

Uji Karakteristik Nyala Api Menggunakan Metode Pembakaran Droplet Pada Bahan Bakar Diesel Dengan Penambahan Biodiesel Kesambi

Dani Hari Tunggal Prasetyo^{1*}, Hartawan Abdillah², Djoko Wahyudi³, Alief Muhammad⁴, Mas Ahmad Baihaqi⁵

^{1,3,4} Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Panca Marga

^{2,5} Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Panca Marga

Jl. Yos Sudarso 107, Pabean, Dringu, Probolinggo, Jawa Timur, Indonesia

* Corresponding author: dani.hari59@gmail.com

Abstract

Population growth and rapid technological developments cause energy needs to increase. Energy needs are dominated by fossil sources, especially petroleum. However, the level of energy utilization from fossil sources does not allow it to last long, this is because fossil energy sources have limitations. Therefore, it is necessary to use alternative energy sources, one of which is biodiesel. Biodiesel can be obtained from plants. One type of plant that can produce biodiesel is the kesambi plant. However, before it is mass produced and used in transportation and industrial machines, it needs to be tested first. One of them is the combustion test using the droplet method. In this research, a droplet combustion test was carried out using diesel fuel mixed with kesambi biodiesel. The composition of the biodiesel mixture with diesel fuel is 10%, 20% and 30%. Research was carried out to obtain data on flame visualization, ignition delay, flame height, flame duration and combustion temperature. The droplet combustion method test was carried out by dripping 0.5 ml of fuel into the heater. The research results show that pure diesel fuel produces the highest temperature and the fastest ignition delay time. The flame height of pure diesel fuel is also the highest. However, the ignition duration depends on the composition of pure biodiesel fuel without any mixture.

Keywords: Biodiesel, Characteristics, Diesel, Droplets, Kesambi.

Abstrak

Pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi yang pesat menyebabkan kebutuhan energi semakin meningkat. Kebutuhan energi lebih didominasi oleh sumber fosil, khususnya minyak bumi. Namun tingkat pemanfaatan energi dari sumber fosil tidak memungkinkan untuk bertahan lama, hal ini dikarenakan sumber energi fosil mempunyai keterbatasan. Oleh karena itu perlu digunakan sumber energi alternatif, salah satunya biodiesel. Biodiesel dapat diperoleh dari tumbuhan. Salah satu jenis tanaman yang dapat menghasilkan biodiesel adalah tanaman kesambi. Namun sebelum diproduksi secara massal dan digunakan pada mesin transportasi dan industri, perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu. Salah satunya adalah uji pembakaran dengan metode droplet. Pada penelitian ini dilakukan uji pembakaran droplet menggunakan bahan bakar diesel dengan dicampur biodiesel kesambi. Komposisi campuran biodiesel terhadap bahan bakar diesel sebesar 10%, 20% dan 30%. Penelitian dilakukan untuk memperoleh data visualisasi nyala api, ignition delay, tinggi api, lama nyala api dan temperatur pembakaran. Pengujian metode pembakaran droplet dilakukan dengan meneteskan bahan bakar pada heater sebesar 0,5 ml. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar diesel murni menghasilkan temperatur tertinggi dan waktu tunda penyalaan tercepat. Tingginya nyala api pada bahan bakar diesel murni juga paling tinggi. Namun lama penyalaannya terletak pada komposisi bahan bakar biodiesel murni tanpa campuran.

Kata kunci: Biodiesel, Diesel, Droplet, Kesambi.

1. Pendahuluan

Jumlah penduduk yang terus meningkat diikuti dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat menyebabkan permintaan energi fosil semakin meningkat [1,2]. Energi fosil khususnya minyak bumi menjadi sumber energi yang lebih dominan diaplikasikan pada sektor industri, transportasi dan pembangkit energi [2,3]. Namun, minyak bumi memiliki keterbatasan jumlah yang tersedia di alam [5,6]. Jika eksploitasi minyak bumi semakin meningkat maka dapat diprediksi minyak bumi akan habis pada beberapa tahun mendatang. Pada 2010, konsumsi kendaraan berbahan bakar solar mencapai 174.669 ribu barel [7]. Oleh sebab itu diperlukan langkah konkrit untuk mengurangi ketergantungan pada minyak bumi yang masih bersumber dari energi fosil. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah dengan memulai penggunaan energi alternatif.

Energi alternatif dapat diperoleh dari sumber nabati [8]. Salah satu energi alternatif adalah biodiesel. Biodiesel merupakan energi alternatif yang tersusun atas rantai panjang asam lemak dan terdiri dari campuran mono-alkyl ester [9]. Oleh sebab itu, biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel baik sebagai campuran maupun digunakan secara langsung. Biodiesel bersifat ramah lingkungan karena dapat menurunkan emisi gas buang kendaraan [10]. Selain itu, biodiesel memiliki angka cetana yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel fosil [11]. Manfaat lain biodiesel yaitu, bersumber dari nabati dan salah satunya dapat diperoleh dari tanaman kesambi [12].

Tanaman kesambi memiliki nama ilmiah *schleichera oleosa* yang berasal dari keluarga *sapindaceae*. Tanaman kesambi dapat dijumpai di wilayah tropis dan subtropis salah satunya di Indonesia [13]. Tinggi

tanaman kesambi dapat mencapai 40 meter [14]. Batang kesambi memiliki ciri tegak dan memiliki daun majemuk. Pada tanaman kesambi juga terdapat buah yang memiliki bentuk bulat dan berwarna cokelat kehitaman. Buah kesambi dapat menghasilkan minyak melalui proses ekstraksi. Jika ditinjau dari kandungannya, minyak kesambi kaya akan asam lemak tak jenuh dan antioksidan. Minyak kesambi juga mengandung senyawa trigliserida, yang merupakan komponen utama dalam produk biodiesel [15]. Jika minyak kesambi digunakan sebagai biodiesel maka akan berdampak pada pengurangan dan ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Biodiesel sebagai bahan bakar alternatif diproses melalui reaksi transesterifikasi. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi kimia yang melibatkan molekul trigliserida dan alkohol pada gugus ester. Selain itu, proses transesterifikasi melibatkan katalis yang berfungsi untuk meningkatkan laju reaksi. Laju reaksi akan mengkonversi trigliserida menjadi biodiesel. Namun produk biodiesel yang telah selesai diproduksi perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Pengujian karakteristik biodiesel salah satunya dapat dilakukan dengan uji pembakaran dengan metode pembakaran droplet. Pengujian dengan metode pembakaran droplet dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan bakar seperti *ignition delay*, tinggi api, temperatur pembakaran dan visualisasi serta lama nyala api. Data hasil pengujian pembakaran droplet membantu dalam memahami sejauh mana bahan bakar dapat terbakar secara efisien. Informasi ini penting untuk meningkatkan efisiensi mesin atau sistem pembakaran, sehingga mengurangi ketergantungan dan konsumsi bahan bakar serta emisi gas buang yang dihasilkan.

Penelitian sintesis biodiesel kesambi pernah dilakukan oleh Ong dkk pada tahun 2020. Penelitian sintesis biodiesel dilakukan dengan membandingkan berbagai jenis produk minyak yang diperoleh dari biji sawit, anggur dan kesambi. Untuk memperoleh minyak dari masing-masing biji dilakukan proses ekstraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak kesambi memenuhi standar ASTM D7467 [16]. Penelitian biodiesel juga pernah dilakukan oleh Bachtiar dkk pada tahun 2019 dengan melakukan penelitian uji pembakaran difusi. Bahan bakar yang digunakan adalah biodiesel nyamplung. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan debit aliran bahan bakar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar debit bahan bakar maka laju pembakaran semakin tinggi [17]. Selain itu, Winarko dkk pada tahun 2022 melakukan penelitian tentang pembakaran droplet dengan menggunakan biodiesel nyamplung. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan medan magnet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa medan magnet mempengaruhi temperatur pembakaran, *ignition delay*, dan tinggi nyala api. Medan magnet mempengaruhi pembakaran dikarenakan terjadi tumbukan antar molekul saat pembakaran [18].

Dari beberapa penelitian biodiesel yang pernah dilakukan seperti uji pembakaran difusi, pembakaran *premixed* dan uji pembakaran dengan analisa pengaruh medan magnet pada biodiesel nyamplung, diperlukan juga penelitian lebih lanjut pada biodiesel kesambi. Hal ini dikarenakan masih jarang ditemui uji pembakaran dengan metode droplet pada biodiesel kesambi. Selain itu, setiap bahan bakar memiliki karakteristik kimia yang berbeda-beda. Hal ini tentunya mempengaruhi reaksi pembakaran yang terjadi. Uji pembakaran droplet atau biasa disebut dengan droplet *combustion test* merupakan metode atau eksperimen yang digunakan untuk menganalisa karakteristik

pembakaran. Peneliti uji pembakaran droplet dilakukan untuk memperoleh data visualisasi nyala api, *ignition delay*, tinggi api, lama nyala api dan temperatur pembakaran. Data yang telah diperoleh digunakan untuk menganalisa kualitas bahan bakar. Hasil pengujian diharapkan menjadi informasi dari kualitas bahan bakar diesel yang telah ditambahkan dengan bahan bakar biodiesel dari kesambi.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian pada uji karakteristik pembakaran pada bahan bakar diesel dengan penambahan biodiesel kesambi dilakukan dengan metode eksperimental. Metode eksperimental dilakukan dengan pengamatan visualisasi nyala api secara langsung untuk mengetahui nilai *ignition delay*, tinggi api, temperatur pembakaran dan visualisasi serta lama nyala api. Namun sebelum pengujian dilakukan sintesis biodiesel dari minyak kesambi terlebih dahulu. Hal ini dilakukan karena minyak kesambi menjadi produk tambahan atau campuran pada bahan bakar diesel murni (biosolar dan dextrite). Produk biodiesel kesambi melalui sintesis dapat diamati pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristi biodiesel kesambi SNI 7182 : 2015

Karakteristik	Standar SNI	Data hasil pengujian
Nilai kalor (cal/g)	-	8.867
<i>Flash point</i> (°C)	100	112
Densitas (kg/m ³)	850-890	866
Viskositas (cSt)	2,3-6,0	3,8

Setelah produk biodiesel kesambi telah memenuhi standart SNI 7182 : 2015 maka produk biodiesel kesambi dicampur dengan bahan bakar diesel murni. Bahan bakar diesel yang digunakan berjenis biosolar dan dextrite. Bahan bakar ditulis dengan kode seperti biosolar (B), dextrite (D) dan biodiesel kesambi (K). Bahan bakar yang akan di uji merupakan kombinasi campuran antara bahan bakar diesel murni (biosolar dan dextrite) dengan bahan

bakar biodiesel kesambi. Komposisi campuran bahan bakar dapat diamati pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi campuran bahan bakar diesel dengan biodiesel kesambi

Komposisi Bahan Bakar		Kode
Kesambi 100 %	-	K100
Biosolar 100%	-	S100
Dexlite 100%	-	D100
Dexlite 90%	Kesambi 10%	D90K10
Dexlite 80%	Kesambi 20%	D80K20
Dexlite 70%	Kesambi 30%	D70K30
Biosolar 90%	Kesambi 10%	S90K10
Biosolar 80%	Kesambi 20%	S80K20
Biosolar 70%	Kesambi 30%	S70K30

Setelah bahan bakar diesel murni dicampur dengan biodiesel kesambi sesuai dengan komposisi pada Tabel 2 maka penelitian dilanjutkan dengan pengujian karakteristik bahan bakar sesuai dengan komposisi masing-masing bahan bakar. Standar SNI bahan bakar nabati jenis diesel dapat diamati pada Tabel 3.

Tabel 3. Standar SNI Bahan Bakar Nabati Jenis Diesel Nabati

No	Parameter uji	Satuan	Batasan		SNI
			Min.	Maks	
1	Nilai kalor	cal/g	-	-	
2	Flash point	°C, min	100	-	7182
3	Densitas (40°C)	kg/m ³	850	890	7182
4	Viskositas kinematik (40°C)	cSt	2.3	6.0	7182

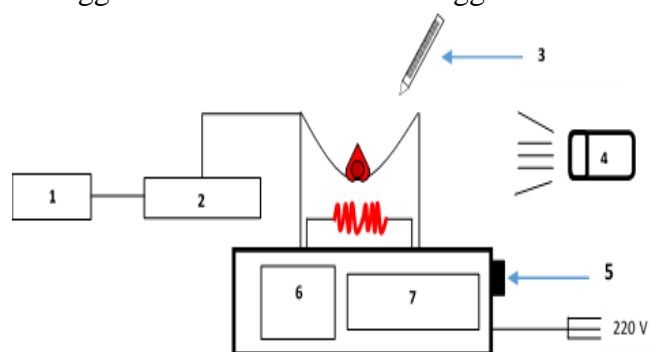
Pada Tabel 4 dapat diamati hasil pengujian karakteristik bahan bakar campuran sebelum dilakukan pengujian pembakaran droplet. Hasil pengujian menunjukkan bahan bakar yang akan dilakukan pengujian memenuhi standart SNI 7182 : 2015.

Tabel 4. Nilai fisik bahan bakar

Biosolar dengan biodiesel kesambi				
Nilai fisik	S100	S90K10	S80K20	S70K30
Nilai Kalor (cal/g)	10.624	10.524	10.257	10.198
Flash Point (°C)	57	61	65	68
Densitas (kg/m ³)	846	851	861	865
Viskositas (cSt)	2,29	2,38	2,60	2,73
Dexlite dengan biodiesel kesambi				
Nilai fisik	D100	D90K10	D80K20	D70K30
Nilai Kalor (cal/g)	10.987	10.765	10.547	10.365
Flash Point (°C)	55	58	60	63
Densitas (kg/m ³)	837	843	856	862
Viskositas (cSt)	2,01	2,16	2,29	2,54

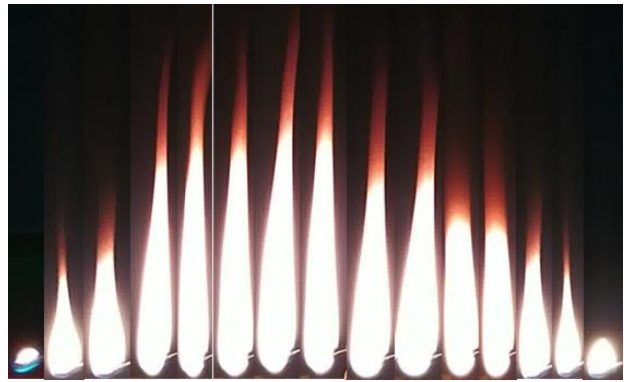
Setelah bahan bakar telah dipersiapkan maka langkah selanjutnya mempersiapkan alat uji pembakaran droplet. Alat uji pembakaran droplet diawali dengan mempersiapkan data logger yang berfungsi untuk mendeteksi temperatur pembakaran api dan kamera sebagai perekam visualisasi nyala api. Volume bahan bakar yang digunakan sebesar 0,5 ml. Bahan bakar diteteskan pada ujung nikelin yang tersambung dengan *thermocouple tipe K* dengan menggunakan *syringe*. Untuk memicu pembakaran komponen yang digunakan adalah *heater*. Jarak antara *heater* dengan *thermocouple* sebesar 8 mm. Temperatur pembakaran diatur dengan menggunakan *thermocontrol*. *Thermocouple* dihubungkan pada kawat nikelin tempat api menyala agar data logger dapat merekam temperatur api dari awal hingga padam. Selain itu, nyala api direkam dengan menggunakan kamera untuk memperoleh data visual.

Hasil pengujian akan diperoleh temperatur pembakaran, *ignition delay*, lama waktu nyala api dan visualisasi nyala api. *Ignition delay* adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyalakan droplet, dimana waktu dimulai setelah *heater* dinyalakan hingga droplet terbakar (terbentuk nyala api). Visualisasi nyala api dilakukan untuk menganalisa tinggi dan lama nyala api. Hasil penelitian akan dibandingkan komposisi bahan bakar yang digunakan saat pengujian sesuai Tabel 2. Data diperoleh dari proses perekaman dengan menggunakan kamera dan data logger



Gambar 1. Skema pengujian

Keterangan	
Data logger	: 1
Thermocouple	: 2
Pipet	: 3
Kamera	: 4
Saklar on/off	: 5
Digital hertz	: 6
Thermocontrol	: 7



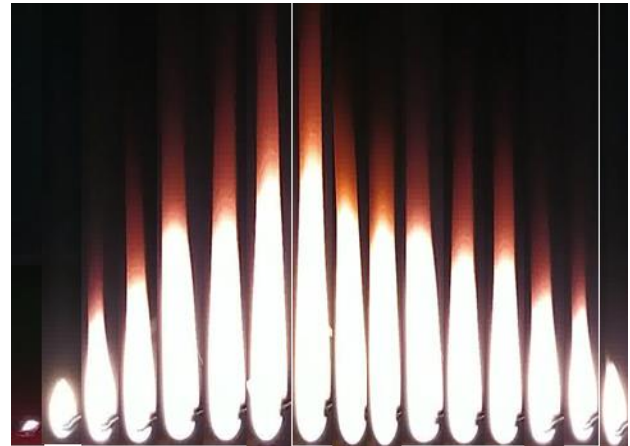
Gambar 4. Komposisi bahan bakar D80K20

3. Hasil dan Pembahasan

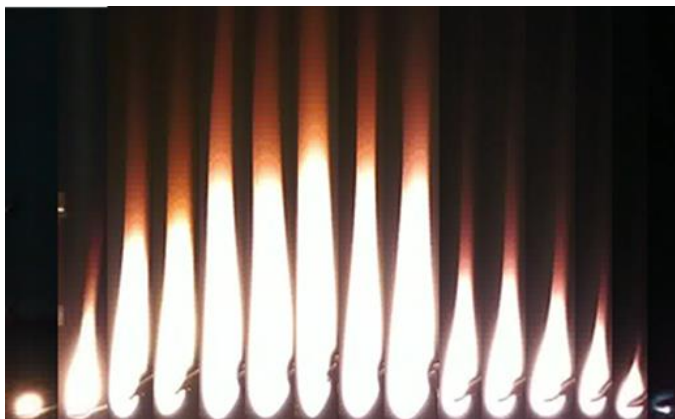
Hasil pengujian bahan bakar diesel dengan penambahan biodiesel kesambi menghasilkan data visualisasi, *ignition delay*, tinggi api, temperatur pembakaran dan lama nyala api. Pembahasan hasil penelitian dibahas pada sub bab a hingga hingga e.

a. Visualisasi nyala api

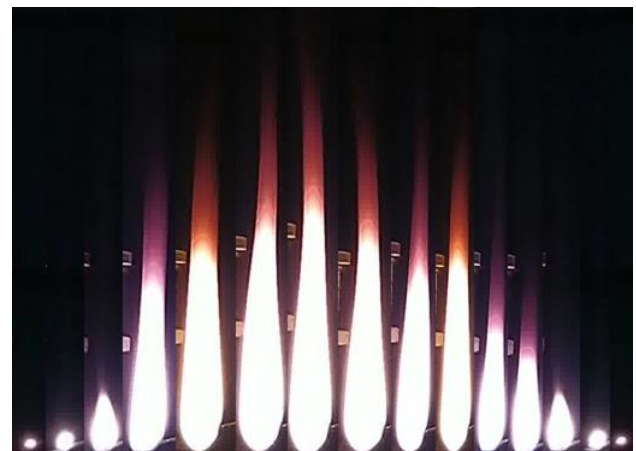
Visualisasi nyala api dapat diamati pada Gambar 2 hingga 9 dengan variasi komposisi bahan bakar.



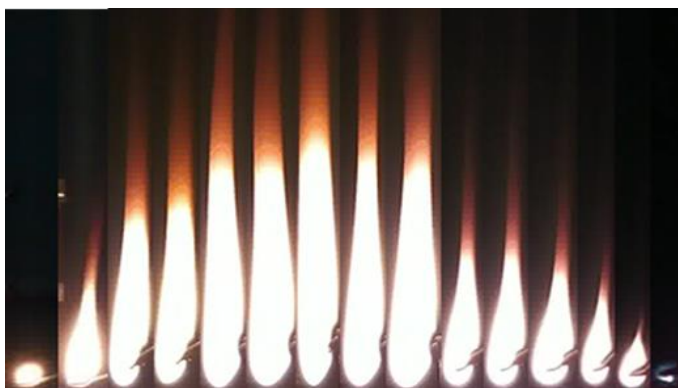
Gambar 5. Komposisi bahan bakar D70K30



Gambar 2. Komposisi bahan bakar D100



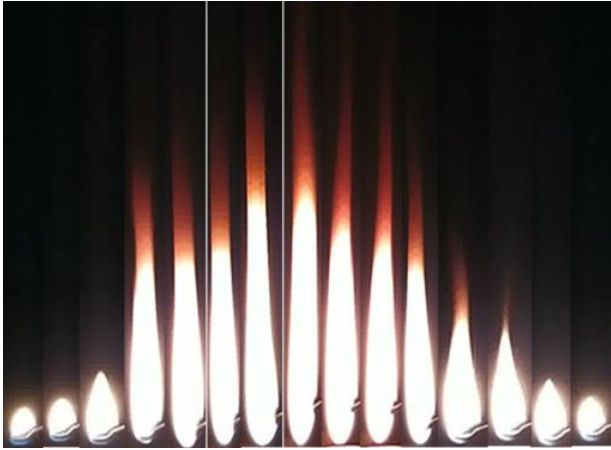
Gambar 6. Komposisi bahan bakar S100



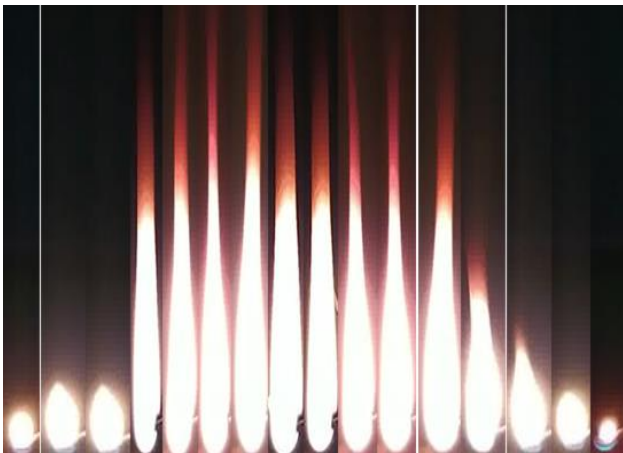
Gambar 3. Komposisi bahan bakar D90K10



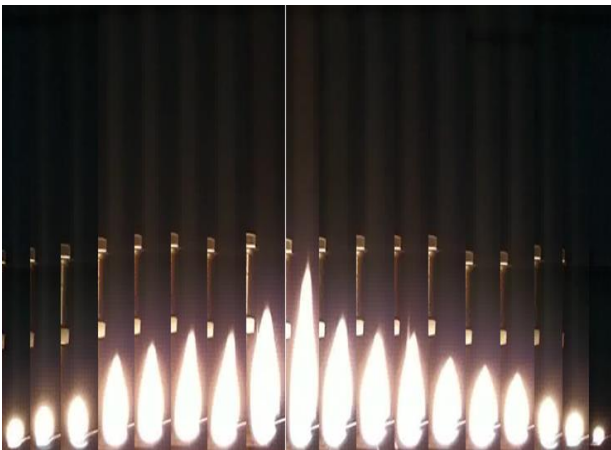
Gambar 7. Komposisi bahan bakar S90K10



Gambar 8. Komposisi bahan bakar S80K20



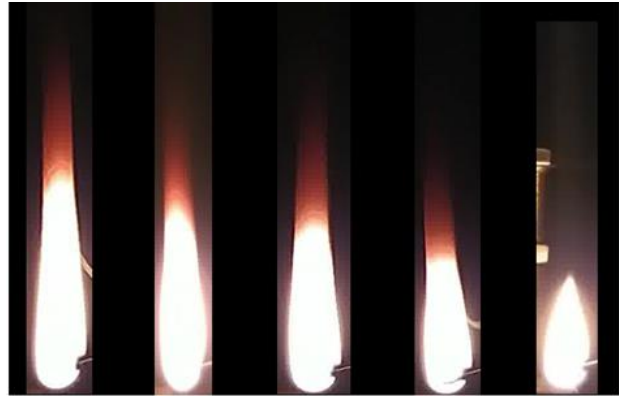
Gambar 9. Komposisi bahan bakar D80K30



Gambar 10. Komposisi bahan bakar K100

Pada Gambar 2 hingga 10 terlihat gambar pembakaran api pada berbagai komposisi bahan bakar sesuai dengan Tabel 2. Perbandingan gambar menunjukkan reaksi pembakaran dengan menggunakan bahan bakar diesel murni menghasilkan jelaga yang

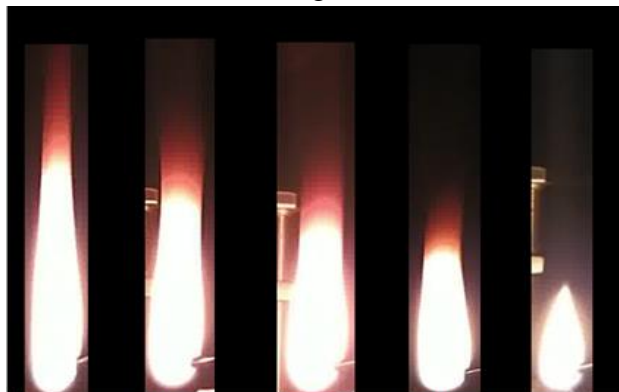
lebih banyak. Namun dengan penambahan biodiesel menunjukkan semakin berkurang jelaga saat proses pembakaran. Perbandingan pembakaran dengan komposisi bahan bakar biosolar dengan biodiesel kesambi yang dapat diamati pada Gambar 11.



S100 S90K10 S80K20 S70K30 K100

Gambar 11. Perbandingan Jelaga dengan komposisi bahan bakar biosolar dengan biodiesel kesambi

Kemudian pada Gambar 12 ditunjukkan jelaga hasil pembakaran dengan komposisi bahan bakar dexlite dengan biodiesel kesambi.



D100 D90K10 D80K20 D70K30 K100

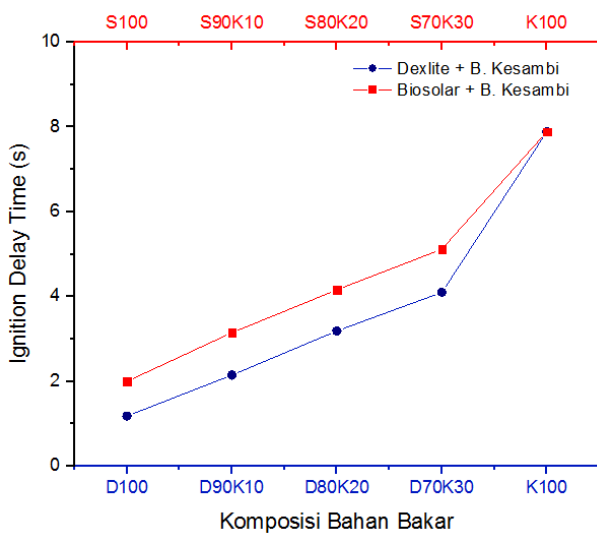
Gambar 12. Perbandingan Jelaga dengan komposisi bahan bakar dexlite dengan biodiesel kesambi

Biodiesel yang berasal dari minyak nabati memiliki kandungan asam lemak yaitu lauric dan myristic [19]. Asam lemak yang terkandung pada biodiesel dapat mengikat partikel jelaga saat reaksi pembakaran droplet. Selain itu, biodiesel memiliki kualitas reaktif dan kapasitas molekul untuk terlibat dalam proses kimia selama proses pembakaran yang dipengaruhi oleh adanya atom hetero dalam molekul seperti oksigen atau nitrogen. Adanya

oksigen menyebabkan reaksi pembakaran menjadi lebih sempurna.

b. Ignition delay

Ignition delay merupakan periode waktu ketika bahan bakar bercampur dengan udara hingga terjadi proses pembakaran [20]. *Ignition delay* merujuk pada waktu yang dibutuhkan oleh komposisi bahan bakar dan udara sejak awal hingga terjadi pembakaran yang cepat. Pada mesin pembakaran dalam *ignition delay* penting, hal ini dikarenakan dapat mempengaruhi kinerja yang optimal, konsumsi bahan bakar yang efisien dan emisi yang rendah. *Ignition delay* yang terjadi pada metode pembakaran droplet dengan menggunakan bahan bakar diesel dengan campuran biodiesel kesambi dapat diamati pada Gambar 13.



Gambar 13. Hubungan *ignition delay* terhadap komposisi bahan bakar.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *ignition delay* tertinggi terletak pada bahan bakar biodiesel murni (K100) sebesar 7.89 s. Pada bahan bakar diesel murni S100 dan D100 memiliki nilai *ignition delay* terendah masing-masing sebesar 2,00 s dan 1,18 s. Namun, penambahan biodiesel pada bahan bakar diesel (dexlite dan biosolar) murni menghasilkan nilai *ignition delay* menjadi tinggi. Pada

komposisi S90K10, S80K20 dan S70K30 menghasilkan *ignition delay* masing-masing sebesar 3,15; 4,16 dan 5,12 s. Untuk komposisi bahan bakar D90K10, D80K20 dan D70K30 menghasilkan *ignition delay* masing-masing sebesar 1,18; 2,15; 3,19; dan 4,10. Pada Gambar 12 dapat diamati bahwa nilai *ignition delay* bertambah seiring dengan meningkatnya komposisi biodiesel pada bahan bakar diesel murni seperti biosolar dan dexlite.

Jika ditinjau pada Tabel 4 dapat diamati bahwa seiring dengan penambahan komposisi biodiesel tampak bahwa nilai *flash point* semakin meningkat pada masing-masing campuran bahan bakar. *Flash point* atau titik nyala merupakan temperatur terendah pada kondisi udara dan bahan bakar menjadi uap hingga terjadi proses pembakaran. Bahan bakar biosolar dan dexlite ketika dicampur dengan biodiesel kesambi menghasilkan nilai *flash point* yang tinggi. Nilai *flash point* semakin tinggi pada bahan bakar campuran disebabkan oleh kandungan oksigen dan rantai hidrokarbon yang lebih panjang [21]. Rantai hidrokarbon yang panjang akan menyebabkan bahan bakar lebih sulit terbakar. Nilai *flash point* yang tinggi pada bahan bakar menyebabkan lebih condong pada pembakaran spontan. Oleh karena itu, semakin tinggi nilai *flash point* pada bahan bakar menyebabkan waktu penyalaan semakin lama. Jika ditinjau dari besaran nilai *flash point* pada biodiesel kesambi memiliki nilai sebesar 112⁰C. Jadi semakin banyak komposisi volume biodiesel menyebabkan nilai *flash point* bahan bakar diesel murni semakin meningkat.

Jika ditinjau dari nilai viskositas, bahan bakar diesel murni memiliki nilai viskositas yang lebih rendah. Saat bahan bakar diesel ditambahkan dengan dengan biodiesel menyebabkan nilai viskositas menjadi meningkat. Viskositas bahan bakar yang tinggi

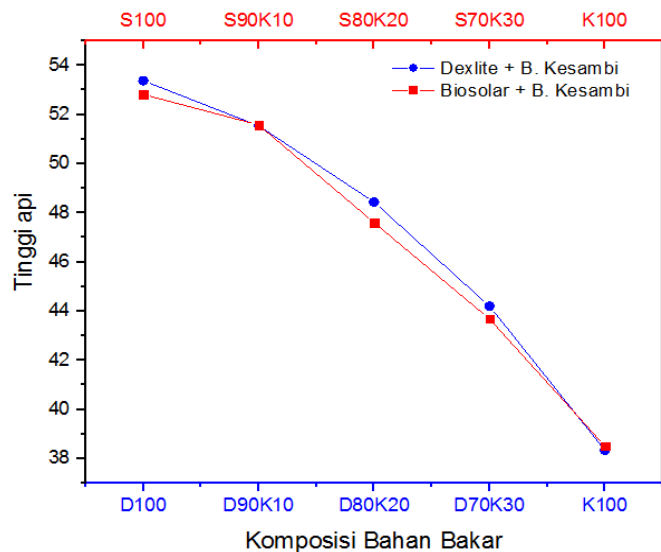
menyebabkan bahan bakar kesulitan untuk bercampur dengan udara secara homogen. Campuran yang kurang homogen dapat mempengaruhi kecepatan reaksi kimia selama *ignition delay*, karena reaksi *ignition delay* bergantung pada kontak dan difusi molekul-molekul pada komposisi campuran. Oleh karena itu, viskositas yang tinggi pada bahan bakar mengakibatkan *ignition delay* yang lebih lama.

Jika ditinjau dari faktor yang lain, komposisi udara yang homogen menentukan nilai *ignition delay*. Komposisi bahan bakar yang homogen menunjukkan keterlambatan penyalaan. Situasi ini disebabkan oleh kemampuan molekul bahan bakar untuk menyebarkan udara ke seluruh komposisi molekul pembakaran. Selain itu, Viskositas yang lebih tinggi dapat memperlambat difusi massa molekul-molekul bahan bakar dalam campuran, sehingga dapat memperpanjang *ignition delay*. Jika ditinjau dari jenis dan struktur molekul, terdapat molekul hidrokarbon pada bahan bakar yang dapat memengaruhi *ignition delay*. Hidrokarbon yang memiliki karakteristik lebih ringan dan lebih mudah menguap dan cenderung memiliki *ignition delay* yang lebih pendek. Bahan bakar diesel murni memiliki hidrogen yang lebih pendek. Oleh sebab itu nilai *ignition delay* bahan bakar diesel murni lebih rendah.

c. Tinggi api

Nyala api yang stabil dan mudah terbakar dapat ditinjau dari nilai tinggi api. Hasil pengujian pembakaran dengan metode pembakaran droplet menghasilkan data tinggi api. Tinggi api tertinggi terletak pada komposisi campuran bahan bakar 0% biodiesel seperti D100 dan S100. Masing-masing tinggi api sebesar 53,37 mm dan 51,06 mm. Namun, nilai tinggi api terendah terletak pada bahan bakar biodiesel kesambi. Bahan bakar

biodiesel menghasilkan nilai tinggi api sebesar 38,33 mm. Data hasil pengujian dapat diamati pada Gambar 14 sebagai berikut.



Gambar 14. Nilai tinggi api pada tiap komposisi bahan bakar

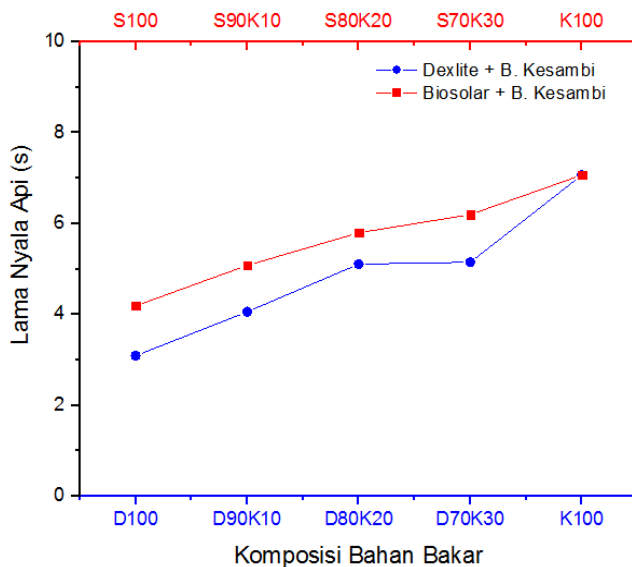
Setiap komposisi bahan bakar pada Gambar 14 memiliki nilai tinggi api yang beragam. Nilai tinggi api dengan komposisi campuran biodiesel menunjukkan penurunan nilai tinggi api. Hal ini disebabkan oleh nilai kalor yang lebih rendah pada komposisi bahan bakar campuran. Nilai kalor pada masing-masing komposisi bahan bakar dapat diamati pada Tabel 4. Pada setiap komposisi bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda. Nilai kalor yang rendah mempengaruhi jumlah panas yang dihasilkan selama pembakaran. Nilai kalor yang rendah menyebabkan bahan bakar lebih sulit menguap dan sulit terbakar sehingga api cenderung menghasilkan nilai tinggi yang lebih rendah.

Jika ditinjau dari nilai *flash point* terhadap nilai tinggi api pada masing-masing bahan bakar terdapat hubungan yang dapat dianalisa. Semakin banyak volume biodiesel sebagai campuran biodiesel menyebabkan tinggi api semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh nilai *flash point*. Nilai *flash point* yang semakin tinggi berbanding terbalik

dengan nilai tinggi api yang dihasilkan. Nilai tinggi api yang dihasilkan dipengaruhi oleh sifat kimia bahan bakar. Sifat kimia tersebut yaitu panjang rantai karbon pada molekul karbon. Semakin panjang rantai karbon maka titik didih semakin meningkat sedangkan proses pembakaran menjadi lebih lambat. Hal ini ditimbulkan oleh karakteristik dari rantai karbon yang lebih panjang sehingga stabilitas molekul terganggu.

d. Lama nyala api

Hasil pengujian pembakaran droplet dengan menggunakan bahan bakar diesel murni (biosolar dan dexlite) dengan campuran biodiesel kesambi menghasilkan data lama nyala api. Nilai nyala api dihasilkan dari lama pembakaran api pada masing-masing komposisi bahan bakar. Data lama nyala api dapat diamati pada Gambar 15.



Gambar 15. Data lama nyala api

Pada Gambar 15 dapat diamati komposisi bahan bakar S100 dan D100 menghasilkan data lama nyala api terendah dibandingkan dengan komposisi bahan bakar yang lain. Lama nyala api pada komposisi S100 dan D100 masing-masing sebesar 4,19 dan 3,09 detik. Lama nyala api tertinggi terletak pada bahan bakar biodiesel murni. Lama nyala api

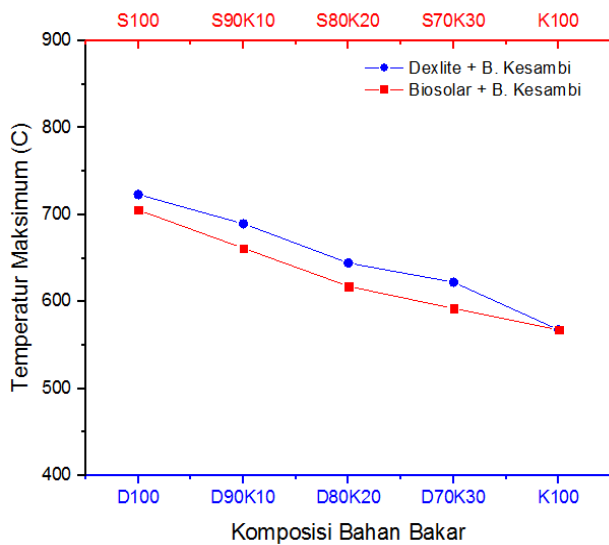
pada komposisi K100 sebesar 7,07 detik. Selain itu, komposisi bahan bakar diesel murni yang ditambahkan dengan biodiesel kesambi menghasilkan nilai lama nyala api yang semakin meningkat.

Biodiesel menghasilkan data lama nyala api lebih lama jika dibandingkan dengan komposisi bahan bakar yang lain. Hal ini disebabkan oleh nilai densitas biodiesel yang lebih tinggi. Nilai densitas biodiesel kesambi yang lebih tinggi menunjukkan kerapatan molekul yang tinggi. Saat kerapatan molekul yang tinggi menyebabkan molekul lambat berinteraksi dan berdampak pada lama nyala api.

Saat pengujian pembakaran, bahan bakar biodiesel kesambi memiliki viskositas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar yang lain. Viskositas bahan bakar akan mempengaruhi proses reaksi pembakaran. Molekul-molekul bahan bakar dan udara bergerak dan berinteraksi satu sama lain pada uji karakteristik bahan bakar dengan metode pembakaran droplet. Viskositas yang tinggi mempengaruhi struktur molekul bahan bakar dan mengganggu interaksi antar molekul. Ketika interaksi molekuler berinteraksi lebih lambat maka api menjadi lebih lama menyala.

e. Temperatur pembakaran

Hasil penelitian bahan bakar diesel dengan penambahan biodiesel kesambi menggunakan metode pembakaran droplet menghasilkan data temperatur pembakaran. Hasil penelitian dapat diamati pada Gambar 16.



Gambar 16. Temperatur pembakaran

Temperatur pembakaran tertinggi terletak pada bahan bakar dengan komposisi bahan bakar D100 sedangkan temperatur terendah terletak pada komposisi bahan bakar K100. Pada Gambar 15 dapat diamati bahan bakar diesel murni (biosolar dan dexlite) menghasilkan temperatur tertinggi. Namun, bahan bakar dengan penambahan biodiesel menghasilkan temperatur yang menurun pada pembakaran. Temperatur terendah terletak pada komposisi biodiesel murni atau K100. Pada bahan bakar campuran dengan penambahan biodiesel dengan komposisi campuran sebesar 30% menghasilkan temperatur terendah dibandingkan dengan penambahan 10% dan 20%.

Temperatur merupakan faktor prioritas dalam mempengaruhi laju reaksi kimia. Laju temperatur pembakaran berperan dalam mempercepat laju reaksi pembakaran pada bahan bakar. Temperatur bahan bakar pada Gambar 15 menunjukkan variasi nilai yang diperoleh dari hasil pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bahan bakar diesel murni menghasilkan nilai temperatur tertinggi. Namun, bahan bakar diesel dengan campuran biodiesel menunjukkan penurunan temperatur. Bahan bakar diesel dengan penambahan biodiesel menghasilkan temperatur menurun

disebabkan oleh nilai densitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel murni. Nilai densitas bahan bakar yang rendah lebih banyak memiliki ruang sehingga partikel bahan bakar lebih mudah untuk berinteraksi. Molekul yang berinteraksi akan lebih mudah untuk berikatan dengan molekul lain sehingga reaksi pembakaran lebih cepat dan menghasilkan temperatur yang tinggi [18].

Pada mesin pembakaran internal yang sering diaplikasikan pada alat transportasi dan mesin industri temperatur menjadi faktor penting. Temperatur yang lebih tinggi memungkinkan pembakaran yang lebih efisien dan sempurna serta menghasilkan lebih sedikit emisi gas buang yang berbahaya. Jika ditinjau dari nilai kalor yang terkandung pada masing-masing bahan bakar. Biodiesel memiliki nilai kalor yang lebih rendah. Hal ini menyebabkan temperatur pada bahan bakar campuran semakin menurun saat ditambahkan dengan biodiesel. Jadi nilai kalor mempengaruhi temperatur yang dihasilkan pada reaksi pembakaran [22]. Biodiesel memiliki energi ikatan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel murni. Hal ini dikarenakan biodiesel memiliki ikatan yang rendah sehingga jumlah energi yang dilepaskan oleh biodiesel per satuan massa akan lebih sedikit, sehingga berimplikasi pada nilai kalor yang lebih rendah.

4. Kesimpulan

Visualisasi nyala api penambahan biodiesel menunjukkan semakin berkurang jelaga saat proses pembakaran. *Ignition delay* bahan bakar tertinggi terletak pada komposisi K100 sebesar 7,89 s sedangkan terendah terletak pada komposisi D100 sebesar 1,18 s. Tinggi api tertinggi terletak pada komposisi bahan bakar D100 sebesar 53,37 mm sedangkan tinggi api terendah terletak pada komposisi bahan bakar K100 sebesar 38,33 mm. Komposisi bahan

bakar K100 menghasilkan lama penyalaan api sebesar 7,07 s lebih lama jika dibandingkan dengan komposisi bahan bakar yang lain. Temperatur pembaran optimum terletak pada komposisi bahan bakar D100 sebesar 723,26°C sedangkan temperatur terendah terletak pada komposisi bahan bakar K100 sebesar 567,54°C.

Ucapan terimakasih

Ucapan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah memberikan pembiayaan sepenuhnya pada kegiatan ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP).

Referensi

- [1] A. Rafiee and K. R. Khalilpour, *Renewable Hybridization of Oil and Gas Supply Chains*. Elsevier Inc., 2018. doi: 10.1016/B978-0-12-813306-4.00011-2.
- [2] M. Mafruddin, D. Irawan, E. D. Pratama, and R. Y. Pratama, “Pengaruh laju aliran biogas dan waktu penyalaan Terhadap kinerja motor bakar menggunakan sistem dual fuel pertamax-biogas,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 115–122, 2021, doi: 10.24127/trb.v10i2.1770.
- [3] B. Sharma and A. Shrestha, “Petroleum dependence in developing countries with an emphasis on Nepal and potential keys,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 45, no. December 2022, p. 101053, 2023, doi: 10.1016/j.esr.2023.101053.
- [4] K. Winangun, A. Setiyawan, B. Sudarmanta, and G. Asrofi, “Penggunaan bahan bakar terbarukan (biodiesel-hidrogen) pada mesin diesel dual fuel untuk mendukung energy transition di Indonesia,” *Turbo*, vol. 12, no. 1, pp. 1–8, 2023.
- [5] K. Ridhuan *et al.*, “The Effect of Gasoline Fuel and Biogas on Engine Performance and Exhaust Emissions,” *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 18, no. 10, pp. 1089–1094, 2023, doi: 10.59018/0523142.
- [6] N. Hidayati, T. S. Ariyanto, and H. Septiawan, “Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Menjadi Biodiesel Dengan Katalis Kalsium Oksida,” *J. Teknol. Bahan Alam*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2017.
- [7] B. W. Ziliwu, E. J. Sirait, H. A. Daulay, P. Kelautan, and P. Kelautan, “30 Ziliwu , Bobby Wisely ., dkk ; Studi Konsumsi Bahan Bakar Solar Pada Mesin Induk Km . Fortuna 31 Ziliwu , Bobby Wisely ., dkk ; Studi Konsumsi Bahan Bakar Solar Pada Mesin Induk Km . Fortuna,” vol. 8, no. 2, pp. 30–34, 2022.
- [8] B. Musthafa, B. Saravanan, M. A. Asokan, S. Devendiran, and K. Venkatesan, “Effect of ethanol, propanol and butanol on karanja biodiesel with vegetable oil fuelled in a single cylinder diesel engine,” *Egypt. J. Pet.*, vol. 32, no. 2, pp. 35–40, 2023, doi: 10.1016/j.ejpe.2023.05.001.
- [9] M. L. Corazza, W. A. Fouad, and W. G. Chapman, “Application of molecular modeling to the vapor-liquid equilibrium of alkyl esters (biodiesel) and alcohols systems,” *Fuel*, vol. 161, pp. 34–42, 2015, doi: 10.1016/j.fuel.2015.08.003.
- [10] A. Aljaafari *et al.*, “Biodiesel Emissions: A State-of-the-Art Review on Health and Environmental Impacts,” *Energies*, vol. 15, no. 18, pp. 1–24, 2022, doi: 10.3390/en15186854.
- [11] M. Vijay Kumar, A. Veeresh Babu, and P. Ravi Kumar, “The impacts on combustion, performance and emissions of biodiesel by using additives in direct injection diesel engine,” *Alexandria*

- Eng. J.*, vol. 57, no. 1, pp. 509–516, 2018, doi: 10.1016/j.aej.2016.12.016.
- [12] M. Tomar and N. Kumar, “Effect of multi-walled carbon nanotubes and alumina nano-additives in a light duty diesel engine fuelled with schleichera oleosa biodiesel blends,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 42, no. August, p. 100833, 2020, doi: 10.1016/j.seta.2020.100833.
- [13] A. A. Adu, Y. A. B. Neolaka, A. A. P. Riwu, M. Iqbal, H. Darmokoesoemo, and H. S. Kusuma, “Synthesis, characterization and evaluation of swelling ratio on magnetic p53-poly(MAA-co-EGDMA)@GO-Fe₃O₄(MIP@GO-Fe₃O₄)-based p53 protein and graphene oxide from kusambi wood (*Schleichera oleosa*),” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 5, pp. 11060–11068, 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.08.003.
- [14] I. Sangadji and H. E. Tahyala, “Pemanfaatan Daun Kesambi dalam Ransum Berbahan Dasar Rumput Lapangan dan Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Kambing Lakor,” vol. 8, no. 2, pp. 139–148, 2019.
- [15] N. P. Asri, R. Saraswati, H. Hindarso, Suprpto, Y. W. Mirzayanti, and R. R. Yogaswara, “Study of catalyst support utilization on ZnO-based solid catalyst to its activity at transesterification of Kesambi (*Schleichera oleosa*) oil,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1034, no. 1, p. 012059, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1034/1/012059.
- [16] H. C. Ong, M. Mofijur, A. S. Silitonga, D. Gumilang, F. Kusumo, and T. M. I. Mahlia, “Physicochemical Properties of Biodiesel Synthesised from Grape Seed, Philippine Tung, Kesambi, and Palm Oils,” *Green Energy Technol.*, vol. 13, no. 6, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-51166-1_5.
- [17] H. H. Bachtiar, B. A. Fachri, and N. Ilminnafik, “Flame characteristics of diffusion of calophyllum inophyllum methyl ester on mini glass tube,” *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 57, no. 1, pp. 40–47, 2019.
- [18] W. A. Winarko, N. Ilminnafik, M. N. Kustanto, and D. Perdana, “Pengaruh Orientasi Medan Magnet Terhadap Karakteristik Nyala Api Pembakaran Droplet Calophyllum Inophyllum,” *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 10, no. 3, pp. 215–225, 2022.
- [19] W. A. Winarko, N. Ilminnafik, M. N. Kustanto, and D. Perdana, “Karakteristik pembakaran droplet minyak nabati Indonesia,” vol. 12, no. 2, pp. 103–110, 2022.
- [20] K. Meng, L. Bao, Y. Shi, K. Han, Q. Lin, and C. Wang, “Experimental investigation on ignition, combustion and micro-explosion of RP-3, biodiesel and ethanol blended droplets,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 178, no. June, p. 115649, 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115649.
- [21] D. Perdana, “Eksperimental pembakaran droplet pengaruh komposisi asam lemak dan sifat fisika kimia minyak kapas dan jarak pagar terhadap karakteristik nyala api,” vol. 12, no. 1, pp. 88–95, 2023.
- [22] M. N. Sasongko, “Pengaruh Prosentase Minyak Goreng Bekas Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Biodiesel,” *FLYWHEEL J. Tek. Mesin Untirta*, vol. IV, no. 2, pp. 8–13, 2018.