

ANALISIS KARAKTERISTIK SUDUT PENYEMPROTAN BIODIESEL PALM OIL MELALUI PENAMBAHAN VARIASI KONSENTRASI METANOL

Muhammad Suryaningrat ¹⁾ ✉, Mega Nur Sasongko ¹⁾, Nurkholis Hamidi ¹⁾, Nurhadi Saputro²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin

Universitas Brawijaya,
MT. Haryono, 167, Malang,
East Java, Indonesia
suryaningrat@student.ub.ac.id
megasasongko@ub.ac.id
hamidy@ub.ac.id

²⁾Jurusan Teknik Kendaraan Ringan
Otomotif

SMKN 1 Blitar
Nurhadisaputro.blt@gmail.com

Abstract

This study aims to determine the effect of adding methanol as an additive to biodiesel to the spray angle on the diesel fuel injector. The material used in this study was palm oil biodiesel and added methanol with a concentration variation of 5%; 10%; 15%; 20% and 25% of the volume of the mixture (500 mL). The first step is mixing methanol and biodiesel according to the variables (B100; B100M5; B100M10; B100M15; B100M20 and B100M25). Next, the mixture is injected into the simulation of the combustion chamber through the injector nozzle, then the fuel that enters the simulation of the combustion chamber is recorded with a high-speed camera so that an image of the spray angle is obtained. Based on the method that has been carried out, it is found that the addition of variations in the concentration of methanol has an effect on the fuel spray angle. The higher the concentration of methanol added to biodiesel, the greater the spray angle of the fuel mixture. Spray angle for B100; B100M5; B100M10; B100M15; B100M20 and B100M25 are 7.5018°; 10.4018°; 11.8462°; 13.6052°; 14.0148°; and 14.6206°, approximately. This is because with the addition of methanol with higher levels, the mass of oxygen gas will be even greater. The greater the mass of oxygen in the fuel, the easier it is for the fuel to burn.

Keywords: Biodiesel, B100, Deposit, Methanol, Spray Angle.

1. PENDAHULUAN

Permintaan bahan bakar cair yang semakin meningkat masih didominasi dengan penggunaan sumber bahan bakar fosil. Pernyataan ini dipertegas dengan data yang dikeluarkan oleh *International Energy Agency* pada tahun 2020 menyebutkan bahwasanya sumber utama energi global saat ini masih berfokus pada minyak bumi yaitu sebesar 31,8%. Pertumbuhan populasi global dan urbanisasi meningkatkan permintaan energi secara signifikan. IEA memperkirakan populasi global akan meningkat dari 7,4 miliar pada tahun 2016 menjadi 9,1 miliar pada tahun 2040, dan permintaan energi global diperkirakan akan meningkat 30% antara tahun 2016 dan 2040 ^[1]. Padahal bahan bakar fosil merupakan sumber yang tak dapat diperbaharui dan pemanfaatannya diyakini sebagai faktor utama pemanasan global ^[2]. Oleh karena itu, butuh suatu alternatif energi yang ramah lingkungan berkelanjutan, salah satunya yang bersumber dari biomassa yaitu *biodiesel*. Baris pertama dari *chapter/sub chapter* tertentu.

Corresponding Author:

✉ Muhammad Suryaningrat

Received on: 2022-03-18

Revised on: 2023-09-24

Accepted on: 2023-11-30

Biodiesel merupakan salah satu energi alternatif yang berasal dari sumber terbarukan dan memiliki keunggulan berupa efisiensi pembakaran yang tinggi dan lebih dari 90% *biodiesel* dapat terdegradasi secara biologis selama 21 hari ^[3]. Hal ini tentu sangat menjanjikan untuk diproduksi terus menerus karena area kebun sawit yang mencapai 16,38 juta ha dan produksi CPO yang mencapai 49 juta ton lebih, terlebih adanya rencana masyarakat Eropa mengeluarkan *biodiesel* sawit dari rencana pengembangan *biodiesel*-nya pada 2030.

Meskipun pemanfaatan *biodiesel* memiliki banyak keunggulan dari berbagai aspek, namun pada kenyataannya pemanfaatannya masih terkendala pada penggunaan mesin injektor saat ini karena masih terbentuknya endapan atau deposit ^[4]. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan *biodiesel* di mesin sistem injeksi canggih atau lebih dikenal dengan mesin *diesel commonrail* telah banyak diuji dan menghasilkan bahwasanya sistem peralatan injeksi bahan bakar *diesel* rentan terhadap pembentukan berbagai endapan. Pembentukan endapan di dalam lubang nosel injektor atau di luar ujung injektor memiliki efek merugikan pada kinerja sistem secara keseluruhan karena pola injeksi dan laju aliran bahan bakar dipengaruhi oleh endapan nosel. Telah dilaporkan bahwa pembentukan endapan dimulai dari hidung injektor, yang merupakan bagian terdingin dari ruang bakar mesin, diikuti oleh dinding ruang, lalu kepala silinder, dll ^[5].

Sebagai salah satu alternatif agar *biodiesel* tetap dapat digunakan pada mesin *diesel*, perlu dilakukan replikasi sifat dari bahan bakar solar terhadap *biodiesel* itu sendiri. Hal ini dikarenakan kandungan utama dari *biodiesel* yaitu *fatty acid methyl ester* (FAME) yang diketahui memiliki stabilitas oksidasi yang buruk ^[4], viskositas dan densitas yang lebih tinggi dibandingkan mineral *diesel* ^[6] yang mana besarnya karakteristik fisik tersebut akan menurunkan kualitas atomisasi injeksi bahan bakar di dalam ruang bakar, semprotan bahan bakar, dan keseragaman campuran sehingga pembentukan deposit dapat terjadi. Salah satunya adalah dengan menambahkan zat aditif ke dalam campuran *biodiesel* ^{[5], [7]–[9]}.

Metanol atau yang sering dikenal dengan CH_3OH merupakan zat aditif antioksidan yang umum dengan harga yang relatif murah. Dalam beberapa dekade terakhir, methanol telah diproduksi dalam jumlah besar dari gas alam dengan menggunakan proses *reformation* gas. Proses ini melibatkan pelepasan gas karbon monoksida dan hidrogen melalui katalis yang sesuai di bawah kondisi tekanan dan suhu yang sesuai ^[10]. Penambahan kandungan oksigen yang tinggi dan komponen volatilitas tinggi seperti metanol pada solar atau *biodiesel* dapat menjadi teknik yang menjanjikan pada mesin *diesel* ^[11]. Hal ini tentunya sangat beralasan, dikarenakan metanol memiliki reaktivitas yang rendah karena bilangan setannya yang rendah. Hal ini yang menjadikan pencampuran metanol dan diesel dengan reaktivitas yang berbeda akan berdampak besar pada proses penyalaan dan pembakaran. Selain itu, penambahan kandungan oksigen yang tinggi (50%) dan komponen volatilitas tinggi (1178 Kj/Kg) seperti metanol pada solar atau *biodiesel* dapat menjadi teknik yang menjanjikan pada mesin *diesel* ^[12].

Penambahan metanol pada *biodiesel* diduga dapat memecah komponen trigliserida yang masih tersisa dari reaksi transesterifikasi, yang menyebabkan penambahan metanol mengakibatkan penurunan viskositas ^[13]. Peningkatan jumlah metanol yang digunakan pada percobaan yang dilakukan oleh Zulhardi dkk. (2019) menghasilkan penurunan viskositas minyak. Penurunan densitas *biodiesel* pada penambahan metanol pun dibuktikan pada percobaan yang telah dilakukan oleh ^[14] dengan menggunakan bahan baku B₂O (diesel 80% dicampur dengan *biodiesel* 20%) dan penambahan metanol sebesar 5% dan 10%. Penurunan densitas *biodiesel* terjadi karena metanol dapat diikat oleh komponen gliserol dan ketika dilakukan pemurnian, gliserol akan lebih mudah dipisahkan daripada sebelum ditambahkan metanol. Penghilangan gliserol dari minyak nabati secara signifikan mengurangi densitas *biodiesel* ^[15]. Peningkatan jumlah metanol yang digunakan menghasilkan penurunan densitas

biodiesel. Selain viskositas dan densitas, nilai kalor dari bahan bakar *biodiesel* juga akan menurun dengan penambahan metanol. Penggabungan metanol dan bahan bakar *biodiesel* diharapkan dapat memenuhi kebutuhan mesin dengan rasio kompresi tinggi untuk mendapatkan *performance* yang tinggi dengan mendapatkan angka oktan yang tinggi dan nilai kalor yang cukup [16].

Baik penurunan viskositas maupun densitas akan mempengaruhi karakteristik pembakaran *droplet*, karena ukuran *droplet* yang dihasilkan akan menjadi lebih kecil. Hal tersebut akan mempermudah kerja lubang *injector* untuk menginjeksikan *biodiesel*. Mudahnya kerja lubang *injector* dapat terlihat dari karakteristik semprotan bahan bakar yang diinjeksikan.

Berdasarkan analisis tersebut, tentunya akan mempengaruhi dari sudut penyemprotan bahan bakar. Semakin rendahnya tingkat viskositas dan densitas dari bahan bakar akan menyebabkan sudut pada semprotan semakin melebar. Sudut semprotan yang lebih besar menunjukkan *droplet* breakup saat penginjeksian lebih baik dan menyebabkan kualitas campuran udara-bahan bakar lebih baik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meninjau pengaruh penambahan metanol sebagai aditif pada bahan bakar *biodiesel* (B₁₀₀) terhadap sudut penyemprotan bahan bakar pada *diesel fuel injector*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dan menambah referensi pemanfaatan metanol sebagai zat aditif untuk dapat digunakan dalam skala industri baris kedua dari *chapter/sub chapter* tertentu.

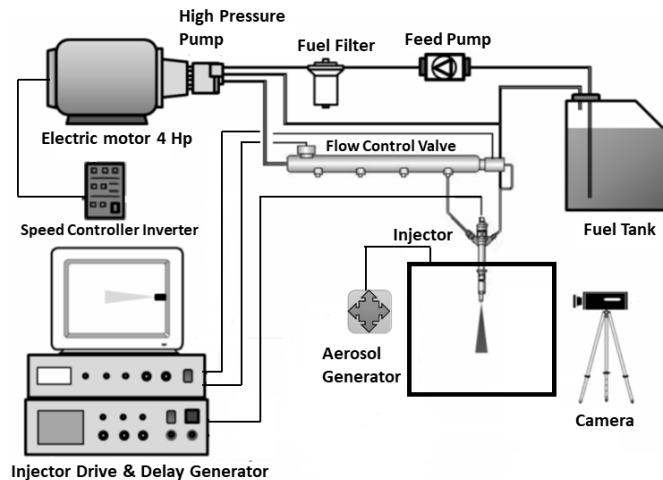
2. METODE DAN BAHAN

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan bakar *biodiesel* dari minyak kelapa sawit yang diproduksi oleh PT. Barata Elok Semesta Terpadu, Gresik – Jawa Timur. Data spesifikasi *biodiesel* yang dikeluarkan oleh produsen adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik Bahan Baku Penelitian (Sumber: *Certificate of analysis* PT Barata Elok Semesta Terpadu)

KARAKTERISTIK	SATUAN	BIODIESEL	METODE
Bilangan setana	-	58,7	SNI 7182 : 2015
Berat jenis pada 15°C	Kg/m ³	878,78	ASTM D 4052
Berat jenis pada 40°C	Kg/m ³	857	SNI 7182 : 2015
Viskositas kinematik pada 40°C	mm ² /sec	4,3	SNI 7182 : 2015
Titik nyala	°C	170	SNI 7182 : 2015
Kandungan FAME	% massa	98,7	SNI 7182 : 2015
Abu tersulfatkan	% massa	0	SNI 7182 : 2015
Belerang	mg/Kg	5,99	SNI 7182 : 2015
Fosfor	mg/Kg	0,61	SNI 7182 : 2015
Bilangan asam	mg KOH/ g FAME	0,09	SNI 7182 : 2015
Gliserol bebas	% massa	0,01	SNI 7182 : 2015
Gliserol total	% massa	0,14	SNI 7182 : 2015
Bilangan iodium	g I ₂ /100 g	53,6	SNI 7182 : 2015
Kandungan air	ppm	257	ASTM D 6304
Total Kontaminan	mg/liter	18	ASTM D 6217

Alat uji bahan bakar campuran *Biodiesel* dan *methanol* dibuat menggunakan sistem injeksi bahan bakar *commonrail* yang terdiri dari satu injektor *diesel solenoid*, *supply pump*, filter bahan bakar, pendingin bahan bakar dan tangki bahan bakar. Skematik dari penelitian tentang uji campuran *biodiesel* dan *methanol* dirancang dengan tata letak dan sirkulasi bahan bakar seperti terlihat pada Gambar 1. Alat uji bahan bakar *biodiesel* menggunakan penggerak motor listrik 220V dengan kapasitas 4 HP putaran motor listrik diatur 1000 rpm menggunakan inverter untuk menggerakkan *supply pump*. Bahan bakar dialirkan dari tangki menuju filter bahan bakar kemudian akan disaring untuk memisahkan kotoran ataupun air yang tercampur sehingga bahan bakar yang akan masuk kedalam *supply pump* dalam keadaan bersih. *Supply pump* akan menaikkan tekanan dan menyalurkan bahan bakar menuju injektor. Injektor mengabutkan bahan bakar menjadi butiran yang halus sebelum masuk kedalam tabung pemanas. Setelah bahan bakar ditampung ke dalam gelas ukur kemudian bahan bakar dialirkan kedalam *fuel cooler* dengan tujuan untuk mendinginkan bahan bakar yang telah melewati injektor kemudian bahan bakar di alirkan lagi menuju tangki bahan bakar. Untuk mengurangi terjadinya proses pembekuan dari bahan bakar *biodiesel* tangki bahan bakar dibuat *custom* dengan penambahan pemanas yang diatur pada temperatur 60°C. Setiap injektor dipasang di dalam *braket* aluminium yang dipanaskan untuk mensimulasikan perpindahan panas dari blok kepala silinder mesin ke injektor. Suhu *braket* diatur dengan pemanas kabel 500W yang melingkar di sekitarnya pada dua suhu 130°C. Durasi penyemprotan *diesel fuel injector* diatur oleh alat *commonrail injector tester*.

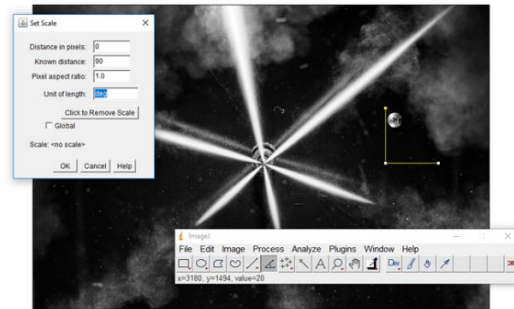


Gambar 1. Diagram skema *Diesel fuel injector*

Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah *prosentase* campuran metanol dalam *biodiesel* kelapa sawit. *Prosentase* metanol divariskan dalam 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Bahan bakar campuran *biodiesel* dan metanol tersebut kemudian dinyatakan secara berurutan dalam B₁₀₀, B₁₀₀M₅, B₁₀₀M₁₀, B₁₀₀M₁₅, B₁₀₀M₂₀, dan B₁₀₀M₂₅. Sedangkan variabel terikatnya adalah besar sudut penyemprotan injektor, sifat fisikokimia meliputi densitas dan viskositas dari campuran bahan bakar serta pengujian *scanning electron microscopy* (SEM) pada hasil deposit. Tekanan bahan bakar masuk ke injektor dijaga konstan pada 900 bar

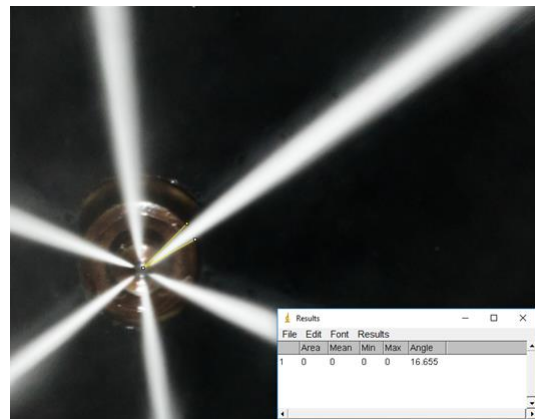
Penelitian ini diawali dengan melakukan pencampuran bahan bakar *biodiesel* (B₁₀₀) dengan metanol 99,9% sesuai dengan variabel yang telah ditentukan (B₁₀₀; B₁₀₀M₅; B₁₀₀M₁₀; B₁₀₀M₁₅; dan B₁₀₀M₂₀). Pencampuran *biodiesel* dan metanol dilakukan menggunakan *stirrer* selama 15 menit untuk menjamin campuran telah menjadi homogen. Total volume campuran bahan bakar adalah 500 mL. Campuran *biodiesel* dan metanol tersebut selanjutnya

dilakukan pengujian Fisikokimia yang meliputi uji densitas, viskositas dan nilai kalor. Pengujian densitas bahan bakar menggunakan prosedur pengujian SNI 04-7182-2015, sedangkan uji viskositas menggunakan prosedur pengujian SNI 04-7182-2015. Pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan bom *calorimeter*. Prinsip bom *calorimeter* yang digunakan yaitu HHV (*Higher heating value*) yaitu mengukur jumlah kalor yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O₂ berlebih).



Gambar 2. Kalibrasi Sudut Semprotan

Prosedur selanjutnya dari penelitian ini adalah pengujian terhadap pembentukan deposit yang terbentuk di dalam nosel *injector*. Pengujian jumlah deposit yang terbentuk di nosel *injector* dilakukan setiap 250 jam sekali. Setelah waktu tercapai, deposit yang terbentuk di dinding tabung injektor dilakukan penimbangan dan dianalisa menggunakan analisa *Scanning Electron Microscope* (SEM). Karakterisasi SEM dilakukan di Laboratorium SEM, Departemen Teknik Mesin Universitas Brawijaya dengan menggunakan alat HITACHI FLEXSEM 100 yang dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive X – Ray Spectroscopy*) untuk analisa unsur. Karakterisasi sampel dengan menggunakan alat SEM bertujuan untuk melihat morfologi dan topografi dari sampel. EDS merupakan suatu alat yang digunakan mengetahui unsur yang terkandung pada sampel. EDS dapat dilakukan pada daerah yang kecil (titik), garis dan kotak. Selain itu EDS dapat digunakan untuk mengetahui sebaran unsur (*mapping*) pada sampel.

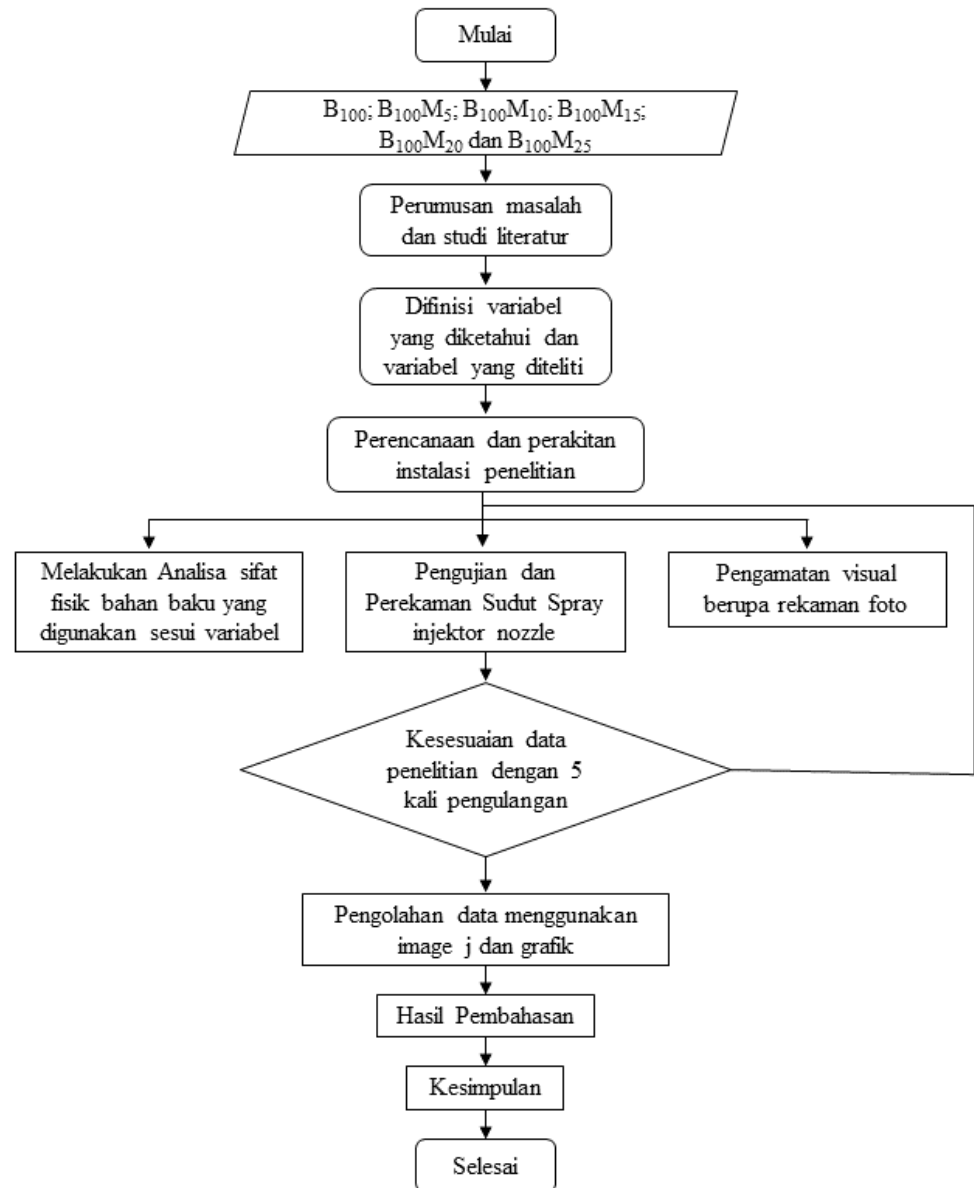


Gambar 3. Pengukuran Sudut Semprotan

Pengujian yang terakhir adalah pengukuran sudut semprotan bahan bakar. Nosel injektor berfungsi menginjeksikan bahan bakar *biodiesel* dan campuran *biodiesel* dan methanol ke dalam ruang pengujian dimana tekanan hidrolis pada *injector nozzle tester* dijaga konstan pada 900 bar. Injeksi bahan bakar di dalam ruang pengujian direkam dengan *high speed* kamera sehingga di dapatkan gambar sudut semprotan bahan bakar keluar *injector*. Hasil gambar semprotan bahan bakar keluar nosel tersebut kemudian dianalisa menggunakan

software Image J. Software ini berfungsi untuk mengkonversi gambar hasil pengujian sehingga dapat diukur dengan presisi sudut semprotan bahan bakar keluar nosel *injector*. Pengukuran dimulai dengan mengkalibrasi sudut menggunakan sudut siku-siku yang dibuat menggunakan perintah *angle*. Sudut tersebut kemudian diberi nilai sebesar 90, dan satuan yang dipilih adalah deg atau *degree* (derajat) seperti terlihat pada Gambar 2.

Pengukuran sudut semprotan dilakukan dengan mengukur luas penetrasi dari ujung *nozzle* hingga panjang yang telah ditentukan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, dimana garis kuning yang terdapat pada gambar mencakup luas penetrasi yang akan diukur. Hasil pengukuran sudut semprotan akan muncul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Alur pelaksanaan penelitian seperti terlihat pada gambar dibawah ini.

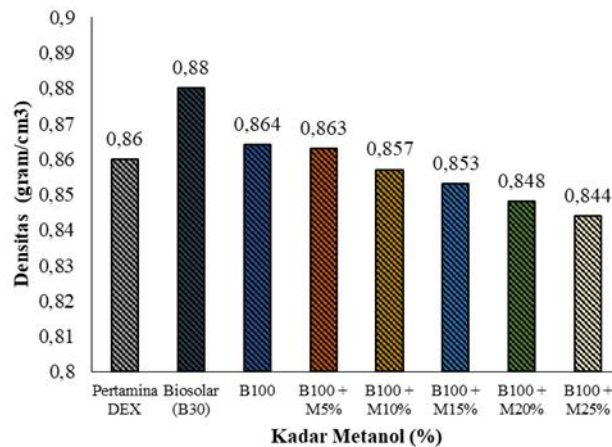


Gambar 4. *Flow chart* penelitian

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Pengaruh Variasi Campuran *Methanol* terhadap Densitas dan Viskositas *Biodiesel*

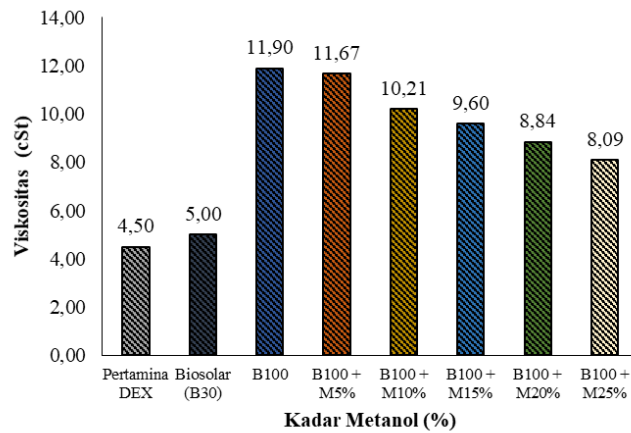
Pengaruh penambahan metanol terhadap densitas *biodiesel* dapat dilihat pada gambar 5. Perhitungan densitas tersebut dilakukan pada campuran B₁₀₀M₅ dan B₁₀₀M₁₀, B₁₀₀M₁₅, B₁₀₀M₂₀ dan B₁₀₀M₂₅ berada pada suhu 15°C. Hasil densitas pada penelitian ini berada pada rentang 0,84 – 0,86 gr/mL. Nilai densitas terendah diperoleh pada saat penambahan metanol 25% sebesar 0,844 gr/mL sedangkan untuk nilai densitas tertinggi diperoleh pada penambahan metanol 5% sebesar 0,863 gr/mL. Selain itu, jika dibandingkan dengan data bahan baku *biodiesel* (B₁₀₀) awal, telah terjadi penurunan. Besaran densitas pada *biodiesel* tanpa penambahan metanol yaitu sebesar 0,864 gr/mL. Berdasarkan gambar 4, terlihat bahwa semakin besar jumlah metanol yang ditambahkan maka semakin kecil nilai densitas yang diperoleh. Metanol memiliki densitas yang rendah yaitu sekitar 0,79 gr/mL sehingga keberadaan metanol pada *biodiesel* (B₁₀₀) akan menginduksi densitas campuran tersebut sehingga dapat terjadi penurunan. Semakin banyak metanol yang ditambahkan, maka akan semakin kecil campuran metanol-*biodiesel* yang diperoleh. Jika dibandingkan dengan densitas dari Pertamina dex yang mempunyai rentang densitas antara 0,820 – 0,86 gr/mL, penambahan *methanol* sebesar 5 % sudah mampu menurunkan densitas dari *biodiesel* untuk menyamai densitas dari bahan bakar standar Pertamina dex.



Gambar 5. Densitas dari campuran *biodiesel* (B₁₀₀) terhadap berbagai kadar *methanol*

Penambahan berbagai kadar metanol ke *biodiesel* (B₁₀₀) juga memberikan pengaruh terhadap nilai viskositas dari campuran tersebut. Berdasarkan gambar 6, terlihat bahwasannya penambahan metanol 5% - 25% kepada *biodiesel* dapat menurunkan viskositas dari *biodiesel* (B₁₀₀) tersebut. B₁₀₀ memiliki viskositas sebesar 11,90 cSt dan setelah ditambahkan metanol, campuran B₁₀₀M₅, B₁₀₀M₁₀, B₁₀₀M₁₅, B₁₀₀M₂₀ dan B₁₀₀M₂₅ memiliki viskositas masing-masing sebesar 11,67 cSt; 10,21 cSt; 9,60 cSt; 8,84 cSt; dan 8,09 cSt. Nilai viskositas terendah diperoleh pada saat penambahan metanol 25% (B₁₀₀M₂₅) sebesar 8,09 cSt sedangkan viskositas tertinggi diperoleh pada saat penambahan metanol 5% (B₁₀₀M₅) yaitu sebesar 11,67 cSt. Penambahan metanol sebagai campuran pada senyawa metil ester dan asam lemak akan menurunkan nilai viskositas, tegangan permukaan, serta meningkatkan konsentrasi oksigen dalam campuran bahan bakar. Viskositas yang tinggi berkaitan dengan gaya ikat antar atom yang kuat dan massa molar yang lebih besar pada bahan bakar, terutama

pada senyawa metil ester ataupun senyawa asam lemaknya dengan rantai karbon yang panjang (Marlina *et al.*, 2020).



Gambar 6. Viskositas dari campuran *biodiesel* (B₁₀₀) terhadap berbagai kadar metanol

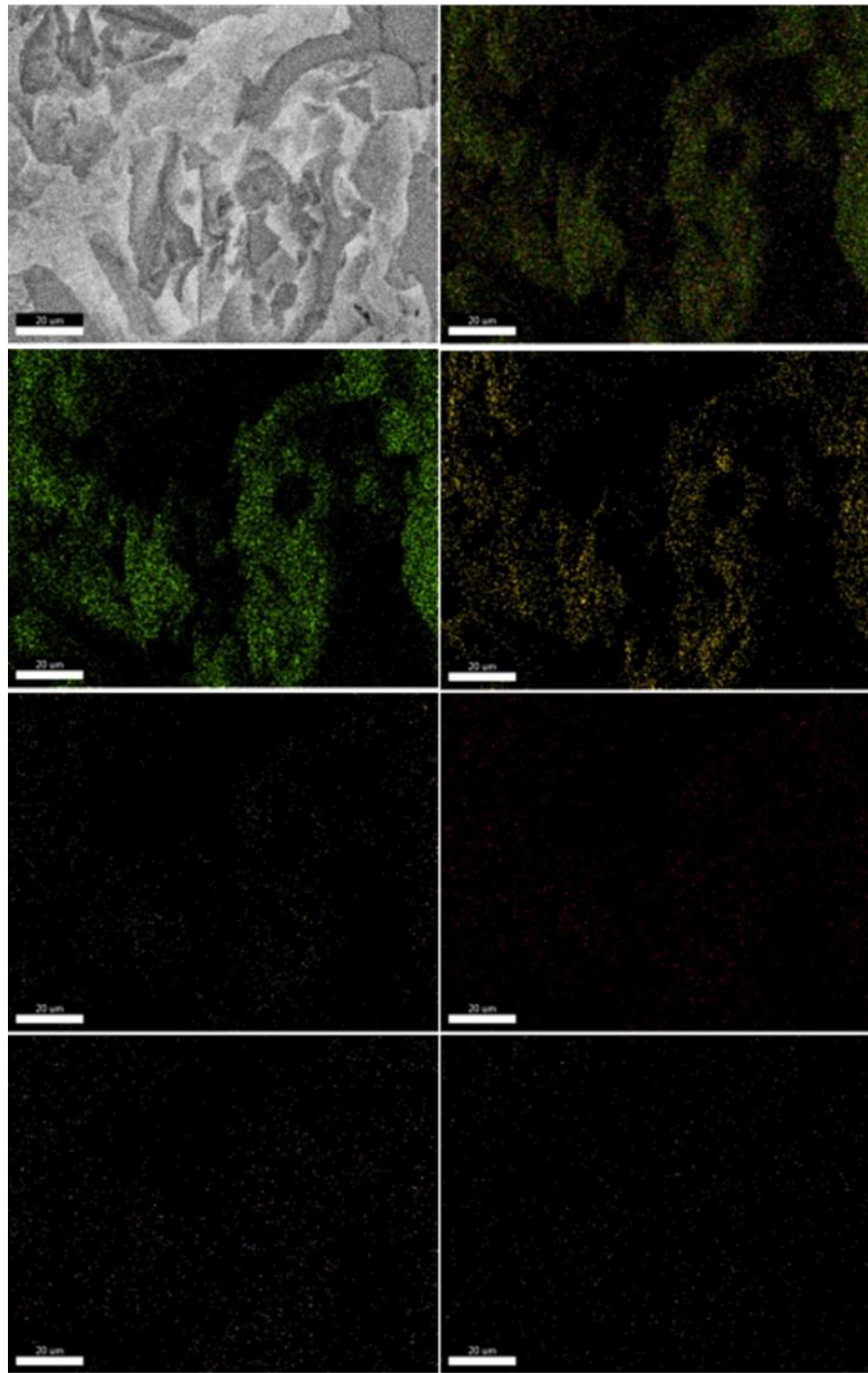
3.2. Pengaruh Penggunaan *Biodiesel* (B₁₀₀) dalam Pembentukan Deposit

Pada penelitian ini pengujian deposit dilakukan pada *biodiesel* B₁₀₀. Bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang pengujian pada tekanan injektor nosel sebesar 900 bar dengan lama waktunya 250 jam. Setelah waktu tercapai, deposit yang terbentuk di dinding tabung injektor dilakukan penimbangan dan analisa SEM. Berdasarkan hasil penimbangan dari deposit, diperoleh bahwasanya setelah 250 jam terbentuk 0,10 gram deposit. Dari hasil deposit yang terbentuk, dilakukan analis SEM-EDX. Analisa SEM-EDX dimaksudkan agar morfologi dan unsur penyusun dari deposit.

Pada Gambar 7 menunjukkan mikrograf SEM dengan perbesaran 20 terhadap deposit. Pada analisis SEM juga dilakukan analisis EDX untuk mengetahui unsur yang tersebar pada pembentukan deposit terlihat bahwasanya terdapat beberapa unsur penyusun dari deposit yaitu karbon (C); oksigen (O); Natrium (Na); Aluminium (Al); Silika (Si); dan Kalium (K). Komposisi unsur dari endapan didominasi oleh karbon (C) dan oksigen (O) dan beberapa jumlah jejak elemen yang berbeda. Berat dari masing-masing unsur penyusun sesuai pada tabel berikut.

Tabel 2. Komposisi hasil EDX pada Deposit

UNSUR	BERAT (%)	ATOMIC (%)
Carbon (C)	61,14	68,79
Oksigen (O)	33,82	28,57
Natrium (Na)	2,46	1,45
Aluminium (Al)	1,07	0,54
Silika (Si)	0,99	0,48
Kalium (K)	0,52	0,18



Gambar 7. Hasil analisa SEM dari Deposit yang Terbentuk

Kandungan unsur terbesar yang dibentuk oleh deposit adalah karbon. Hal ini juga dipengaruhi dari kandungan FAME pada *biodiesel* yang cukup besar yang mana kandungan FAME disusun oleh unsur-unsur karbon, hidrogen dan oksigen. pembentukan deposit diawali dengan terbentuknya lapisan film/pembasahan pada tabung injektor, waktu tinggal yang lebih lama dan jumlah bahan bakar yang cenderung lebih banyak tertinggal pada permukaan tabung akan mengalami reaksi lebih lanjut dan membentuk deposit dengan kecenderungan lebih banyak^[17]. Hasil yang serupa juga didapatkan oleh Hidayat dkk (2020)

bahwasanya *biodiesel* campuran yang diteliti akan menghasilkan deposit di injektor dengan unsur yang didominasi oleh karbon dan oksigen, dengan jumlah sebagai berikut: persentase massa: 57,35% di titik A dan 56% di titik B untuk unsur Karbon, sedangkan untuk unsur Oksigen masing-masing 36,71% dan 37,31% [18].

3.3. Pengaruh Variasi Pencampuran Zat Aditif Metanol dan *Biodiesel* B₁₀₀ terhadap Sudut Semprotan

Baris pertama dari *chapter* tertentu. Sudut semprotan dari campuran zat aditif metanol dan *biodiesel* B₁₀₀ yang disemprotkan pada *diesel fuel injector* ditentukan dari hasil pengambilan foto dan video ketika injektor tersebut menyemprotkan bahan bakar. Hasil *record* kamera berupa gambar lalu dianalisis menggunakan aplikasi *Image J* untuk diukur sudut semprotannya. Pengambilan gambar dilakukan sebanyak 5 kali untuk satu varian, kemudian diambil nilai rata-rata sudut semprotan dari lubang injektor yang sama. Hasil pengukuran tersebut ditunjukkan pada Gambar 8. Gambar 8 menampilkan gambar foto semprotan bahan bakar keluar injektor untuk 1 lubang nosel saja, kemudian dibandingkan untuk semua variasi konsentrasi metanol dalam *biodiesel*.

Pada umumnya semakin tinggi tingkat viskositas dan tegangan permukaan dari campuran *biodiesel* memberikan pengaruh pada sudut semprotan dan atomisasi yang buruk. Sudut semprotan merupakan sudut yang dibentuk oleh dua garis terluar semprotan, dari ujung injektor hingga jarak tertentu. Sudut semprotan menentukan distribusi bahan bakar pada ruang bakar. Semakin lebar sudut yang dihasilkan maka penyebaran bahan bakar semakin luas [19].

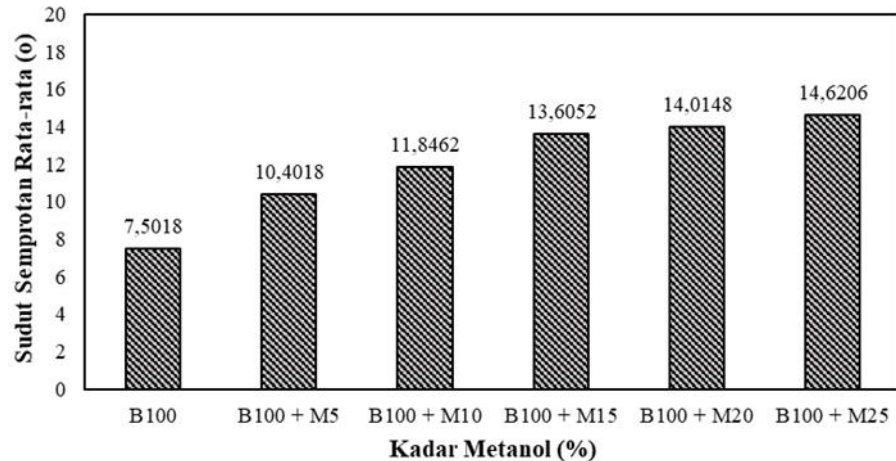


Gambar 8. Visualisasi sudut semprotan bahan bakar *Biodiesel* kelapa sawit dengan penambahan aditif *methanol*

Dari hasil visualisasi tersebut terlihat bahwa semakin banyak penambahan aditif metanol terlihat semprotan semakin mengkabut. Semakin mengkabutnya semprotan bahan bakar, maka semakin mudah bahan bakar menyatu dengan udara.

Gambar 9 menunjukkan grafik tentang pengaruh variasi penambahan metanol terhadap sudut semprotan yang dihasilkan. Semakin naiknya penambahan *methanol* dihasilkan sudut penyemprotan menjadi lebih lebar. Sudut semprotan terbesar dihasilkan pada kondisi campuran *methanol* 25%. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan metanol dengan kadar yang lebih tinggi, maka massa gas oksigen akan semakin besar. Semakin besarnya massa oksigen di dalam bahan bakar, maka semakin mudah bahan bakar tersebut untuk terbakar. Selain itu, karakteristik fisik dari bahan bakar tersebut juga akan semakin kecil baik

densitas maupun viskositasnya sehingga semakin mudah bahan bakar untuk dapat disemprotkan ke injektor nosel dan nilai sudut semprotan pun akan semakin tinggi. Setelah dilakukan pengukuran, hasil yang diperoleh sesuai dengan teori, dimana terjadi peningkatan nilai sudut semprotan pada setiap peningkatan kadar metanol yang diberikan pada campuran *biodiesel*.



Gambar 9. Hasil Pengukuran Sudut Semprotan Rata-rata dari Campuran Metanol dan *Biodiesel* menggunakan aplikasi *ImageJ*

Lebih lanjut, viskositas suatu bahan bakar menunjukkan sifat menghambat terhadap aliran, dan menunjukkan sifat pelumasannya pada permukaan benda yang dilumasi. Viskositas bahan bakar mempunyai pengaruh yang besar terhadap bentuk semprotan bahan bakar. Dimana untuk bahan bakar dengan viskositas yang terlalu tinggi akan memberikan atomisasi yang rendah sehingga mengakibatkan mesin sulit di *start*. Hal ini dikarenakan dengan semakin tingginya nilai viskositas ataupun kekentalan, maka bahan bakar akan sulit untuk diatomisasi dan berakibat pada butiran dari droplet akan semakin besar dan luasannya menjadi semakin kecil. Luasan ini memiliki faktor yang besar terhadap pembakaran dari bahan bakar, ketika luasan *droplet* besar, luas bidang kontakannya terhadap udara sekitar juga akan semakin besar dan pembakaran yang terjadi semakin mudah^[20]. Selain itu, gas buang yang dihasilkan juga akan menjadi hitam dengan *smoke density* yang cukup tinggi sehingga mempengaruhi hasil sudut semprotan yang semakin kecil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh penambahan metanol dalam *biodiesel* terhadap sifat fisik dan sudut penyemprotan pada injektor diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan metanol kepada *biodiesel* minyak kelapa sawit memberikan pengaruh terhadap penurunan karakteristik fisil dari bahan bakar *biodiesel* yang dihasilkan. Semakin besar kadar metanol yang ditambahkan maka semakin kecil densitas dan viskositas bahan bakar. Densitas dan viskositas yang optimum diperoleh pada saat penambahan metanol 25% yaitu masing-masing sebesar sebesar 0,844 gr/mL dan 11,67 cSt. Sedangkan pada karakteristik nilai kalor optimum diperoleh pada saat penambahan metanol 10% yaitu sebesar 9247,70 cal/gram
2. Penggunaan *biodiesel* (B₁₀₀) dapat memberikan deposit ataupun jelaga pada dinding tabung injektor yang disemprotkan selama 250 jam dengan massa deposit sebesar 0,1 gr. Berdasarkan hasil dari uji SEM-EDX terdapat beberapa unsur penyusun dari deposit yaitu

karbon (C); oksigen (O); Natrium (Na); Aluminium (Al); Silika (Si); dan Kalium (K) dengan masing-masingnya memiliki berat 61,14%; 33,82%; 2,46%; 1,07%; 0,99%; dan 0,52%.

3. Penambahan methanol pada bahan bakar *biodiesel* kelapa sawit mempengaruhi karakteristik bahan bakar. Penambahan metanol pada bahan bahan bakar *biodiesel* kelapa sawit meningkatkan sudut penyemprotan (*spray angle*). Hal ini disebabkan penurunan densitas dan viskositas dari campuran bahan bakar *biodiesel* dengan metanol. Baris kedua dari *chapter/sub chapter* tertentu.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas dukungan dana penelitian dengan nomer kontrak 21/UN10.F07/H.PN/2022. Penulis juga ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada PT. Barata Elok Semesta Terpadu, Gresik – Jawa Timur atas pemberian bantuan *biodiesel* kelapa sawit beserta hasil analisisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Pourkarimi, A. Hallajisani, A. Alizadehdakhel, and A. Nouralishahi, “*Biofuel production through micro- and macroalgae pyrolysis – A review of pyrolysis methods and process parameters,*” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 142, no. December 2018, p. 104599, 2019, doi: 10.1016/j.jaap.2019.04.015.
- [2] Y. Hong, W. Chen, X. Luo, C. Pang, E. Lester, and T. Wu, “*Microwave-enhanced pyrolysis of macroalgae and microalgae for syngas production,*” *Bioresource Technology*, vol. 237, pp. 47–56, 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.02.006.
- [3] S. M. Mudge and G. Pereira, “*Stimulating the biodegradation of crude oil with biodiesel preliminary results,*” *Spill Science and Technology Bulletin*, vol. 5, no. 5–6, pp. 353–355, 1999, doi: 10.1016/S1353-2561(99)00075-4.
- [4] J. Bouilly and A. Mohammadi, “*Biodiesel Stability and its Effects on Diesel Fuel Injection Equipment,*” 2012, doi: 10.4271/2012-01-0860.
- [5] R. Caprotti, N. Bhatti, and G. Balfour, “*Deposit control in modern diesel fuel injection systems,*” *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, vol. 3, no. 2, pp. 901–915, 2010, doi: 10.4271/2010-01-2250.
- [6] C. S. Foon, C. Y. May, Y. C. Liang, M. A. Ngan, and Y. Basiron, “*Palm Biodiesel : Gearing Towards Malaysian Biodiesel Standards Diesel vis-à-vis European And American Standards On,*” *MPOB, Malaysia*, pp. 28–34, 1994.
- [7] B. Sugiarto, M. T. Suryantoro, S. Yubaidah, and M. I. Attharik, “*The effect of antioxidant additives on the growth of deposits on the use of biodiesel fuel (B₁₀₀) at certain temperatures The effect of antioxidant additives on the growth of deposits on the use of biodiesel fuel (B₁₀₀) at certain temperatures,*” *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 105*, vol. 105, no. 012075, pp. 1–8, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/105/1/012075.
- [8] A. M. Liaquat *et al.*, “*Impact of palm biodiesel blend on injector deposit formation,*” *Applied Energy*, vol. 111, pp. 882–893, 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.06.036.
- [9] T. Otori, A. Tanaka, K. Yamada, and S. Bunne, “*Biodiesel deposit formation mechanism and improvement of Fuel Injection Equipment (FIE),*” *SAE 2011-01-1935*, 2011, doi: https://doi.org/10.4271/2011-01-1935.
- [10] T. Yusaf, I. Hamawand, P. Baker, and G. Najafi, “*The Effect Of Methanol-Diesel Blended Ratio On Ci Engine Performance,*” *International Journal of Automotive and*

- Mechanical Engineering (IJAME)*, vol. 8, no. December, pp. 1385–1395, 2013, doi: <http://dx.doi.org/10.15282/ijame.8.2013.26.0114>.
- [11] S. Chockalingam and S. Sendilvelan, “Effect of Oxygenated Hydrocarbon Additives on Exhaust Emission of a Diesel Engine,” no. July, 2010, doi: [10.15282/ijame.2.2010.4.0012](https://doi.org/10.15282/ijame.2.2010.4.0012).
- [12] L. Wei, C. Yao, G. Han, and W. Pan, “Effects of methanol to diesel ratio and diesel injection timing on combustion, performance and emissions of a methanol port premixed diesel engine,” *Energy*, vol. 95, no. X, pp. 223–232, 2016, doi: [10.1016/j.energy.2015.12.020](https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.020).
- [13] Y. Zalfiatri, F. Restuhadi, and R. Zulhardi, “Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jelantah menggunakan Katalis Abu Gosok dengan Variasi Penambahan Metanol,” *Chempublish Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: [10.22437/chp.v3i1.5774](https://doi.org/10.22437/chp.v3i1.5774).
- [14] M. H. M. Yasin, R. Mamat, A. F. Yusop, R. Rahim, A. Aziz, and L. A. Shah, “Fuel physical characteristics of biodiesel blend fuels with alcohol as additives,” *Procedia Engineering*, vol. 53, pp. 701–706, 2013, doi: [10.1016/j.proeng.2013.02.091](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.091).
- [15] P. V. Rao and D. P. Chary, “Characteristics comparison of Biodiesel-Diesel Blend (B20) Fuel with Alcohol Additives,” *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, vol. 5, no. 8, pp. 128–132, 2018, doi: [10.22161/ijaers.5.8.17](https://doi.org/10.22161/ijaers.5.8.17).
- [16] R. S. dan L. Madona, “Pengaruh pencampuran metanol pada bahan bakar pertamax terhadap angka oktan, nilai kalori, dan konsumsi bahan bakar,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 85–90, 2015.
- [17] B. Sugiarto, M. T. Suryantoro, S. Yubaidah, and M. I. Attharik, “The effect of antioxidant additives on the growth of deposits on the use of biodiesel fuel (B_{100}) at certain temperatures The effect of antioxidant additives on the growth of deposits on the use of biodiesel fuel (B_{100}) at certain temperatures,” *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 105*, vol. 105, no. 012075, pp. 1–8, 2018, doi: [10.1088/1755-1315/105/1/012075](https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012075).
- [18] J. A. Hidayat and B. Sugiarto, “Characteristic, structure, and morphology of carbon deposit from biodiesel blend,” *Evergreen*, vol. 7, no. 4, pp. 609–614, 2020, doi: [10.5109/4150514](https://doi.org/10.5109/4150514).
- [19] G. Sandhiyoga, “Analisis Karakteristik Spray Biodiesel dan Campurannya dengan Variasi Temperatur Injeksi,” Universitas Jember, 2020.