

P-7

KARAKTERISTIK SPRAY BAHAN BAKAR CAMPURAN BENSIN- ETANOL PADA VACUUM CHAMBER

SPRAY CHARACTERISTICS OF GASOLINE-ETHANOL MIXTURE FUEL IN THE VACUUM CHAMBER

Arwin^{1*}, Yudi Kurniawan², Ida Bagus Dharmawan³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Balikpapan, Jl. Soekarno Hatta Km 8, Balikpapan

*E-mail: arwin@poltekba.ac.id

Diterima 27-09-2023	Diperbaiki 04-10-2023	Disetujui 13-10-2023
---------------------	-----------------------	----------------------

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik spray bahan bakar campuran bensin-etanol pada vacuum chamber. Pengujian bahan bakar dilakukan dengan memvariasikan tekanan pada vacuum chamber sebesar 0 In.Hg, 10 In.Hg, 15 In.Hg, dan 22 In.Hg dan campuran bahan dengan persentase etanol sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Setiap semprotan campuran bahan bakar dianalisa karakteristik semprotannya dengan merekam menggunakan kamera. Selanjutnya data berupa video semprotan bahan bakar di convert menjadi gambar menggunakan software Adobe Priemer Pro CC lalu dianalisa dengan menggunakan software Image J untuk memperoleh data karakteristik spray bahan bakar yang berupa spray tip penetration, velocity of spray, dan angle spray. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai spray tip penetrasion dan velocity of spray terendah pada E0 yaitu sebesar 15,8 cm dan 52,6 cm/s pada kevakuman 0 In.Hg (1 atm), sedangkan spray tip penetration dan velocity of spray tertinggi pada E30 yaitu sebesar 26,2 cm dan 84,5 cm/s pada kevakuman 22 In.Hg. Sedangkan spray angle tertinggi pada bahan bakar E0 yaitu sebesar 20,1° pada kevakuman 22 In.Hg dan terendah pada E30 yaitu sebesar 15,8^o pada kevakuman 0 In.Hg. Semakin tinggi persentase etanol disetiap tekanan vakum yang diujikan menunjukkan nilai spray tip penetration dan velocity of spray semakin meningkat sedangkan nilai spray angle mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena terjadi peningkatan viskositas, densitas campuran bahan bakar dan berkurangnya tekanan gas/udara di dalam vacuum chamber. Semakin tinggi viskositas dan densitas bahan bakar serta tekanan vakum pengujian maka nilai spray tip penetration, velocity of spray dan angle spray bahan bakar juga meningkat.

Kata kunci: Karakteristik, spray, bensin, etanol, vakum

ABSTRACT

This research aims to determine the spray characteristics of gasoline-ethanol mixed fuel in a vacuum chamber. Fuel testing was carried out by varying the pressure in a vacuum chamber of 0 In.Hg, 10 In.Hg, 15 In.Hg, and 22 In.Hg and a mixture of ingredients with an ethanol percentage of 0%, 10%, 20%, and 30%. Each spray of the fuel mixture is analyzed for its spray characteristics by recording it using a camera. Next, the data in the form of fuel spray videos were converted into images using Adobe Priemere Pro CC software and then analyzed using Image J software to obtain data on fuel spray characteristics in the form of spray tip penetration, spray speed and spray angle. The results showed that the spray tip penetration value and the lowest spray speed at E0 were 15.8 cm and 52.6 cm/s at a vacuum of 0 In.Hg (1 atm), while the spray tip penetration and the highest spray speed were at E30, namely 26.2 cm and 84.5 cm/s at a vacuum of 22 In.Hg. Meanwhile, the highest spray angle for E0 fuel is 20.1° at a vacuum of 22 In.Hg and the lowest is for E30, namely 15.8^o at a vacuum of 0 In.Hg. The higher the percentage of ethanol at each vacuum pressure tested, it shows that the value of spray tip penetration and velocity of spray increases while the value of spray angle decreases. This is caused by an increase in viscosity, density of the fuel mixture and reduced gas/air pressure in the vacuum chamber. The higher the viscosity and density of the fuel as well as the vacuum pressure of the test, the values of spray tip penetration, velocity of spray and angle of spray of the fuel also increase.

Keywords: Characteristics, spray, gasoline, ethanol, vacuum

PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak yang berasal dari minyak bumi hingga saat ini masih menjadi salah satu komoditas yang penting dalam kehidupan sehari-hari. Data Badan Pusat Statistik tahun 2022 melaporkan bahwa konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia yang lebih tinggi dibandingkan dengan produksi minyak sehingga sampai sekarang masih harus mengimpor bahan bakar minyak dari negara lain. Upaya pemerintah untuk mengurangi impor bahan bakar minyak dan meningkatkan ketahanan dan kemandirian energi yakni dengan program mandatori Bahan Bakar Nabati (BBN)/ *Biofuel* yang terdiri dari biodiesel dan bioetanol yang tertuang dalam Perpres No. 5 Tahun 2006 dan Peraturan Pemerintah No.2 tahun 2017 tentang Rencana umum Energi Nasional (REUN). Berbeda dengan penerapan program biodiesel yang cukup sukses, program bioetanol malah mengalami keterlambatan penerapan untuk campuran atau substitusi bensin.

Beberapa faktor yang mempengaruhi seperti sejak tahun 2010 produksi bioetanol yang menggunakan bahan baku pati, singkong atau bahan lain yang mengandung gula yang biasa disebut bioetanol generasi satu (G1) tidak sesuai harapan karena faktor bahan baku yang berkompetisi dengan bahan pangan dan pakan serta harga yang kurang menarik. Sementara biomassa *lignoselulosa* yang tersedia cukup melimpah yang biasanya berasal dari limbah pertanian, perkebunan dan kehutanan atau limbah industri yang mengandung *selulosa*, *hemiselulosa* dan *lignin* yang dapat di konversi menjadi bioetanol generasi kedua (G2) belum diolah secara optimal. Selain itu produk bioetanol dari Indonesia lebih banyak untuk kebutuhan ekspor karena harga bioetanol negara tujuan ekspor jauh lebih tinggi dari pada di dalam negeri [1]. Sedangkan etanol yang berasal dari bahan baku mikroalga atau makroalga/generasi ketiga (G3) dan bahan baku yang berasal dari biomassa dan mikroba yang telah mengalami rekayasa genetika/etanol generasi ke 4 (G4) [2] masih sangat kurang dimanfaatkan oleh masyarakat.

Untuk mendukung program tersebut etanol harus menjadi fokus perhatian para peneliti karena etanol memiliki kekurangan dan kelebihan seperti nilai kalori etanol yang lebih rendah dari bensin, nilai oktan yang lebih tinggi, kemurnian etanol, sifat etanol yang korosif, dan sifat *volatility* etanol. Berbagai

penelitian tentang campuran bahan bakar bensin-etanol pada *engine* bensin sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Dari hasil pengujian pada mesin bensin diketahui bahwa pencampuran bioetanol dengan bensin sampai pada komposisi 15% etanol (E15) tidak memerlukan perubahan pada mesin meskipun energi yang dihasilkan sedikit berbeda. Sementara itu, campuran dengan komposisi bioetanol di atas 15% memerlukan perubahan pada mesin atau menggunakan mesin tertentu [3,4]. Selain itu, penambahan etanol sekitar 5 % pada bahan bakar bensin jenis Pertalite dapat meningkatkan torsi 12,8% dan daya mesin sekitar 12,6% dibandingkan bahan bakar bensin murni jenis pertalite. Sedangkan penambahan etanol 10% dapat menghemat bahan bakar sekitar 11,6% dan meningkatkan efisiensi termal sebanyak 12,47%, pada emisi gas buang terjadi peningkatan kadar CO₂ dan penurunan senyawa CO [5]. Dari berbagai penelitian tentang etanol yang telah dilakukan kebanyakan hanya mengamati efek campuran bensin-etanol terhadap kinerja *engine* dan emisi gas buang kendaraan, namun belum diamati bagaimana karakteristik *spray* bahan bakar campuran bensin etanol pada saat di injeksikan ke *intake manifold (engine MPI/TBI)* ataupun langsung pada *combustion chamber (engine GDI)*.

Pengujian mengenai karakteristik *spray* campuran bahan bakar sangatlah penting dilakukan karena masing-masing bahan bakar memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda. Selain itu pada kondisi nyata, ruang penginjeksian bahan bakar akan selalu mengalami perubahan tekanan menjadi di bawah tekanan atmosfer (*vacuum*) karena perubahan posisi *throttle valve* dan terjadinya langkah hisap pada *engine*. Besarnya tekanan vakum yang terjadi pada *intake manifold/combustion chamber* bisa mencapai sebesar 22 in.Hg [6]. Perubahan tekanan dapat menyebabkan karakteristik *spray* bahan bakar juga berubah sehingga akan mempengaruhi homogenitas campuran antara udara dan bahan bakar ketika terjadi pembakaran yang berdampak pada kinerja *engine* dan emisi gas buang yang dihasilkan.

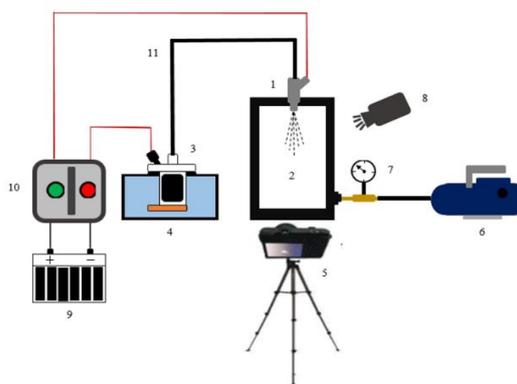
Penelitian tentang *spray* bahan bakar yang dilakukan dengan metode eksperimen dapat diselidiki melalui 2 kondisi yaitu menguap atau tidak menguap tergantung pada parameter dan tujuan penelitian [7,8]. Penelitian tentang karakteristik *spray tip*

penetration, *spray angle* dan ukuran *droplet* yang dilakukan pada bahan bakar *nafta* ringan, *nafta* utuh, dan dua bahan bakar referensi didapatkan bahwa bahan bakar *nafta* dan penggantinya menunjukkan karakteristik makroskopik yang serupa [9]. Penelitian lain tentang karakteristik semprotan makroskopik *nafta* ringan, bensin, dan bahan bakar referensi menggunakan injektor kerucut berongga GDI *piezoelektrik* disimpulkan bahwa peningkatan tekanan *ambient* menyebabkan sudut semprotan yang lebih besar dan penetrasi yang lebih pendek. Namun, perbedaan antara bahan bakar yang berbeda tidak signifikan [10]. Oleh karena itu penyelidikan lebih lanjut efek campuran bahan bakar bensin-etanol dapat diperiksa melalui karakteristik *spraynya* pada *vacuum chamber*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh persentase campuran bahan bakar bensin-etanol dan tekanan vakum terhadap karakteristik *spray* bahan bakar yang meliputi: *spray tip penetration*, *velocity of spray*, dan *angle spray*. Penelitian dilakukan dengan mencampur bensin dan etanol kemudian diuji pada *vacuum chamber* yang bisa diatur tekanannya.

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental (*exprimental method*). Penelitian dilakukan pada instalasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *spray* bahan bakar campuran bensin-etanol.



Keterangan :

1. Injektor
2. Vacuum chamber
3. Pompa bahan bakar
4. Tangki bahan bakar
5. Kamera
6. Vacuum pump
7. Vacuum gauge
8. Lampu sorot
9. Aki
10. Sistem kontrol
11. Selang bahan bakar

Gambar 1. Instalasi penelitian

Adapun parameter yang akan diteliti adalah karakteristik *spray* campuran bensin-etanol dengan menggunakan variabel bebas persentase etanol sebesar 0% (E0), 10% (E10), 20% (E20), dan 30% (E30) (persentase dihitung berdasarkan volume) dan tekanan pada *vacuum chamber* divariasikan sebesar 10 in.Hg, 15 in.Hg, dan 22 in.Hg. Setiap semprotan campuran bahan bakar dianalisa karakteristik semprotannya dengan merekam menggunakan kamera. Selanjutnya data berupa video semprotan bahan bakar di *convert* menjadi gambar menggunakan *software Adobe Priemere Pro CC* lalu dianalisa dengan menggunakan *software ImageJ*. Hasil dari percobaan dimasukkan ke dalam suatu tabel penelitian, kemudian dianalisis dan dibuat suatu diagram untuk melihat kecenderungan yang terjadi, sehingga dapat dibandingkan dan diambil suatu kesimpulan karakteristik *spray* bahan bakar campuran bensin-etanol meliputi *spray tip penetration*, *velocity of spray*, dan *angle spray* yang dalam penelitian ini sebagai variabel terikat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengukuran *Spray Tip Penetration*

Contoh pengukuran *spray tip penetration* dengan menggunakan *Software ImageJ* seperti yang tampak pada gambar 2. Hal pertama yang dilakukan yaitu dengan meletakkan gambar hasil *convert* dari video *spray* bahan bakar pada *software ImageJ*, lalu melakukan pengukuran panjang acuan pada ujung injektor (diameter injektor), melakukan pengaturan skala dari panjang acuan ujung injektor (7,5 mm), lalu mengukur *spray tip penetration* bahan bakar yang di uji. Contoh hasil pengukuran untuk *spray tip penetration* E0 di dapatkan sebesar 15,8 cm.



Gambar 2. Mengukur *spray tip penetration*

2. Perhitungan Velocity of Spray

Perhitungan *velocity of spray* didapatkan dengan cara mengamati panjang *spray* bahan bakar (*Spray tip penetration*) dibagi dengan waktu yang diperlukan untuk membentuk *tip penetrasi* bahan bakar. Nilai *velocity of spray* dapat dicari melalui persamaan di bawah ini:

$$v = \frac{x}{t}$$

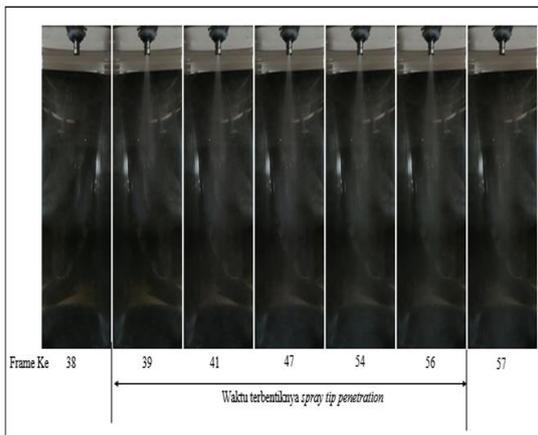
Dimana :

v : *Velocity of spray* (m/s)

x : *Spray tip penetration* (m)

t : Waktu terbentuknya *spray tip penetration*

Contoh pengukuran lama waktu terbentuknya *spray tip penetration* E0 seperti pada gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Pengukuran waktu terbentuknya *spray tip penetration*

Diketahui jumlah gambar dari *frame* ke 39 sampai dengan *frame* ke 56 = 18 gambar
 Waktu penetrasi = $\sum \text{gambar} / \text{fps video}$
 $= 18 / 60$
 $= 0,3 \text{ s}$

Contoh perhitungan *velocity of spray* bahan bakar E0 :

$$v = (15,8 \text{ cm}) / (0,3 \text{ s})$$

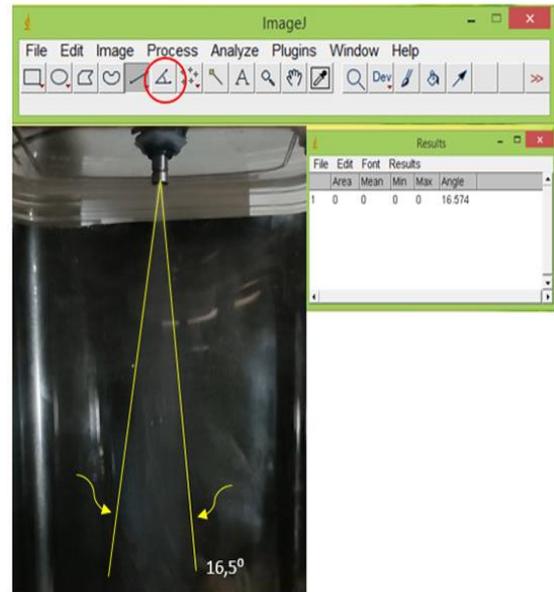
$$= 52,6 \text{ cm/s}$$

Jadi, nilai *velocity of spray* E0 sebesar 52,6 cm/s.

3. Pengukuran angle spray

Proses pengukuran sudut semprotan bahan bakar hampir sama dengan proses yang dilakukan pada saat mengukur *spray tip penetration* pada *software ImageJ*. Hal yang membedakan yaitu hanya pada menu yang digunakan yakni menu *Angle* (pengukur sudut). Pertama buka gambar yang akan di ukur melalui menu *open* pada *ImageJ*, setelah itu pilih menu *Angle*, pada gambar yang akan

di ukur tarik 1 garis lurus pada salah satu sisi terluar semprotan bahan bakar ke ujung injektor. Setelah itu tarik kembali satu garis lurus dari ujung injektor menuju sisi terluar lainnya pada semprotan bahan bakar sehingga membentuk suatu sudut. Selanjutnya pilih menu *Analyze* untuk melihat hasil pengukuran sudut.



Gambar 4. Pengukuran *angle spray*

Selanjutnya perhitungan *spray tip penetration*, *velocity of spray* dan *angle spray* dilakukan untuk semua variasi campuran bahan bakar pada setiap tekanan vakum yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Hasil perhitungan karakteristik *spray* bahan bakar di kevakuman 0 dan 10

Bahan Bakar	Vakum 0 In.Hg			Vakum 10 In.Hg		
	STP (cm)	VS (cm/s)	AS (°)	STP (cm)	VS (cm/s)	AS (°)
E0	15,8	52,6	16,5	16,2	54	18,3
E10	17,4	53,2	16,3	17,8	57,3	17,1
E20	18,6	62	16,1	20,8	69,3	16,7
E30	19,7	65,6	15,9	21,3	71	16,3

STP = *Spray Tip Penetration*, VS = *Velocity of Spray*, AS = *Angle Spray*

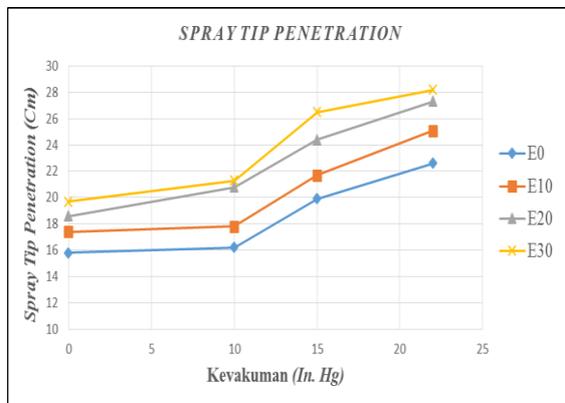
Tabel 2. Hasil perhitungan karakteristik *spray* bahan bakar di kevakuman 15 dan 22

Bahan Bakar	Vakum 15 In.Hg			Vakum 22 In.Hg		
	STP (cm)	VS (cm/s)	AS (°)	STP (cm)	VS (cm/s)	AS (°)
E0	19,9	66,3	19,5	20,6	68,4	20,1
E10	20,7	68,1	18,8	21,2	70,3	19,2
E20	23,4	75,4	17	24,3	78,3	18,7
E30	24,5	79	16,5	26,2	84,5	18,4

STP = *Spray Tip Penetration*, VS = *Velocity of Spray*, AS = *Angle Spray*

4. Spray Tip Penetration

Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *spray tip penetration* di setiap pengujian tekanan vakum dapat di lihat pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *spray tip penetration* pada tekanan vakum yang berbeda

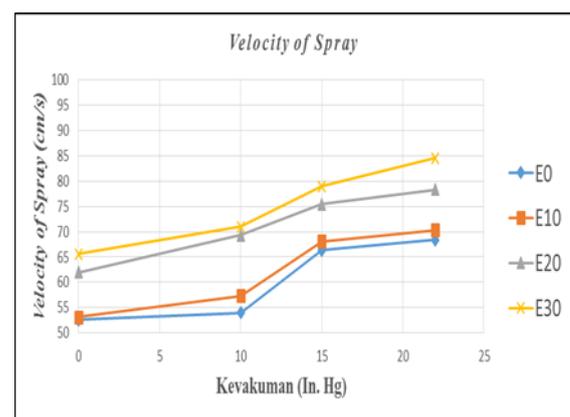
Pada gambar 5 menunjukkan pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *spray tip penetration*. Nilai *spray tip penetration* terendah ada pada E0 yaitu sebesar 15,8 cm di pengujian kevakuman pada *vacuum chamber* sebesar 0 *In.Hg*, sedangkan *spray tip penetration* tertinggi pada E30 yaitu sebesar 26,2 cm pada pengujian kevakuman sebesar 22 *In.Hg*. Nilai *spray tip penetration* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase campuran etanol terhadap bensin dan semakin tingginya nilai tekanan vakum yang diujikan pada *vacuum chamber*. Hal ini disebabkan karena etanol memiliki viskositas dua kali lipat lebih tinggi yaitu sebesar 1,19 mm²/s dibandingkan dengan bensin yaitu sebesar 0,44 mm²/s [2] yang mengindikasikan bahwa semakin banyak persentase etanol yang ditambahkan maka nilai viskositas campuran bahan bakar akan meningkat. Selain itu etanol memiliki densitas yang lebih tinggi yaitu sebesar 0,789 g/cm³ dibandingkan dengan bensin yaitu sebesar 0,692 sehingga ketika dicampur maka akan terjadi juga peningkatan densitas campuran bahan bakar.

Viskositas atau densitas yang besar menjadikan campuran bahan bakar memiliki ukuran *droplet* bahan bakar yang lebih besar sehingga memiliki momentum yang besar untuk menembus hambatan (udara atau gas) dari lingkungan tempat bahan bakar diinjeksikan. Momentum yang besar akan menyebabkan nilai *spray tip penetration* juga

akan semakin besar. Di sisi lain semakin tinggi tekanan vakum menyebabkan kerapatan udara atau gas akan semakin rendah sehingga *spray* bahan bakar yang keluar dari ujung injektor tidak akan terhambat untuk melaju membentuk *spray tip penetration* di ruang pengujian. Nilai *spray penetration* yang terlalu besar akan menghasilkan *droplet* bahan bakar yang cenderung berukuran besar juga sehingga proses penguapan, difusi bahan bakar dengan udara dan reaksi pembakaran akan berlangsung lambat yang megakibatkan torsi yang dihasilkan *engine* kecil dan emisi gas buang meningkat.

5. Velocity of Spray

Pada gambar 5.4 di bawah ini menunjukkan pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *velocity of spray* di setiap pengujian tekanan vakum. Nilai *velocity of spray* tertinggi pada campuran bahan bakar E30 dengan nilai sebesar 84,5 cm/s pada tekanan vakum 22 *In.Hg* sedangkan nilai *velocity of spray* terendah pada bahan bakar E0 dengan nilai sebesar 52,6 cm/s pada pengujian tekanan vakum 0 *In.Hg* (tekanan 1 atm). Pada campuran bahan bakar E0 dan E10 memiliki nilai *velocity of spray* yang perbedaannya tidak terlalu signifikan pada setiap tekanan vakum yang diujikan begitupun dengan campuran bahan bakar pada E20 dan E30 memiliki karakteristik nilai *velocity of spray* yang serupa.



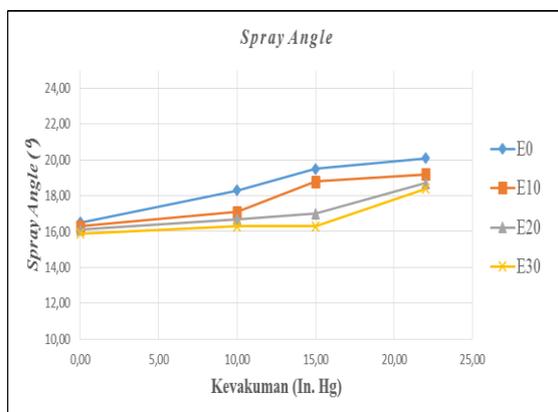
Gambar 6. Grafik Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap *Velocity of Spray* Pada Setiap Tekanan Vakum

Perbedaan nilai *velocity of spray* yang cukup signifikan terjadi pada E10 dan E20 pada setiap tekanan vakum yang diujikan. Hal ini bisa diakibatkan karena pada campuran bahan bakar E10 belum terjadi perubahan viskositas ataupun densitas campuran bahan

bakar yang cukup signifikan dibandingkan dengan campuran bahan bakar E20 dan E30 yang sudah mengalami perubahan viskositas dan densitas yang cukup besar. Semakin besar viskositas campuran bahan bakar dan tekanan vakum yang di ujikan menyebabkan *spray tip penetration* yang terbentuk semakin besar sehingga *velocity of spray*-nya juga semakin besar. Hasil penelitian yang dilakukan ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [11] bahwa penambahan etanol akan terjadi peningkatan laju aliran atau *velocity of spray* yang lebih tinggi. *Velocity of spray* bahan bakar yang tinggi sangat dibutuhkan dalam proses pembakaran yang terjadi begitu cepat karena akan membuat proses pencampuran bahan bakar dengan udara di dalam ruang bakar akan cepat terjadi sehingga proses pembakaran bisa dimaksimalkan yang berdampak terhadap torsi yang dihasilkan *engine* juga maksimal.

6. Angle Spray

Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *angle spray* disetiap pengujian tekanan vacuum dapat di lihat pada gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Grafik Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap *Spray Angle* Pada Setiap Tekanan Vakum

Pada gambar 7 menunjukkan pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *spray angle* pada setiap tekanan vakum. Hasil pengukuran *spray angle* terbesar pada bahan bakar E0 yaitu sebesar $20,1^{\circ}$ pada tekanan vakum pengujian 22 *In.Hg* sedangkan *spray angle* terkecil pada campuran bahan bakar E30 yaitu sebesar $15,9^{\circ}$ pada pengujian dengan tekanan vakum 0 *In.Hg* (tekanan 1 atm pada *vacuum chamber*) untuk semua pengujian campuran bahan bakar memiliki

perbedaan nilai yang tidak terlalu signifikan yakni pada kisaran 16° yang menandakan bahwa persentase campuran etanol tidak terlalu berpengaruh pada *spray angle* yang dihasilkan ketika kondisi pengujian tidak dalam kondisi vakum (tekanan 1 atm). Nilai *spray angle* mengalami kenaikan seiring dengan berkurangnya persentase campuran etanol di dalam bensin dan meningkatnya tekanan vakum yang diujikan pada *vacuum chamber*. Hal ini bisa di akibatkan karena semakin besar persentase campuran etanol maka campuran bahan bakar akan mengalami kenaikan viskositas dan densitas. Viskositas atau densitas yang tinggi menyebabkan sudut semprotan cenderung menyempit (tidak melebar) dan menghasilkan *droplet* bahan bakar yang lebih besar sehingga *spray angle* yang dihasilkan kecil. Sedangkan semakin tinggi kevakuman menyebabkan kerapatan gas di dalam *vacuum chamber* semakin kecil sehingga ketika campuran bahan bakar disemprotkan, sebarang *spray* bahan bakar akan cenderung melebar karena berkurangnya tekanan gas/udara yang ditembus setelah keluar dari ujung injektor. Hal ini mengakibatkan *spray angle* yang dihasilkan semakin besar seiring dengan berkurangnya densitas dan viskositas campuran bahan bakar. *Spray angle* yang besar memungkinkan *droplet-droplet* bahan bakar akan bereaksi dengan oksigen lebih cepat dan pembakaran yang terjadi akan lebih baik sehingga berdampak pada torsi dan emisi gas buang yang dihasilkan *engine* juga menjadi lebih baik.

KESIMPULAN

Penambahan etanol dalam bahan bakar bensin mempengaruhi karakteristik *spray* bahan bakar yang dihasilkan. Semakin tinggi persentase etanol dalam campuran bahan bakar bensin disetiap tekanan vakum pengujian menunjukkan nilai *spray tip penetration* dan *velocity of spray* semakin meningkat sedangkan nilai *angle spray* menurun. Hal ini disebabkan karena terjadi peningkatan viskositas dan densitas campuran bahan bakar menghasilkan ukuran *droplet* yang lebih besar sehingga memiliki momentum yang besar untuk menembus hambatan (udara atau gas) pada saat diinjeksikan. Peningkatan tekanan vakum menyebabkan kerapatan udara atau gas akan semakin rendah sehingga sebarang *spray* bahan bakar akan cenderung melebar. Semakin tinggi nilai *spray tip penetration* akan

berdampak pada torsi yang dihasilkan *engine* kecil dan emisi gas buang yang dihasilkan meningkat. Sedangkan semakin besar nilai *velocity of spray* dan *angle spray* akan berdampak pada torsi yang dihasilkan bisa lebih maksimal dan emisi gas buang yang rendah.

SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk dapat mengembangkan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Etanol perlu disimpan pada tempat yang sejuk dan terhindar dari paparan sinar matahari langsung dan tertutup rapat agar tidak merubah karakteristik bahan bakar tersebut.
2. Perlu menggunakan kamera dengan resolusi dan fps yang lebih tinggi untuk menghasilkan potongan gambar yang lebih akurat dan jelas.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik *spray* bahan bakar dengan menggunakan jenis injektor yang berbeda-beda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Balikpapan yang telah membiayai dalam penelitian ini dan Workshop Jurusan Teknik Mesin yang telah memfasilitasi dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Sudiyani *et al.*, *Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif*. 2019. [Online]. Available: lipipress.lipi.go.id
- [2] Y. Qian, G. Liu, J. Guo, Y. Zhang, L. Zhu, and X. Lu, "Engine performance and octane on demand studies of a dual fuel spark ignition engine with ethanol / gasoline surrogates as fuel," *Energy Convers. Manag.*, vol. 183, no. January, pp. 296–306, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.01.011.
- [3] M. K. Balki, C. Sayin, and M. Canakci, "The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine," *Fuel*, vol. 115, pp. 901–906, 2014, doi: 10.1016/j.fuel.2012.09.020.
- [4] F. Catapano, P. Sementa, and B. M. Vaglieco, "Optical characterization of bio-ethanol injection and combustion in a small DISI engine for two wheels vehicles," *Fuel*, vol. 106, pp. 651–666, 2013, doi: 10.1016/j.fuel.2012.11.064.
- [5] Y. Nofendri and M. F. Hidayat, "Perbandingan Campuran Bensin dan Etanol Terhadap Performa Mesin dan Emisi Gas Buang pada Mesin 2 Silinder," *J. Mech.*, vol. 10, no. September, pp. 28–33, 2019.
- [6] W. Trisnadi, U. M. Ponorogo, K. Winangun, and U. M. Ponorogo, "UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONOROGO," no. April 2019, 2020, doi: 10.24269/jkt.v3i1.251.
- [7] C. Zhai, Y. Jin, Q. Wu, K. Nishida, and Y. Ogata, "Diesel spray and combustion of multi-hole injectors with micro-hole under ultra-high injection pressure – Combustion characteristics," *Fuel*, vol. 300, no. April, p. 120949, 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2021.120949.
- [8] L. Hakim, N. Ilminnafik, G. Jatisukamto, and M. Nurkoyim, "Karakteristik spray diesel dan campuran biodiesel nyamplung pada ruang chamber dengan variasi temperatur ambient," vol. 9, no. 1, pp. 1–8, 2020.
- [9] L. Wang, J. A. Badra, W. L. Roberts, and T. Fang, "Characteristics of spray from a GDI fuel injector for naphtha and surrogate fuels," *Fuel*, vol. 190, pp. 113–128, 2017, doi: 10.1016/j.fuel.2016.11.015.
- [10] Z. Wu, L. Wang, J. A. Badra, W. L. Roberts, and T. Fang, "GDI fuel sprays of light naphtha, PRF95 and gasoline using a piezoelectric injector under different ambient pressures," *Fuel*, vol. 223, no. September 2017, pp. 294–311, 2018, doi: 10.1016/j.fuel.2018.03.009.
- [11] T. Alifuddin, L. Hakim, N. Ilminnafik, and ..., "Karakteristik Penyemprotan Campuran Diesel-Biodiesel Minyak Nyamplung dan Etanol Dengan Variasi Tekanan Injeksi," ... *Work. Natl.* ..., pp. 26–27, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/2034>