

UNJUK KERJA MESIN DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR BIODIESEL DARI CAMPURAN MINYAK JARAK (*JATROPHA CARCUS*) DAN MINYAK KELAPA VIRGIN COCONUT OIL (VCO)

^{1a}Muarif, ^{1b}Wahyudi, ^{1c}Teddy Nurcahyadi

²Program Studi Teknik mesin, Fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

³Email : Muarifarif6@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia which in previous decades as an oil exporting country, so that Indonesia is incorporated in OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries). And now it has turned into an oil importing country. Thus, the price of oil in Indonesia is determined by the world oil price. To anticipate the impact of the uncertainty of petroleum prices, as well as the depletion of petroleum reserves, it should seek the exploration of vegetable oil as an alternative fuel for environmentally friendly solar substitutes. This study aims to determine the performance of diesel engines when using mixed combustion fuel from castor oil and B5 and B10 oil, by knowing the generated power, specific fuel consumption (SFC), machine pans, and knowing the characteristics of fuel nozzle injection on diesel engines. In this test using diesel engine with brand Jiangdong R180N 4 steps with one cylinder and nozzle injection tool. In testing of diesel engine performance of mixed oil biodiesel fuel of castor oil and coconut oil B5 and B10, biodiesel which has the highest fuel consumption value (more economical) is fuel BJBK91 B10, while which has the lowest specific fuel consumption value (more wasteful) is BJBK64 B5. It is also possible to test the characteristic of the nozzle injection nozzle, the length of the constant nozzle spray, where the fuel having a low viscosity value of the fuel spray will be shorter, and vice versa if the viscosity value is higher then the spray from the nozzle will be longer.

INTISARI

Indonesia yang pada beberapa dekade sebelumnya sebagai negara pengekspor minyak, sehingga Indonesia tergabung dalam nagara - negara OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries). Dan saat ini telah berubah menjadi negara pengimpor minyak. Dengan demikian harga minyak bumi di Indonesia sangat ditentukan oleh harga minyak dipasaran dunia. Untuk mengantisipasi dampak dari ketidak pastian harga minyak bumi, sekaligus dengan semakin menipisnya cadangan minyak bumi, maka harus diupayakan eksplorasi minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja mesin diesel ketika menggunakan baha bakar campuran dari minyak jarak dan minyak kela B5 dan B10, dengan mengetahui daya yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC), putaran mesin, serta mengetahui karakteristik injeksi nosel bahan bakar pada mesin diesel. Pada pengujian ini menggunakan mesin diesel dengan merk Jiangdong R180N 4 langkah dengan satu silinder dan alat injeksi nosel. Pada pengujian unjuk kerja mesin diesel bahan bakar biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B5 dan B10, biodiesel yang memiliki nilai konsumsi bahan bakar yang paling tinggi (lebih irit) adalah bahan bakar BJBK91 B10, sedangkan yang memiliki nilai konsumsi bahan bakar spesifik terendah (lebih boros) adalah BJBK64 B5. Sedangka pada pengujian karakteristik injeksi nosel pertambahan panjang semprotan nosel konstan, dimana bahan bakar yang memiliki nilai viskositas rendah semprotan bahan bakar akan lebih pendek, begitu pula sebaliknya apabila nilai viskositas lebih tinggi maka semprotan dari nosel akan lebih panjang.

Kata kunci : OPEC, B5, B10, daya, SFC, putaran mesin, karakteristik injeksi nosel, unjuk kerja mesin diesel

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak bumi (fosil) diperkirakan sekitar 60 tahun lagi akan habis apabila dieksploitasi secara besar - besaran. Untuk memperlambat dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi terutama minyak solar adalah dengan

bahan bakar biodiesel yang bahan bakunya sangat besar untuk dikembangkan.

Mesin diesel yang menggunakan minyak solar sebagai bahan bakarnya, banyak digunakan sebagai penggerak mula atau pembangkit tenaga. Mulai dari alat transportasi, alat pembangkit tenaga listrik hingga sebagai penggerak mula peralatan

permesinan. Dengan mulai diperkenalkannya biodiesel sebagai bahan bakar alternatif maka penelitian tentang penggunaan biodiesel pada mesin disel mulai banyak dilakukan. Penelitian prestasi mesin diesel pada berbagai merek dan model telah menunjukkan hasil yang positif. Biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel yang diproduksi di atas tahun 1993 tanpa modifikasi saluran bahan bakar. Biodiesel digunakan dalam bentuk campuran antara biodiesel murni dengan solar murni. Pengkodean pencampuran biodiesel dalam solar ditulis dengan huruf B di ikuti persentase biodiesel yang dicampurkan. Sebagai contoh B10 adalah campuran bahan bakar yang mengandung 10% biodiesel dan 90% solar. Setiap campuran biodiesel-solar akan mempunyai karakteristik masing-masing pada saat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Kurdi, (2006).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bilangan cetana (CN) biodiesel lebih tinggi dari pada minyak diesel (solar murni). Angka cetana rata-rata minyak diesel 45, sedangkan 51 untuk jarak pagar dan 62,7 untuk yang berbasis kelapa sayur. Darmanto dan Sigit, (2006). Untuk mengetahui karakteristik bahan bakar biodiesel maka diadakan penelitian campuran minyak biodiesel dengan minyak solar yang diharapkan akan mendapatkan unjuk kerja yang optimal.

Melihat potensi biodiesel yang besar sebagai bahan bakar pengganti solar maka penelitian ini sangat penting dilakukan karena semakin tipisnya persediaan bahan bakar minyak bumi terutama solar murni di Indonesia dan negara negara lain. Campuran biodiesel yang berkualitas diperoleh dengan menentukan komposisi campuran minyak jarak dan minyak kelapa dimana biodiesel ini harus memiliki persyaratan stabilitas penyimpanan atau stabilitas oksidasi yang tinggi dan memiliki viskositas, dan densitas yang memenuhi syarat biodiesel.

Menurut Darmanto, (2006) Minyak biodiesel yang bersumber dari minyak kelapa dapat dibuat secara mudah dengan cara mereaksikan (mencampurkan) minyak kelapa dengan methanol dan katalis NaOH yang akan menghasilkan biodiesel dan gliserin. Untuk tingkat keberhasilan dalam proses pembuatan biodiesel dipengaruhi oleh putaran pengadukan, temperatur pemanasan dan kadar katalis serta kandungan air ketika pembuatan sodium metoksid.

Menurut Timu, *et al.* (2012) nilai torsi, pencampuran variasi bahan bakar biodiesel terhadap minyak jarak pagar (*jatropha oil*) memiliki sifat

karakter yang baik. Dimana pada putaran mesin 2053 rpm dan mendapat beban sebesar 5 kg nilai torsi bisa dikatakan tinggi. Dari segi bahan bakar spesifik didapat bahwa pemakaian bahan bakar pada putaran 2053 rpm baik jika menggunakan bahan bakar campuran biodiesel dari minyak jarak pagar (*jatropha oil*) dengan berbagai persentase, namun jika bergerak pada putaran tinggi lebih baik jika menggunakan bahan bakar biodiesel murni.

Menurut Sudarmanta dan Sungkono, (2005) biodiesel hasil transesterifikasi, dalam hal ini viskositas, densitas serta flash point masih memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding minyak solar. Uji karakteristik semprotan secara eksperimental maupun simulasi komputer menunjukkan bahwa bahan bakar dengan viskositas yang lebih tinggi menghasilkan karakteristik pengabutan atau atomisasi yang kurang baik, yaitu berupa evaporasi yang miskin.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental menggunakan bahan bakar biodiesel campuran minyak jarak (*jatropha carcus*) dan minyak kelapa (*virgin coconut oil*) VCO yang di dapat dari peneliti sebelumnya dari Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Fakultas Teknik Mesin. Dan bahan bakar solar murni di dapat dari SPBU Pertamina 44.557.11 Jl. Bantul, Yogyakarta.

Alat yang digunakan dalam pengujian kinerja mesin diesel adalah mesin diesel Jiangdong R180 Hopper satu silinder dengan sistem kerja mesin 4 langkah yang sudah di modifikasi.



Gambar 2.1 Mesin diesel Jiangdong R180 hopper

Alat yang digunakan dalam pengujian karakteristik injeksi nosel adalah alat injeksi nosel yang sudah di modifikasi.

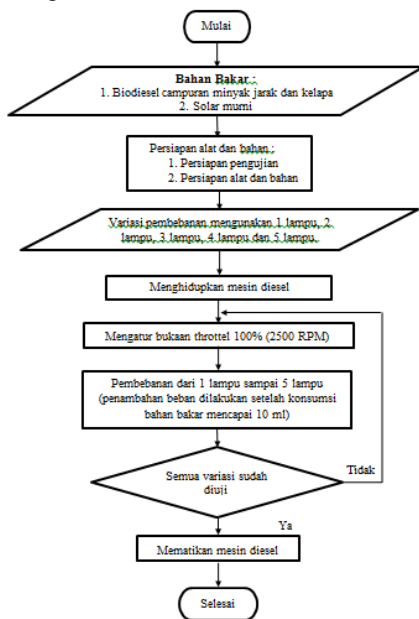


(a) Tampak samping (b) Tampak atas

Gambar 2.2 Alat pengujian karakteristik injeksi nosel

2.1 Digram Alir

Adapun diagram alir pengujian kinerja mesin diesel sebagai berikut :



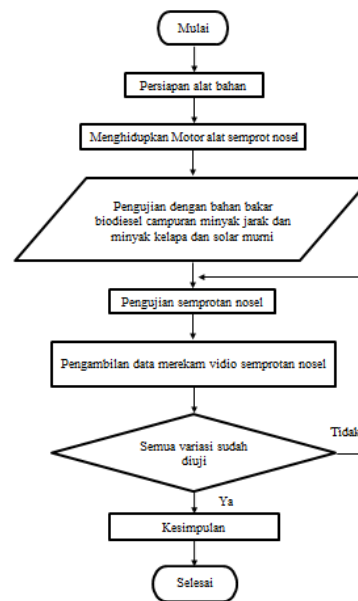
Gambar 2.3 Diagram alir pengujian kinerja mesin diesel

Pengujian kinerja mesin diesel ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui performa dari mesin diesel dengan variasi pembebanan lampu, menggunakan bahan solar murni dan bahan bakar biodiesel campuran minyak jarak pagar dan minyak kelapa. Metode pengujian kinerja mesin diesel dilakukan dengan membuka throttle tetap 100% (putaran mesin 2500 rpm). Proses pengujian dilakukan dengan memberikan pembebanan pada mesin diesel dengan lampu. Lampu yang digunakan pada pengujian menggunakan 5 lampu (satu lampu berdaya 500 watt), dan proses pembebanan dilakukan dari satu lampu sampai 5 lampu yang dinyalakan secara berurutan. Langkah ini dilakukan secara berulang-ulang sesuai dengan kebutuhan data yang diambil serta menggunakan variasi bahan bakar solar murni dan biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa.

Data daya diperoleh dari hasil pengujian pada mesin diesel yang telah dilakukan yaitu mengkalikan tegangan dengan arus, maka akan didapatkan daya yang dihasilkan dari mesin.

Konsumsi bahan bakar dapat diketahui dengan melakukan pengujian menggunakan tangki mini dengan buret sebagai alat penampung bahan bakar agar dapat dilakukan proses bongkar pasang dengan mudah. Proses ini dilakukan dengan mengisi tangki mini dengan takaran tertentu. Proses pengujian ini dilakukan pada malam hari di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Adapun diagram alir pengujian karakteristik injeksi bahan bakar sebagai berikut :



Gambar 2.4 Diagram alir pengujian karakteristik injeksi

Pengujian karakteristik injeksi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik semprotan pada nosel mesin diesel dengan menggunakan bahan bakar solar murni dan bahan bakar biodiesel dari campuran minyak jarak pagar dan minyak kelapa.

Metode pengujian karakteristik injeksi mesin diesel dengan tekanan dari 1 atm. Kemudian membuka throttle / penyetel semprotan pada pompa injeksi. Langkah ini dilakukan secara berulang sesuai dengan variasi bahan bakar yang digunakan.

Panjang dan besar sudut injeksi bahan bakar diperoleh dengan melakukan uji karakteristik injeksi melalui pengambilan video saat bahan bakar di injeksikan, kemudian video tersebut diubah ke dalam format gambar menggunakan Adobe Premier Pro 2017. Selanjutnya, gambar tersebut dibuat

ukuran dengan skala 1:6 terhadap benda aslinya dan di analisa untuk mengetahui panjang dan besar sudut penginjeksiannya. Proses analisa secara teoritis dilakukan menggunakan persamaan Gary L. Borman (1998) dan untuk mengetahui ukuran dan sudut secara visual pada gambar dilakukan menggunakan Autodesk Inventor Pro 2015.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian dapat dibagi menjadi beberapa bagian meliputi :

3.1 Sifat Fisik Bahan Bakar

Adapun sifat fisik dari biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B5 dan B10 sebagai berikut :

Tabel 3.1 Sifat fisik biodiesel B5

Nama Sampel	Sifat Fisik Biodiesel Campuran Minyak Jarak dan Kelapa B5			
	Viskositas (cSt)	Densitas (g/ml)	Flashpoint (°C)	Nilai Kalor (c (Kal/g)
BJBK 91	4.361	0.837	88.6	10.674,41
BJBK 82	4.372	0.835	86.2	10.796,31
BJBK 73	4.203	0.833	81.4	10.756,66
BJBK 64	3.906	0.832	80.2	10.743,29

Table 3.2 Sifat fisik biodiesel B10

Nama Sampel	Sifat Fisik Biodiesel Campuran Minyak Jarak dan Kelapa B10			
	Viskositas (cSt)	Densitas (g/ml)	Flashpoint (°C)	Nilai Kalor (cal/g)
BJBK 91	5.319	0.846	96.2	10.605,71
BJBK 82	5.034	0.844	92.2	10.635,87
BJBK 73	4.749	0.842	88.6	10.706,03
BJBK 64	4.463	0.840	85.9	10.674,74

Table 3.3 Sifat fisik solar murni

Nama Sampel	Sifat Fisik			
	Viskositas (cSt)	Densitas (g/ml)	Flashpoint (°C)	Nilai Kalor (cal/g)
Solar 100%	3.631	0.826	60.766	10970.030

Hasil pengujian sifat fisik bahan bakar biodiesel dari campuran minyak jarak dan minyak kelapa (*Virgin Coconut Oil*) B5 (Solar 95% + biodiesel 5%) dan B10 (Solar 90% + biodiesel 10%) memiliki sifat fisik viskositas, densitas, flash point dan nilai kalor yang tinggi dibandingkan dengan solar murni, dan bahan bakar biodiesel yang komposisi campuran minyak jaraknya banyak akan memiliki nilai viskositas yang lebih tinggi.

3.2 Pengujian Unjuk Kerja Mesin Diesel

Pengujian konsumsi bahan bakar mesin diesel menggunakan mesin diesel merek Jiangdong satu silinder dengan kondisi mesin standart. Bahan bakar yang digunakan pada pengujian ini menggunakan bahan bakar solar murni dan biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B5 dan B10. Untuk pengambilan data konsumsi bahan bakar spesifik

dilakukan dengan cara menghitung waktu konsumsi bahan bakar pada mesin diesel per 10 ml bahan bakar dengan menggunakan stopwatch, tangki dan buret. Konsumsi bahan bakar spesifik didapatkan melalui pengujian dan rumus sebagai berikut :

$$SFC = \frac{m_f}{P} \dots\dots\dots(1)$$

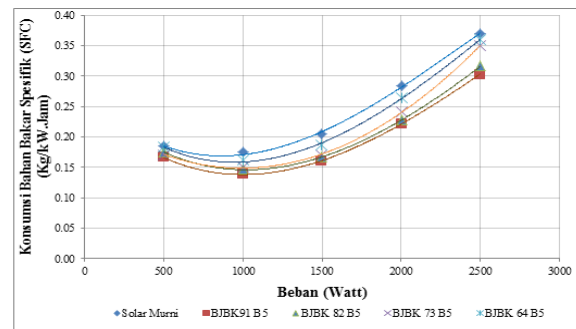
dimana :

$$m_f = \frac{V_f \times \rho_f}{t} \times \frac{3600}{1000} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

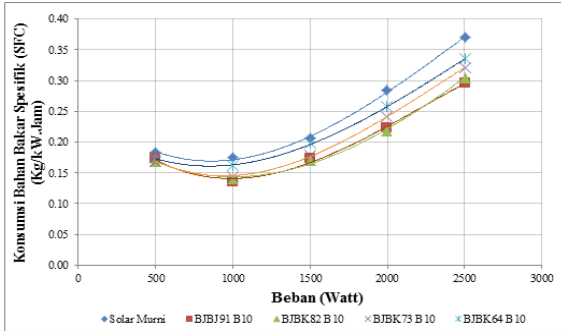
- SFC : Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.jam)
- m_f : Laju aliran bahan bakar (kg/jam)
- V_f : Volume bahan bakar yang diuji (ml)
- ρ_f : Densitas bahan bakar (g/ml)
- t : Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume yang diuji (s)
- P : Daya keluaran (Watt)

Hasil pengujian pengaruh jenis bahan bakar terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) B5 dan B10 dapat dilihat pada gambar 3.1 dan gambar 3.2 sebagai berikut :



Gambar 3.1 SFC biodiesel B5

Dari gambar 3.1 dapat dilihat bahwa konsumsi bahan bakar spesifik solar murni memiliki konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi (lebih boros) pada seluruh pembebanan, dibandingkan dengan biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B5 yang memiliki nilai konsumsi bahan bakar spesifik di bawah solar murni, sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik yang paling rendah (lebih irit) pada seluruh pembebanan adalah BJBK91 B5.



Gambar 3.2 SFC biodiesel B10

Dari gambar 3.2 dapat dilihat bahwa konsumsi bahan bakar spesifik solar murni memiliki konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi (lebih boros) pada seluruh pembebanan, dibandingkan dengan biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B10 yang memiliki nilai konsumsi bahan bakar spesifik di bawah solar murni, pada pembebanan 1000 watt BJBK73, BJBK82 dan BJBK91 memiliki nilai konsumsi bahan bakar spesifik yang selisihnya tidak terlalu jauh, dan nilai konsumsi bahan bakar spesifik paling rendah pada biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B10 adalah BJBK91 B10.

Pada pengujian daya listrik pada mesin diesel menggunakan alternator yang dihubungkan pada mesin diesel jiangdong satu silinder. Pengujian ini menggunakan bahan bakar solar murni dan biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B5 dan B10 dengan bukaan throttle penuh (100%). Setelah melakukan pengujian tersebut dilakukan pencatatan hasil pengujian berupa arus dan tegangan. Adapun cara menghitung daya yaitu :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(3)$$

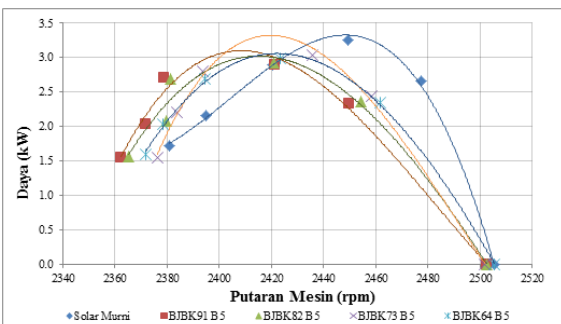
Dimana :

P : Daya listrik (Watt)

V : Tegangan (Volt)

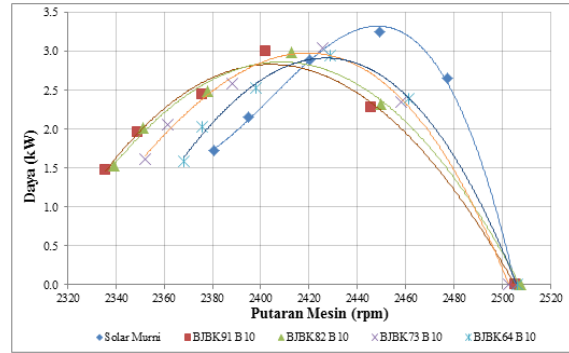
I : Arus (Ampere)

Hasil pengujian pengaruh jenis bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan mesin diesel ketika menggunakan biodiesel B5 dan B10 dapat dilihat pada gambar 3.3 dan gambar 3.4 sebagai berikut :



Gambar 3.3 Daya biodiesel B5

Dari gambar 3.3 dapat dilihat bahwa dari seluruh bahan bakar daya yang dihasilkan oleh solar murni menghasilkan daya yang paling tinggi dari biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B5. Dan pada pembebanan 1000 watt daya tertinggi dihasilkan oleh bahan bakar biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa BJBK73 B5.



Gambar 3.4 Daya biodiesel B10

Dari gambar 4.15 dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan oleh bahan bakar solar murni lebih tinggi di bandingkan dengan bahan bakar biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B10, dan biodiesel BJBK73 B10 pada pembebanan 1000 watt memiliki daya paling tinggi diantara biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B10.

3.3 Pengujian Karakteristik Injeksi

Bahan bakar yang digunakan pada pengujian karakteristik injeksi ini yaitu solar murni dan campuran biodiesel dengan solar yang telah divariasikan menjadi variasi bahan bakar B5 dan B10. Alat uji injeksi bahan bakar menggunakan nosel mesin diesel yang sama. Metode pengambilan data pada pengujian ini dilakukan menggunakan kamera untuk merekam video dari uji karakteristik injeksi, selanjutnya video tersebut diubah ke dalam format gambar.

Sifat fisik bahan bakar berupa viskositas dan densitas berpengaruh terhadap karakteristik injeksi dari bahan bakar tersebut. Bahan bakar yang dengan nilai viskositas tinggi akan menghasilkan semprotan dengan sudut yang kecil, sedangkan bahan bakar yang memiliki nilai viskositas rendah akan memiliki sudut semprotan yang lebih lebar. Seperti terlihat pada persamaan berikut. Borman (1998)

$$\frac{L}{L_b} = 0.0349 \times \left(\frac{\rho_a}{\rho_f}\right) \times \left(\frac{t}{d_o}\right) \times \left(\frac{\Delta P}{\rho_f}\right)$$

Dimana :

$$L_b = 15.8 \times d_o \times \sqrt{\frac{\rho_f}{\rho_a}} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- L_b : Panjang semprotan (mm)
- ρ_f : Densitas bahan bakar (kg/m^3)
- ρ_a : Densitas udara (kg/m^3)
- ΔP : Tekanan injeksi (Pa)
- d_o : Diameter lubang nosel (mm)

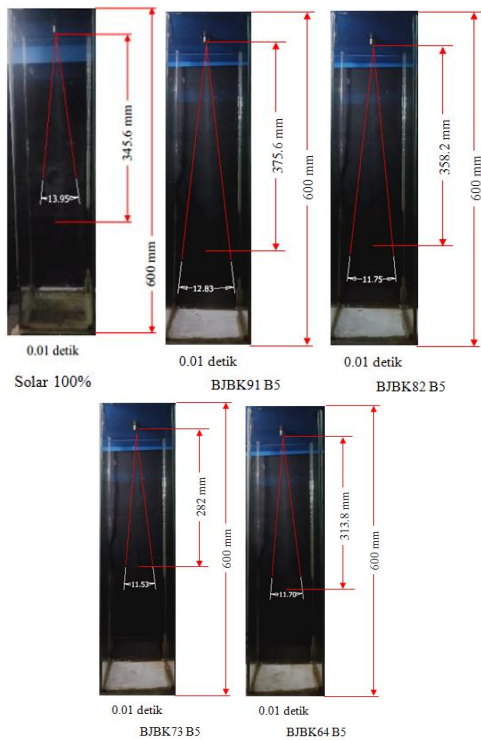
Sudut semprotan dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\theta = 0.05 \times \left(\frac{\Delta P \times (d_o)^2}{\rho_f \times (V_f)^2} \right)^{1/4} \dots\dots\dots(5)$$

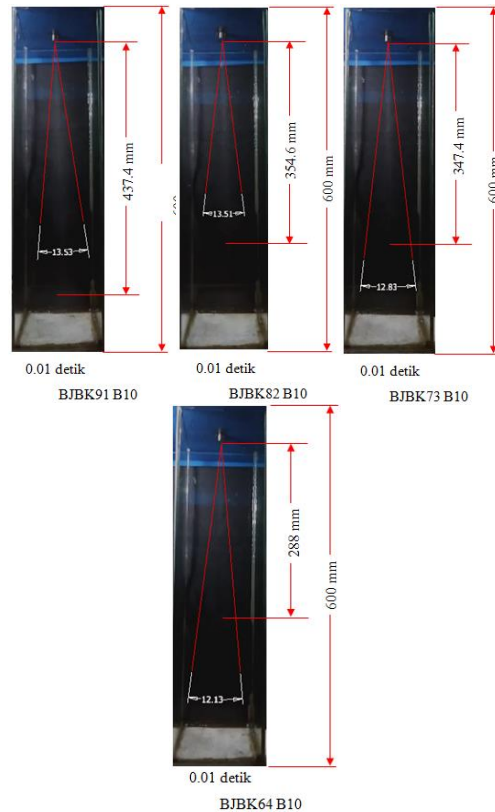
Keterangan :

- θ : Sudut semprotan ($^\circ$)
- ΔP : Tekanan injeksi (Pa)
- d_o : Diameter lubang nosel (mm)
- ρ_f : Densitas bahan bakar (kg/m^3)
- V_f : Viskositas kinematik bahan bakar (m^2/s)

Adapun hasil pengujian dari karakteristik injeksi bahan bakar solar dan biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B5 dan B10 sebagai berikut:



Gambar 3.5 Karakteristik injeksi biodiesel B5



Gambar 3.6 Karakteristik injeksi biodiesel B10

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa bahan bakar yang memiliki nilai viskositas yang paling tinggi akan memiliki sudut semprotan terkecil dan bahan bakar dengan nilai viskositas terendah akan memiliki sudut semprotan yang lebih lebar. Hal ini disebabkan bahwa semakin tinggi viskositas suatu bahan bakar maka bahan bakar akan semakin sulit untuk dikabutkan sehingga saat bahan bakar disemprotkan atau saat proses penginjeksikan, bahan bakar tidak akan membentuk kabutan akan tetapi berbentuk tetesan dan menyebabkan sudut semprotan yang semakin kecil. Sedangkan semakin panjang atau semakin pendeknya semprotan bahan bakar dipengaruhi oleh nilai densitas pada masing - masing bahan bakar. Apabila nilai densitas suatu bahan bakar tinggi maka akan menyebabkan bahan bakar memiliki karakteristik semprotan yang pendek, karena bahan bakar yang memiliki nilai densitas tinggi berarti kuantitas konsentrasi zat yang dimilikinya tinggi sehingga akan memiliki kerapatan yang tinggi pula. Tingginya kuantitas konsentrasi zat dan kerapatan yang dimiliki oleh bahan bakar akan menyebabkan bahan bakar tersebut sulit semprotkan dan menyebabkan semakin pendeknya semprotan bahan bakar.

4. KESIMPULAN

1. Hasil pengujian sifat fisik bahan bakar biodiesel dari campuran minyak jarak dan minyak kelapa (*Virgin Coconut Oil*) B5 (Solar 95% + biodiesel 5%) dan B10 (Solar 90% + biodiesel 10%) memiliki sifat fisik viskositas, densitas, flash point dan nilai kalor yang tinggi dibandingkan dengan solar murni, dan bahan bakar biodiesel yang komposisi campuran minyak jaraknya banyak akan memiliki nilai viskositas yang lebih tinggi.
2. Kinerja mesin diesel satu silinder ketika menggunakan bahan bakar biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B5 (Solar 95% + biodiesel 5%) dan B10 (Solar 90% + biodiesel 10%) yang sudah di variasi memiliki nilai konsumsi bahan bakar yang rendah dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar murni, dan variasi biodiesel yang memiliki daya tertinggi pada pembebanan 2500 watt adalah variasi BJBK73 (biodiesel jarak 70% + biodiesel kelapa 30%) B10 dengan daya 1.621 kW dengan putaran mesin 2352.2 rpm dan daya yang paling rendah pada pembebanan 2500 watt adalah variasi BJBK91 (biodiesel jarak 90% + biodiesel kelapa 10%) B10 dengan daya 1.481 kW dengan putaran mesin 2335.8 rpm.
3. Karakteristik injeksi nosel pada mesin diesel Jiangdong satu silinder dengan bahan bakar biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa B5 (Solar 95% + biodiesel 5%) dan B10 (Solar 90% + Biodiesel 10%) variasi bahan bakar biodiesel yang memiliki semprotan terpanjang pada detik ke 0.01 adalah BJBK91 (biodiesel jarak 90% + biodiesel kelapa 10%) B10, dengan panjang semprotan 437.4 mm dengan sudut 13.53°, dan variasi bahan bakar yang memiliki semprotan injeksi terpendek adalah BJBK73 (biodiesel jarak 70% + biodiesel kelapa 30%) B5 dengan panjang semprotan 282 mm dengan sudut semprotan 11.53°.

DAFTAR PUSTAKA

- Borman, Gary L. 1998. *“Combustion Engineering”*. McGraw Hill. New York, United States of America.
- Darmanto, Seno dan Sigit, Ireng, A. 2006. *“Analisa biodiesel minyak kelapa sebagai bahan bakar alternatif minyak diesel”*. Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Dikmenjur. 2004. *Pemeliharaan / Servis Sistem Bahan Bakar Diesel*.

- Fajar, et al. 2006. *“Efek Komposisi Biodiesel Terhadap Parameter Kualitas Bahan Bakar dan Unjuk Kerja Mesin (Perbandingan Biodiesel Sawit dengan Jarak Castor)”*. Universitas Indonesi, Depok
- Hadi, et al. 1999. *“Dampak Liberalisasi Perdagangan Terhadap Profitabilitas Dan Keunggulan Komparatif Agroindustri Minyak Kelapa Indonesia”*. Pusat Peneliti Sosial Ekonomi Pertanian, Bogor.
- Julianti, Elisa. 2006. *“Pengembangan Minyak Jarak Pagar sebagai Biodisel (Development of Jatropha Oil as Biodiesel)”*. Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian USU.
- Kurdi, Ojo. 2006. *“Uji Performa Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar yang Diproduksi Secara Enzimatis Pada Mesin Diesel”*. Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ratnawati, Emmy dan Riyanto, Arif. 2012. *“Pemanfaatan Cocodiesel Berbahan Baku Kelapa Sebagai Bahan Bakar Mesin Diesel Stationer”*. *Indonesian Journal of Materials Science*. Vol.14, No.2, halm.125-130.
- Sudarmanta, Bambang dan Djoko Sungkono. 2005. *“Transesterifikasi Crude Palm Oil dan Uji Karakteristik Semprotan Menggunakan Injektor Motor Diesel”*. ITS, Surabaya.
- Simarmata, Jaya, Liwason. 2017. *“Pengaruh Penggunaan Botton Ash Kelapa Sawit dengan Aktivitas Fisik Terhadap Prestasi Mesin dan Emisi Gas Buang Speda Motor Bensin 4-langkah”*. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Suhartanta, et al, 2008. *“Pemanfaatan Minyak Jarak Pagar Sebagai Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel”*. Fakultas Teknik, Uiversitas Negri Yogyakarta.
- Timu et al. 2012. *“Analisa Penggunaan Minyak Jarak Pagar (Jatropha Curcas Oil) Sebagai Campuran Bahan Bakar Biodiesel”*. Universitas Widyagama, Malang.
- Toyib, Ahmad. 2016. *“Perbandingan Kinerja Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Biosolar dan Pertamina Dex”*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Turnip, Jekson. 2010. *“Pengujian dan Performansi Motor Bakar Diesel Menggunakan Biodiesel Dimethyl Ester B-01 dan B-02”*. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Wibawa, et al. 2015. *“Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodiesel”*. *Jurnal METTEK*. Vol.1, No.2, Hal.35-44.