

## PENGARUH PENCAMPURAN MINYAK TANAH DENGAN BAHAN BAKAR MINYAK DIESEL, BIODIESEL DAN LAINNYA - REVIEW

**Annisa Bhikuning**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Trisakti  
Jurusan Teknik Mesin  
[annisabhi@trisakti.ac.id](mailto:annisabhi@trisakti.ac.id)

**Muhammad Hafnan**

Praktisi Biodiesel  
PT New Ecologi Energi Indonesia  
[mhafnan@yahoo.com](mailto:mhafnan@yahoo.com)

**Jefa Danar Indra Wijaya**

Mahasiswa Magister  
Universitas Trisakti  
Jurusan Teknik Mesin  
[161012110004@std.trisakti.ac.id](mailto:161012110004@std.trisakti.ac.id)

*The use of diesel oil has been proven to increase exhaust emissions which will have an impact on the environment. Mixing diesel oil with other fuels can reduce exhaust emissions and increase combustion efficiency. This article discusses the review of mixing kerosene with diesel oil and biodiesel. The method was the fuel are running in the diesel engine and calculated the performance and emissions in the engine. The fuel properties of mixing kerosene with diesel oil and biodiesel can reduce the level of viscosity and specific gravity of the fuel and increase the calorific value which will have an impact on improving the atomization in combustion. In addition, mixing diesel oil and kerosene can reduce emissions such as CO<sub>2</sub>, CO, HC, particulate, and opacity. However, mixing kerosene with biodiesel can increase NOx emissions. In addition, the addition of kerosene in diesel oil can lead to low fuel consumption in diesel oil. The addition of kerosene with biodiesel will increase thermal efficiency. Therefore, it can be concluded that the addition of kerosene into diesel oil and biodiesel can improve engine performance in the engine and reduce some exhaust emissions.*

**Keywords :** Kerosene, Diesel Oil, Emissions, Fuel Consumption, Fuel Properties.

### 1. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan yang terjadi saat ini adalah salah satunya berupa emisi gas buang dari mesin-mesin industri dan mesin kendaraan. Mesin diesel saat ini digunakan sebagai transportasi, pembangkit listrik dan juga dipakai untuk mesin-mesin di industri. Bahan bakar yang dapat digunakan di mesin diesel yaitu berasal dari fosil dan dapat juga digunakan biodiesel. Bahan bakar fosil atau minyak diesel adalah salah satu bahan bakar hidrokarbon yang berasal dari penyulingan minyak bumi, sedangkan biodiesel adalah bahan bakar yang berasal dari sumber nabati yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi. Biodiesel dapat terbuat dari minyak jelantah [1], minyak kelapa [2], minyak kedelai [3], minyak dari biji bintaro [4], minyak jarak [5] dan lain sebagainya. Penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar di kendaraan dapat menimbulkan emisi gas buang yang sangat besar, seperti menghasilkan gas karbon monoksida (CO) yang tinggi, gas hidrokarbon (HC) yang tinggi, gas *nitrogen oxides* (NO) yang tinggi. Untuk mengantisipasi hal ini maka diperlukan penelitian mengenai bahan bakar yang kualitasnya lebih baik sehingga emisi gas buang dapat diturunkan dan performa mesin dapat ditingkatkan. Bahan bakar dapat ditingkatkan kualitasnya yaitu salah satunya adalah dengan pencampuran bahan bakar satu dengan lainnya, Sehingga kualitas bahan bakar yang tidak baik dapat ditingkatkan propertisnya dengan bahan bakar yang tinggi kualitasnya.

Para peneliti telah melakukan studi untuk menghasilkan bahan bakar yang berkualitas baik yaitu dengan mencampur minyak diesel dengan biodiesel dengan campuran yang bervariasi yang hasilnya dapat menurunkan emisi gas buang dan performa mesin juga tetap baik [6, 7]. Dalam penelitian tersebut, variasi persentase dari biodiesel akan mempengaruhi dari hasil tes performa mesin. Selain itu kendala yang dihadapi adalah kekentalan pada minyak biodiesel yang akan mengakibatkan sulitnya atomisasi pada pembakaran di mesin [8]. Selain itu para peneliti juga mengkaji mengenai minyak diesel yang dicampur dengan air [9, 10]. Hasil yang didapat yaitu emisi yang dihasilkan dapat menurunkan emisi gas buang dan nilai efisiensi di mesin akan semakin baik dibandingkan dengan minyak diesel. Namun, dalam penelitian tersebut mempunyai

kesulitan dalam membuat aditif agar campuran tersebut dapat bercampur secara homogen dengan minyak diesel. Dan terakhir, penelitian yang dapat meningkatkan kualitas minyak diesel yaitu dengan menambahkan minyak tanah ke dalam minyak diesel. Dalam penelitian tersebut tidak memiliki kendala sama sekali dikarenakan pencampuran dilakukan oleh dua bahan bakar dan divariasikan dengan persentase dari bahan bakar itu sendiri. Dalam makalah ini berisi ulasan mengenai pencampuran minyak tanah terhadap minyak diesel dan biodiesel terhadap performa mesin dan emisinya.

## 2. PEMBAHASAN

Meode dari ulasan ini mencakup analisa propertis dari bahan bakar yang dicampur dengan minyak tanah, analisa pembakaran pada mesin diesel, analisa emisi yang terjadi di mesin diesel dan analisa mengenai penyemprotan dari bahan bakar minyak tanah yang dicampur dengan etanol dan bahan lainnya. Ulasan dilakukan dengan menggunakan beberapa jurnal yang terkait sama dengan topik ini. Pada Tabel terdapat rangkuman dari berbagai nara sumber. Pada Gambar akan diperlihatkan mengenai trend yang terjadi terhadap campuran minyak tanah dengan bahan bakar lainnya. Semuanya akan disimpulkan pada pembahasan berikut ini.

### 2.1 Analisa Propertis Bahan Bakar

Pada analisa propertis bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini. Tabel 4.1 ini berisi mengenai data mengenai kekentalan, titik nyala, kadar sulfur, berat jenis, angka setan dan nilai kalor dari campuran minyak tanah dengan bahan minyak diesel dan biodiesel. Data-data tersebut dibandingkan antara berbagai macam biodiesel dan minyak diesel. Minyak diesel sebagai bahan bakar yang memiliki kekentalan yang tinggi dibandingkan dengan minyak diesel. Analisa mengenai hal ini akan dijabarkan di bawah ini.

**Tabel 1:** Properti bahan bakar campur minyak tanah

| Data                             | Minyak Diesel [11] | minyak Tanah [11] | Campuran biodiesel 20% <i>Pongamia Pinnata</i> dan minyak tanah [12] | Campuran biodiesel biji bunga matahari 40% dan minyak tanah [13] | Campuran biodiesel biji bunga matahari 55% dan minyak tanah [13] | Minyak tanah 10% dengan minyak diesel 90% [14] | Minyak tanah 20% dan minyak diesel 80% [14] |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Kekentalan @40°C [cSt]           | 2,6                | 1,34              | 4,89                                                                 | 3,4                                                              | 2,87                                                             | 2,744                                          | 2,378                                       |
| Titik didih [°C]                 | -                  | -                 | -                                                                    | 125                                                              | 105                                                              | -                                              | -                                           |
| Berat jenis [kg/m <sup>3</sup> ] | 832,4              | 810,5             | 890                                                                  | 845                                                              | 835                                                              | 830,9                                          | 827,1                                       |
| Angka setan                      | 50,8               | 38                | -                                                                    | -                                                                | -                                                                | 54,5                                           | 53,7                                        |
| Nilai Kalor [kJ/kg]              | 45.776             | 43,1              | 34,28                                                                | 39,46                                                            | 40,38                                                            | -                                              | -                                           |

Pada Tabel 1 adalah properti bahan bakar yang dicampur dengan minyak tanah. Pada Tabel 1 terlihat bahwa minyak tanah memiliki kekentalan, berat jenis, angka setan dan nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak diesel [11]. Biodiesel memiliki kekentalan, titik didih dan berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan minyak diesel. Sehingga dengan menambah minyak tanah akan membuat property dari biodiesel menjadi lebih baik. Kekentalan dan berat jenis akan berkurang, sehingga akan memudahkan untuk atomisasi bahan bakar di injector. Sehingga pembakaran akan lebih baik. Hal ini dapat dilihat pada kekentalan dan berat jenis yang lebih besar pada biodiesel 20% *Pongamia Pinnata*, 40% dan 50% dari minyak bunga matahari yang dicampur dengan minyak tanah jika dibandingkan dengan minyak diesel. Hal ini disebabkan biodiesel memiliki kekentalan yang tinggi, namun kekentalan itu dapat diturunkan jika ditambahkan dengan minyak tanah yang akan berdampak mudahnya dalam atomisasi pada minyak tersebut [12]. Selain itu, dengan penambahan sekitar 40% dan 50% dari biodiesel bunga matahari maka terjadi penurunan terhadap nilai kekentalan, berat jenis jika dibandingkan dengan minyak diesel. Tetapi hasil yang

didapat berkebalikan dengan nilai kalornya. Nilai kalor yang didapat dengan penambahan 40% dan 50% biodiesel bunga matahari menunjukkan kenaikan dari nilai kalor. Kenaikan nilai kalor dapat menghasilkan pembakaran yang lebih baik dan emisi yang dihasilkan dari mesin diesel juga lebih baik [13]. Penambahan minyak tanah juga telah dianalisa oleh Jati dan Bhikuning [14] yang menjelaskan bahwa dengan penambahan minyak tanah nilai kekentalan dan *density* juga akan turun seiring dengan bertambahnya konsentrasi pada minyak tanah. Sehingga dapat disimpulkan campuran 20% minyak tanah mendapatkan nilai properti bahan bakar yang baik karena nilai *boiling fuel* dan kalori yang baik di antara minyak yang lain.

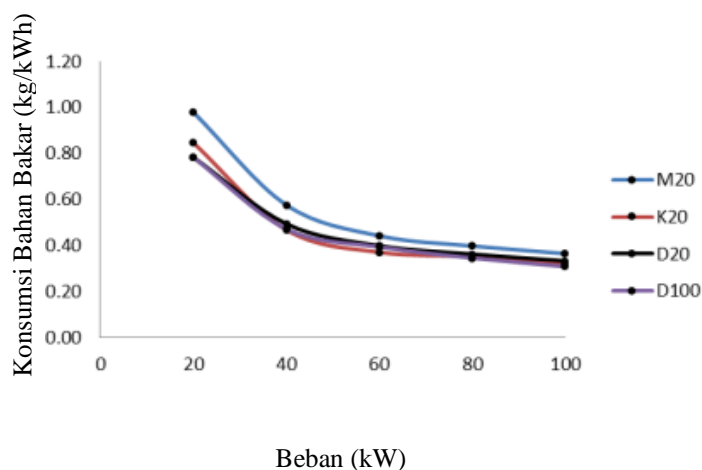
Pencampuran minyak tanah dapat juga dilakukan antara bahan kimia yang lainnya seperti yang dilakukan Mushtaq et al. [15]. Mereka mempelajari properti bahan bakar minyak tanah yang dicampur dengan naftalin dan turpentine. Tujuan yang ingin dicapai adalah menghasilkan nilai property yang lebih baik untuk bahan bakar turpentine. Hasil yang didapat adalah jika ditambahkan 17, 5% naftalin maka menghasilkan nilai titik nyala yang sama dengan turpentine yaitu 43°C walaupun titik didih yang dihasilkan tidak sama dengan turpentine yaitu 180 °C.

Pencampuran minyak tanah juga dilakukan untuk penggunaan kompor pompa dan sumbu. Penelitian sebelumnya yaitu melakukan penelitian mengenai pencampuran minyak tanah dengan minyak goreng [16]. Komposisi minyak tanah yang digunakan adalah 20%, 30%, 50% dan 70%. Hasil yang didapat yaitu campuran 20% dan 30% adalah yang paling efisien. Selama pengujian tingkat emisi CO akan menurun dengan meningkatnya proporsi campuran minyak goreng. Selain itu, viskositas akan meningkat dengan meningkatnya proporsi minyak goreng dalam campuran.

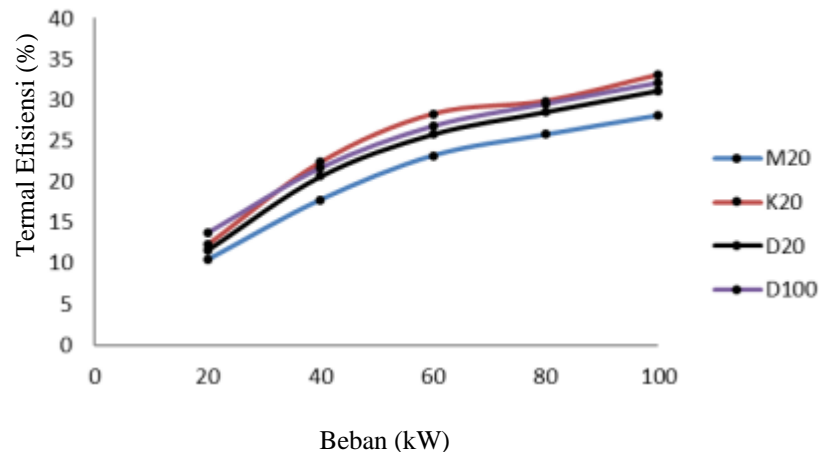
Dari hasil analisa bahan bakar dapat dianalisa jika penambahan minyak tanah akan berakibat kepada penurunan nilai kekentalan di bahan bakar. Penurunan kekentalan ini baik jika bahan bakar memiliki kekentalan tinggi seperti biodiesel. Sehingga penambahan minyak tanah ke biodiesel akan lebih baik sehingga menghasilkan nilai kekentalan yang sesuai untuk memudahkan atomisasi bahan bakar. Selain itu dampak positif jika penambahan minyak tanah ke minyak diesel atau biodiesel akan meningkatkan nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar sangat penting untuk melihat jumlah energi yang terbakar di dalam bahan bakar. Selain itu dampak positifnya adalah akan terjadi peningkatan nilai setan dibahan bakar yang akan mengakibatkan pembakaran bahan bakar menjadi lebih baik dan nilai dari sulfur akan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan tanpa pencampuran minyak tanah. Penambahan minyak tanah harus diperhatikan persentasenya sehingga pembakaran bahan bakar akan menjadi lebih baik.

## 2.2 Analisa Pembakaran di Mesin Diesel

Beberapa peneliti telah mempelajari mengenai bahan bakar minyak tanah yang di campur dengan minyak diesel dan biodiesel. Kumar et al. [12] menganalisa efek dari minyak tanah yang dicampur methanol dengan biodiesel *Pongamia Pinnata* pada kecepatan mesin 1500 rpm dengan variasi pada bebannya. Campuran yang dipakai adalah minyak diesel (D100), 20% minyak diesel dan 80% biodiesel (D20), 20% minyak tanah dan 80% biodiesel (K20) dan 20% methanol dan 80% biodiesel (M20). Gambar 1 adalah hasil yang didapat pada perhitungan konsumsi bahan bakar minyak tanah terhadap bahan bakar lainnya.



**Gambar 1.** Konsumsi Bahan Bakar dengan Campuran Minyak Tanah, Biodiesel dan Metanol [12]



**Gambar 2.** Termal Efisiensi Bahan Bakar dengan Campuran Minyak Tanah, Biodiesel dan Metanol [12]

Pada Gambar 1 terlihat bahwa saat beban mesin meningkat, konsumsi bahan bakar menurun untuk semua bahan bakar uji. Konsumsi bahan bakar lebih tinggi untuk semua bahan bakar uji lain selain minyak diesel; hal ini disebabkan karena nilai kalor yang lebih rendah untuk bahan bakar selain minyak diesel. Konsumsi bahan bakar (BSFC) untuk K20 pada beban 40% hingga 60% lebih rendah daripada bahan bakar uji lainnya. Hal ini disebabkan karakteristik aliran bahan bakar yang lebih baik pada suhu tinggi dan peningkatan efisiensi mesin [12].

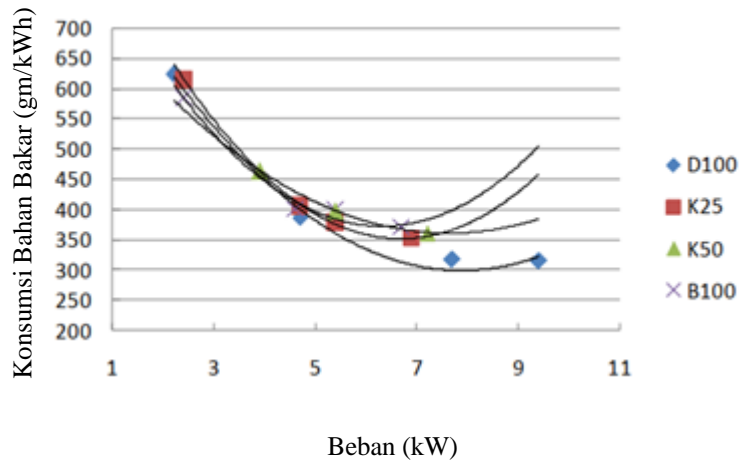
Pada Gambar 2 adalah gambaran dari termal efisiensi dari bahan bakar campuran minyak tanah dengan biodiesel dan methanol. Efisiensi termal untuk semua bahan bakar nilainya lebih rendah dari minyak diesel, hal ini disebabkan adanya biodiesel di dalam campuran yang dapat mengurangi nilai kalor dan peningkatan viskositas atau kekentalan yang dapat menghambat terjadinya atomisasi di bahan bakar. Nilai efisiensi termal K20 adalah yang tertinggi dibandingkan dengan bahan bakar lainnya. Hal ini dikarenakan adanya pembakaran yang lebih baik dibandingkan bahan bakar yang lainnya [12].

Selain itu, penelitian mengenai pencampuran minyak tanah dengan biodiesel terbuat dari biji matahari telah dilakukan sebelumnya [13]. Pada penelitian tersebut biodiesel dicampur dengan presentase minyak tanah sebesar 40%, 55%, 70% dan 85% dengan minyak diesel. Kecepatan pada mesin yaitu 1000 rpm, 2000 rpm dan 3000 rpm dengan beban yang tetap pada masing-masing uji. Hasil yang didapat adalah campuran biodiesel-minyak tanah menunjukkan termal efisiensinya lebih tinggi daripada bahan bakar minyak diesel karena kandungan oksigen (sekitar 10%) dalam bahan bakar biodiesel yang dapat meningkatkan pembakaran. Termal efisiensi minyak tanah lebih tinggi yang berarti minyak tanah cocok untuk digunakan pada mesin diesel, karena nilai kalor yang lebih tinggi, dan viskositas yang rendah minyak tanah dapat meningkatkan atomisasi bahan bakar. Nilai termal efisiensi meningkat dengan meningkatnya persentase minyak tanah dalam campuran. Konsumsi bahan bakar yang terjadi adalah berbanding lurus dengan laju aliran massa bahan bakar. Konsumsi bahan bakar akan menurun dengan penambahan minyak tanah karena nilai kalor minyak tanah yang tinggi dan efisiensi termal yang lebih baik dibandingkan dengan minyak diesel dan biodiesel. Konsumsi bahan bakar akan mengikuti tren yang sama untuk semua bahan bakar; dengan peningkatan kecepatan mesin hingga 2000rpm maka konsumsi bahan bakar akan berkurang dan kemudian meningkat dengan peningkatan kecepatan mesin [13].

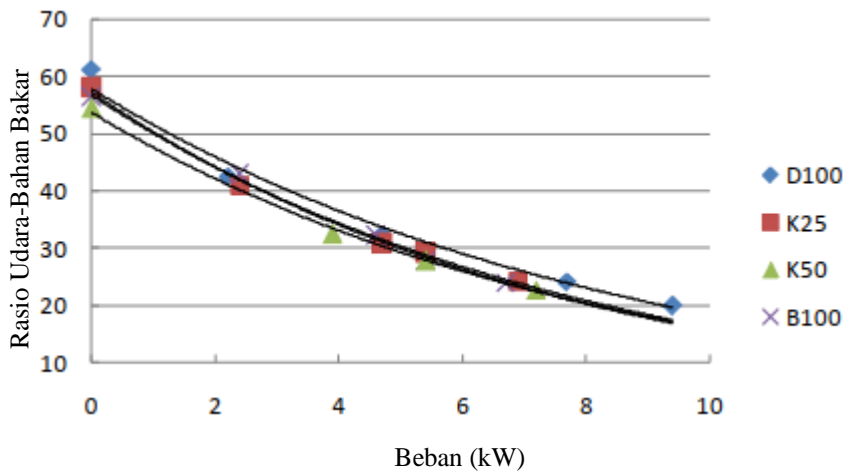
Anjum dan Prakash [17] menganalisa mengenai pencampuran 5%, 10% dan 15% minyak tanah terhadap minyak diesel dengan membedakan beban pada mesin yang berbeda yaitu tanpa beban 5kg, 10 kg dan 15 kg dengan kecepatan mesin tetap sebesar 1500 rpm. Untuk perhitungan rata-rata konsumsi bahan bakar didapat jika rata-rata konsumsi bahan bakar minyak diesel lebih besar dibandingkan dengan campuran minyak tanah dengan minyak diesel. Semakin besar beban yang diberikan ke mesin diesel maka akan semakin besar konsumsi bahan bakar yang terjadi.

Zaher et al. [18] juga mempelajari hal yang sama yaitu mencampur minyak diesel (D100) dengan minyak tanah dengan persentase 25% (K25) dan 50% (K50) pada kecepatan mesin 1250 rpm dan 900 rpm dengan beban yang berbeda. Hasil yang didapat bahwa konsumsi bahan bakar menjadi lebih rendah untuk campuran 25% dan 50% minyak tanah dibandingkan dengan biodiesel. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3

mengenai konsumsi bahan bakar pada kecepatan mesin 1250 rpm. Selain itu pada Gambar 4 mengenai rasio udara bahan bakar pada campuran minyak tanah dengan minyak diesel pada 1250 rpm. Dapat dilihat pada Gambar 4 yaitu dengan semakin naiknya beban, maka rasio udara-bahan bakar akan semakin berkurang. Hal ini menandakan bahwa semakin besar beban maka rasio udara bahan bakar yang digunakan akan semakin sedikit dan akan mengakibatkan pembakaran yang baik sehingga efisiensi termis yang dihasilkan akan semakin baik dan konsumsi bahan bakar yang tidak terlalu banyak atau irit jika dibandingkan dengan beban yang rendah.



**Gambar 3.** Konsumsi bahan bakar terhadap beban untuk berbagai campuran minyak tanah terhadap minyak diesel pada 1250 rpm [18]



**Gambar 4.** Rasio udara-bahan bakar terhadap beban untuk campuran minyak tanah terhadap minyak diesel pada 1250 rpm [18]

Selain itu, penggunaan minyak tanah dibandingkan dengan biodiesel telah dianalisa. Salah satunya adalah mempelajari efek dari penggunaan alga dan minyak jatropha pada gas buang dari pesawat yang berbahan bakar dasar minyak tanah [19]. Hasil yang didapat adalah emisi yang dihasilkan dari penggunaan alga dan jatropha dapat menurunkan sekitar 40% CO dari penggunaan minyak tanah.

Selain itu analisa pada pembakaran pada minyak tanah dicampur minyak diesel pada mesin diesel telah banyak dilakukan [20]. Salah satu hasil yang didapat yaitu dengan penambahan minyak tanah sebesar volumetrik 15% ke minyak diesel secara efektif mempersingkat waktu tunda pengapian. Selain itu, pengapian suhu rendah dimulai dengan nyala biru dan identifikasi sinyal formaldehida lebih lanjut menunjukkan bahwa nyala biru adalah nyala dingin. Penambahan minyak tanah meningkatkan intensitas nyala api dingin, yang kondusif untuk transformasi menjadi nyala api panas bersuhu tinggi. Jadi,

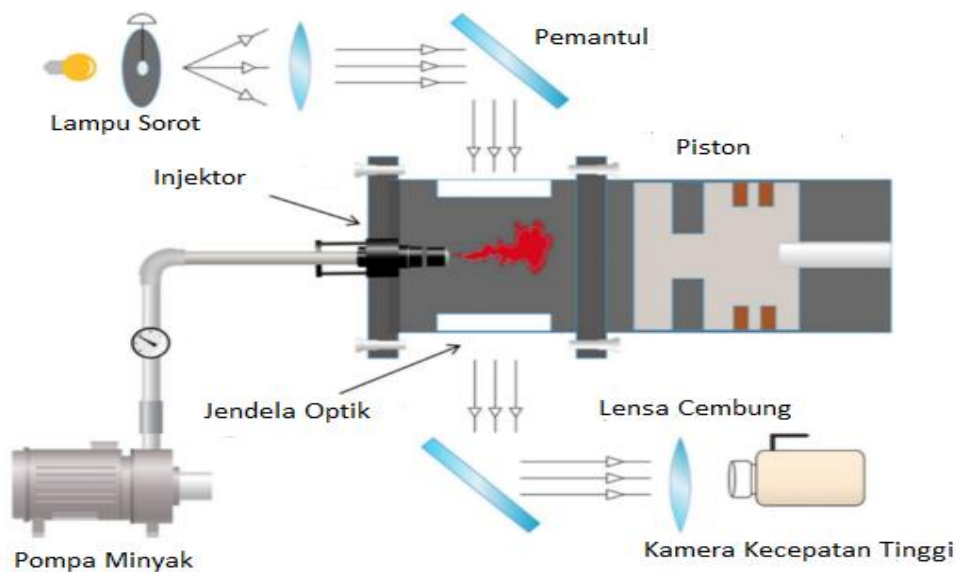
menambahkan sebagian kecil minyak tanah ke minyak diesel berkontribusi pada start dingin yang cepat pada suhu rendah.

Dari hasil ulasan beberapa peneliti terlihat bahwa properti bahan bakar memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan pembakaran di mesin diesel. Minyak tanah memiliki sifat yang dapat mengencerkan suatu zat. Maka, jika minyak tanah dicampur dengan biodiesel yang memiliki kekentalan yang tinggi, maka dapat menurunkan kekentalan di biodiesel tersebut. Dengan nilai kekentalan yang turun, maka akan memudahkan atomisasi bahan bakar sehingga pembakaran akan lebih baik dibanding dengan biodiesel murni. Selain itu, dengan penambahan minyak tanah pada biodiesel maka akan menyebabkan nilai kalor yang tinggi yang dapat berakibat pada pembakaran yang lebih baik di mesin diesel.

### 2.3 Analisa Karakteristik Propagasi Api dan Penyemprotan

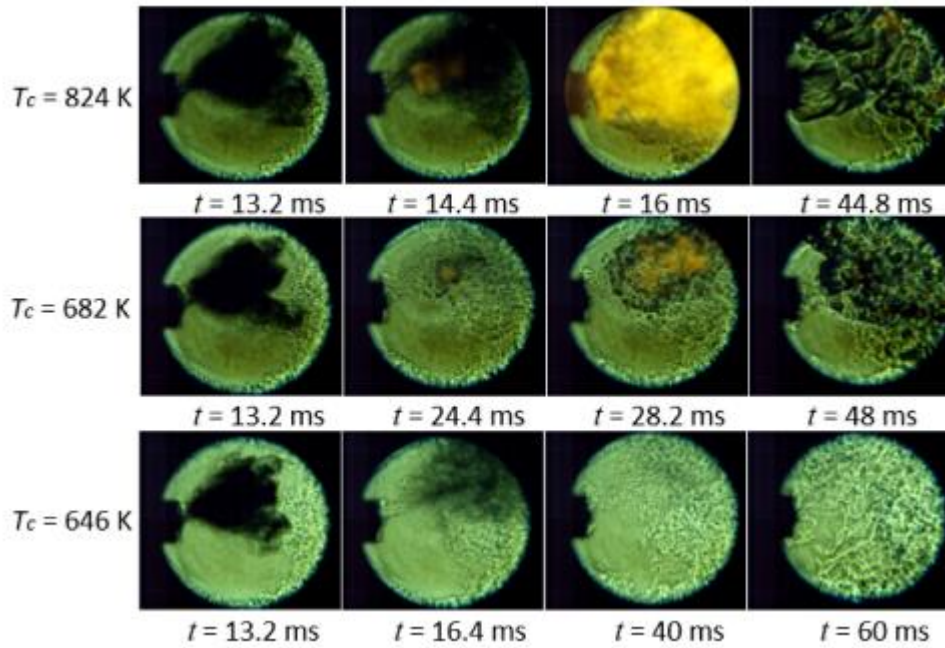
Untuk meningkatkan kualitas dari karakteristik penyemprotan yaitu atomisasi dan mengurangi emisi gas buang pada minyak diesel. Maka pencampuran antara minyak diesel dengan beberapa biodiesel dan minyak tanah telah banyak dilakukan dan dianalisa. Pencampuran dilakukan agar hasil minyak diesel dapat lebih baik hasilnya. Hasil yang lebih baik dari analisa bahan bakarnya, emisi dan karakteristik penyemprotannya. Oleh karena itu mengetahui karakteristik penyemprotan pada pencampuran minyak diesel dengan minyak tanah sangat diperlukan untuk menghasilkan bahan bakar yang berkualitas dan lebih baik dari campuran yang lainnya.

Pengukuran penyemprotan sudut kerucut, koefisien debit, panjang hasil penyemprotan, dan distribusi kecepatan diperoleh dari kecepatan gambar partikel, sedangkan ukuran droplet diperoleh dengan analisis pencitraan partikel/ droplet. Analisa penyemprotan dapat dilakukan dengan *rapid compression machine* (RCM) dengan menggunakan dasar RCM sebagai menyerupai kinerja piston di mesin. RCM biasa digunakan pada analisa karakteristik penyalan otomatis dari campuran fase gas homogen, seperti nitromethane [21] dan methyl cyclohexane [22]. Pada analisa penyemprotan minyak tanah dengan menggunakan skema RCM di Gambar 5.



**Gambar 5.** Skema Ruang Pembakaran [23]

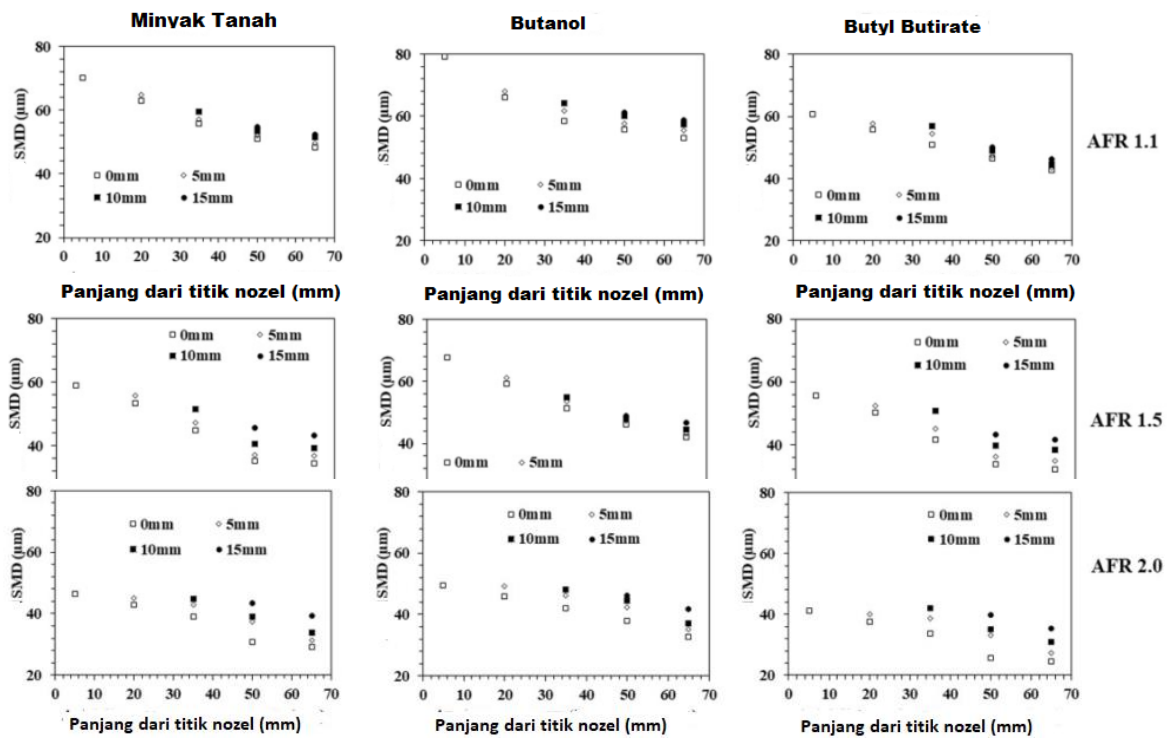
Pada Gambar 5 terlihat bahwa pada ruang bakar memiliki geometri silinder dengan kepala silinder datar, dan dua jendela optik dipasang secara horizontal di kedua sisinya. Badan injektor dipasang di bagian tengah kepala silinder untuk membuang bahan bakar bertekanan dan menginisialisasi semprotan bahan bakar. Analisa yang dilakukan pada minyak tanah dengan suhu terkompresi antara 600-900 K dan menggunakan perbedaan injeksi yaitu 10, 15, 20 dan 30 MPa. Gambar 6 adalah menunjukkan propagasi api yang terjadi untuk minyak tanah.



**Gambar 6.** Propagasi api dengan temperature ambient 824, 682 dan 646 K [23]

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa propagasi api pada minyak tanah akan berbeda di setiap temperature ambientnya. Pada temperature ambient 646 K dan  $t = 13,2$  ms terlihat bahwa kinerja penguapan yang rendah dibandingkan dengan yang lainnya. Pada saat Temperatur 646 K terlihat bahwa tidak terjadi propagasi api yang terbentuk dibanding dengan temperature 682 K dan 834 K. Semakin tinggi temperatur ambient maka kinerja penguapan akan lebih baik, api akan lebih terang dan memiliki propagasi api yang lebih cepat. Sehingga temperature ambient akan sangat berpengaruh terhadap propagasi api yang terbentuk di pembakaran [23].

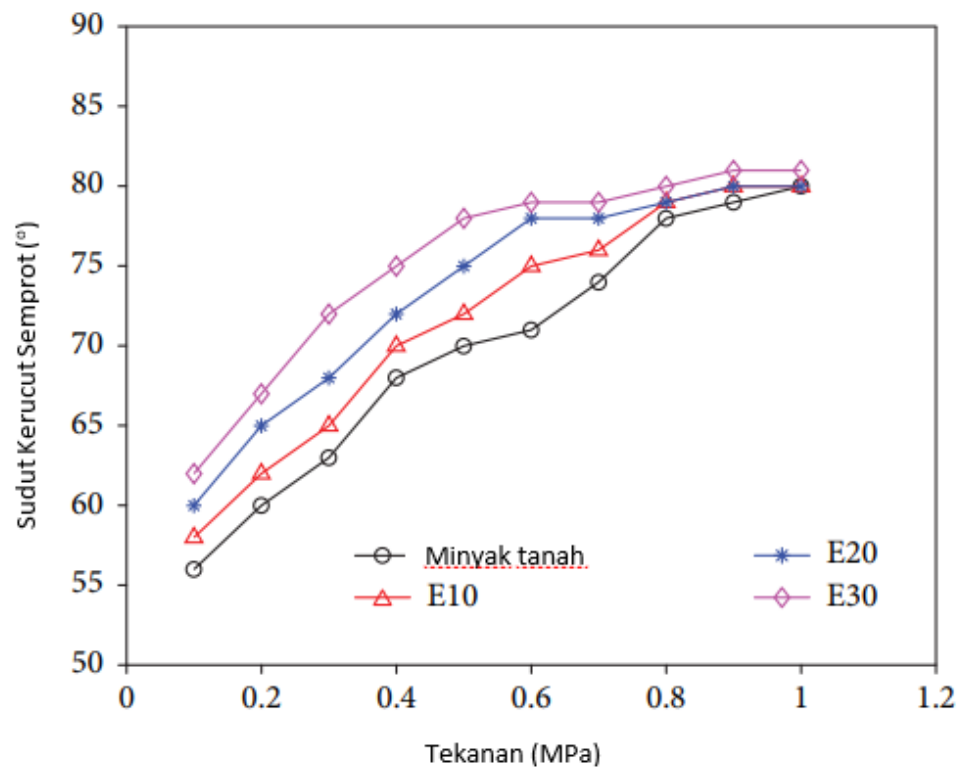
Selain itu, analisa *Sauter Mean Diameter* (SMD) juga perlu dilakukan dalam menentukan ukuran droplet dari bahan bakar. Pengukuran SMD dapat dilakukan dengan menggunakan *Phase Doppler interferometry* (PDI). PDI telah digunakan untuk mengekstrak informasi tentang diameter droplet dan distribusi kecepatan sedangkan sistem bayangan kecepatan tinggi telah digunakan untuk mendapatkan sudut semprot kerucut dan panjang penetrasi ujung semprot [24]. Pengukuran SMD pada minyak tanah, butanol dan butyl butirate pada suhu ruang dan pada *air fuel ratio* (AFR) adalah 1,1 ; 1,2 dan 2,0. Seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7.** SMD dari minyak tanah, butanol dan *butyl butyrate* untuk AFR 1; 1,5 dan 2,0 [25]

Pada Gambar 7 dapat dilihat jika *air fuel ratio* dapat berefek kepada ukuran panjang dari titik nozel dan SMDnya. Semakin besar air fuel ratio maka akan berakibat semakin kecil ukuran SMD dan panjang dari titik nozzle. Selain itu, ukuran SMD dan Panjang dari titik nozzle pada minyak tanah lebih kecil dan pendek dibandingkan dengan butanol. Hal ini disebabkan karena kekentalan dari minyak tanah (0,6 cSt) itu lebih kecil dibandingkan dengan butanol (3,64 cSt). Sehingga menyebabkan minyak tanah dapat lebih terbakar sempurna dibandingkan dengan butanol, walau terlihat keduanya sama-sama terbakar secara sempurna.

Pada analisa karakteristik penyemprotan pada campuran minyak tanah dan menggunakan etanol dari tekanan Swirl Nozzle [26], untuk minyak yang dianalisa adalah E10 (minyak tanah 90%, etanol 10%), E20 (minyak tanah 80%, etanol 20%) dan E30 (minyak tanah 70%, etanol 30%) dan analisa dilakukan dengan tekanan injeksi sebesar 0,1- 1 MPa. Gambar 8 merupakan sudut penyemprotan terhadap tekanan pada campuran minyak tanah. Sudut kerucut semprot, didefinisikan sebagai sudut terbesar yang dibentuk oleh dua garis lurus dari nosel ujung ke batas semprotan [23]. Selanjutnya dengan tekanan injeksi yang berbeda yaitu 0,2; 0,5; dan 0,8 MPa akan dianalisa efek droplet dari *Sauter Mean Diameter* (SMD) [26]. Hasil yang didapat yaitu pada tekanan injeksi yang semakin tinggi maka nilai SMD dari bahan bakar yaitu minyak tanah dan campuran etanol tidak terlihat mencolok. Namun untuk tekanan injeksi yang rendah terdapat perbedaan yang signifikan. Nilai dari droplet SMD untuk minyak tanah lebih tinggi dibandingkan dengan campuran etanol untuk setiap tekanan injeksi. Sehingga dengan penambahan etanol pada minyak tanah akan meningkatkan kualitas semprotan dalam *chamber*.

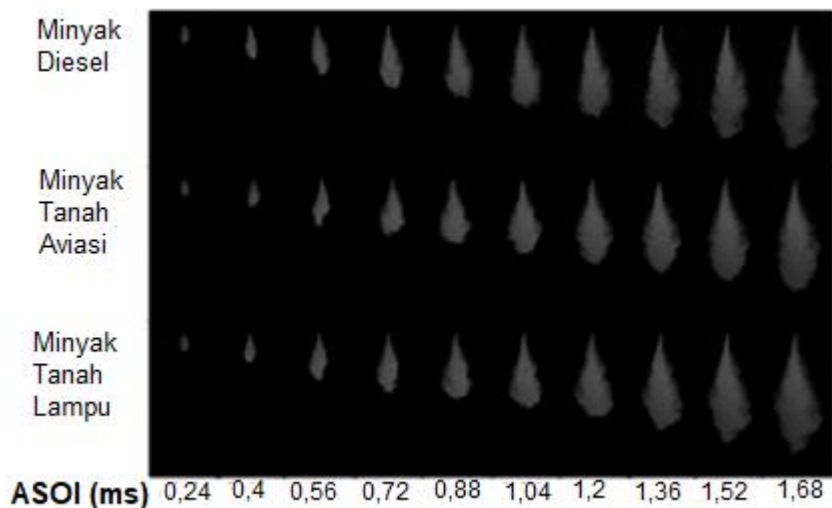
**Gambar 8.** Sudut penyemprotan terhadap tekanan pada campuran minyak tanah [26]

Karakteristik penyemprotan juga dianalisa sebelumnya secara makroskopik terhadap minyak tanah yang dicampur dengan minyak diesel dengan menggunakan injector dari piezoelectric dan solenoid [27]. Hasilnya menunjukkan bahwa injektor piezoelektrik memiliki keunggulan respon injeksi dan pembukaan jarum yang lebih cepat daripada injektor solenoid konvensional, hal ini akan memungkinkan untuk mengontrol injeksi yang tepat dan cepat dan bermanfaat untuk pencampuran udara-bahan bakar sebelum penyalaan di mesin diesel. Karena nilai kekentalan minyak tanah yang lebih rendah maka akan

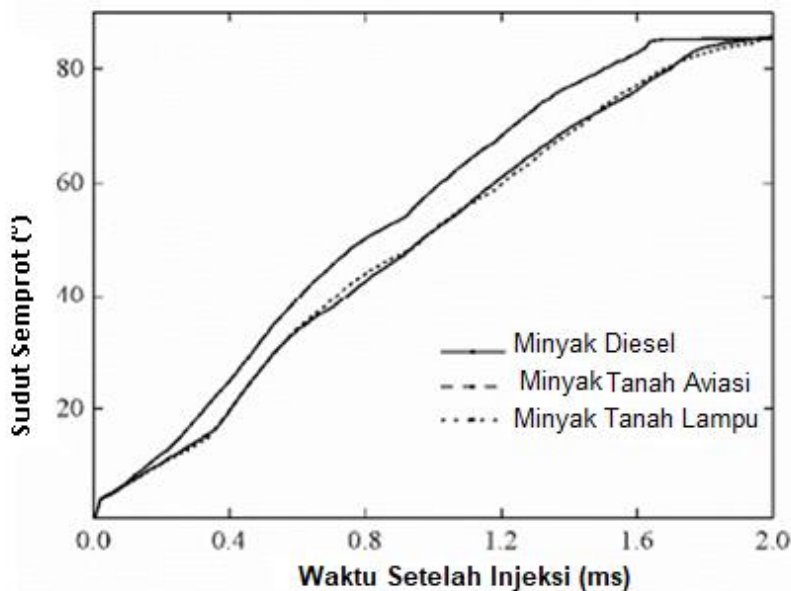


mengakibatkan durasi injeksi minyak tanah lebih lama daripada minyak diesel. Selain itu, minyak tanah membutuhkan interval injeksi yang lebih lama untuk merealisasikan beberapa injeksi. Minyak tanah memiliki penetrasi semprotan yang lebih pendek dan kecepatan semprotan yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak diesel, sedangkan sudut semprotan minyak tanah lebih besar dari minyak diesel. Semprotan minyak tanah mendapatkan lebih banyak udara masuk daripada minyak diesel, yang berarti penggunaan minyak tanah memiliki keuntungan dalam pencampuran bahan bakar-udara.

Selain itu, perbedaan penyemprotan minyak tanah lampu, minyak tanah aviasi dan minyak diesel telah dianalisa [28]. Pada Gambar 9 terlihat bahwa bentuk penyemprotan pada awal injeksi memiliki gambar yang sama. Namun seiring waktu injeksi maka semprotan pada minyak diesel pada bagian depannya memiliki celah lebih sempit dan semprotannya berkembang lebih cepat dibandingkan dengan semprotan pada minyak tanah.



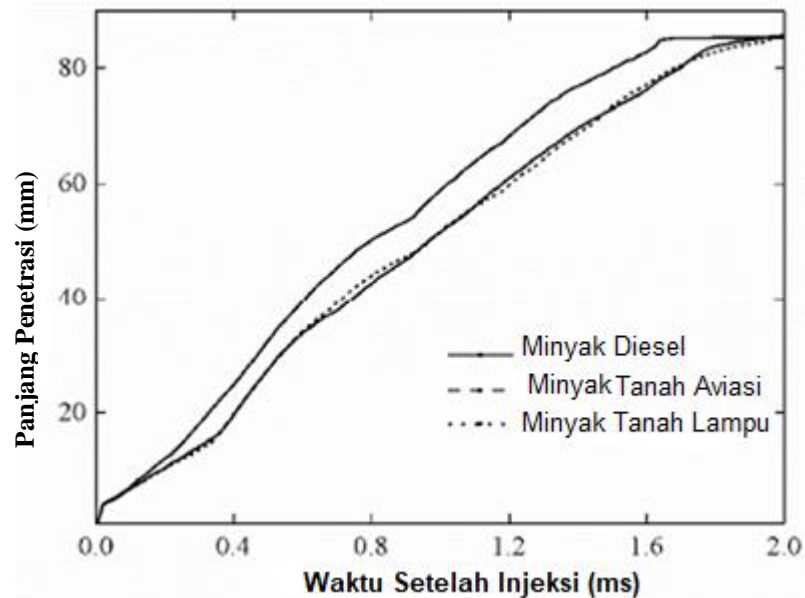
Gambar 9. Bentuk penyemprotan untuk setiap bahan bakar [28]



Gambar 10. Sudut kerucut penyemprotan pada setiap bahan bakar [28]

Gambar 10 menunjukkan variasi sudut kerucut penyemprotan bahan bakar yang berbeda yang dibandingkan dengan seiring waktu injeksi. Secara umum, sudut semprot kerucut dari kedua jenis bahan bakar minyak tanah sedikit lebih besar dari bahan bakar minyak diesel. Di dalam kisaran awal semprotan, sekitar 0 ~ 0,5 ms, sudut kerucut semprotan minyak tanah aviasi dan minyak tanah lampu adalah 11,2% dan

10,3% lebih tinggi dari minyak diesel pada saat yang sama. Seiring berjalannya waktu, sudut kerucut semprotan minyak tanah lampu hampir sama dengan minyak diesel. Perbedaannya kurang dari 2%. Dan sudut semprot kerucut minyak tanah aviasi adalah 4,8% lebih besar dari minyak diesel [28]. Gambar 11 adalah panjang penyemprotan pada bahan bakar minyak tanah dengan minyak diesel. Terlihat bahwa kurva penetrasi semprotan kedua bahan bakar minyak tanah hampir sama. Perbedaannya kurang dari 3%. Sementara penetrasi semprotan minyak diesel secara signifikan lebih lama. Dibandingkan dengan minyak tanah aviasi dan minyak tanah lampu, perbedaannya sekitar 18,3% dan 17,1% [28].



**Gambar 11.** Panjang Penyemprotan pada setiap bahan bakar [28]

Karakteristik semprotan bahan bakar minyak diesel dan minyak tanah campuran etanol hampir mirip dengan bahan bakar konvensional. Tetapi pada peningkatan persentase campuran, karakteristik semprotan pada bahan bakar campuran minyak tanah dan etanol menjadi lebih baik daripada bahan bakar konvensional [29].

Pada analisa semprotan bahan bakar minyak tanah dibandingkan dengan bahan bakar lainnya adalah minyak tanah memiliki nilai kekentalan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak diesel dan biodiesel. Hal ini akan berpengaruh kepada sifat penyemprotan bahan bakar. Minyak tanah mempunyai penundaan injeksi yang paling pendek setelah minyak diesel dan biodiesel. Nilai distilasi dari minyak diesel dan biodiesel jika ditambahkan oleh minyak tanah maka semakin berkurang nilainya. Jika dibandingkan dengan nilai distilasi antara minyak tanah dengan minyak diesel tidak akan banyak perbedaannya. Sehingga pada panjang semprotan yang terjadi juga tidak terlihat signifikan. Namun jika penambahan antara pencampuran antara biodiesel dengan minyak tanah maka akan menghasilkan semprotan yang baik. Hal ini dikarenakan nilai distilasi juga akan menjadi lebih baik jika pencampuran dilakukan. Sifat penyemprotan juga berpengaruh bukan hanya sifat dari bahan bakar saja melainkan dari nilai tekanan dari injeksi di mesin diesel, diameter nosel, mesin diesel yang digunakan, jenis nosel yang digunakan. Selain itu, nilai distilasi akan berdampak pada droplet dari *Sauter Mean Diameter* yang ada di bahan bakar yang digunakan. Selain itu nilai kekentalan juga berdampak pada nilai droplet bahan bakar. Jika kekentalan bahan bakar yang tinggi maka nilai droplet pun akan semakin besar karena akan sulit bahan bakar untuk melakukan atomisasi. Namun jika nilai kekentalan bahan bakar rendah maka nilai droplet pun akan semakin kecil dan atomisasi pada pembakaran bahan bakar akan lebih mudah.

#### 2.4 Analisa Emisi di Mesin Diesel

Pada Tabel 2 di bawah ini adalah ringkasan mengenai ulasan dari emisi yang dihasilkan oleh mesin diesel dengan bahan bakar minyak tanah yang dicampur dengan minyak diesel dan biodiesel dari berbagai sumber. Emisi yang dihasilkan dari bahan bakar adalah NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, HC, partikulat dan opasitas. Hasil yang didapat dapat berubah-ubah sesuai dengan kondisi mesin dan parameternya. Hasil emisi juga akan

menunjukkan yang berbeda tergantung dari persentase campuran pada bahan bakar. Selain itu juga, hasil yang berbeda disebabkan oleh bahan dari minyak pencampuran tersebut.

**Tabel 2:** Emisi yang Dihasilkan dari Pembakaran Campuran Minyak Tanah

| Pencampuran                                        | Presentase                           | NOx               | CO                 | CO <sub>2</sub> | HC                 | SO <sub>2</sub> | Opasitas |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|----------|
| Minyak tanah + minyak <i>Pongamia pinnata</i> [12] | 20% minyak tanah                     | Naik              | Turun              | Turun           | Turun              | -               | -        |
| Minyak tanah + biodiesel biji matahari [13]        | 60%, 45%, 30%, 15% minyak tanah      | Naik <sup>1</sup> | Turun <sup>1</sup> | -               | Turun <sup>1</sup> | -               | -        |
| Minyak tanah + Minyak diesel <sup>2</sup> [18]     | 25%, 50% minyak tanah                | Turun             | Turun              | Turun           | -                  | -               | -        |
| Minyak tanah + biodiesel jatropa <sup>3</sup> [30] | 95%, 90%, 90%, 85%, 80% minyak tanah | Naik              | -                  | Naik            | Turun              | Naik            | -        |
| Minyak tanah + minyak jelantah [31]                | 10%, 20% dan 50% minyak tanah        | -                 | -                  | -               | -                  | -               | Turun    |

Keterangan: <sup>1</sup>Pada 1000, 2000 dan 3000 rpm

<sup>2</sup>Pada 1250 rpm

<sup>3</sup>Pada kompor memasak

Dari Table 2 dapat dilihat bahwa campuran minyak tanah dengan biodiesel [12, 13] dapat menaikkan emisi NOx pada mesin diesel. Hal ini juga terlihat jika biodiesel murni dicampur dengan minyak diesel (tanpa minyak tanah) maka emisi NOx akan naik [32, 33]. Hal ini disebabkan karena kadar oksigen yang ada di dalam biodiesel yang akan menyebabkan emisi NOx akan timbul disebabkan oleh temperatur pembakaran yang tinggi [32]. Hal ini terbalik dengan hasil emisi NOx antara pencampuran minyak tanah dengan minyak diesel. Dapat ditunjukkan di Tabel 2 bahwa emisi NOx akan turun jika ditambahkan dengan minyak tanah [18, 31].

Selain itu pada Tabel 2 dapat dilihat mengenai penambahan minyak tanah ke minyak diesel dan biodiesel akan ada kecenderungan untuk menurunkan kadar CO, CO<sub>2</sub>, HC, partikulat dan opasitas [12, 13, 18,30]. Hal ini disebabkan pencampuran minyak tanah akan menghasilkan properti bahan bakar yang lebih baik, yaitu kekentalan dan berat jenis dari biodiesel akan menurun dan nilai kalor yang naik sehingga memudahkan atomisasi pembakaran dan akan memudahkan bahan bakar untuk terbakar dan hasilnya emisi dapat diturunkan [34]. Selain itu analisa emisi pada pembakaran antara minyak tanah dan minyak diesel dapat menggunakan simulasi kode KIVA4-CHEMKIN [35]. Kode KIVA4-CHEMKIN digunakan bersama dengan model jelaga fenomenologis dan mekanisme reaksi minyak tanah-diesel yang ditingkatkan untuk mempelajari proses pembakaran dan pembentukan emisi. Model jelaga fenomenologis terdiri dari sejumlah sub-model dari literatur yang menjelaskan awal partikel jelaga, koagulasi jelaga, pertumbuhan permukaan jelaga melalui mekanisme hidrogen-abstraksi-karbon-addition (HACA) dan oksidasi permukaan jelaga oleh oksigen (O<sub>2</sub>) dan radikal hidroksil (OH). Dari studi yang dilakukan sebelumnya [35], bentuk laju injeksi boot terlihat menyebabkan fase pembakaran dan menyebabkan emisi nitrogen oksida (NO) yang lebih rendah secara umum. Selanjutnya, diamati bahwa ketika minyak tanah menggantikan minyak diesel, efisiensi mesin dan emisi NO meningkat sedangkan emisi karbon monoksida (CO) dan jelaga menurun. Kuantitas massa jelaga, jumlah partikel jelaga dan ukuran partikel jelaga adalah yang terendah untuk pembakaran minyak tanah murni.

Dapat dianalisa di sini jika penambahan minyak tanah terhadap minyak diesel dan biodiesel akan mengakibatkan penurunan emisi CO<sub>2</sub>, CO, HC, opasitas dan emisi partikulat. Namun untuk emisi NOx

terdapat berbagai hasil jika emisi yang dihasilkan akan naik maupun akan turun. Dari hasil Tabel 2 bahwa nilai NO<sub>x</sub> akan tinggi untuk campuran biodiesel dengan minyak tanah. Namun, ada juga yang meneliti jika dengan minyak diesel akan menghasilkan NO<sub>x</sub> tinggi [11]. Hal ini tentunya banyak faktor yang menyebabkan hal itu terjadi yaitu misalnya adalah sifat properti minyak yang digunakan, kondisi parameter mesin yang dipakai, kondisi persentasi pencampuran yang dilakukan. Sehingga hasil untuk emisi NO<sub>x</sub> masih terus dilakukan penelitian dengan pencampuran minyak tanah ini. Jika pencampuran minyak tanah ke bahan bakar yang tepat maka diharapkan akan menghasilkan bahan bakar yang baik. Emisi yang dihasilkan pun akan lebih baik.

### 3. KESIMPULAN

Minyak tanah dapat dipergunakan sebagai campuran minyak diesel dan biodiesel. Hasil dari pembakaran di mesin diesel menunjukkan bahwa dengan menggunakan minyak tanah ke dalam minyak diesel dan biodiesel dapat menurunkan nilai kekentalan, berat jenis, titik nyala, kadar sulfur tetapi akan menaikkan angka setan dan nilai kalor. Nilai kalor yang tinggi dapat meningkatkan pembakaran di mesin yang mengakibatkan berkurangnya emisi gas buang. Sifat penyemprotan pada campuran minyak tanah dengan biodiesel atau minyak diesel juga berpengaruh dari nilai kekentalan dan distilasi pada bahan bakar tersebut. Semakin kental suatu bahan bakar maka penyemprotan dan atomisasinya akan semakin tidak baik. Tetapi jika nilai kekentalan dan distilasinya baik maka penyemprotan bahan bakar akan menjadi baik. Selain itu pada emisi gas buang yang dapat diturunkan dengan penambahan minyak tanah dengan minyak diesel adalah gas CO, CO<sub>2</sub>, HC, partikulat dan opasitas. Namun, emisi NO<sub>x</sub> akan naik jika minyak tanah dicampurkan dengan biodiesel. Hal ini dikarenakan kandungan oksigen pada biodiesel yang mengakibatkan kadar NO<sub>x</sub> naik. Selain itu, dengan penambahan minyak tanah sekitar 20%-25% ke dalam minyak diesel dan biodiesel pada pembakaran di mesin, konsumsi bahan bakar akan turun. Dan pencampuran minyak tanah (sekitar 20%) ke dalam biodiesel akan menghasilkan nilai efisiensi termal yang tinggi, hal ini dikarenakan pembakaran yang terjadi lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar lainnya. Sehingga campuran minyak tanah sebesar presentase sekitar 20% dapat dijadikan alternatif dalam penambahan bahan bakar minyak diesel dan biodiesel untuk penurunan emisi dan pembakaran yang lebih baik di mesin diesel.

### 4. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti atas segala dukungan dan kerjasamanya dalam pembuatan jurnal ini.

### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] KOLAKOTI, A., SETIYO, M., WALUYO, B., "Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: Characterization, Modeling and Optimization", *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 1, 1, pp. 22–30, 2021.
- [2] BHIKUNING, A., MATSUMURA, E., SENDA, J., "A review: non-evaporating spray characteristics of biodiesel Jatropha and palm oil and its blends". *International Review of Mechanical Engineering*, 12, 4, 364 -370, 2018.
- [3] BHIKUNING, A., "The Simulation of Performance and Emissions from Rapeseed and Soybean Methyl Ester in Different Injection Pressures". *Automotive Experiences*, 4, 3, 112-118, 2021.
- [4] BHIKUNING, A., HAFNAN, M., "Biodiesel Production from Cerbera Manghas Using Different Catalyst; NaOH and Zeolite". *Journal of Clean Energy Technologies*, 7, 2, 11-14, 2019.
- [5] BHIKUNING, A., MATSUMURA, E., SENDA, J., "Fuel analysis of jatropha methyl ester and n-tridecane as an alternative fuel for the future". *Matec Web of Conferences*, 153, 01002, 2018.
- [6] JIA, G., TIAN, G., & ZHANG, D., "Effects of plateau environment on combustion and emission characteristics of a plateau high-pressure common-rail diesel engine with different blending ratios of biodiesel". *Energies*, 15(2), 550. 2020. <https://doi.org/10.3390/en15020550>.
- [7] BHIKUNING, A., MATSUMOTO, N., MUKAYAMA, T., MATSUMURA, E., SENDA, J., "Analysis of Non-Evaporating Spray Characteristics from Jatropha Methyl Ester and its Blends". *Proceedings of the Korean Liquid Atomization Society*, 51-51, 2017.
- [8] S. JIRO. Fuel Design Approach for Spray Combustion Control Related to Flash Boiling Spray. The Proceedings of Conference of Kansai Branch. 2020.95. 02\_kicho. 10.1299/jsmekansai.2020.95.02\_kicho.

- [9] BHIKUNING, A., MATSUMURA, E., SENDA, J.,” Performance and emission characteristics of biodiesel waste cooking oil water-emulsions under varying engine load condition”. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2019. DOI: [10.1080/15567036.2019.1683646](https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1683646).
- [10] BHIKUNING, A., SENDA, J., “The Properties of Fuel and Characterization of Functional Groups in Biodiesel-Water Emulsions from Waste Cooking Oil and Its Blends”. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 5, 1, 95-108, 2020.
- [11] DEVIANIN, S.N., BIJAEV, A.V., CHUMAKOV, V.L., OSHCHEPKOV, O.P. and KAPUSTIN, A.V., “Vegetable oils as effective additives and replacements of diesel fuel in agriculture machinery engines”. *IOP Conference Series.Earth and Environmental Science*, 1010(1), pp. 012073. 2022.
- [12] KUMAR, R, S., RAJARAMAN, R., NADANAKUMAR, V., PAUL, R, C., GANESAN, S., SATHYAMURTHY, R., “Effect of Kerosene and Methanol Blending with *Pongamia Pinnata* Biodiesel on Diesel Engine Performance and Emission Characteristics”, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1130, 012030, 2021.
- [13] MOHAMMED, A, A., AL-OBAIDI, A, A., ALTABBAKH, A, A., “Experimental investigation of using kerosene-biodiesel blend as an alternative fuel in diesel engines”, *J. Phys.: Conf. Ser.*, 1279, 012022, 2019.
- [14] JATI, J.F., BHIKUNING, A., “Fuel Parameter Analysis from Kerosene Blended with Biodiesel and Diesel Fuel”. *3rd International Conference Earth Science and Energy*, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5709047>. 2021
- [15] MUSHTAQ, A., KHAN, R, M., ALI, U., KHAN, A,R, A., MASHAR-UL-HAQUE, M., ALI, T., KHAN, M, S., “Comparison study of the properties of kerosene-naphthalene blends with turpentine “. *Bulgarian Chemical Communications*, 53, 1, 46 – 54, 2021.
- [16] VARUN, S.V., PRAMOD, B. & SHETTY, D., "Performance and Emission Characteristics of Commercial Kerosene Stoves using Waste Cooking Oil-Kerosene Blends", *IOP Conference Series.Materials Science and Engineering*, 377, 1, 2018.
- [17] ANJUM, S.S., PRAKASH, O., “Impact of Kerosene oil blend with diesel fuel on engine performance: an experimental investigation”. *International Journal of Engineering and Technology*, 9, 3S, 122-126, 2017.
- [18] ZAHER, F. A., GAD, M.S., “Performance and Emissions Characteristics of Diesel Engine Running Using Biodiesel and Its Blends with Kerosene Compared to Regular Diesel”. *Egypt Journal Chemistry*, 61, 1, 13-21, 2018.
- [19] PAWLAK, M. & KUZNIAR, M., "The Effects of the Use of Algae and Jatropha Biofuels on Aircraft Engine Exhaust Emissions in Cruise Phase", *Sustainability*, 14, 11, 6488, 2022
- [20] ZHICHENG, S., C. F LEE., H. WU., Y. WU., L. ZHANG & F. LIU, "Optical diagnostics of low-temperature ignition and combustion characteristics of diesel/kerosene blends under cold-start conditions," *Applied Energy*, vol. 251(C), pages 1-1, 2019.
- [21] YANG, M., WU, Y., TANG, C., LIU, Y., HUANG, Z., “Auto-ignition Behaviors of Nitromethane in Diluted Oxygen in a Rapid Compression Machine: Critical Conditions for Ignition, Ignition Delay Times Measurements, and Kinetic Modeling Interpretation”. *J. Hazard. Mater*, 377, 52–61, 2019.
- [22] LIU, Y., TANG, C., ZHAN, C., WU, Y., YANG, M., HUANG, Z., “Low Temperature Auto-ignition Characteristics of Methylcyclohexane/Ethanol Blend Fuels: Ignition Delay Time Measurement and Kinetic Analysis”. *Energy*, 177, 465–475, 2019.
- [23] MAI, Z., LIU, Y., TANG, C., HUANG, Z., “Experimental Investigation on Auto-Ignition Characteristics of Kerosene Spray Flames”. *Machines*, 10, 601, 2022. <https://doi.org/10.3390/machines10080601>.
- [24] ZHANG, Y., FENG, Y., DI, F., WANG, P., SUN, J., BAI, Q., “The dependence of interferogram phase on incident wavenumber and phase stability of Doppler Asymmetric Spatial Heterodyne Spectroscopy”. *Chinese Physics B*, 29, 10, 104 204, 2020.
- [25] KUMAR, M., KARMAKAR, S., KUMAR, S., BASU, S., “Experimental investigation on spray characteristics of Jet A-1 and alternative aviation fuels”. *International Journal of Spray and Combustion Dynamics*. 2021;13(1-2):54-71. doi:10.1177/17568277211010140
- [26] ZHANG, T., DONG, B., ZHOU, X., GUAN, L., LI, W., ZHOU, S, “Experimental Study of Spray Characteristics of Kerosene-Ethanol Blends from a Pressure-Swirl Nozzle”. *International Journal of*

*Aerospace Engineering*, Article ID 2894908, 1-14, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2894908>.

- [27] YU, W., YANG W, M., TAY, K., MOHAN, B., ZHAO, F., ZHANG, Y., “Macroscopic spray characteristics of kerosene and diesel based on two different piezoelectric and solenoid injectors”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 76, pp. 12-23, 2016.
- [28] SUN, Z., QIAO,X., LI R ., MA, N.,” Studies on Spray Characteristics of Kerosene Alternative Fuels for Special Vehicle Diesel Engines”, *Advances in Intelligent Systems Research*, vol 154, pp. 568- 571, 2017.
- [29] GARAI, A., PA, S., MONDAL, S., GHOSH, S., SWARNENDU, S, MUKHOPADHYAY, A.,” Experimental investigation of spray characteristics of kerosene and ethanol-blended kerosene using a gas turbine hybrid atomizer”, *Sa dhana* , vol. 42, No. 4, pp. 543-555, 2017.
- [30] BABAJO, S. A., ENABUREKHAN, J. “Emission Characteristics of Jatropa Biodiesel -Kerosene Blends Used as Fuel in a Pressurized Cooking Stove”. *Bayero Journal of Engineering and Technology*, 14. 51-58. 2019.
- [31] CHAUDHARY, A. K., SHARMA, S., DWIVEDI, P., “Performance and Emissions Characteristics of Biodiesel from Waste Cooking Oil Blended with Kerosene on Diesel Engine”. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 5, 10, 1309 – 1316, 2018.
- [32] HAO, C., BIN, X., JINQIU, M., YISONG, C.,” NOx emission of biodiesel compared to diesel: Higher or lower?”. *Applied Thermal Engineering*, vol. 7, 584-593, 2018.
- [33] PRABHU, A., VENKATA, R, M., JAYAPRABAKAR, J., & HARISH, V., “NOx emission reduction techniques in biodiesel-fuelled CI engine: a review”, *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 19:2, 210-220, 2021.
- [34] BHIKUNING, A., SUGAWARA, R., MATSUMURA, E., SENDA, J., “Investigation of spray characteristics from waste cooking oil, bio-hydro fined diesel oil (BHD) and n-tridecane in a constant volume chamber”, *Case Studies in Thermal Engineering*, Volume 21, 100661, 2020.
- [35] TAY, K, L., YANG, W.M., ZHAO, F., WENBIN, Y & MOHAN, B. “A numerical study on the effects of boot injection rate-shapes on the combustion and emissions of a kerosene-diesel fueled direct injection compression ignition engine”. *Fuel*. 203. 430-444. 2017. 10.1016/j.fuel.2017.04.142.