaga dalam nyala api. Struktur ini diketahui dapat memengaruhi kinerja dan emisi dari proses pembakaran [12]. Tinggi nyala api seringkali didefinisikan dengan melihat puncak suhu atau puncak konsentrasi OH pada garis tengah nyala api, sementara tinggi nyala yang terlihat ditentukan oleh cahaya kilauan radiasi yang dihasilkan oleh partikel-partikel jelaga [13].

Selama beberapa dekade terakhir, para peneliti telah banyak mengembangkan teknik baru dan perbaikan metodologi yang ada dalam penentuan eksperimental kecepatan nyala laminar dan berbagai

konfigurasi nyala api [14]. Sejumlah perangkat eksperimental telah dirancang untuk mengukur kecepatan nyala laminar. Beberapa jenis alat eksperimental ini adalah alat pembakaran volume konstan, *planar flame heat-flux burner*, *counterflow burner* dan *bunsen burner*. *Bunsen burner* menjadi salah satu alat yang paling sering digunakan untuk mengukur kecepatan nyala laminar dan tinggi api karena kesederhanaan serta struktur nyala yang terdefinisi dengan baik. Nyala api lebih mudah untuk distabilkan, selanjutnya bentuk serta panjang nyala api tidak mudah terganggu oleh aliran *burner* [15].

Beberapa penelitian mengenai kecepatan pembakaran laminar dari berbagai bahan bakar juga telah banyak dipublikasikan. Seperti yang dilakukan oleh Bahri et al [16], yang membahas mengenai pencampuran bahan bakar pertamax dengan bioetanol ampas tebu. Selanjutnya pengujian bahan bakar bensin dengan penambahan etanol [17], hingga biodiesel nyamplung [18]. Sebelumnya pengujian mengenai pengaruh rasio ekuivalen terhadap kecepatan pembakaran laminar dan tinggi api telah dilakukan oleh Prasetyo et al [19], namun menggunakan bahan bakar campuran biodiesel kesambi dan metanol. Sejauh ini, riset mengenai kecepatan pembakaran laminar dan tinggi api dengan menggunakan metode eksperimental *bunsen burner* dari bahan bakar avgas 100 LL belum ditemukan. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibahas mengenai kecepatan pembakaran laminar dan tinggi api bahan bakar avgas 100 LL menggunakan metode eksperimental *bunsen burner* agar dapat diketahui lebih dalam mengenai karakteristik bahan bakar ini. Pengetahuan mengenai karakteristik bahan bakar ini menjadi sangat penting untuk dilakukan agar dapat menjadi acuan para peneliti selanjutnya dalam perkembangan menemukan bahan bakar alternatif pengganti avgas 100 LL yang lebih ramah lingkungan dengan mengurangi penggunaan timbal sebagai zat aditif [1], [3], [7], [20]. Seperti yang telah banyak dibahas para peneliti, penggunaan timbal pada avgas 100 LL mulai banyak diperhatikan, karena dapat menimbulkan dampak kesehatan yang tidak dapat diabaikan begitu saja [21]–[23].

## 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian adalah *aviation gasoline* (avgas 100 LL). Bahan bakar ini kemudian dilakukan pengujian *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui komponen penyusunnya.

Komponen mayor penyusun bahan bakar avgas 100 LL ditampilkan pada Tabel 1. Avgas 100 LL kemudian diuji menggunakan alat *bunsen burner*. Pengujian dilakukan dengan mengvariasikan debit bahan bakar untuk menyesuaikan rasio ekuivalen sesuai yang dikehendaki. Dari hasil api yang didapatkan kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui kecepatan pembakaran laminar dan tinggi api.

Tabel 1. Komponen mayor penyusun avgas 100 LL

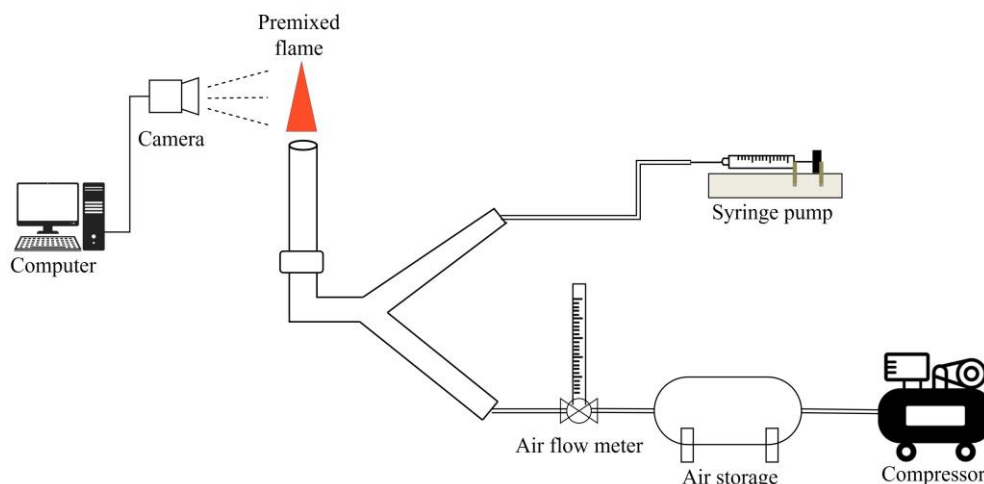
No.	Nama umum senyawa kimia	Rumus molekul	Volume (%)
1	Heksana	$C_6H_{14}$	0,27100271
2	Heptana	$C_7H_{16}$	21,54471545
3	Oktana	$C_8H_{18}$	59,48509485
4	Toluen	$C_6H_5CH_3$	6,368563686
5	Nonana	$C_9H_{20}$	8,536585366
6	Tridekana	$C_{13}H_{28}$	1,89701897
7	Dodekana	$C_{12}H_{26}$	0,948509485
8	Heksana etana	$C_8H_{20}$	0,948509485

### 2.1 Skema Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat uji *bunsen burner*. Gambar 1. mengilustrasikan skema dari *bunsen burner* yang digunakan pada eksperimen untuk pengujian kecepatan pembakaran laminar dan tinggi api premix. Bagian utama *bunsen burner* tempat tercampurnya udara-bahan bakar terbuat dari *stainless steel* dengan bentuk geometri *Y-Junction*. Ujung *burner* memiliki diameter 0,53 cm. Debit aliran bahan bakar disesuaikan dengan menggunakan *syringe pump*, sementara aliran udara didapatkan dari kompresor. Debit udara yang keluar dari kompresor kemudian disetting

menggunakan *flow meter* udara agar dapat diatur. Debit udara dan bahan bakar disesuaikan untuk mencapai rasio ekuivalen yang telah ditentukan, yaitu 0,8; 1,0 dan 1,2.

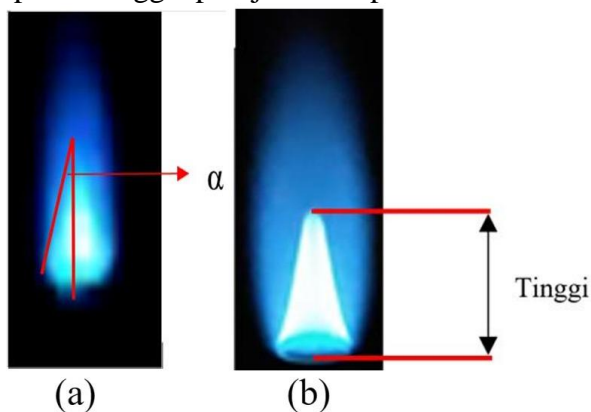
Nyala api kemudian direkam menggunakan kamera. Kamera ini ditempatkan sejajar dengan ujung burner dengan jarak 18 cm. Proses pengambilan video dilakukan pada setiap variasi sebanyak tiga kali percobaan untuk memastikan validitas data. Hasil video kemudian dikonversi menjadi bentuk gambar menggunakan perangkat lunak aplikasi AceMovie video editor.



Gambar 1. Skema alat penelitian

## 2.2 Analisis Data

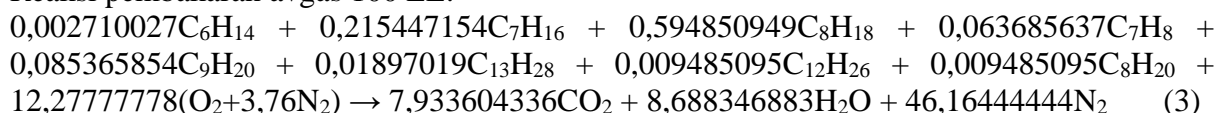
Analisis data kecepatan pembakaran laminar dan tinggi api didapatkan dari pengolahan tangkapan visual data dari kamera. Setelah data gambar nyala api yang terbaik telah didapatkan, dilanjutkan dengan mengukur sudut dan tinggi api premix menggunakan perangkat lunak Image-J. Untuk mengukur sudut nyala api, bentuk garis segitiga yang mengikuti kontur nyala api premix. Garis segitiga disesuaikan sehingga mencakup garis sisi terluar dari nyala api premix. Kemudian untuk mencerminkan garis tengah pada sudut kerucut api. Sudut yang didapat kemudian dibagi dengan angka dua untuk mengetahui sudut api ( $\alpha$ ). Ilustrasi pengambilan sudut api dan tinggi api dijabarkan pada Gambar 2



Gambar 2. Pengukuran : a) Sudut Api dan b) Tinggi Api [19].

Data sudut api yang didapat pada proses perhitungan pada Image-J kemudian diolah menjadi kecepatan pembakaran laminar. Untuk mendapatkan nilai kecepatan pembakaran laminar diperlukan perkalian antara sudut api ( $\alpha$ ) yang dihasilkan dengan kecepatan reaktan bahan bakar [19].

Reaksi pembakaran avgas 100 LL:



$$Air-fuel\ ratio\ (AFR)\ stokiometri.. = \frac{udara}{bahan\ bakar} \quad (4)$$

Perhitungan kecepatan pembakaran laminar dijabarkan melalui Persamaan 1.

$$S_L = V \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

Keterangan :

$S_L$  : kecepatan pembakaran laminar (cm/s)

$V$  : kecepatan reaktan (cm/s)

$\alpha$  : nilai sudut api ( $^\circ$ )

Kecepatan reaktan didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.

$$V = \frac{Q\ udara + Q\ bahan\ bakar}{A} \quad (2)$$

Keterangan :

$V$  : Kecepatan reaktan (cm/s)

$Q\ udara$  : Debit udara (ml/detik)

$Q\ bahan\ bakar$  : Debit bahan bakar (ml/detik)

$A$  : Luas penampang ( $cm^2$ )

## 3. Hasil dan Pembahasan

Sebelum pengambilan data tinggi dan kecepatan pembakaran terlebih dahulu dilakukan penyetaraan reaksi kimia dari bahan bakar avgas 100 LL. Penyetaraan reaksi kimia dilakukan dengan asumsi hanya komponen mayor pada Tabel 1 saja yang dijadikan reaktan kemudian direaksikan dengan udara (21% oksigen dan 79% nitrogen) kemudian menghasilkan produk pembakaran  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan  $N_2$  [24], [25]. Penyetaraan reaksi ditampilkan pada persamaan (3).

$$\begin{aligned}
&= \frac{10,89005 \text{ O}_2 + 3,76\text{N}_2}{0,002710027\text{C}_6\text{H}_{14} + 0,215447154\text{C}_7\text{H}_{16} + 0,594850949\text{C}_8\text{H}_{18} + 0,063685637\text{C}_7\text{H}_8 + 0,085365854\text{C}_9\text{H}_{20} + 0,01897019\text{C}_{13}\text{H}_{28} + 0,009485095\text{C}_{12}\text{H}_{26} + 0,009485095\text{C}_8\text{H}_{20}} \\
&= \frac{12,27777778 ((16 \times 2) + (14 \times 7,52))}{(7,933604336 \times 12) + (17,37669377 \times 1)} \\
&= \frac{1685,493333}{112,5799458} \\
&= 14,97 \text{ mol}
\end{aligned}$$

Setelah didapatkan hasil penyetaraan rekasi dan nilai AFR stokiometri, selanjutnya dilakukan proses eksperimen untuk mendapatkan visual gambar. Dapat diketahui dari eksperimen yang dilakukan gambaran visual struktur api yang ditampilkan pada Gambar 3. Dari visualisasi gambar yang diambil dapat diketahui tinggi api dan kecepatan pembakaran melalui pengolahan data menggunakan perangkat lunak Image-J.

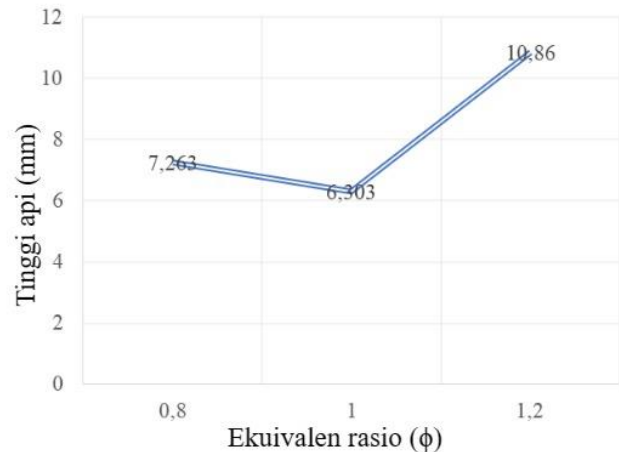


Gambar 3. Visualisasi struktur api

### 3.1 Tinggi Api

Gambar 4. menampilkan grafik tinggi api terhadap ekuivalen rasio. Dari grafik dapat diketahui bahwa nilai tinggi api terkecil di dapat dari ekuivalen rasio ( $\phi$ ) 1,0. Nilai ekuivalen rasio 1,0 merupakan campuran bahan bakar mendekati stokiometri. hal ini sesuai dengan penelitian yang disampaikan oleh Zhen et al [26]., dimana dalam penelitiannya menyebutkan bahwa tinggi api dipengaruhi oleh rasio campuran bahan bakar dan udara. Campuran bahan bakar dan udara yang nilainya menjauhi stokiometri akan diiringi oleh peningkatan tinggi api. Hal ini terjadi karena tinggi api terkait erat dengan konsumsi penuh uap bahan bakar, di mana tinggi api mencapai titik akhir ketika semua bahan bakar yang menguap telah terbakar habis. Tinggi api ditentukan oleh ketersediaan oksigen yang cukup untuk membakar bahan

bakar pada rasio stoikiometri. Data eksperimental pada Gambar 4 menunjukkan bahwa tinggi api semakin rendah saat rasio mendekati 1,0 yakni 6,303 mm. Hal ini mendukung konsep bahwa keseimbangan antara bahan bakar dan oksigen menjadi kunci dalam menentukan nilai tinggi api [27].

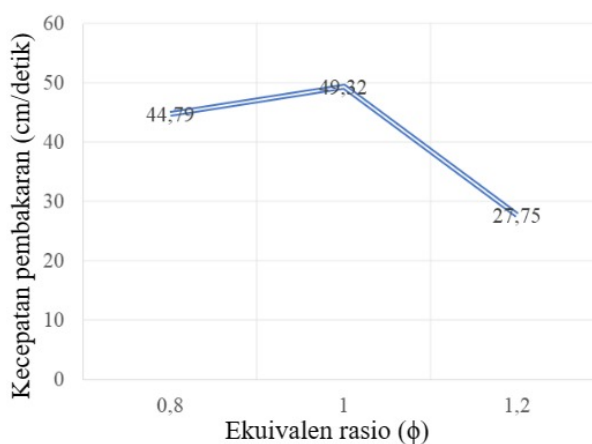


Gambar 4. Grafik tinggi api

### 3.2 Kecepatan Pembakaran ( $S_L$ )

Kecepatan pembakaran pada umumnya mengukur seberapa cepat nyala api dapat menyebar melalui campuran bahan bakar-udara yang belum terbakar. Kecepatan pembakaran dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, tekanan, komposisi campuran, dan sifat fisik gas. Kecepatan pembakaran yang lebih tinggi mengindikasikan pembakaran yang lebih efisien dan distribusi panas yang lebih baik. Menurut Zhou et al [28]. dalam buku miliknya, kecepatan pembakaran merupakan fenomena yang tergantung dari beberapa faktor, mulai dari perbandingan bahan bakar dan udara (*fuel/air ratio*) hingga sifat campuran bahan bakar. Nilai maksimum burning velocity umumnya tercapai pada rasio stoikiometrik, yang menandakan saat bahan bakar dan udara dicampur dalam proporsi yang tepat untuk

pembakaran sempurna. Gambar 5 menampilkan pengaruh ekuivalen rasio terhadap kecepatan pembakaran pada bahan bakar avgas 100 LL. Dapat diketahui dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 5, dibandingkan dengan ekuivalen rasio kecepatan pembakaran pada ekuivalen rasio 0,8 dan 1,2, nilai tertinggi kecepatan didapatkan pada ekuivalen rasio 1,0 yakni 49,31 cm/detik. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wu et al [29] dan Andrianto et al [30].



Gambar 5. Grafik kecepatan pembakaran laminar

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa, nilai ekuivalen rasio mempengaruhi nilai tinggi api dan kecepatan pembakaran pada bahan bakar avgas 100 LL. Selain itu nilai tinggi api dipengaruhi oleh kecepatan pembakaran dimana nilai tinggi api semakin rendah maka kecepatan pembakaran akan semakin besar. Nilai kecepatan pembakaran tertinggi didapatkan pada ekuivalen rasio 1,0 yakni 49,31 cm/detik, sedangkan tinggi api mendapatkan nilai terkecil yakni 6,303 mm. Studi kecepatan pembakaran dan tinggi api pada bahan bakar pesawat dengan mesin piston telah dibahas pada penelitian ini. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan mengenai beberapa pengembangan mengenai pencampuran dengan bahan bakar terbarukan.

#### Referensi

- [1] S. D. Sulung, D. D. Rumani, I. Qiram, M. N. C. H. Nasrullah, and U. L. N. Wibowo, "Impact of the fuel mixture ratio of AVGAS 100LL and RON 92 fuel on combustion characteristics," *Journal of Science Technology (JoSTec)*, vol. 5, no. 1, pp. 07–13, Aug. 2023, doi: 10.55299/jostec.v5i1.478.
- [2] G. J. Bishop and B. Elvers, "Aviation Gasoline (Avgas)\*," in *Handbook of Fuels*, Wiley, 2021, pp. 529–531. doi: 10.1002/9783527813490.ch25.
- [3] M. A. Ershov, N. A. Klimov, N. O. Burov, T. M. M. Abdellatief, and V. M. Kapustin, "Creation a novel promising technique for producing an unleaded aviation gasoline 100UL," *Fuel*, vol. 284, p. 118928, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2020.118928.
- [4] T. Kumar *et al.*, "Response surface methodology application in optimization of performance and exhaust emissions of RON 98, aviation gasoline 100LL and the blends in Lycoming O-320 engine," *Fuel*, vol. 256, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2019.115909.
- [5] J. Hospodka, H. Bínová, and S. Pleninger, "Assessment of All-Electric General Aviation Aircraft," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 23, p. 6206, Nov. 2020, doi: 10.3390/en13236206.
- [6] T. Kumar, R. Mohsin, Z. Abd. Majid, M. F. A. Ghafir, and A. M. Wash, "Experimental optimisation comparison of detonation characteristics between leaded aviation gasoline low lead and its possible unleaded alternatives," *Fuel*, vol. 281, p. 118726, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.118726.
- [7] M. S. Gökmen, H. Aydoğan, and İ. Doğan, "Effect of Gasoline-AVGAS Blends on Engine Performance of Engine with Direct Injection," *Bioenergy Studies, Black Sea Agricultural Research Institute*, vol.

- 1, no. 1, pp. 1–6, Dec. 2021, doi: 10.51606/bes.2021.1.
- [8] A. Manickam Wash, T. Kumar, R. Mohsin, Z. Abdul Majid, and M. Fahmi Abdul Ghafir, “Application of factor analysis in the determination of vapor lock tendency in aviation gasolines/motor gasoline/blends and the compatibility as alternatives in naturally aspirated aviation engines,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60, no. 6, pp. 5703–5724, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.aej.2021.04.012.
- [9] Y. Wei, C. Wei-wei, S. Yue-qin, Z. Xiao-long, and Z. Ying, “Effect of Aromatic Amine Antiknocks on the Properties of Grade 100 Unleaded Aviation Gasoline,” *Journal of East China University of Science and Technology*, vol. 43, no. 3, pp. 311–316, Mar. 2017, doi: 10.14135/j.cnki.1006-3080.2017.03.003.
- [10] L. Pizzuti, C. A. Martins, and P. T. Lacava, “Laminar burning velocity and flammability limits in biogas: A literature review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 62, pp. 856–865, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.05.011.
- [11] Z. Chen, M. P. Burke, and Y. Ju, “Effects of Lewis number and ignition energy on the determination of laminar flame speed using propagating spherical flames,” *Proceedings of the Combustion Institute*, vol. 32, no. 1, pp. 1253–1260, 2009, doi: 10.1016/j.proci.2008.05.060.
- [12] Y. Hua, L. Qiu, F. Liu, Y. Qian, and S. Meng, “Numerical investigation into the effects of oxygen concentration on flame characteristics and soot formation in diffusion and partially premixed flames,” *Fuel*, vol. 268, p. 117398, May 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.117398.
- [13] H. Xu, F. Liu, S. Sun, Y. Zhao, S. Meng, and W. Tang, “Effects of H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> diluted oxidizer on the structure and shape of laminar coflow syngas diffusion flames,” *Combust Flame*, vol. 177, pp. 67–78, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.combustflame.2016.12.001.
- [14] G. Jiancun *et al.*, “Effects of Magnetic Fields on Combustion and Explosion,” *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, vol. 58, no. 2, pp. 379–390, May 2022, doi: 10.1007/s10553-022-01395-3.
- [15] S. Hu *et al.*, “Assessment of uncertainties of laminar flame speed of premixed flames as determined using a Bunsen burner at varying pressures,” *Appl Energy*, vol. 227, pp. 149–158, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.09.083.
- [16] S. Bakhri, D. Wahyudi, and A. Muhammad, “Uji karakteristik nyala api pembakaran premix bioetanol dari ampas tebu,” *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 10, no. 2, Dec. 2021, doi: 10.24127/trb.v10i2.1694.
- [17] P. Dirrenberger *et al.*, “Laminar burning velocity of gasolines with addition of ethanol,” *Fuel*, vol. 115, pp. 162–169, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.fuel.2013.07.015.
- [18] I. R. Sugara, N. Ilminafik, S. Junus, M. N. Kustanto, and Y. Hermawan, “Experimental Study on the Effect of Magnetic Fields on Combustion Characteristics of Biodiesel from Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*),” *Automotive Experiences*, vol. 6, no. 1, pp. 122–132, Apr. 2023, doi: 10.31603/ae.8328.
- [19] D. H. T. Prasetyo and D. Wahyudi, “Pengaruh rasio ekuivalen dan komposisi bahan bakar terhadap karakteristik api dengan menggunakan bahan bakar biodiesel kesambi,” *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 11, no. 2,

- Dec. 2022, doi: 10.24127/trb.v11i2.2247.
- [20] FAA, “Unleaded AVGAS Transition Aviation Rulemaking Committee FAA UAT ARC Final Report Part II Appendices,” Feb. 2012. Accessed: Dec. 14, 2022. [Online]. Available: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/rulemaking/committees/documents/media/Avgas.ARC.RR.Appendix.2.17.12.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/rulemaking/committees/documents/media/Avgas.ARC.RR.Appendix.2.17.12.pdf)
- [21] T. Kumar, R. Mohsin, M. F. A. Ghafir, I. Kumar, and A. M. Wash, “Concerns over use of leaded aviation gasoline (AVGAS) fuel,” *Chem Eng Trans*, vol. 63, pp. 181–186, 2018, doi: 10.3303/CET1863031.
- [22] O. Altuntas, “Lead emissions from the use of leaded avgas in Turkey,” *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol. 93, no. 3, pp. 493–501, Jun. 2021, doi: 10.1108/AEAT-05-2020-0108.
- [23] S. Zahran, C. Keyes, and B. Lanphear, “Leaded aviation gasoline exposure risk and child blood lead levels,” *PNAS Nexus*, vol. 2, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.1093/pnasnexus/pgac285.
- [24] Y. Jiang, A. Gruber, K. Seshadri, and F. Williams, “An updated short chemical-kinetic nitrogen mechanism for carbon-free combustion applications,” *Int J Energy Res*, vol. 44, no. 2, pp. 795–810, Feb. 2020, doi: 10.1002/er.4891.
- [25] F. Sher, S. Z. Iqbal, H. Liu, M. Imran, and C. E. Snape, “Thermal and kinetic analysis of diverse biomass fuels under different reaction environment: A way forward to renewable energy sources,” *Energy Convers Manag*, vol. 203, p. 112266, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112266.
- [26] H. S. Zhen, C. W. Leung, C. S. Cheung, and Z. H. Huang, “Combustion characteristic and heating performance of stoichiometric biogas–hydrogen–air flame,” *Int J Heat Mass Transf*, vol. 92, pp. 807–814, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.09.040.
- [27] K.- Chung Tsai and D. Drysdale, “Flame height correlation and upward flame spread modelling,” *Fire Mater*, vol. 26, no. 6, pp. 279–287, Nov. 2002, doi: 10.1002/fam.809.
- [28] L. Zhou, “Fundamentals of Combustion Theory,” in *Theory and Modeling of Dispersed Multiphase Turbulent Reacting Flows*, Elsevier, 2018, pp. 15–70. doi: 10.1016/B978-0-12-813465-8.00003-X.
- [29] Y. Wu, B. Rossow, V. Modica, X. Yu, L. Wu, and F. Grisch, “Laminar flame speed of lignocellulosic biomass-derived oxygenates and blends of gasoline/oxygenates,” *Fuel*, vol. 202, pp. 572–582, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.fuel.2017.04.085.
- [30] D. tomy Andrianto, Muh. N. Kustanto, Y. Hermawan, N. Ilminnafik, and S. Junus, “A study on Flame Characteristics Premixed Burning by Giving Magnetic Field Induction,” *Jurnal Polimesin*, vol. 21, no. 2, Apr. 2023, doi: 10.30811/jpl.v21i2.3497.