

# Karakteristik Penyemprotan Campuran Diesel-Biodiesel Minyak Nyamplung dan Etanol Dengan Variasi Tekanan Injeksi

Tanu Alifuddin D. S<sup>1</sup>, Lukman Hakim<sup>2</sup>, Nasrul Iminnafik<sup>3</sup>, Moh. Nurkoyim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Jember  
E-mail : tanu.bosh3@gmail.com

<sup>2</sup>Program Magister Teknik Mesin, Universitas Jember  
E-mail : lukmanfirdaus.778@gmail.com

<sup>3</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember  
E-mail : nasrul.teknik@unej.ac.id

<sup>4</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember  
E-mail : kustanto1969@gmail.com

## ABSTRAK

Karakteristik penyemprotan adalah parameter penting dalam kinerja mesin dan emisi gas buang. Karakteristik penyemprotan menentukan kualitas pembakaran pada mesin diesel. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari karakteristik penyemprotan campuran bahan bakar diesel-biodiesel minyak nyamplung-etanol terhadap *spray tip penetration*, *velocity of spray*, dan *spray angle*. Metode penelitian menggunakan metode eksperimen dengan tekanan injeksi 15 MPa, 17 MPa, 20 MPa dan tekanan *ambient chamber* 2 bar. Bahan bakar menggunakan diesel 100%, Biodiesel minyak nyamplung 20% (B20) dengan campuran etanol 5% (BD20E5), Biodiesel minyak nyamplung 20% (B20) dengan campuran etanol 10% (BD20E10). Berdasarkan hasil eksperimen penelitian ini, peningkatan tekanan injeksi menyebabkan karakteristik *spray tip penetrasi* lebih panjang, *velocity of spray* lebih tinggi, dan lebih kecil *spray cone angle*. Penambahan etanol pada bahan bakar biodiesel minyak nyamplung mengakibatkan *spray tip penetration* akan sedikit lebih pendek, *velocity of spray* lebih kecil, dan *spray angle* akan cenderung lebih besar.

### Kata Kunci

Karakteristik, Penyemprotan, Campuran bahan bakar, Minyak nyamplung, Etanol.

## 1. PENDAHULUAN

Nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) merupakan salah satu dari banyak tanaman di Indonesia berpotensi besar untuk menjadi bahan baku biodiesel karena kandungan minyak yang terdapat pada biji lebih tinggi dan telah diteliti sebelumnya sifat dan karakteristik pembakaran [1][2].

Penggunaan biodiesel minyak nyamplung pada mesin diesel mengalami kendala, karena viskositas dan densitas lebih tinggi dari minyak diesel berpengaruh pula pada kinerja mesin diesel dan emisi [3]. Hal tersebut ditinjau dari karakteristik penyemprotan bahan bakar biodiesel, bahan bakar viskositas tinggi mengakibatkan atomisasi penyemprotan menjadi butiran lebih besar [4].

Optimasi kinerja mesin dan mengurangi emisi gas buang telah diteliti dengan penambahan etanol pada bahan bakar biodiesel. Etanol dapat mengurangi emisi pada pembakaran mesin diesel karena etanol mengandung nilai O<sub>2</sub> mencapai 34%. [5][6]. Karakteristik pembakaran campuran etanol-biodiesel berubah dan kinerja mesin sedikit membaik dengan biodiesel dan campuran etanol 5% (BE5).

Dibandingkan dengan bahan bakar diesel, biodiesel dan campuran biodiesel - etanol memiliki tinggi *brake thermal efisiensi* (BTE). Secara keseluruhan, dibandingkan dengan bahan bakar diesel, campuran biodiesel etanol (BE) dapat menyebabkan penurunan NOx dan emisi [7]. Tekanan injector bahan bakar di semprotkan ke ruang bakar dapat meningkatkan berbagai aspek, torsi, daya, efisiensi dan emisi gas buang [8].

Tekanan injeksi sangat penting, karena jika tekanan terlalu rendah maka kompresinya juga akan rendah, jika kompresi terlalu tinggi maka hasil penyemprotan tidak terjadi secara merata. Pada umumnya, pembakaran mesin diesel untuk kendaraan mobil membutuhkan tekanan kompresi sebesar 10 MPa - 40 MPa agar dapat menyemprotkan bahan bakar secara merata. Pembakaran tidak homogen menghasilkan *slag* atau jelaga pada dinding ruang bakar sehingga menghasilkan emisi yang tinggi pada mesin diesel [8][9].

Pembakaran tidak homogen pada mesin diesel menghasilkan asap tebal, dan kinerja mesin menurun, hal ini disebabkan oleh tekanan injektor yang tidak sesuai dengan spesifikasi menjadi salah satu faktor,

injektor berperan penting dalam sistem spray bahan bakar berbentuk partikel kecil dan tersebar merata di ruang bakar maka tekanan injector untuk menyemprotkan bahan bakar dari pompa injeksi ke dalam ruang silinder harus tepat [10]. Dari hal tersebut maka dibutuhkan tekanan yang tepat untuk menghasilkan campuran bahan bakar dengan udara dapat ideal sehingga pembakaran terjadi secara optimal.

Dari hasil penelitian terdahulu, maka selanjutnya perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang analisis variasi tekanan injeksi dan campuran diesel 80 % dengan biodiesel minyak nyamplung 20% (B20) dan penambahan etanol 5 – 10 % terhadap Karakteristik *spray tip penetration*, *velocity of spray*, dan *spray angle*.

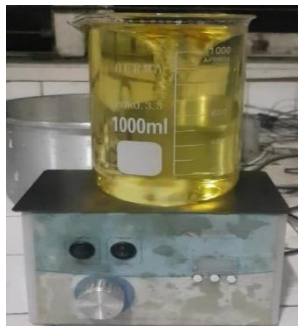
## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental. Jenis bahan bakar yaitu minyak diesel 100% produk PT. Pertamina, etanol 99% produk PT. enero dan biodiesel minyak nyamplung. Campuran biodiesel minyak nyamplung 20 % - etanol 5%, dan campuran biodiesel 20% - etanol 10%, pengujian juga dilakukan pada diesel 100% sebagai pembandingan.

#### 2.1.1 Tahapan Pencampuran Bahan Bakar

- Menyiapkan biodiesel BD20 pada gelas beker
- Menuangkan 500 ml biodiesel BD20 dengan etanol 25 ml (5%) pada gelas beker, aduk menggunakan *magnetic stirrer*
- Menuangkan 500 ml biodiesel BD20 dengan etanol 50 ml (10%) pada gelas beker, aduk menggunakan *magnetic stirrer*



Gambar 1. Proses pencampuran bahan bakar biodiesel minyak nyamplung dan etanol



Gambar 2. Variasi bahan bakar

Tabel 1. Sifat bahan bakar

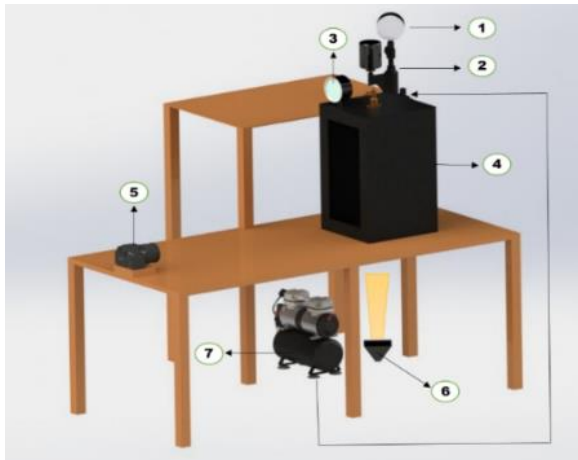
Parameter	Satuan	Komposisi Bahan bakar		
		Diesel 100%	BD20E5	BD20E10
Nilai Kalori	Kcal/kg	-	10191,8	9423,74
Flash Point	°C	52	85	80
Densitas 40°C	gr/mL	0,870	0,830	0,834
Viskositas 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	4,5	4	3,5

#### 2.1.2 Tahapan Pengujian penyemprotan bahan bakar

- Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan seperti gambar 3.
- Masukkan bahan bakar pada tangki nosel tester.
- Berikan tekanan nosel dengan mengatur ulir pada SIM nosel hingga tekanan 15 MPa.
- Berikan tekanan *ambient* pada ruang bertekanan melalui katup masuk dengan kompresor hingga tekanan dalam ruang bertekanan 2 bar.
- Mulai menyemprotkan bahan bakar menggunakan nosel tester dengan menarik tuas nosel tester
- Merekam semprotan bahan bakar menggunakan kamera FujiFilm Fine Pix HS dengan pengaturan iso 1600, shutter speed 125, F-stop 11, Dynamite Range 400, frame rate 480 fps dan resolusi pixel 224x64.
- Dibuka kembali ruang bertekanan, kemudian membersihkan sisa bahan bakar di ruang bertekanan menggunakan tisu.
- Atur kembali SIM nosel hingga tekanan 17 MPa, dan 20 MPa.
- Ganti bahan bakar Solar 100% dengan BD20E5, dan BD20E10.
- Lakukan langkah f, g, h, i, j, k, sebanyak 3 kali.
- Mencatat hasil yang diperoleh

Tabel 2. Kondisi ekperimental

Sistem injeksi	Injector tester
Jarum injektor	Throttle (satu lubang)
Diameter lubang	0,2 mm
Tekanan injeksi	15 Mpa, 17 Mpa, 20 Mpa
Tekanan ambient	3 Bar
Kamera kecepatan tinggi	Fujifilm Fine Pix HS 10
Frekuensi gambar	480 frms
Resolusi	224×168



Gambar 3. Peralatan eksperimental

Keterangan:

1. *Pressure Gauge* Tekanan Injeksi
2. *Nozzle Tester*
3. *Pressure Gauge* Tekanan Ruang Chamber
4. Ruang Chamber
5. Kamera
6. Lampu Sorot
7. Kompresor

## 2.2 Pemrosesan gambar

Pengolahan gambar melibatkan mengotomatisasi dan mengintegrasikan berbagai proses dan representasi yang digunakan untuk penglihatan persepsi. Pemrosesan gambar memiliki tiga langkah: akuisisi data, pengolahan, dan interpretasi. Akuisisi gambar. Pemrosesan gambar kemudian dilakukan menggunakan *software vidio to image inverter*. Interpretasi dilakukan menggunakan *software santen*.

### 2.2.1 Tahapan Analisa Gambar Spray Tip Penetration

Pengujian *Spray Tip Penetration* dengan merekam penginjeksian semprotan menggunakan kamera sesuai prosedur 2.1.2 point j. Data *spray tip penetration* diperoleh dari hasil pemotongan video, kemudian diambil pada *frame* ketiga dari titik nol yang diukur atau pada waktu 6,25 ms dengan aplikasi *santen*. Teknik pengukurannya dengan cara menaruh titik A

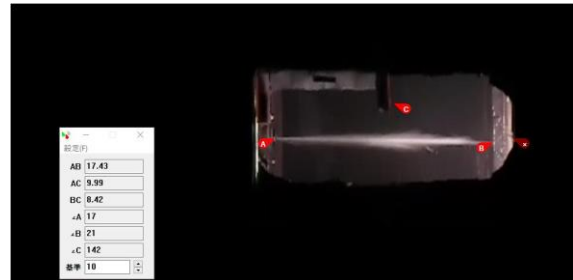
pada ujung nozzle, titik B pada ujung semprotan, titik C untuk memastikan skala yang diukur, kemudian dilakukan analisa pada objek dan titik X ada batas skala dari pengukuran.

### 2.2.2 Tahapan Analisa Gambar Velocity of Spray

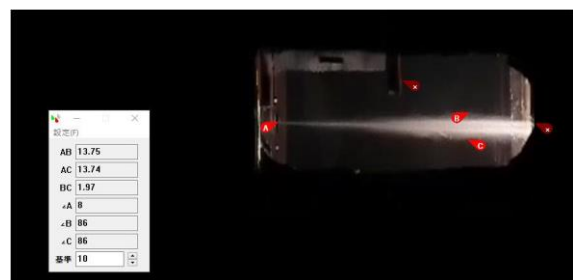
Perhitungan *velocity of spray* gambar diamati panjang yang didapat dan lama waktu diperlukan untuk membentuk *tip penetrasi*.

### 2.2.3 Tahapan Analisa Gambar Spray Cone Angle

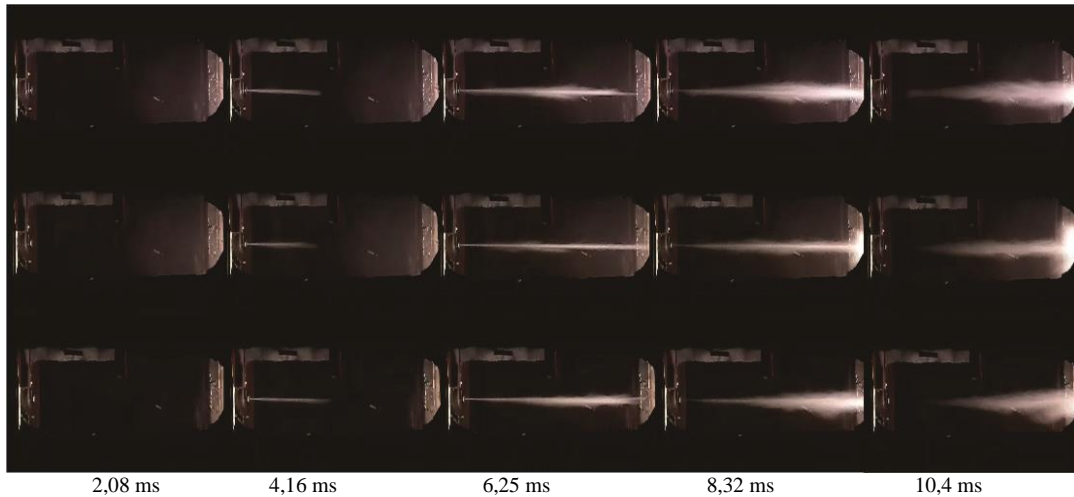
Pengukuran sudut semprotan dilakukan dengan mengukur besar luasan *tip penetrasi* dari ujung nosel seperti Gambar 3.4 sesuai prosedur 2.1.2 point j. Data *Spray Angle* diperoleh dari hasil pemotongan video menggunakan aplikasi *Video converter*, pilih gambar semprotan yang memiliki interpolasi dan diambil pada frame keempat dari titik nol yang diukur atau pada waktu 8,32 ms dengan aplikasi *santen*. Teknik pengukuran dengan menaruh titik A pada ujung nozzle, lalu titik B pada bagian atas *tip semprotan* dan titik C pada bagian bawah *tip spray*. Pemilihan frame keempat didasarkan semprotan yang telah membentuk *tip penetration*.



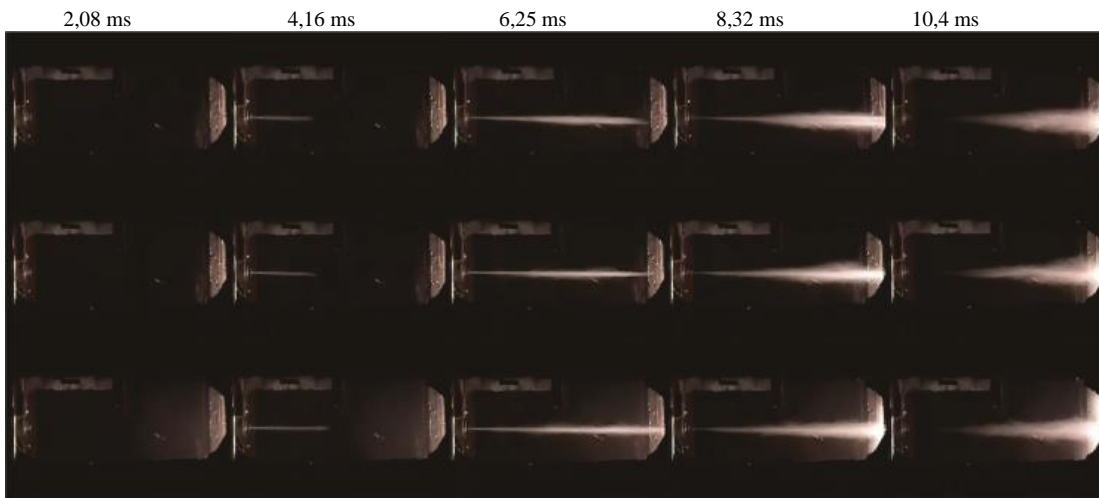
Gambar 4. Cara pengukuran *spray tip penetration*



Gambar 5. Cara pengukuran *spray angle penetration*



(a) Minyak Diesel



b) B20E5 (15 Mpa, 17 Mpa, 20 Mpa; 480  $\mu$ s)

Gambar 6. Kecepatan semprotan 480  $\mu$ s (a) (b)

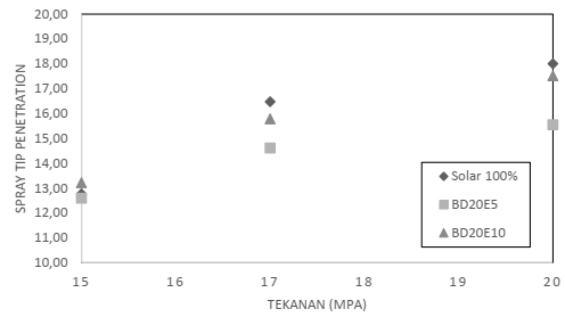
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran data *spray tip penetration* dan *velocity of spray* dilakukan seragam pada frame ketiga dengan waktu 6,25 ms, penentuan waktu pengukuran dikarenakan frame ketiga telah terlihat *spray tip* penetrasi yang hampir maksimum atau hampir menabrak dinding ruang chamber. Sedangkan pengukuran *spray angle* dilakukan pada frame keempat dengan waktu 8,32 ms, penentuan waktu pengukuran berdasarkan gambar *spray* yang telah mencapai dinding ruang chamber.

#### 3.1 *Spray Tip Penetration*

Tekanan injeksi berpengaruh pada *spray tip penetration*. Tekanan injeksi lebih tinggi berdampak pada laju aliran lebih cepat keluar dari lubang *nossel*.

Hasil pengukuran membuktikan dengan ditingkatkan tekanan injeksi maka *spray tip penetration* akan semakin meningkat terlihat di Gambar 7.



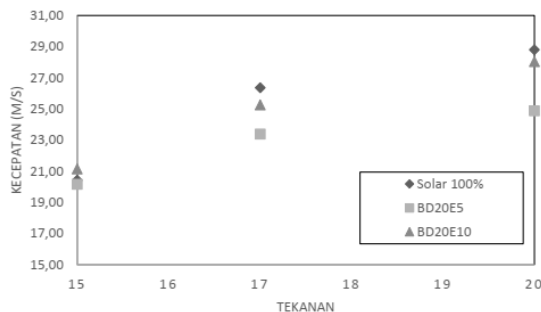
Gambar 7. *spray tip penetration* pada frame ketiga pada waktu 6,25 ms.

Tekanan 20 MPa memiliki *spray tip penetration* paling maksimal, kemudian tekanan 15 MPa paling kecil. *Spray tip penetration* pada bahan bakar *diesel* 100% paling panjang karena densitas *diesel* paling tinggi yakni 0,870 gr/mL dan *spray tip penetration* BD20E5 adalah yang paling pendek dikarenakan densitas dari BD20E5 juga paling rendah yakni 0,830 gr/mL. BD20E10 memiliki *spray tip penetration* di antara *diesel* 100% dan BD20E5, dikarenakan densitas dari BD20E10 juga berada di antara *diesel* 100% dan BD20E5 yakni sebesar 0,834 gr/mL. Penelitian yang telah dilakukan menghasilkan analisis bahwa semakin ditingkatkan tekanan injeksi dapat memberikan peningkatan panjang *spray tip penetration* [11]. Sedangkan dari bahan bakar *diesel* 100% ke BD20E5 mengalami penurunan pada tekanan yang sama dan kemudian mengalami sedikit kenaikan di BD20E10.

Hal ini disebabkan karena densitas dari *diesel* 100% ke BD20E5 mengalami penurunan kemudian mengalami kenaikan pada BD20E10 sehingga grafik dari *spray tip penetration* sesuai dengan densitas bahan bakar tersebut. Hasil pengambilan data *spray tip penetration* BD20E10 hampir menyerupai *spray tip penetration* dari *diesel* 100%. Hasil pengukuran *spray tip penetration* pada tekanan 20 MPa yakni *diesel* 100% sebesar 18,00 cm, BD20E5 sebesar 15,55 cm, dan BD20E10 sebesar 17,52 cm. Penambahan bahan bakar etanol untuk biodiesel akan memiliki sedikit efek perkembangan *spray angle* yang menyebabkan *spray tip penetration* akan sedikit pendek [9]. Penambahan etanol akan menginduksi penurunan *spray tip penetration* sesuai dengan densitas serta viskositas dari bahan bakar tersebut. Hal ini membuktikan bahwa hasil penelitian ini sesuai dengan yang telah dilakukan sebelumnya [5], [9], [11].

### 3.2 Velocity of Spray

Peningkatan tekanan injeksi akan mempengaruhi *velocity of spray* dari *nossel*. Hal ini terjadi karena tekanan injeksi yang ditingkatkan laju aliran bahan bakar untuk melakukan *spray* kedalam ruang bakar Terlihat pada Gambar 8.

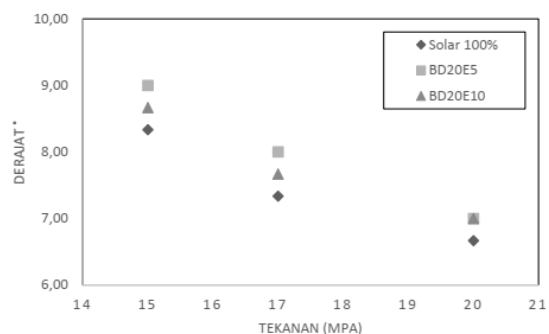


Gambar 8. *Velocity of spray* pada frame ketiga pada waktu 6,25 ms.

Pada bahan bakar *diesel* 100% memiliki *velocity of spray* paling tinggi dan BD20E5 memiliki *velocity of spray* paling rendah. Hal ini dipengaruhi oleh densitas dari karakteristik bahan bakar masing-masing. *Diesel* 100% memiliki densitas paling tinggi, maka dari itu kecepatan *spray* *diesel* 100% paling tinggi. Campuran BD20E5 memiliki densitas paling rendah, hasil *spray* BD20E5 memiliki *velocity of spray* yang paling rendah. Sedangkan densitas BD20E10 berada di antara *diesel* 100% dan BD20E5 sehingga hasil pengujian *spray* BD20E10 juga berada di antara *diesel* 100% dan BD20E5. Hasil pengujian ini sesuai antara *velocity of spray* dengan densitas dari bahan bakar tersebut. Hasil perhitungan *velocity of spray* *diesel* 100% pada tekanan injeksi 15 MPa sebesar 20,432 m/s, pada 17 MPa sebesar 26,357 m/s, dan pada tekanan injeksi 20 MPa sebesar 28,800 m/s. *velocity of spray* dipengaruhi oleh besarnya tekanan injeksi dan densitas bahan bakar tersebut. Hasil pengukuran *velocity of spray* tekanan 15 MPa pada *diesel* 100% sebesar 20,432 m/s, pada BD20E5 sebesar 20,160 m/s, dan pada BD20E10 sebesar 20,152 m/s. Penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil bahwa penambahan etanol akan terjadi peningkatan laju aliran atau *velocity of spray* yang lebih tinggi. Penelitian yang dilakukan ini memperoleh hasil yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan [5][12].

### 3.3 Spray Angle

*Spray angle penetration* adalah sudut yang terbentuk disebabkan oleh massa gas atau kerapatan massa udara didalam chamber hal ini terlihat di gambar 7.



Gambar 9. *spray angle* pada frame keempat pada waktu 8,32 ms

tekanan 15 MPa memiliki *spray angle* paling besar karena memiliki laju aliran massa bahan bakar untuk di injeksikan paling kecil. Hasil pengukuran *spray angle* pada 15 MPa sebesar 8,33°, 17 MPa sebesar 7,33° dan 20 MPa sebesar 6,67°.

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [11], peningkatan tekanan injeksi pada bahan bakar biodiesel akan memberikan *spray angle* yang semakin sempit.

Hasil pengukuran spray angle saat tekanan injeksi 15 MPa pada diesel 100% sebesar 8,33°, pada BD20E5 sebesar 9,00°, dan pada BD20E10 sebesar 8,67°. Penambahan etanol pada campuran diesel- biodiesel mampu meningkatkan *spray angle*. Hal ini membuktikan bahwa hasil penelitian ini sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan [5], [9], [11].

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini untuk pengembangan energi alternative pengganti bahan solar murni. Pengujian dilakukan pada Biodiesel campuran etanol dengan perbandingan prosentase 5% dan 10%. Hasil analisis karakteristik *spray* dapat disimpulkan :

1. Penambahan etanol pada bahan bakar biodiesel mempengaruhi karakteristik bahan bakar. Penambahan etanol pada bahan bakar biodiesel akan menyebabkan penurunan *spray tip penetration* dan *velocity of spray*, dan *spray angle* mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan penurunan densitas dan viskositas. Karakteristik *spray* campuran etanol 10% pada tekanan ambient 2 bar ditinjau dari *spray tip penetration* paling mendekati solar 100% adalah BD20E10.
2. Peningkatan tekanan injeksi akan mempengaruhi karakteristik *spray tip penetration*, *velocity of spray* dan *spray angle*. Peningkatan tekanan injeksi menyebabkan *spray tip penetration* dan *velocity of spray* meningkat pada nosel mesin diesel. Peningkatan tekanan injeksi memberikan laju aliran bahan bakar keluar lebih besar. Besarnya kenaikan *spray tip penetration* dan *velocity of spray* selaras dengan densitas. Karakteristik bahan bakar memiliki densitas solar 100% paling besar, kemudian mengalami penurunan pada campuran etanol 5% dan mengalami sedikit kenaikan pada etanol 10% sedangkan *spray angle* akan mengalami penurunan jika tekanan injeksi ditingkatkan, hal ini dikarenakan *spray tip penetration* semakin besar sehingga *spray angle* menurun yang dipengaruhi dari densitas bahan bakar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pertama mengucapkan terima kasih atas dukungan terhadap kelompok riset mahasiswa (keris) Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Fadhlullah, S. N. B. Widiyanto, and E. Restiawaty, "The potential of nyamplung

(*Calophyllum inophyllum* L.) seed oil as biodiesel feedstock: Effect of seed moisture content and particle size on oil yield," *Energy Procedia*, vol. 68, pp. 177–185, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.03.246.

- [2] H. H. Bachtiar, B. A. Fachri, and N. Ilminnafik, "Flame Characteristics of Diffusion of *Calophyllum inophyllum* Methyl Ester on Mini Glass Tube," vol. 1, no. 1, pp. 40–47, 2019.
- [3] N. Ilminnafik, "The influence of biodiesel fuel oil blend Java *Calophyllum inophyllum* performance and emission on diesel engine single-cylinder," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, pp. 1–7, 2008, [Online]. Available: www.irjet.net.
- [4] Moh . Tarom , Nasrul, "Effects of ambient pressure in a constant volume spray chamber on the characteristics of biodiesel-mixed biodiesel mixed sprays," *Int. J. of Current Res*, vol. 10, Issue, 04, pp.67623-67627, April 2018.
- [5] L. Corral-Gómez, G. Rubio-Gómez, S. Martínez-Martínez, and F. A. Sánchez-Cruz, "Effect of diesel-biodiesel-ethanol blends on the spray macroscopic parameters in a common-rail diesel injection system," *Fuel*, vol. 241, no. December 2018, pp. 876–883, 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2018.12.081.
- [6] R. F. Britto and C. A. Martins, "Emission analysis of a Diesel Engine Operating in Diesel-Ethanol Dual-Fuel mode," *Fuel*, vol. 148, no. February, pp. 191–201, 2015, doi: 10.1016/j.fuel.2015.01.008.
- [7] A. Jamrozik, W. Tutak, M. Pyrc, and M. Sobiepanski, "Effect of diesel-biodiesel-ethanol blend on combustion, performance, and emissions characteristics on a direct injection Diesel engine," *Therm. Sci.*, vol. 21, no. 1, pp. 591–604, 2017, doi: 10.2298/TSCI160913275J.
- [8] J. Pastor, J. M. Garcia-Oliver, A. Garcia, W. Zhong, C. Micó, and T. Xuan, "An Experimental Study on Diesel Spray Injection into a Non-Quiescent Chamber," *SAE Int. J. Fuels Lubr.*, vol. 10, no. 2, pp. 394–406, 2017, doi: 10.4271/2017-01-0850.
- [9] S. H. Park, H. K. Suh, and C. S. Lee, "Effect of Bioethanol-Biodiesel Blending Ratio on Fuel Spray Behavior and Atomization Characteristics," *Energy and Fuels*, vol. 23, no. 8, pp. 4092–4098, 2009, doi: 10.1021/ef900068a.
- [10] A. Ashari, A. Wahab, and E. Marlina, "Pengaruh Variasi Tekanan Injektor Dan Putaran Terhadap Performa Dan Gas Buang Pada Motor Diesel," *J. Tek. Mesin UNISMA*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2016, [Online]. Available: <http://riset.unisma.ac.id/index.php/jts/article/view/655>.

- [11] X. Wang, O. A. Kuti, W. Zhang, K. Nishida, and Z. Huang, "Effect of injection pressure on flame and soot characteristics of the biodiesel fuel spray," *Combust. Sci. Technol.*, vol. 182, no. 10, pp. 1369–1390, 2010, doi: 10.1080/00102201003789139.
- [12] A. Ghurri, K. Jae-duk, S. Kyu-Keun, J. Jae-Youn, and K. H. Gon, "Qualitative and quantitative analysis of spray characteristics of diesel and biodiesel blend on common-rail injection system." *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 25, no. 4, pp. 885–893, 2011, doi: 10.1007/s12206-011-0142-4.