



Analisis Karakteristik Spray Bahan Bakar Peralite Pertamina Dan Pertamax Turbo Dengan Campuran Etanol

Analysis of Fuel Spray Characteristics of Peralite, Pertamina, and Pertamax Turbo with Ethanol Blending

M. Iqbal Cholis¹, M. Fathuddin Noor², Lukman Hakim³

^{1,2,3}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Panca Marga, Kademangan, Kota Probolinggo, Negara
Indonesia, Kode Pos 67225

m.iqbalcholis7@email.com, fathuddinupm@gmail.com, lukmanteknik@upm.ac.id.

Abstract

In the automotive industry sector, technological advances have entered the stage of using alternative fuels, and the principle of fuel injection in gasoline engines (electronic fuel injection), to create efficient fuel use and more environmentally friendly combustion. The method used in this research is an experimental method, namely a method used to test the characteristics of gasoline fuel with ethanol against spray using an injector. In this research, we will compare the characteristics of Peralite, Pertamina, Pertamina Turbo gasoline spray, a mixture of ethanol and gasoline in different mixture variations. This test aims to analyze spray tip penetration, spray angle, and velocity of spray. The results of collecting spray tip penetration data resulted in the highest data value for Pertamina Turbo fuel mixed with 7% ethanol and the lowest for Peralite fuel mixed with 7% ethanol. The results of the spray angle data collection had the highest value in the Pertamina 10% ethanol mixture and the lowest in the 5% ethanol mixture with Pertamina Turbo fuel. From the results of the Velocity of spray data processing, the highest value was found in the 10% ethanol mixture with Peralite fuel and the lowest was the 5% ethanol mixture with Pertamina Turbo fuel. For ethanol mixtures, more attention must be paid to the complete spray or misting of the injected fuel. Mix the fuel with ethanol according to applicable standards. Always pay attention to chamber equipment to avoid leaks when collecting data

Keywords: *Electronic Fuel Injection, Spray Tip Penetration, Spray Angle, Velocity Of Spray*

Abstrak

Pada sektor industri otomotif kemajuan teknologi sudah memasuki tahap penggunaan bahan bakar alternatif, dan prinsip penginjeksian bahan bakar pada mesin bensin (elektronik fuel injection), untuk menciptakan efisiensi penggunaan bahan bakar dan pembakaran yang lebih ramah lingkungan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji karakteristik bahan bakar bensin dengan etanol terhadap spray menggunakan injektor. Dalam penelitian ini, akan membandingkan karakteristik spray bensin peralite, pertamax, pertamax turbo, campuran etanol dengan gasoline pada variasi campuran yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisa *spray tip penetration*, *spray angle*, dan *velocity of spray*. Hasil dari pengambilan data *spray tip penetration* hasil data nilai tertinggi bahan bakar pertamax turbo campuran etanol 7% dan terendah pada bahan bakar peralite campuran etanol 7%. Hasil pengambilan data *spray angle* nilai tertinggi terdapat pada pertamax campuran etanol 10% dan terendah di campuran etanol 5% bahan bakar pertamax turbo. Dari hasil pengolahan data *Velocity of spray* nilai tertinggi terdapat pada campuran etanol 10% bahan bakar peralite dan terendah campuran etanol 5% bahan bakar pertamax turbo. Untuk campuran etanol untuk lebih diperhatikan lagi untuk kesempurnaan semprotan atau pengkabutan pada bahan bakar yg diinjeksikan. Lakukan pecampuran bahan bakar dengan etanol sesuai standard yang berlaku. Untuk alat chamber selalu diperhatikan untuk terhindar dari kebocoran pada saat melakukan pengambilan data.

Kata kunci: *Elektronik Fuel Injektion, Panjang Semprotan, Sudut Semprotan, Kecepatan Semprotan.*

1. Pendahuluan

Penggunaan bahan bakar minyak bumi semakin meningkat seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam sektor industri otomotif. Seiring dengan kemajuan teknologi, penggunaan bahan bakar alternatif mulai diterapkan, dan salah satu prinsip yang digunakan adalah penginjeksian

bahan bakar pada mesin bensin (electronic fuel injection) yang bertujuan untuk menciptakan efisiensi penggunaan bahan bakar serta menghasilkan pembakaran yang lebih ramah lingkungan[1-4]. Etanol, yang merupakan salah satu bahan bakar alternatif, berpotensi menggantikan bensin atau digunakan sebagai campuran dalam bahan bakar yang dapat diinjeksikan langsung ke dalam ruang bakar mesin. Etanol, yang juga dikenal dengan nama etil alkohol (C_2H_5OH), diproduksi melalui proses pemasakan, fermentasi, dan distilasi dari tanaman yang mengandung karbohidrat tinggi seperti tebu, jagung, singkong, dan lainnya[5-6]. Selain itu, etanol juga dapat diproduksi dari selulosa yang terkandung dalam limbah pertanian (biomassa), yang memberikan potensi besar bagi etanol sebagai pengganti bensin yang lebih ramah lingkungan. Namun, penggunaan etanol pada mesin bensin memerlukan perhatian terhadap beberapa faktor, seperti nilai kalor etanol yang lebih rendah dibandingkan bensin, nilai oktan yang lebih tinggi, kemurnian etanol, sifat korosifnya, serta volatilitasnya[7-8]. Selain itu, emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dalam mesin pembakaran dalam kendaraan bermotor menjadi salah satu penyumbang polusi udara terbesar, yang diperkirakan mencapai sekitar 70% dari total polutan[9-10]. Polutan ini terdiri dari karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NOx), hidrokarbon (HC), serta senyawa partikulat lainnya.

Berdasarkan permasalahan di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi bahan bakar dan penambahan etanol pada injeksi Honda Beat ESP. Beberapa pertanyaan utama yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah: pertama, apa pengaruh variasi campuran etanol (5%, 7%, 10%) terhadap spray tip penetration bahan bakar gasoline? Kedua, apa pengaruh variasi campuran etanol (5%, 7%, 10%) terhadap spray angle bahan bakar gasoline? Ketiga, apa pengaruh variasi campuran etanol (5%, 7%, 10%) terhadap velocity of spray bahan bakar gasoline?

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah pengetahuan mengenai karakteristik spray tip penetration, spray angle, dan velocity of spray pada bahan bakar gasoline dengan variasi campuran etanol (5%, 7%, 10%). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang bagaimana campuran etanol mempengaruhi performa bahan bakar dalam sistem injeksi dan memberikan kontribusi terhadap upaya peningkatan efisiensi bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.

Terkait batasan masalah, penelitian ini memiliki beberapa asumsi dan pembatasan. Pertama, kondisi suhu dan kelembapan udara selama pengujian dianggap tetap. Kedua, injektor yang digunakan dalam penelitian ini bersifat tetap. Ketiga, penelitian ini akan membandingkan karakteristik bahan bakar berdasarkan jurnal-jurnal penelitian yang relevan serta hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya.

2. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji karakteristik bahan bakar bensin dengan etanol terhadap *spray* menggunakan injektor. Dalam penelitian ini, akan membandingkan karakteristik *spray* bensin pertalite, pertamax, pertamax turbo, campuran etanol dengan gasoline pada variasi campuran yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisa *spray tip penetration*, *spray angle*, dan *velocity of spray*.

2.1 Alat Dan Bahan Penelitian

1. *Injector* Honda beat
2. Ruang bertekanan 25x10 cm
3. Selang bensin
4. Pompa injeksi
5. Sealer
6. Kamera Nikon 600 d
7. Gerinda sikat baja
8. Snei
9. Gerina potong
10. Mesin las
11. Tanki bahan bakar

2.2 Variable penelitian

Variable penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah variable bebas, variable terkait, dan variable control. Variable bebas adalah variable yang bebas menentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian.

Variabel bebas yang digunakan terdiri atas:

- 1) Pertalite dengan campuran etanol 5%, 7%, 10%.
- 2) Pertamina dengan campuran etanol 5%, 7%, 10%.
- 3) Pertamina turbo dengan campuran etanol 5%, 7%, 10%.

Variabel terkait adalah variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi biasanya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terkait yang meliputi data data yang diperoleh pada pengujian karakteristik *spray* yang meliputi:

- a) *Spray Tip Penetration*
- b) *Spray angle*
- c) *Velocity of spray*

Variable kontrol penelitian ini merupakan variabel yang menyamakan persepsi mengenai penelitian ini.

Variabel kontrol yang digunakan terdiri atas:

- a) Tekanan tetap
- b) Injektor tipe Honda beat

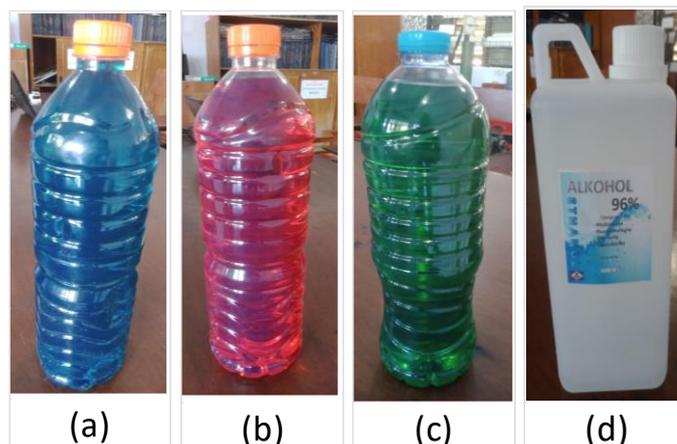
Tahapan Pembuatan dan Pengujian

Pencampuran bahan bakar

1. Bahan bakar pertalite dengan campuran etanol 25 ml, 35 ml, 50 ml (5%, 7%, 10%) dan menuangkan bahan bakar yg telah dicampur etanol sebanyak 500 ml pada gelas beker, kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 40° hingga tercampur rata selama 15 menit.
2. Menuangkan pertamax dengan campuran etanol 25 ml, 35 ml, 50 ml (5%, 7%, 10%) dan menuangkan bahan bakar yg telah dicampur etanol sebanyak 500 ml pada gelas beker, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 40° hingga tercampur rata selama 15 menit.
3. Menuangkan pertamax turbo dengan campuran etanol 25 ml, 35 ml, 50 ml (5%, 7%, 10%) dan menuangkan bahan bakar yg telah dicampur etanol sebanyak 500 ml pada gelas beker, kemudian aduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 40° hingga tercampur rata selama 15 menit.



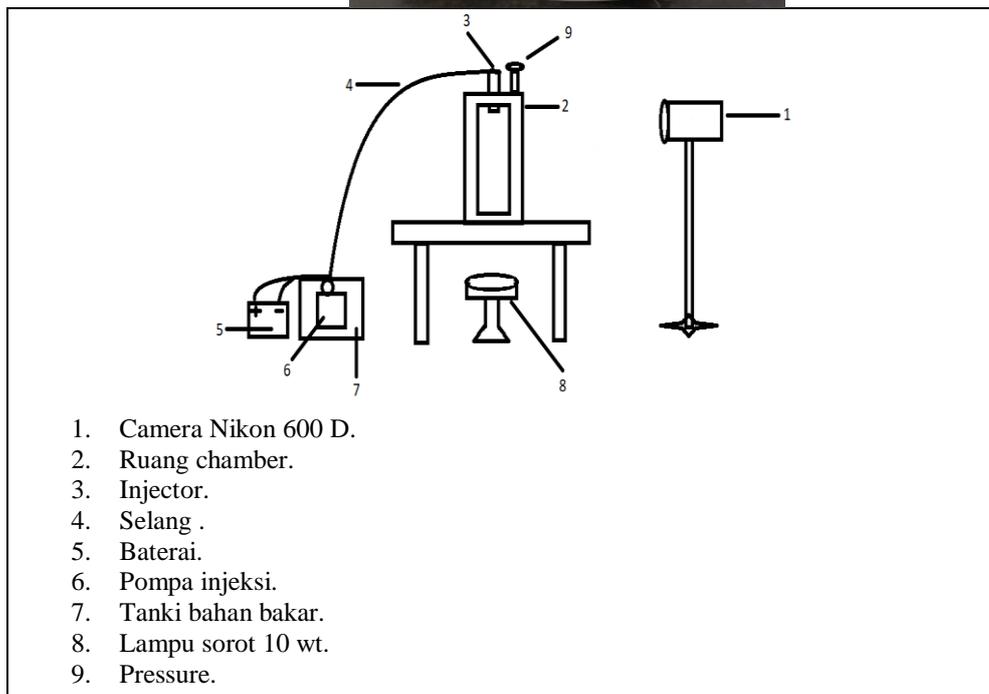
Gambar 1 Proses pencampuran bahan bakar menggunakan *magnetic stirrer*



Gambar 2 Variasi bahan bakar Pertamina, Pertamina Turbo, Pertalite, Etanol 96%

2.3 Pembuatan Ruang Bertekanan

- Memotong plat besi ketebalan 5 mm berukuran 10 x 25 cm sebanyak 4 lembar untuk sisi panjang plat.
- Memotong plat besi ketebalan 5 mm untuk bagian atas dan 5 mm untuk bagian bawah berukuran 10 x 20 cm.
- Melubangi 1 sisi panjang plat dengan ukuran lubang 8 cm x 20 cm bagian bawah plat dengan ukuran 8 x 8 cm untuk tempat akrilik.
- Di las semua bagian lembar plat membentuk persegi panjang.
- Menyiapkan akrilik ketebalan 10 mm dan menyiapkan akrilik berukuran 9 cm x 9 cm dibagian bawah dan 20 x 11 cm untuk menutupi sisi persegi panjang yang telah dilubangi.
- Menggabungkan akrilik dengan plat menggunakan mur M6. Pada sisi panjang sebanyak 14 mur, dan pada bagian bawah sebanyak 8 mur.
- Memasang *sealer* pada setiap sisi permukaan antara akrilik dengan plat besi agar tidak ada udara yang masuk ruangan bertekanan.
- Mengebor sisi bagian atas pada bagian tengah sebesar 10 mm untuk lubang injektor.
- Meredam ruangan bertekanan pada air untuk memeriksa apakah terdapat kebocoran pada ruang bertekanan



Gambar 3 Ruang bertekanan

2.4 Pengujian Karakteristik *Spray* pada bahan bakar

1. Menyiapkan alat dan bahan.
2. Memeriksa kebocoran.
3. Memeriksa injektor berfungsi dengan baik.
4. Masukkan bahan bakar ke dalam tangki bahan bakar.
5. Memasang selang injeksi ke dalam ruang bertekanan.
6. Mulai menyemprotkan bahan bakar menggunakan injektor.
7. Merekam semprotan menggunakan kamera Canon.
8. Dibuka kembali ruangan bertekanan, kemudian membersihkan sisa bahan bakar di dalam ruangan menggunakan tisu.
9. Ganti bahan bakar pertalite, pertamax, pertamax turbo dengan etanol 96%.
10. Lakukan langkah 6, 7, 8, 9 sebanyak 3 x.
11. Mencatat hasil yang diperoleh.

Proses dimulai dengan menyiapkan semua alat dan bahan yang diperlukan untuk percobaan, seperti injektor, bahan bakar (pertalite, pertamax, pertamax turbo, dan etanol 96%), kamera untuk merekam, serta alat-alat pembersih. Setelah semua alat siap, dilakukan pemeriksaan untuk memastikan tidak ada kebocoran di sistem, baik pada selang maupun tangki bahan bakar, agar proses penyemprotan berjalan dengan aman dan efisien. Kemudian, injektor diperiksa untuk memastikan bahwa komponen tersebut berfungsi dengan baik sehingga dapat menghasilkan semprotan bahan bakar yang optimal.

Setelah semua persiapan dan pemeriksaan selesai, bahan bakar pertama (misalnya pertalite) dimasukkan ke dalam tangki bahan bakar. Selanjutnya, selang injeksi dipasang ke dalam ruang bertekanan, yang merupakan wadah tertutup dengan tekanan tertentu yang bertujuan untuk menciptakan lingkungan yang stabil selama proses penyemprotan bahan bakar. Dengan semua komponen terpasang dengan benar, proses penyemprotan bahan bakar dimulai menggunakan injektor. Selama penyemprotan, kamera Canon digunakan untuk merekam jalannya percobaan, terutama untuk menangkap karakteristik visual dari semprotan bahan bakar, seperti pola penyebaran, penetrasi, dan sudut semprotan.

Setelah selesai melakukan penyemprotan, ruang bertekanan dibuka kembali dan sisa-sisa bahan bakar di dalam ruang tersebut dibersihkan menggunakan tisu. Hal ini dilakukan untuk memastikan ruang tetap bersih sebelum penggantian bahan bakar berikutnya, sehingga hasil percobaan tidak terkontaminasi oleh sisa bahan bakar sebelumnya. Setelah pembersihan, bahan bakar dalam tangki diganti dengan bahan bakar yang berbeda, seperti pertamax, pertamax turbo, atau etanol 96%, dan langkah-langkah sebelumnya diulang kembali, yaitu penyemprotan, perekaman, dan pembersihan.

Proses ini diulang sebanyak tiga kali untuk setiap jenis bahan bakar yang diuji, yaitu pertalite, pertamax, pertamax turbo, dan campuran dengan etanol 96%. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh konsisten dan dapat dianalisis dengan baik. Setelah semua uji coba selesai dilakukan, hasil dari setiap percobaan dicatat dengan detail, mencakup informasi mengenai karakteristik semprotan, penetrasi, sudut, kecepatan, dan data lain yang relevan, untuk dianalisis lebih lanjut guna memahami pengaruh variasi bahan bakar terhadap performa injeksi bahan bakar pada sistem yang diuji.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian pengaruh pencampuran etanol pada bahan bakar pertalite, pertamax, dan pertamax turbo menghasilkan data *spray tip penetration*, *spray angle* dan *velocity of spray* hasil semprotan diamati pada data hasil penelitian berikut.

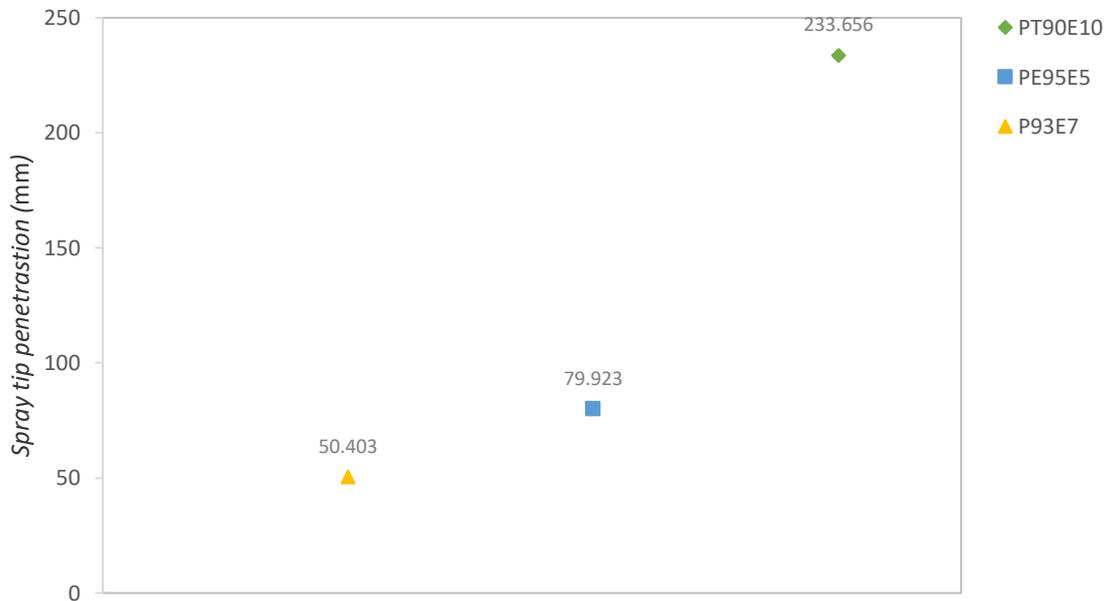
Spray tip penetration

Proses pengujian *spray tip penetration* dimulai dengan merekam proses penginjeksian bahan bakar menggunakan kamera yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Perekaman ini bertujuan untuk menangkap detail semprotan bahan bakar dari saat dikeluarkan oleh injektor hingga titik terjauh yang dicapai oleh ujung semprotan. Setelah perekaman selesai, data *spray tip penetration* diekstraksi dengan memotong video rekaman menjadi gambar-gambar statis yang menggambarkan momen tertentu dalam proses semprotan.

Untuk memotong video menjadi gambar-gambar tersebut, digunakan aplikasi *Photoshop*, yang memungkinkan pengguna mengekstrak frame-frame kunci yang diperlukan untuk analisis lebih lanjut. Setelah gambar diperoleh, pengukuran *spray tip penetration* dilakukan dengan bantuan aplikasi *ImageJ*, sebuah software yang banyak digunakan untuk analisis gambar ilmiah. Proses pengukuran dimulai dengan menentukan titik awal dari semprotan, yaitu ujung injektor (*point a*), hingga titik akhir atau ujung terjauh dari semprotan bahan bakar

(point b). Jarak antara kedua titik ini diukur menggunakan alat pengukur di *ImageJ*, yang memberikan hasil kuantitatif mengenai seberapa jauh semprotan bahan bakar tersebut menembus lingkungan sekitarnya.

Pengukuran ini memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi performa dari injektor dan bahan bakar yang digunakan, karena *spray tip penetration* merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan distribusi bahan bakar di dalam ruang bakar mesin. Hasil pengukuran ini kemudian dianalisis lebih lanjut, sebagaimana ditunjukkan pada data gambar 4, untuk memberikan wawasan mengenai bagaimana variasi bahan bakar atau campuran etanol memengaruhi karakteristik semprotan bahan bakar tersebut.



Gambar 4. hasil penelitian bahan bakar pertalite pertamax dan pertamax turbo dengan campuran etanol

Berdasarkan hasil pengujian *spray tip penetration* yang ditunjukkan pada gambar diagram 4, terdapat perbedaan yang signifikan antara berbagai bahan bakar dengan campuran etanol dalam hal jarak penetrasi semprotan. Pada pengujian ini, hasil tertinggi diperoleh dari bahan bakar *Pertamax Turbo* dengan campuran etanol 10%, di mana nilai *spray tip penetration* mencapai 203,495 mm. Sebaliknya, hasil terendah diperoleh dari bahan bakar *Pertalite* dengan campuran etanol 7%, yang hanya mencapai 132,433 mm. Perbedaan ini dapat dijelaskan dengan mengacu pada teori mengenai pengaruh viskositas dan densitas bahan bakar terhadap performa penyemprotan.

Pada kasus *Pertamax Turbo* dengan campuran etanol 10%, viskositas bahan bakar tercatat sebesar 0,811 dPa.s, yang berarti bahan bakar ini memiliki tingkat kekentalan yang lebih rendah dibandingkan *Pertalite* (0,923 dPa.s). Dalam konteks *spray tip penetration*, viskositas yang lebih rendah memungkinkan bahan bakar untuk mengalir lebih mudah melalui injektor, sehingga menghasilkan semprotan yang lebih jauh. Semakin rendah viskositas, semakin sedikit hambatan internal fluida yang terjadi, yang memungkinkan semprotan menembus lebih jauh ke dalam ruang pembakaran. Oleh karena itu, semakin kecil nilai viskositas, semakin besar kemungkinan untuk mencapai jarak penetrasi semprotan yang lebih tinggi.

Selain viskositas, densitas bahan bakar juga mempengaruhi *spray tip penetration*. Pada *Pertamax Turbo*, densitasnya sebesar 835 kg/m³, sedangkan *Pertalite* memiliki densitas yang lebih tinggi yaitu 866 kg/m³. Bahan bakar dengan densitas yang lebih rendah memiliki massa yang lebih kecil per satuan volume, sehingga memungkinkan semprotan untuk bergerak lebih cepat dan menembus lebih jauh. Dalam hal ini, *Pertamax Turbo* dengan densitas yang lebih rendah dapat menghasilkan semprotan yang lebih panjang karena energi kinetik dari semprotan lebih sedikit diserap oleh massa fluida, yang pada akhirnya menghasilkan *spray tip penetration* yang lebih tinggi.

Campuran etanol dalam bahan bakar juga memainkan peran penting dalam memengaruhi hasil pengujian ini. Etanol memiliki nilai oktan yang lebih tinggi dan sifat pembakaran yang lebih bersih dibandingkan bensin biasa, namun juga memiliki viskositas yang lebih rendah dan densitas yang lebih ringan. Campuran etanol 10%

dalam *Pertamax Turbo* memberikan keuntungan karena mengurangi viskositas dan densitas keseluruhan campuran, sehingga memungkinkan bahan bakar untuk disemprotkan dengan penetrasi yang lebih jauh. Hal ini sesuai dengan teori bahwa bahan bakar dengan campuran etanol cenderung memiliki sifat fisik yang lebih cocok untuk injeksi karena mampu meningkatkan efisiensi semprotan.

Sebaliknya, hasil terendah pada *Pertalite* dengan campuran etanol 7% menunjukkan bahwa kombinasi viskositas yang lebih tinggi dan densitas yang lebih besar menyebabkan hambatan yang lebih besar terhadap semprotan bahan bakar. Dengan kata lain, fluida yang lebih kental dan lebih padat membutuhkan lebih banyak energi untuk mengalir melalui injektor, yang pada akhirnya membatasi jarak penetrasi semprotan.

Dengan menganalisis kedua faktor ini—viskositas dan densitas—dapat disimpulkan bahwa campuran etanol yang lebih tinggi pada bahan bakar dengan karakteristik fisik yang optimal, seperti *Pertamax Turbo*, dapat memberikan performa yang lebih baik dalam hal *spray tip penetration*. Hal ini memberikan bukti kuat bahwa dalam teknologi penginjeksian bahan bakar, pemilihan bahan bakar yang memiliki viskositas rendah dan densitas yang lebih ringan, ditambah dengan campuran etanol yang tepat, dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan penyempitan bahan bakar ke dalam ruang bakar mesin.

Spray angle

Pengujian *spray angle* dilakukan dengan cara merekam proses penginjeksian bahan bakar menggunakan kamera sesuai standar. Rekaman video ini kemudian dianalisis untuk mendapatkan data mengenai sudut semprotan atau *spray angle*. Untuk melakukan analisis, rekaman video dipotong menjadi gambar-gambar tertentu menggunakan aplikasi *ImageJ*, yang merupakan software populer untuk analisis gambar dalam penelitian ilmiah.

Pada proses pengukuran *spray angle*, langkah pertama adalah menentukan tiga titik kunci yang menggambarkan jalur semprotan. Titik pertama, disebut *point a*, terletak di ujung injektor, di mana bahan bakar mulai keluar. Titik kedua, *point b*, terletak pada salah satu sisi batas terluar dari semprotan bahan bakar, dan titik ketiga, *point c*, terletak di sisi lain dari semprotan. Dengan ketiga titik tersebut, garis di antara *point a* ke *point b* dan *point a* ke *point c* ditarik menggunakan alat ukur di aplikasi *ImageJ*. Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan garis-garis ini untuk menentukan sudut antara keduanya, yang dikenal sebagai *spray angle*.

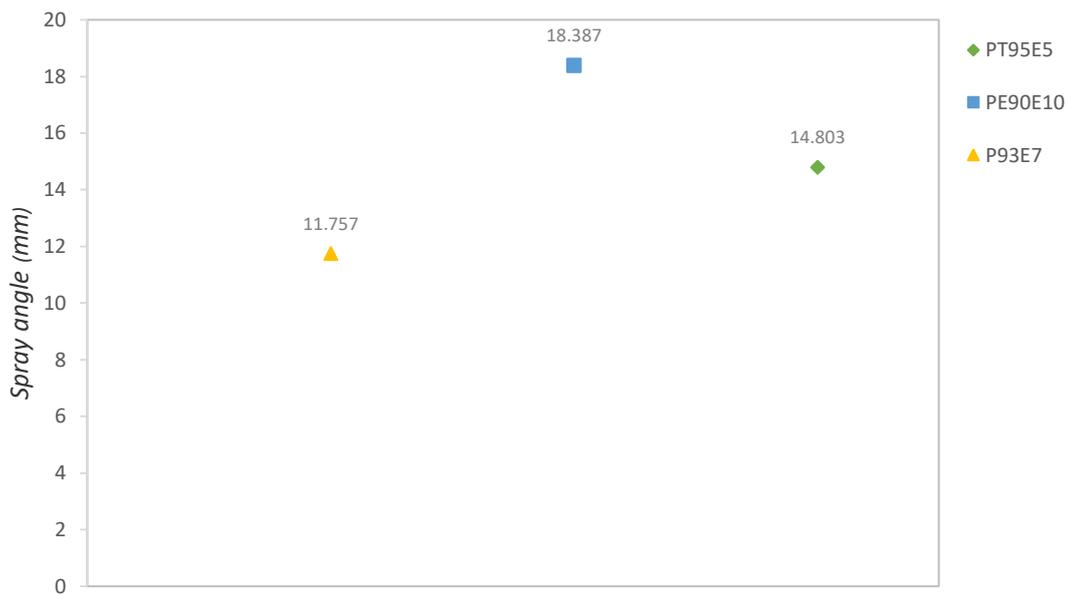
Spray angle sendiri merupakan parameter penting dalam sistem injeksi bahan bakar karena menentukan distribusi bahan bakar di dalam ruang bakar mesin. Sudut yang lebih besar memungkinkan penyebaran bahan bakar yang lebih luas, yang dapat membantu proses pencampuran bahan bakar dengan udara menjadi lebih efisien, terutama pada mesin yang dirancang untuk pembakaran homogen. Sebaliknya, sudut yang lebih kecil menghasilkan semprotan yang lebih terfokus, yang mungkin lebih sesuai untuk aplikasi pembakaran berkecepatan tinggi di mana penginjeksian bahan bakar harus sangat terarah.

Teori mengenai *spray angle* berkaitan dengan sifat fisik bahan bakar, seperti viskositas dan densitas. Bahan bakar dengan viskositas yang lebih rendah cenderung menghasilkan sudut semprotan yang lebih besar karena resistensi internal fluida yang lebih rendah memungkinkan semprotan menyebar lebih luas saat meninggalkan injektor. Sebaliknya, bahan bakar dengan viskositas yang lebih tinggi akan memiliki sudut semprotan yang lebih sempit karena sifat fluida yang lebih kental cenderung mempertahankan aliran yang lebih terfokus.

Pengaruh densitas bahan bakar juga memainkan peran penting. Bahan bakar dengan densitas yang lebih rendah menghasilkan *spray angle* yang lebih besar karena gaya inersia yang lebih kecil pada partikel bahan bakar memungkinkan mereka untuk menyebar lebih luas setelah dikeluarkan dari injektor. Sebaliknya, bahan bakar dengan densitas yang lebih tinggi cenderung memiliki sudut yang lebih kecil karena partikel yang lebih berat memerlukan lebih banyak energi untuk menyebar.

Dalam konteks pengujian ini, hasil *spray angle* diperoleh dari gambar yang dianalisis dan kemudian divisualisasikan dalam bentuk diagram, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Dengan menggunakan metode pengukuran ini, peneliti dapat mengamati secara langsung bagaimana variasi bahan bakar dan campuran etanol mempengaruhi karakteristik sudut semprotan. Campuran etanol dalam bahan bakar umumnya mempengaruhi *spray angle* dengan cara yang mirip dengan pengaruhnya pada *spray tip penetration*, yaitu dengan mengubah viskositas dan densitas bahan bakar. Sebagai contoh, penambahan etanol yang meningkatkan oktan dan menurunkan viskositas dapat menghasilkan sudut semprotan yang lebih besar, yang berarti bahan bakar lebih mudah didistribusikan di dalam ruang bakar.

Secara keseluruhan, pengukuran *spray angle* memberikan wawasan penting mengenai performa injektor dan efisiensi pembakaran. Penggunaan aplikasi *ImageJ* untuk analisis gambar ini memungkinkan peneliti untuk melakukan pengukuran dengan presisi tinggi dan membandingkan hasil dari berbagai bahan bakar yang diuji. Hasil akhir pengujian ini kemudian dapat digunakan untuk menyempurnakan desain injektor atau memilih bahan bakar yang lebih efisien untuk aplikasi tertentu.



Gambar 5. hasil penelitian bahan bakar pertalite pertamax dan pertamax turbo dengan campuran etanol

Berdasarkan hasil penelitian *spray angle* yang ditunjukkan pada gambar 5, dapat dilihat bahwa variasi bahan bakar dengan campuran etanol mempengaruhi hasil pengukuran *spray angle* secara signifikan. Hasil tertinggi dari pengujian ini dicapai oleh bahan bakar *Pertamax* dengan campuran etanol 10%, di mana *spray angle* mencapai 18,387 mm. Sebaliknya, hasil terendah diperoleh dari bahan bakar *Pertalite* dengan campuran etanol 7%, dengan *spray angle* sebesar 11,757 mm.

Untuk menganalisis perbedaan ini, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, terutama viskositas dan densitas bahan bakar. Dalam hal ini, meskipun viskositas kedua bahan bakar sama, yaitu 0,820 dPa.s, densitas *Pertalite* sedikit lebih tinggi, yaitu 866 kg/m³ dibandingkan *Pertamax* yang memiliki densitas 863 kg/m³. Meskipun perbedaannya tampak kecil, densitas yang lebih tinggi pada *Pertalite* memberikan pengaruh pada *spray angle*. Bahan bakar dengan densitas yang lebih tinggi memiliki partikel yang lebih padat, yang membutuhkan lebih banyak energi untuk menyebar ketika disemprotkan melalui injektor. Akibatnya, semprotan cenderung lebih terfokus, sehingga menghasilkan sudut semprotan yang lebih kecil.

Sebaliknya, pada *Pertamax* dengan campuran etanol 10%, densitas yang sedikit lebih rendah (863 kg/m³) memungkinkan partikel bahan bakar untuk lebih mudah menyebar saat disemprotkan. Hal ini meningkatkan *spray angle*, karena partikel bahan bakar memiliki gaya inersia yang lebih kecil dan lebih mudah dipengaruhi oleh energi kinetik injektor. Sebagai tambahan, etanol yang ditambahkan ke dalam bahan bakar ini juga mempengaruhi hasil pengujian, karena etanol memiliki sifat yang lebih mudah terbakar dan viskositas yang lebih rendah daripada bensin, yang dapat meningkatkan distribusi bahan bakar di dalam ruang bakar.

Selain itu, teori mengenai pengaruh *spray angle* pada performa pembakaran juga relevan di sini. *Spray angle* yang lebih besar memungkinkan bahan bakar untuk menyebar lebih merata di dalam ruang bakar, sehingga memperbaiki pencampuran bahan bakar dan udara. Pencampuran yang baik sangat penting dalam menghasilkan pembakaran yang lebih efisien dan bersih, terutama pada mesin modern yang menggunakan teknologi *electronic fuel injection (EFI)*. Sudut semprotan yang lebih besar, seperti yang terlihat pada *Pertamax* dengan campuran etanol 10%, biasanya memberikan keuntungan dalam hal distribusi bahan bakar yang lebih homogen, yang pada akhirnya dapat menghasilkan pembakaran yang lebih lengkap dan mengurangi emisi.

Sebaliknya, *spray angle* yang lebih kecil, seperti pada *Pertalite* dengan campuran etanol 7%, dapat menyebabkan bahan bakar terkonsentrasi di area yang lebih sempit. Hal ini berpotensi menurunkan efisiensi pembakaran, karena bahan bakar tidak tercampur secara optimal dengan udara. Akibatnya, pembakaran mungkin tidak sepenuhnya lengkap, yang dapat menyebabkan peningkatan emisi gas buang dan penurunan efisiensi bahan bakar.

Dengan demikian, perbedaan hasil *spray angle* antara kedua bahan bakar ini tidak hanya dipengaruhi oleh sifat fisik bahan bakar (seperti viskositas dan densitas), tetapi juga oleh campuran etanol yang digunakan. Penambahan etanol 10% dalam *Pertamax* tampaknya memberikan keuntungan tambahan dalam hal peningkatan

spray angle, yang pada gilirannya dapat meningkatkan efisiensi pembakaran di dalam mesin. Di sisi lain, *Pertalite* dengan campuran etanol yang lebih rendah menghasilkan sudut semprotan yang lebih kecil, yang berpotensi mengurangi distribusi bahan bakar yang merata dan, dengan demikian, menurunkan performa pembakaran.

Kesimpulannya, campuran etanol pada bahan bakar dapat memengaruhi *spray angle* secara signifikan, dengan bahan bakar yang memiliki campuran etanol lebih tinggi (seperti *Pertamax* dengan 10% etanol) cenderung menghasilkan sudut semprotan yang lebih besar, yang secara teori dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi gas buang.

velocity of spray

Variasi bahan bakar dengan campuran etanol memang berpengaruh signifikan terhadap *velocity of spray* pada injektor. Hal ini dapat dijelaskan melalui teori fluida yang berhubungan dengan densitas dan viskositas bahan bakar. Dalam konteks injeksi bahan bakar, *velocity of spray* atau kecepatan semprotan bahan bakar adalah salah satu parameter kritis yang memengaruhi distribusi dan pencampuran bahan bakar dengan udara di dalam ruang bakar.

Densitas dan viskositas bahan bakar: Dalam teori fluida, densitas (*density*) dan viskositas (*viscosity*) adalah dua faktor utama yang mempengaruhi laju aliran bahan bakar. Densitas berkaitan dengan massa per satuan volume bahan bakar, sedangkan viskositas menggambarkan resistensi internal bahan bakar terhadap aliran.

Bahan bakar dengan densitas yang lebih tinggi, seperti *Pertalite* dengan campuran etanol 7% yang memiliki densitas 866 kg/m³, cenderung memiliki partikel bahan bakar yang lebih padat. Hal ini memerlukan lebih banyak energi untuk mendorong bahan bakar melalui injektor, yang pada akhirnya dapat mengurangi *velocity of spray*. Sebaliknya, bahan bakar dengan densitas lebih rendah, seperti *Pertamax* dengan campuran etanol 10%, memiliki partikel yang lebih ringan, sehingga memerlukan lebih sedikit energi untuk mengalir melalui injektor. Akibatnya, *velocity of spray* akan lebih tinggi pada bahan bakar dengan densitas yang lebih rendah.

Pengaruh viskositas: Selain densitas, viskositas juga berperan penting dalam menentukan *velocity of spray*. Bahan bakar dengan viskositas tinggi, seperti yang terlihat pada beberapa campuran bahan bakar dengan etanol, memberikan resistensi yang lebih besar terhadap aliran fluida. Dalam hal ini, viskositas mempengaruhi seberapa mudah bahan bakar mengalir melalui saluran injektor dan mencapai ujung semprotan. Semakin tinggi viskositas, semakin besar resistensi yang harus diatasi oleh injektor, yang berarti kecepatan semprotan akan berkurang. Misalnya, *Pertalite* dengan viskositas 0,923 dPa.s memiliki *velocity of spray* yang lebih rendah dibandingkan *Pertamax* dengan viskositas yang lebih rendah, yaitu 0,820 dPa.s.

Campuran etanol dan efeknya pada injektor: Etanol sebagai bahan campuran juga memengaruhi sifat fisik bahan bakar. Penambahan etanol cenderung menurunkan viskositas bahan bakar, yang pada gilirannya meningkatkan *velocity of spray*. Ini terjadi karena etanol memiliki viskositas yang lebih rendah dibandingkan bensin. Ketika bahan bakar dicampur dengan etanol, campuran tersebut menjadi lebih encer, sehingga lebih mudah mengalir melalui injektor dengan kecepatan yang lebih tinggi. Hal ini terlihat jelas pada *Pertamax* dengan campuran etanol 10%, di mana *velocity of spray* cenderung lebih tinggi dibandingkan campuran yang mengandung lebih sedikit etanol.

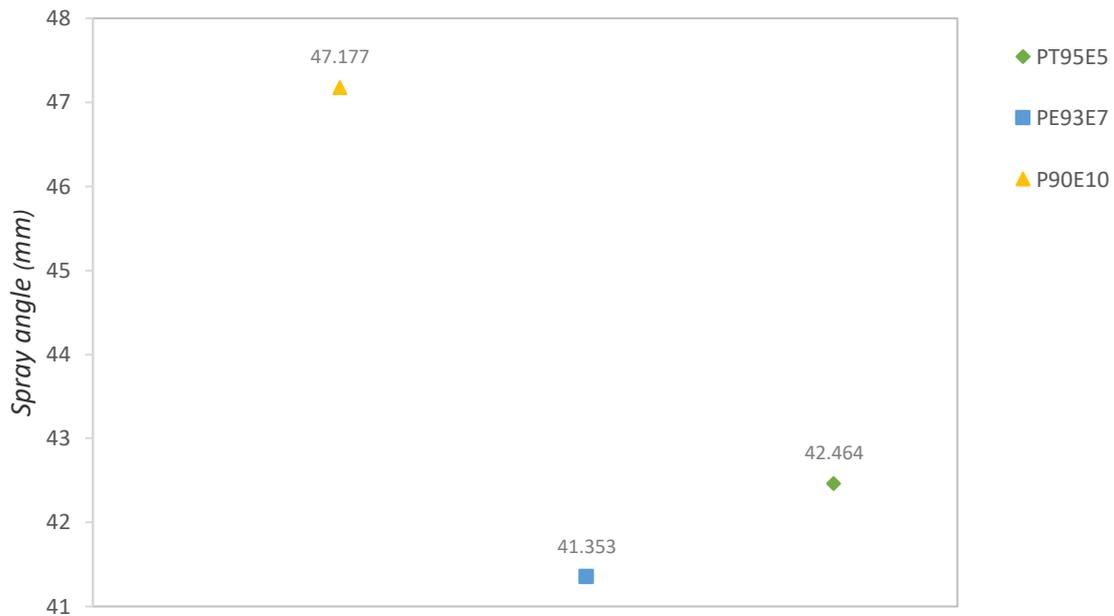
Namun, penambahan etanol juga memiliki batasan. Pada tingkat tertentu, terlalu banyak etanol dalam bahan bakar dapat memengaruhi kinerja mesin secara keseluruhan, terutama pada mesin yang tidak dirancang untuk menggunakan bahan bakar dengan kandungan etanol yang tinggi. Meski begitu, dalam pengujian ini, campuran etanol dalam jumlah moderat (5-10%) cenderung memberikan hasil yang optimal dalam meningkatkan *velocity of spray* tanpa mengorbankan efisiensi sistem injeksi secara keseluruhan.

Analisis berdasarkan teori fluida: Menurut persamaan Bernoulli dalam dinamika fluida, kecepatan fluida dalam suatu saluran (seperti injektor) dipengaruhi oleh perbedaan tekanan dan sifat fluida itu sendiri, termasuk viskositas dan densitas. Dalam sistem injeksi bahan bakar, ketika tekanan injeksi tetap, variasi dalam densitas dan viskositas bahan bakar akan secara langsung memengaruhi *velocity of spray*. Bahan bakar dengan viskositas dan densitas lebih rendah akan mengalir dengan kecepatan yang lebih tinggi melalui injektor, sementara bahan bakar dengan viskositas dan densitas yang lebih tinggi akan mengalir lebih lambat.

Pada gambar 6, pengaruh variasi campuran etanol terhadap *velocity of spray* dapat diamati dengan jelas. Campuran etanol yang lebih tinggi, seperti pada *Pertamax* dengan 10% etanol, cenderung menghasilkan kecepatan semprotan yang lebih tinggi karena viskositas yang lebih rendah dan densitas yang lebih ringan dibandingkan dengan bahan bakar lain yang diuji. Sebaliknya, *Pertalite* dengan campuran etanol 7%, yang memiliki densitas dan viskositas yang lebih tinggi, menghasilkan *velocity of spray* yang lebih rendah.

Secara keseluruhan, variasi bahan bakar dengan campuran etanol memengaruhi *velocity of spray* secara signifikan. Bahan bakar dengan campuran etanol yang lebih tinggi memiliki *velocity of spray* yang lebih besar karena sifat fluida yang lebih ringan dan lebih encer, yang memungkinkan bahan bakar untuk disemprotkan dengan kecepatan yang lebih tinggi melalui injektor. Hal ini mendukung pencampuran bahan bakar yang lebih efisien

dengan udara di dalam ruang bakar, yang pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi gas buang.



Gambar 6 hasil penelitian bahan bakar pertalite pertamax dan pertamax turbo dengan campuran etanol

Hasil penelitian mengenai *velocity of spray* pada gambar 6 menunjukkan bahwa campuran etanol mempengaruhi kecepatan semprotan bahan bakar. Dari data yang diperoleh, hasil tertinggi pada *velocity of spray* terdapat pada *Pertalite* dengan campuran etanol sebesar 10%, dengan hasil pengukuran mencapai 47,177 mm. Untuk menjelaskan hasil ini secara lebih rinci, kita perlu menganalisis pengaruh densitas, viskositas, dan campuran etanol terhadap *velocity of spray*, serta bagaimana faktor-faktor ini bekerja dalam konteks sistem injeksi bahan bakar.

Viskositas bahan bakar adalah ukuran kekentalan atau resistensi terhadap aliran fluida. Semakin tinggi viskositas, semakin besar tahanan terhadap aliran bahan bakar, yang dapat mengurangi kecepatan semprotan. Sebaliknya, viskositas yang lebih rendah memungkinkan fluida mengalir lebih bebas dan lebih cepat. Dalam hal ini, *Pertalite* dengan campuran etanol 10% memiliki viskositas sebesar 0,827 dPa.s. Meskipun viskositas ini sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa bahan bakar lain yang diuji, tetap saja viskositasnya lebih rendah dibandingkan dengan campuran yang tidak mengandung etanol atau mengandung etanol dalam jumlah yang lebih rendah.

Etanol, yang memiliki viskositas yang lebih rendah dibandingkan bensin, dapat mempercepat aliran bahan bakar melalui injektor. Pada campuran etanol 10%, viskositas yang relatif rendah ini memungkinkan bahan bakar untuk disemprotkan dengan kecepatan yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan *velocity of spray* yang lebih besar. Dalam teori fluida, viskositas yang lebih rendah akan mengurangi hambatan dalam sistem injeksi, mempercepat proses penyemprotan bahan bakar, dan memungkinkan bahan bakar mencapai ruang bakar dengan distribusi yang lebih merata.

Densitas adalah massa per unit volume dari suatu substansi. Densitas yang lebih tinggi berarti bahwa bahan bakar akan lebih padat dan membutuhkan lebih banyak energi untuk bergerak. Dalam konteks injeksi bahan bakar, densitas yang lebih rendah memungkinkan bahan bakar untuk disemprotkan dengan kecepatan lebih tinggi. *Pertalite* dengan campuran etanol 10% memiliki densitas sebesar 863 kg/m³. Meskipun densitas ini relatif tidak terlalu rendah dibandingkan dengan bahan bakar lain yang diuji, masih ada pengaruh positif dari penambahan etanol terhadap penurunan densitas, yang memungkinkan bahan bakar untuk disemprotkan dengan kecepatan yang lebih tinggi.

Untuk lebih memahami fenomena ini, kita dapat merujuk pada teori aliran fluida, seperti persamaan Bernoulli dan prinsip kontinuitas aliran. Dalam sistem injeksi, kecepatan aliran fluida (dalam hal ini, *velocity of spray*) dipengaruhi oleh perbedaan tekanan antara ruang injektor dan ruang bakar. Selain itu, sifat-sifat fluida,

seperti viskositas dan densitas, mempengaruhi seberapa mudah bahan bakar mengalir melalui injektor. Bahan bakar yang lebih encer, seperti campuran etanol, cenderung memiliki *velocity of spray* yang lebih tinggi karena hambatan aliran yang lebih rendah.

Peningkatan *velocity of spray* pada *Pertalite* dengan campuran etanol 10% ini menunjukkan bahwa campuran etanol dalam jumlah sedang (sekitar 10%) dapat meningkatkan kinerja injeksi bahan bakar. Penurunan viskositas dan densitas bahan bakar memungkinkan penyemprotan yang lebih cepat, yang mengarah pada distribusi bahan bakar yang lebih merata di dalam ruang bakar. Ini dapat memperbaiki proses pencampuran bahan bakar dan udara, yang berpotensi meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi gas buang.

Kecepatan semprotan yang lebih tinggi ini berhubungan langsung dengan efisiensi pembakaran di dalam mesin. Semakin merata bahan bakar disemprotkan ke udara, semakin baik pencampuran bahan bakar dan udara yang terjadi, yang pada gilirannya menghasilkan pembakaran yang lebih efisien dan bersih. Pada mesin modern dengan *electronic fuel injection (EFI)*, semprotan yang lebih cepat dan lebih merata juga dapat membantu mengurangi pembentukan partikel karbon dan polutan lainnya, sehingga mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan kinerja mesin secara keseluruhan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil mengenai pengaruh variasi campuran etanol terhadap karakteristik *spray tip penetration*, *spray angle*, dan *velocity of spray* pada tiga jenis bahan bakar, yaitu *Pertalite*, *Pertamax*, dan *Pertamax Turbo*.

1. **Spray Tip Penetration:** Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa nilai tertinggi *spray tip penetration* terdapat pada *Pertamax Turbo* dengan campuran etanol 7%, yaitu 203,495 mm, yang menunjukkan penetrasi semprotan bahan bakar yang lebih dalam dibandingkan dengan bahan bakar lainnya. Sementara itu, nilai terendah terdapat pada *Pertalite* dengan campuran etanol 7%, yang hanya mencapai 132,433 mm. Penurunan penetrasi pada *Pertalite* ini dapat dijelaskan dengan adanya perbedaan dalam sifat fisik bahan bakar, seperti *viscosity* dan *density*. Secara teori, bahan bakar dengan viskositas yang lebih tinggi akan lebih sulit untuk disemprotkan dengan penetrasi yang dalam, sementara bahan bakar dengan viskositas lebih rendah akan memungkinkan semprotan yang lebih jauh. Dalam hal ini, campuran etanol yang lebih rendah pada *Pertalite* mungkin berkontribusi pada peningkatan viskositas, yang mengurangi penetrasi semprotan.
2. **Spray Angle:** Pengujian *spray angle* menunjukkan bahwa nilai tertinggi terdapat pada *Pertamax* dengan campuran etanol 10%, dengan *spray angle* mencapai 18,387°. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan etanol dalam jumlah yang lebih tinggi, semprotan bahan bakar cenderung lebih tersebar atau lebih lebar, yang dapat menghasilkan distribusi bahan bakar yang lebih merata di dalam ruang bakar. Sebaliknya, nilai terendah tercatat pada *Pertamax Turbo* dengan campuran etanol 5%, yang menunjukkan semprotan bahan bakar yang lebih sempit. Hal ini dapat dijelaskan dengan teori bahwa penurunan kadar etanol (misalnya hanya 5%) meningkatkan kekentalan bahan bakar, sehingga membuat semprotan menjadi lebih terfokus atau lebih sempit. Keberadaan etanol yang lebih tinggi dalam campuran bahan bakar meningkatkan kecepatan aliran bahan bakar melalui injektor, sehingga menghasilkan semprotan yang lebih lebar.
3. **Velocity of Spray:** Hasil pengolahan data *velocity of spray* menunjukkan bahwa nilai tertinggi terdapat pada *Pertalite* dengan campuran etanol 10%, yang menghasilkan kecepatan semprotan sebesar 47,177 mm. Dalam teori aliran fluida, semakin rendah viskositas suatu cairan, semakin mudah cairan tersebut mengalir melalui sistem injeksi, yang mengarah pada peningkatan *velocity of spray*. Pada campuran etanol 10%, viskositas bahan bakar menjadi lebih rendah, yang mempercepat aliran bahan bakar dan menghasilkan kecepatan semprotan yang lebih tinggi. Sebaliknya, campuran etanol 5% pada *Pertamax Turbo* menghasilkan *velocity of spray* yang lebih rendah, yaitu 11,757 mm, yang dapat dijelaskan oleh peningkatan viskositas pada campuran yang lebih rendah etanol, yang menghambat aliran bahan bakar dan memperlambat *velocity of spray*.

Referensi

- [1] Arwin, A., Yuliati, L., & Widodo, A. S. (2019). Karakteristik Pembakaran Droplet Campuran Bahan Bakar Bensin-Etanol. *Prosiding SENIATI*, 5(1), 291–296.
- [2] Khairi dkk., 2013 Emisi gas buang adalah hasil pembakaran bahan bakar didalam mesin pembakaran dalam, mesin pembakaran luar

- [3] Syaief, Adhiela Noer, Marlia Adriana, and Akhmad Hidayat. "Uji emisi gas buang dengan perbandingan jenis busi pada sepeda motor 108 CC." *Elemen: Jurnal Teknik Mesin* 6.1 (2019): 01-06
- [4] Chen dan Nishida (2014) tentang karakteristik penguapan dan pembakaran semprotan campuran etanol-bensin, yang terdiri dari E0 (100% bensin), E85 (85% etanol dan 15% bensin)
- [5] Sauter, Werner, et al. *Application of particle image velocimetry for investigation of spray characteristics of an outward opening nozzle for gasoline direct injection*. No. 2006-01-3377. SAE Technical Paper, 2006.
- [6] Kamaralzaman, R. S. A. R. (2010). *Development of Liquid Spray Triggering and Control* (Doctoral dissertation, UMP).
- [7] Damanik, W. S., & Hasibuan, E. S. (2020). Simulasi Numerik Kerugian Aliran Udara Pada Susunan Pipa Segitiga. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 1(1), 19-29.
- [8] Alifuddin, T., Hakim, L., Ilminnafik, N., & ... (2020). Karakteristik Penyemprotan Campuran Diesel-Biodiesel Minyak Nyamplung dan Etanol Dengan Variasi Tekanan Injeksi.... *Workshop and National ...*, 26–27. <https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/2034>
- [9] Sulistyono, B., Sentanuhady, J., Susanto, A., & Dwi, T. (2009). Pemanfaatan etanol sebagai octane improver bahan bakar bensin pada sistem bahan bakar injeksi sepeda motor 4 langkah 1 silinder. *Thermofluid Seminar Nasional*, 3(November), 196–200.
- [10] Pembakaran, K., Variasi, D. D., & Bensin-, K. C. (2020). Droplet Dengan Variasi. *Rekayasa Mesin*, 11(1), 1–9.