

PEMODELAN DINAMIKA FLUIDA PADA *FUEL INJECTOR* MOTOR BENSIN 4 LANGKAH

Khambali¹, Intan Fadhilah², Moh. Hartono³, Nike Nur Farida⁴

^{1,2,3} (Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang)

¹khambali@polinema.ac.id

²intan.fadhilah@polinema.ac.id

³moh.hartono@polinema.ac.id

⁴nnfaridall@gmail.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dinamika fluida pada *fuel injector* motor bensin empat langkah, dengan fokus pada hubungan antara tekanan fluida dan laju aliran fluida. Ukuran *droplet* bahan bakar merupakan faktor utama yang memengaruhi efisiensi pembakaran. Pengaturan ukuran *droplet* dapat dilakukan melalui pengendalian kecepatan dan tekanan injeksi. Pada penelitian ini, data kecepatan dan tekanan injeksi dikumpulkan menggunakan injektor tester, *injector plunger*, dan *fuel pump tester pressure gauge*. Data menunjukkan bahwa pada kecepatan injeksi yang lebih tinggi (80 m/s), diameter *droplet* bahan bakar berkurang lebih cepat, menghasilkan tetesan yang lebih kecil dan meningkatkan efisiensi pembakaran. Hal serupa diamati pada tekanan injeksi yang lebih tinggi (50 bar), di mana *droplet* lebih cepat diatomisasi, sehingga percampuran antara udara dan bahan bakar bisa lebih homogen. Hasil penelitian mengilustrasikan bahwa baik kecepatan maupun tekanan injeksi yang lebih tinggi mendukung proses atomisasi yang lebih efisien, mengurangi emisi, dan meningkatkan efisiensi mesin. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengaturan kecepatan dan tekanan injeksi yang tepat sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja mesin dan mengurangi emisi gas buang. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mendesain sistem injeksi bahan bakar yang lebih efisien serta memberikan rekomendasi untuk pengembangan teknologi injeksi masa depan.

Kata Kunci— injektor bahan bakar; dinamika fluida; motor bensin 4 langkah; tekanan; volume.

Abstract— This study aims to model fluid dynamics in the fuel injector of a four-stroke gasoline engine, with a focus on the relationship between fluid pressure and flow rate. The size of the fuel droplet is a key factor that affects combustion efficiency. Droplet size can be controlled through the regulation of injection speed and pressure. In this study, data on injection speed and pressure were collected using an injector tester, injector plunger, and fuel pump tester pressure gauge. The data show that at a higher injection speed (80 m/s), the fuel droplet diameter decreases more rapidly, producing smaller droplets and enhancing combustion efficiency. A similar pattern was observed at higher injection pressures (50 bar), where the droplets atomized more quickly, allowing for a more homogeneous air-fuel mixture. The results illustrate that both higher injection speed and pressure support a more efficient atomization process, reduce emissions, and improve engine efficiency. This study concludes that proper regulation of injection speed and pressure is crucial to optimize engine performance and reduce exhaust emissions. The findings can be used to design more efficient fuel injection systems and provide recommendations for the development of future injection technologies.

Keywords— fuel injector; fluid dynamic; four-stroke gasoline engine; pressure; volume.

PENDAHULUAN

Pentingnya penelitian ini didorong oleh kebutuhan untuk memahami perilaku fluida dalam sistem injeksi bahan bakar, khususnya pada kendaraan bermotor empat langkah [1], [2]. Sistem injeksi bahan bakar memainkan peran krusial dalam efisiensi pembakaran, performa mesin, dan emisi gas buang [3]. Ketepatan dalam mencampurkan udara dan bahan bakar dapat mempengaruhi konsumsi bahan bakar dan jumlah sisa gas buang yang dihasilkan [4], [5]. Dalam konteks ini, pemodelan dinamika fluida pada injektor bahan bakar menjadi topik yang sangat penting untuk diinvestigasi [6].

Salah satu permasalahan utama yang dihadapi pada kendaraan bermotor empat langkah adalah bagaimana

memastikan efisiensi optimal dari injektor bahan bakar di bawah berbagai kondisi operasi, terutama terkait dengan variasi tekanan dan volume bahan bakar yang disuntikkan [7], [8]. Pemahaman yang lebih baik tentang dinamika fluida pada *fuel injector* akan membantu dalam merancang sistem yang lebih efisien dan ramah lingkungan [9]. Tantangan teknis melibatkan pemodelan dinamika fluida pada tingkat tekanan yang berbeda dan volume injeksi yang berubah-ubah, yang berdampak pada performa keseluruhan mesin [10], [11].

Kajian pustaka menunjukkan bahwa beberapa penelitian telah dilakukan terkait dinamika fluida dalam sistem injeksi bahan bakar. Misalnya, Jia Deli et al. (2023) telah melakukan penelitian mengenai dinamika dan simulasi teknik mekanika fluida pada injektor air [6]. Hasil dari penelitian tersebut

menunjukkan bahwa tekanan injeksi absolut tidak mempengaruhi hilangnya tekanan sepanjang lubang sumur, yang memberikan wawasan penting terkait aplikasi dinamika fluida dalam sistem injeksi.

Penelitian lain seperti Lutfi Mardianto et al. (2018) dan Azies Saputra et al. (2014) juga telah mengkaji dinamika fluida dalam berbagai kondisi, seperti pengaruh bilangan Prandtl dan efek posisi injektor pada intake manifold [9], [10]. Namun, penelitian-penelitian tersebut masih kurang fokus pada aspek dinamika fluida dalam sistem *fuel injector* pada kendaraan bermotor empat langkah.

Kesimpulan dari berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa masih ada celah dalam pemodelan matematika yang spesifik terkait dinamika fluida pada *fuel injector* kendaraan bermotor empat langkah. Penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan fokus pada hubungan antara tekanan, volume injeksi, dan kinerja injektor bahan bakar dalam konteks kendaraan bermotor.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini akan memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi injektor yang lebih efisien serta menyumbangkan pemodelan matematika yang dapat diterapkan pada mekanika fluida di dunia otomotif.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup pendekatan studi literatur, simulasi numerik dan eksperimen lapangan untuk menjawab atau memecahkan permasalahan tentang dinamika fluida pada *fuel injector* kendaraan bermotor 4 langkah.

Tahap awal metode penelitian ini adalah studi literatur untuk meninjau dan memahami hasil penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya, seperti pemodelan fluida pada injektor air, aliran magnetohidrodinamik, serta kontrol dinamis pada injektor piezoelektrik. Kajian ini bertujuan untuk memberikan landasan teori yang kuat dalam pemodelan dinamika fluida, serta mengidentifikasi celah penelitian yang akan dijadikan fokus utama penelitian ini.

Simulasi numerik digunakan untuk memodelkan aliran fluida dan perilaku injeksi bahan bakar pada *fuel injector* dengan variasi parameter yang memengaruhi kinerja sistem. Pada penelitian ini, metode simulasi memungkinkan peneliti untuk mengamati respon tekanan, laju aliran dan pola injeksi secara mendetail yang sulit diukur melalui eksperimen langsung. Simulasi ini dijalankan dengan perangkat lunak berbasis CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang mengaplikasikan persamaan dinamika fluida untuk mendapatkan pola aliran, kehilangan tekanan dan kecepatan fluida dalam sistem injektor.

Selain simulasi numerik, penelitian ini juga melakukan eksperimen di laboratorium otomotif untuk memverifikasi hasil simulasi numerik. Pengujian ini melibatkan peralatan seperti *fuel injector tester* dan *fuel pump pressure gauge* untuk mengukur respons injektor terhadap variasi tekanan dan sudut injeksi. Data yang diperoleh dari eksperimen ini akan digunakan untuk menguji keakuratan hasil simulasi dan menyesuaikan model yang dikembangkan.

Tahapan metode penelitian

1. Studi Literatur: Menggali penelitian sebelumnya yang relevan untuk membangun dasar teoritis.
2. Identifikasi Masalah: Menentukan fokus penelitian pada model fluida injektor untuk kendaraan 4 langkah.
3. Persiapan Alat dan Bahan: Menyediakan bahan bakar oktan 92 dan alat uji injektor
4. Pengumpulan Data Eksperimen: Mengambil data dari pengukuran injeksi pada objek penelitian.
5. Pemodelan Dinamika Fluida: Menggunakan pemodelan matematis untuk mengembangkan model injeksi.
6. Simulasi Numerik: Memvalidasi model melalui simulasi dengan perangkat CFD.
7. Analisis Hasil dan Kesimpulan: Menyusun hasil dan publikasi penelitian.

Dengan kombinasi metode ini, penelitian diharapkan dapat mengembangkan model dinamika fluida pada *fuel injector* kendaraan bermotor 4 langkah, berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan kinerja injektor di bidang otomotif.

HASIL DAN DISKUSI

1. Model Dinamika Fluida (*Computational Fluid Dynamics/CFD*)

Digunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berbasis simulasi numerik. Untuk menganalisis pengaruh kecepatan injeksi terhadap diameter *droplet* bahan bakar. Model CFD dibangun dalam domain tiga dimensi menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Flow Simulation* dengan asumsi aliran dua fase, dimana bahan bakar diinjeksi ke dalam ruang dengan variasi kecepatan dan tekanan. Domain simulasi mencakup ruang injeksi dan ruang sebar *droplet* dengan konfigurasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1-10. Garis aliran (*flow trajectory*), kontur kecepatan dan kontur tekanan menggambarkan pola sebaran fluida serta intensitas atomisasi *droplet* pada kecepatan dan tekanan tertentu.

Penyusunan model dinamika fluida dalam konteks injeksi bahan bakar dan atomisasi *droplet* dapat dilakukan dengan menggabungkan persamaan Navier-Stokes, konservasi massa dan model empiris untuk prediksi diameter *droplet*.

Diberikan asumsi sebagai berikut agar model dapat dianalisis secara matematis:

- a. Fluida bersifat inkompresibel dan Newtonian
- b. Aliran bersifat unsteady (transien) dan domain aksial (1D idealisasi)
- c. Efek gaya gravitasi diabaikan karena dominasi tekanan injeksi
- d. Tidak terjadi interaksi panas (non-reaktif)
- e. Atomisasi terjadi akibat perbedaan kecepatan antara bahan bakar dan udara sekitar

Persamaan Kontinuitas (Konservasi Massa):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

- ρ : densitas fluida
 \mathbf{v} : vektor kecepatan fluida (m/s)
 t : waktu (s)

Persamaan Navier-Stokes (Konservasi Momentum):

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v$$

- p : Tekanan (Pa)
- μ : Viskositas dinamik fluida $Pa \cdot s$

Model Atomisasi *Droplet*

Ukuran *droplet* hasil injeksi diukur dengan pendekatan model KH-RT (Kelvin-Helmholtz-Rayleigh-Taylor)

$$D_d = C \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho \cdot v^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

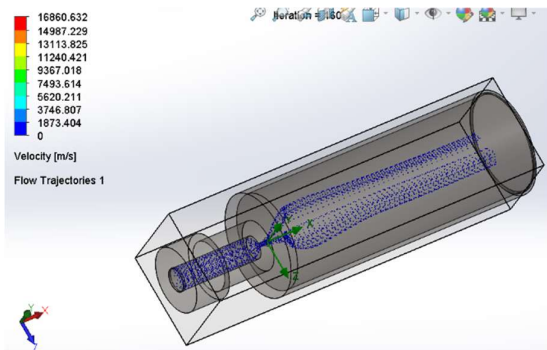
- D_d : Diameter *droplet*
- C : Konstanta empiris
- σ : Tegangan permukaan bahan bakar
- v : Kecepatan injeksi

Model Peluruhan Diameter *Droplet* terhadap Waktu

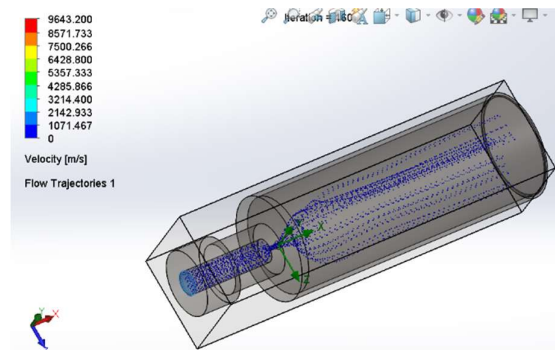
$$D(t) = D_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

- $D(t)$: Diameter *droplet* pada waktu t
- D_0 : Diameter awal *droplet*
- k : Konstanta peluruhan
- t : Waktu (s)

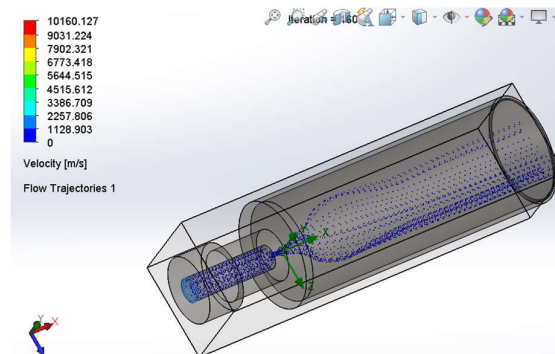
2. Analisis Kecepatan Injeksi terhadap Diameter *Droplet* Bahan Bakar



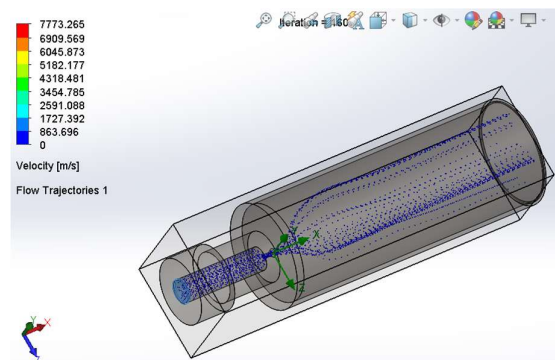
Gbr 1. Kontur Kecepatan saat 50 m/s



Gbr 2. Kontur Kecepatan saat 60 m/s



Gbr 3. Kontur Kecepatan saat 70 m/s



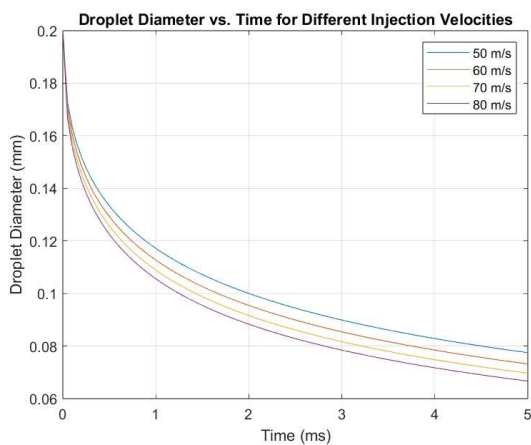
Gbr 4. Kontur Kecepatan saat 80 m/s

Pada gambar di atas, hasil pengukuran diameter *droplet* diambil dari area setelah nosel injeksi, tepatnya pada bagian dimana aliran mulai menyebar dan *droplet* terbentuk dari hasil atomisasi bahan bakar. Secara lebih rinci adalah sebagai berikut:

- a. Nosel injeksi terletak di sisi kiri, ditandai dengan permukaan lingkaran kecil tempat fluida keluar
- b. Pengukuran diameter *droplet* dilakukan pada jalur aliran (*streamlines*) setelah nosel, dimana cairan telah mengalami pemecahan (*breakup*) menjadi *droplet*.
- c. Titik pengambilan data biasanya tersebar di sepanjang sumbu utama aliran (arah horizontal), pada berbagai jarak dari ujung nosel, untuk melihat perubahan diameter *droplet* terhadap waktu dan tekanan.

Tabel 1 Data Pengaruh Kecepatan Injeksi terhadap Diameter *Droplet* Bahan Bakar

Waktu (ms)	Diameter <i>Droplet</i> (mm) pada 50 m/s	Diameter <i>Droplet</i> (mm) pada 60 m/s	Diameter <i>Droplet</i> (mm) pada 70 m/s	Diameter <i>Droplet</i> (mm) pada 80 m/s
0.0	0.180	0.170	0.160	0.155
0.5	0.145	0.128	0.112	0.100
1.0	0.115	0.102	0.090	0.080
1.5	0.095	0.084	0.075	0.068
2.0	0.083	0.073	0.065	0.058
2.5	0.075	0.065	0.058	0.052
3.0	0.068	0.059	0.053	0.047
3.5	0.062	0.054	0.048	0.043
4.0	0.057	0.050	0.045	0.040
4.5	0.053	0.047	0.042	0.037
5.0	0.050	0.045	0.040	0.035



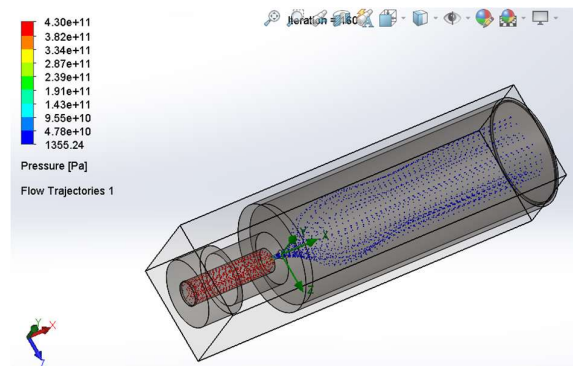
Gbr 5. Grafik Pengaruh Kecepatan Injeksi terhadap Diameter *Droplet* Bahan Bakar

Tabel dan grafik di atas menunjukkan perubahan diameter *droplet* bahan bakar seiring waktu berdasarkan variasi kecepatan injeksi mulai dari 50 m/s hingga 80 m/s. Semakin tinggi kecepatan injeksi, semakin kecil diameter *droplet* yang dihasilkan dalam kurun waktu yang lebih cepat. Pada kecepatan 80 m/s, *droplet* mengalami penurunan ukuran lebih signifikan dibandingkan dengan kecepatan yang lebih rendah. Sebaliknya, pada kecepatan 50 m/s, diameter *droplet* tetap lebih besar untuk jangka waktu yang lebih lama.

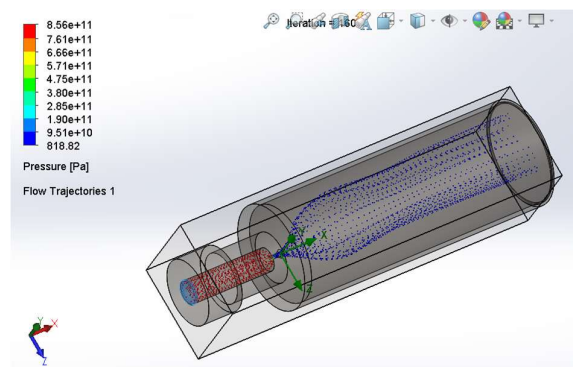
Fenomena ini menunjukkan bahwa pada kecepatan injeksi yang lebih tinggi, gaya gesekan antara bahan bakar dan udara juga meningkat, menghasilkan fragmentasi *droplet* yang lebih intensif. Ini membantu atomisasi bahan bakar yang lebih baik, meningkatkan campuran udara-bahan bakar dan efisiensi pembakaran. Dengan *droplet* yang lebih kecil, waktu pembakaran menjadi lebih cepat, yang sangat penting untuk mencapai pembakaran yang bersih dan efisien, terutama pada mesin yang beroperasi dengan kinerja tinggi. Kecepatan injeksi yang rendah, di sisi lain, menghasilkan *droplet* yang lebih besar yang membutuhkan waktu lebih lama untuk terbakar

sepenuhnya, meningkatkan emisi dan pemborosan bahan bakar.

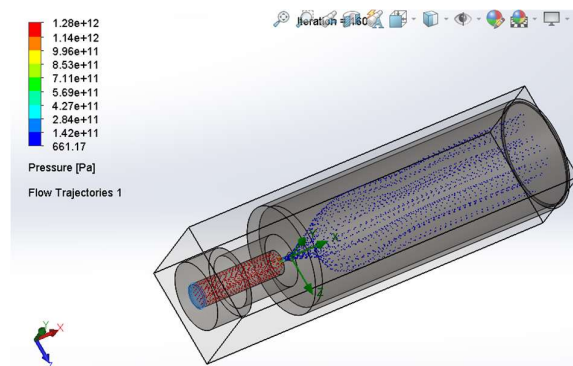
3. Analisis Tekanan Injeksi terhadap Diameter *Droplet* Bahan Bakar



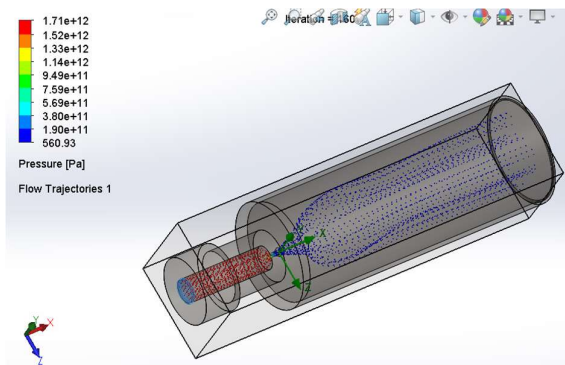
Gbr 6. Kontur Tekanan saat 10 Bar



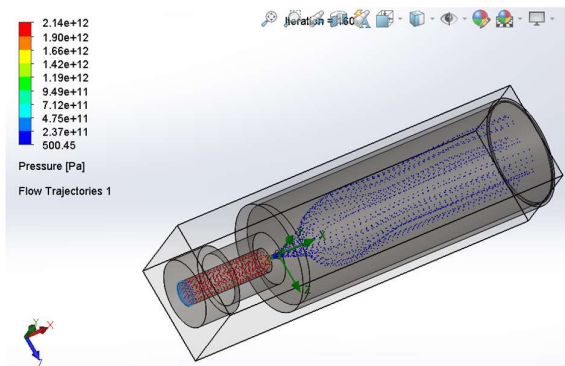
Gbr 7. Kontur Tekanan saat 20 Bar



Gbr 8. Kontur Tekanan saat 30 Bar



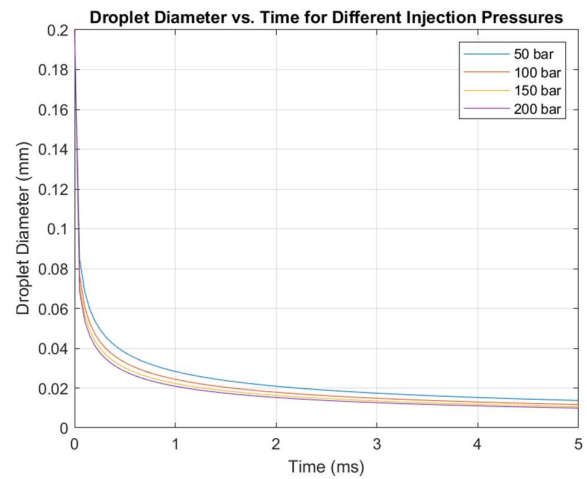
Gbr 9. Kontur Tekanan saat 40 Bar



Gbr 10. Kontur Tekanan saat 50 Bar

Tabel 2 Data Pengaruh Tekanan Injeksi terhadap Diameter *Droplet* Bahan Bakar

Waktu (ms)	Tekanan 10 Bar	Tekanan 20 Bar	Tekanan 30 Bar	Tekanan 40 Bar	Tekanan 50 Bar
0.0	0.175	0.165	0.155	0.150	0.140
0.5	0.060	0.045	0.040	0.038	0.035
1.0	0.040	0.030	0.028	0.026	0.018
1.5	0.030	0.025	0.022	0.021	0.015
2.0	0.025	0.020	0.018	0.017	0.015
2.5	0.022	0.018	0.016	0.015	0.013
3.0	0.020	0.016	0.014	0.013	0.012
3.5	0.018	0.015	0.013	0.012	0.011
4.0	0.017	0.014	0.012	0.011	0.010
4.5	0.016	0.013	0.011	0.010	0.009
5.0	0.015	0.012	0.010	0.009	0.008

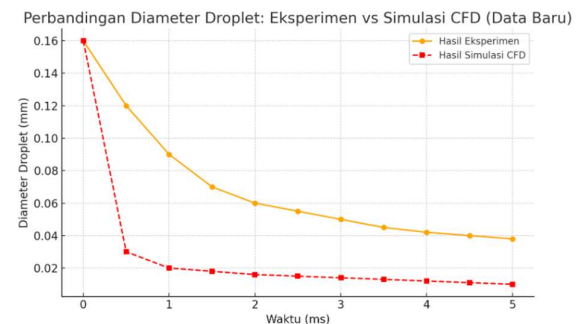


Gbr 11. Grafik Pengaruh Tekanan Injeksi terhadap Diameter *Droplet* Bahan Bakar

Data pada tabel tekanan injeksi (10 bar hingga 50 bar) menunjukkan bahwa tekanan injeksi yang lebih tinggi menghasilkan *droplet* dengan diameter lebih kecil. Pada tekanan injeksi 50 bar, *droplet* bahan bakar mengalami penurunan ukuran lebih cepat dibandingkan dengan tekanan 10 bar, yang mempertahankan *droplet* dengan ukuran yang lebih besar dalam waktu yang lebih lama.

Peningkatan tekanan injeksi mendorong bahan bakar keluar dari injektor dengan kecepatan yang lebih tinggi, menciptakan *droplet* yang lebih kecil dan cepat menyebar dalam udara. Tetesan bahan bakar yang lebih kecil ini mudah bercampur dengan udara, menghasilkan campuran yang homogen dan meningkatkan efisiensi pembakaran. Tekanan injeksi yang rendah, sebaliknya, menghasilkan *droplet* yang lebih besar yang membutuhkan lebih banyak waktu untuk terbakar sepenuhnya, meningkatkan risiko emisi hidrokarbon dan partikulat yang tidak terbakar. Pengaturan tekanan injeksi yang optimal dapat meningkatkan performa mesin dan membantu memenuhi standar emisi.

4. Perbandingan antara Hasil Eksperimen dan Hasil Simulasi CFD terhadap Diameter *Droplet* Bahan Bakar



Gbr 12. Grafik Perbandingan Diameter *Droplet* antara Hasil Eksperimen dan Hasil Simulasi CFD

Berikut adalah hasil perbandingan antara hasil eksperimen dan hasil simulasi CFD terhadap diameter *droplet* bahan bakar. Garis berwarna jingga solid dengan lingkaran menunjukkan data dari hasil eksperimen. Garis jingga putus-putus dengan aksesoris kotak menunjukkan data dari hasil simulasi CFD. Pada grafik, sumbu X menunjukkan waktu dalam milisekond (ms) dan sumbu Y menunjukkan diameter *droplet* dalam milimeter (mm).

Kedua kurva menunjukkan penurunan diameter *droplet* seiring waktu. Hasil simulasi menunjukkan penurunan diameter yang lebih cepat dibandingkan dengan eksperimen. Meskipun terdapat perbedaan nilai absolut, trennya konsisten, menunjukkan bahwa simulasi mampu merepresentasikan perilaku umum dari hasil eksperimen.

5. Dampak Kecepatan dan Tekanan Injeksi Terhadap Atomisasi dan Efisiensi Pembakaran

Perubahan kecepatan dan tekanan injeksi secara signifikan memengaruhi proses atomisasi bahan bakar. Peningkatan kedua parameter ini menyebabkan fragmentasi *droplet* yang lebih cepat, menghasilkan tetesan yang lebih kecil dalam waktu singkat.

Atomisasi bahan bakar yang lebih cepat dan efisien memungkinkan pencampuran udara-bahan bakar yang lebih homogen. Hal ini penting untuk pembakaran yang cepat dan efisien, yang mengurangi emisi dan pemborosan bahan bakar. Dalam aplikasi mesin pembakaran internal, pengaturan kecepatan dan tekanan injeksi yang tepat sangat penting untuk mencapai performa optimal sekaligus memenuhi regulasi emisi yang ketat.

Kecepatan dan tekanan injeksi merupakan faktor kritis dalam proses atomisasi bahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan dan tekanan yang lebih tinggi menghasilkan *droplet* dengan ukuran lebih kecil yang lebih cepat bercampur dengan udara, meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi. Hasil ini relevan untuk optimasi desain dan pengaturan injektor, memastikan bahwa mesin bekerja secara efisien dan ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa kecepatan dan tekanan injeksi bahan bakar memiliki peran penting dalam proses atomisasi pada mesin empat langkah. Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan kecepatan injeksi berkontribusi pada pengurangan diameter tetesan bahan bakar dalam waktu yang lebih singkat, yang mendukung pencampuran bahan bakar dan udara secara lebih optimal. Hal ini memungkinkan terjadinya pembakaran yang lebih efisien dan menyeluruh. Pada kecepatan injeksi 80 m/s, penurunan diameter *droplet* terjadi lebih cepat dibandingkan pada kecepatan 50 m/s, menunjukkan bahwa proses atomisasi dan efisiensi pembakaran meningkat. Demikian pula, peningkatan tekanan injeksi mengakibatkan *droplet* awal yang lebih kecil dengan laju penurunan diameter yang lebih cepat, sebagaimana terlihat pada tekanan 50 bar dibandingkan dengan 10 bar. Tetesan bahan bakar yang lebih kecil ini mendukung pembakaran yang lebih efisien dan mengurangi emisi.

Model matematis yang dikembangkan, yang mencakup persamaan kontinuitas, momentum (Navier-Stokes), serta

model peluruhan eksponensial diameter *droplet*, telah terbukti konsisten dengan data hasil simulasi. Prediksi bahwa peningkatan kecepatan dan tekanan injeksi menurunkan diameter *droplet* sesuai dengan hasil simulasi numerik yang diperoleh, sehingga model ini dapat digunakan sebagai dasar untuk perancangan dan pengendalian sistem injeksi bahan bakar.

Implikasi dari hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya desain dan pengaturan kontrol injektor yang mempertimbangkan kecepatan dan tekanan injeksi secara optimal untuk meningkatkan performa mesin dan mengurangi emisi gas buang. Temuan ini berpotensi diimplementasikan dalam pengembangan mesin yang lebih ramah lingkungan dan efisien dalam konsumsi bahan bakar.

REFERENSI

- [1] B. P. M. Arends dan H. Berenschot, *Motor Bensin*. Jakarta: Erlangga, 1980.
- [2] Boentarto, *Teknik Dasar-dasar Otomotif*. Solo: CV. Aneka, 2006.
- [3] K. Buyung dan Prabuono, *Teori dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: Andi, 2012.
- [4] Daryanto, *Prinsip Dasar Mesin Otomotif*. Bandung: Alfabeta, 2011.
- [5] A. Y. Cengel, *Fluid Mechanics*. New York: McGraw Hill, 2006.
- [6] J. Deli, dkk., "Dynamic Modelling and Engineering Simulation of Fluid Mechanics in Water Injectors," *Journal Petroleum Exploration and Development*, vol. 50, no. 5, hal. 1236-1245, 2023.
- [7] D. Le, dkk., "Dynamic Modelling of a Piezoelectric Fuel Injector During Rate Shaping Operation," *International Journal of Engine Research*, vol. 0, no. 0, hal. 1-17, 2013.
- [8] D. Le, dkk., "Dynamic Surface Control of a Piezoelectric Fuel Injector During Rate Shaping," *Journal of Control Engineering Practice*, vol. 30, hal. 12-26, 2014.
- [9] L. Mardianto, "Solusi Numerik dari Model Aliran Fluida Magnetohidrodinamik Konveksi Campuran Melalui Bola Bermagnet," Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [10] Saputra, "Simulasi Aliran Fluida dengan Variasi Penempatan Injektor pada Intake Manifold Mesin 2 Langkah Menggunakan CFD," Skripsi, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, 2014.
- [11] B. Sugianto, "Sistem Injeksi Bahan Bakar Sepeda Motor Satu Silinder Empat Langkah," *Jurnal Makara Teknologi*, no. 3, 2004.