MACHINERY JURNAL TEKNOLOGI TERAPAN
VOL.7 NO.2, JUNI 2026

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

ANALISIS EFEKTIVITAS PEMBERSIHAN INJEKTOR *ELECTRONIC FUEL INJECTION* (EFI) MENGGUNAKAN ALAT PEMBERSIH BERBASIS ULTRASONIK

Muhammad Darru Rizqy Azqia[1)*], Yusep Sukrawan[2)]
[1,2)]Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia.
Gedung Utama FPTI, Jalan Dr. Setiabudhi No. 207, Bandung, Jawa Barat 40154, Indonesia
[*]email korespondensi: muhammaddra4@upi.edu

INFORMASI ARTIKEL

Received:
24/05/2026

Received in revised:
25/06/2026

Accepted:
09/08/2026

Online-Published:
10/08/2026

ABSTRAK

Injektor Electronic Fuel Injection (EFI) merupakan komponen penting dalam sistem bahan bakar kendaraan bermotor yang rentan mengalami penurunan kinerja akibat endapan kerak karbon dan kotoran pada lubang *nozzle.* Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas alat penguji dan pembersih injektor EFI berbasis ultrasonik terhadap peningkatan volume bahan bakar, pola semprotan, dan keseragaman kinerja antar injektor. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi waktu pembersihan ultrasonik (5, 10, 15, dan 20 menit) pada empat buah injektor Toyota bensin. Pengujian dilakukan pada tekanan fuel rail 43 psi dengan frekuensi pulsa 16 Hz dan lebar pulsa 2 ms selama 5 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembersihan ultrasonik selama 10 menit menghasilkan peningkatan volume tertinggi, yaitu dari 59 ml menjadi 82 ml (kenaikan 23 ml atau 38,98%). Keseragaman volume antar keempat injektor mencapai rentang 80–84 ml setelah pembersihan, dengan selisih maksimum 4 ml. Tekanan sistem bahan bakar terbukti stabil pada 43 psi untuk semua kondisi pengujian. Alat ini juga berfungsi sebagai media pembelajaran praktik yang efektif di lingkungan pendidikan kejuruan otomotif.

Kata Kunci : injektor EFI, ultrasonik, kavitasi, volume bahan bakar, pola semprotan

ABSTRACT

Electronic Fuel Injection (EFI) injectors are critical components in vehicle fuel systems that are susceptible to performance degradation due to carbon deposits and contaminants in the nozzle orifice. This study aims to analyze the effectiveness of an ultrasonic-based EFI injector tester and cleaner in improving fuel flow volume, spray pattern, and inter-injector uniformity. The experimental method was employed with variations of ultrasonic cleaning duration (5, 10, 15, and 20 minutes) applied to four Toyota gasoline injectors. Testing was conducted at a fuel rail pressure of 43 psi with a pulse frequency of 16 Hz and a pulse width of 2 ms for 5 minutes. Results showed that 10-minute ultrasonic cleaning produced the highest flow volume improvement, from 59 ml to 82 ml (an increase of 23 ml or 38.98%). Inter-injector flow volume uniformity reached a range of 80–84 ml after cleaning, with a maximum difference of 4 ml. Fuel system pressure remained stable at 43 psi under all test conditions. The device also functions as an effective practical learning medium in automotive vocational education.

Keywords : *EFI injector, ultrasonic, cavitation, fuel flow volume, spray pattern*

© 2026 The Authors. Published by Machinery: Jurnal Teknologi Terapan (Indexed in SINTA)

doi:
https://doi.org/10.36257/machinery.v7i2.11961

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomotif saat ini telah mendorong penggunaan sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) secara masif, menggantikan sistem karburator konvensional pada kendaraan bermotor. Sistem EFI menawarkan efisiensi konsumsi bahan bakar yang lebih baik, emisi gas buang yang lebih rendah, serta respons mesin yang lebih presisi karena proses penginjeksian bahan bakar dikendalikan secara elektronik oleh *Engine Control Unit* (ECU) [1]. Injektor merupakan komponen utama dalam sistem EFI yang berfungsi mengabutkan bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan tekanan dan pola semprotan tertentu. Presisi kinerja injektor sangat menentukan efisiensi pembakaran dan performa keseluruhan mesin [2]. Namun, seiring meningkatnya intensitas penggunaan kendaraan dan bervariasinya kualitas bahan bakar, lubang *nozzle* injektor dapat mengalami penyumbatan akibat endapan kerak karbon dan kotoran [3]. Penurunan kinerja injektor tersebut berdampak langsung pada pemborosan bahan bakar, peningkatan emisi gas buang, serta penurunan tenaga mesin [4]. Untuk menjaga performa mesin berteknologi EFI, diperlukan perawatan rutin pada komponen sistem bahan bakar, khususnya injektor. Berbagai metode pembersihan injektor telah dikembangkan, mulai dari metode aerosol (*enviropurge kit*), pembersihan menggunakan aliran bertekanan, hingga pembersihan dengan gelombang ultrasonik. Di antara berbagai metode tersebut, pembersihan ultrasonik terbukti lebih efektif karena mampu menjangkau kotoran pada bagian terdalam saluran injektor yang sulit dicapai oleh metode konvensional [5].

Prinsip kerja pembersih ultrasonik didasarkan pada fenomena kavitasi akustik, yaitu ketika transduser piezoelektrik menghasilkan getaran berfrekuensi tinggi (umumnya 28–60 kHz) yang merambat melalui medium cairan [6]. Getaran tersebut menghasilkan jutaan gelembung mikro bertekanan rendah yang kemudian pecah secara eksplosif dan melepaskan energi kinetik mikro sehingga mampu mengikis kerak karbon pada permukaan logam. Ketika proses ini dikombinasikan dengan pembukaan dan penutupan katup injektor secara berpulsa selama pembersihan, efektivitas pembersihan meningkat secara signifikan karena cairan pembersih dapat menembus seluruh saluran internal injektor [7].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji efektivitas pembersihan injektor dengan berbagai pendekatan. Penelitian oleh [7] merancang dan menganalisis media pembelajaran berupa alat uji dan pembersih injektor sepeda motor yang mampu melakukan injeksi sebesar 140 ml selama 5 menit dengan 355 kali siklus injeksi. Penelitian lain oleh [8] mengembangkan alat pembersih injektor portabel berbasis *flasher* yang menunjukkan peningkatan volume bahan bakar dari 42 ml menjadi 51 ml dalam waktu 180 detik setelah proses pembersihan. Selanjutnya, [9] mengembangkan *fuel injector relative performance tester and cleaner* yang mengintegrasikan fungsi pengujian dan pembersihan dalam satu sistem. Penelitian oleh [10] merancang alat uji injektor *nozzle spray* semi otomatis yang mampu menguji empat injektor secara bersamaan dengan efisiensi yang lebih baik dibandingkan metode manual. Sementara itu, [11] menganalisis pengaruh penurunan kinerja injektor terhadap proses pembakaran mesin.

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah memberikan kontribusi dalam pengembangan alat penguji dan pembersih injektor, masih sedikit penelitian yang secara khusus menganalisis pengaruh variasi durasi ultrasonik terhadap efektivitas pembersihan injektor EFI jenis bensin dengan empat injektor dalam satu siklus pengujian. Selain itu, integrasi fungsi alat sebagai media pembelajaran praktik juga masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis pengaruh durasi pembersihan ultrasonik terhadap peningkatan volume bahan bakar injektor; (2) mengevaluasi keseragaman kinerja antar-injektor setelah proses pembersihan; serta (3) menganalisis stabilitas tekanan sistem bahan bakar pada berbagai kondisi pengujian.

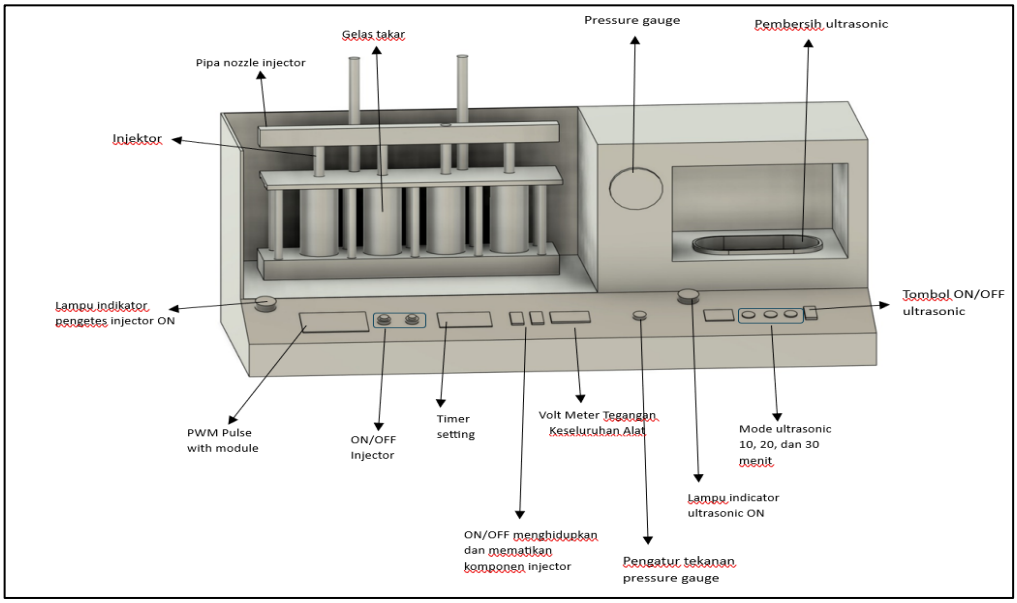
2. BAHAN DAN METODA

2.1 Rancang Bangun Alat

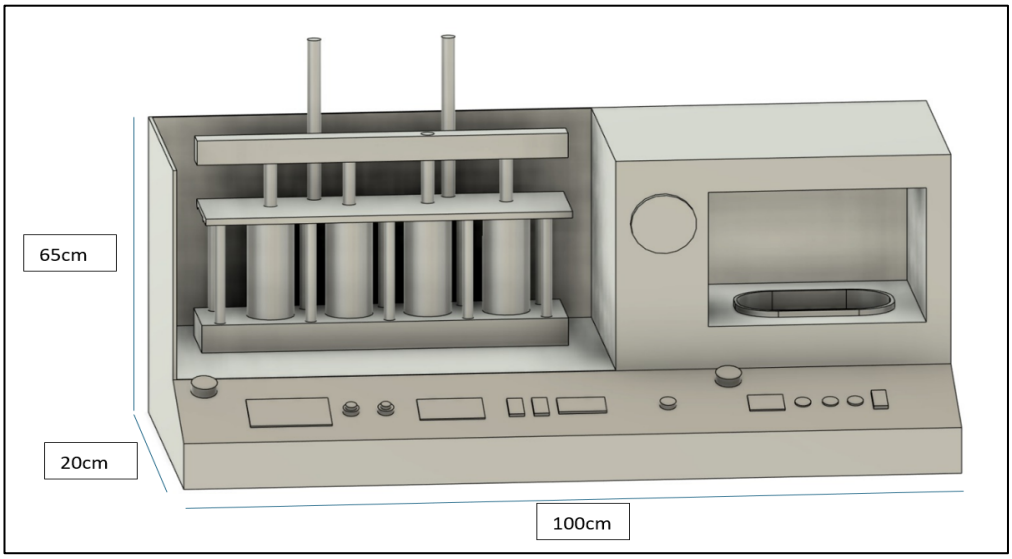
Alat penguji dan pembersih injektor EFI yang digunakan dalam penelitian ini dirancang melalui empat tahapan sistematis, yaitu perancangan (*designing*), pemilihan komponen, perakitan (*assembly*), dan pengujian (*testing*) [12]. Alat ini mengintegrasikan dua fungsi utama dalam satu sistem, yaitu sistem pembersihan ultrasonik dan sistem pengujian injektor, sehingga dapat digunakan secara berurutan tanpa perlu memindahkan injektor ke perangkat yang berbeda.

Komponen utama alat terdiri atas: (1) *ultrasonic cleaner* 40 kHz dengan tangki berbahan *stainless steel*; (2) *pulse generator*/driver injektor (PWM *generator* sinyal digital); (3) *fuel pump* beserta tangki bahan bakar 2 liter; (4) *fuel pressure regulator* dan *pressure gauge*; (5) empat buah gelas ukur 100 ml; (6) empat buah injektor Toyota bensin; (7) *power supply* 20 ampere (DC); (8) *timer delay relay digital*; (9) PWM *dimmer*/kontrol kecepatan; dan (10) panel kontrol dengan saklar, sekering, dan LED indikator.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)



Gambar 1. Desain Alat



Gambar 2. Dimensi Alat

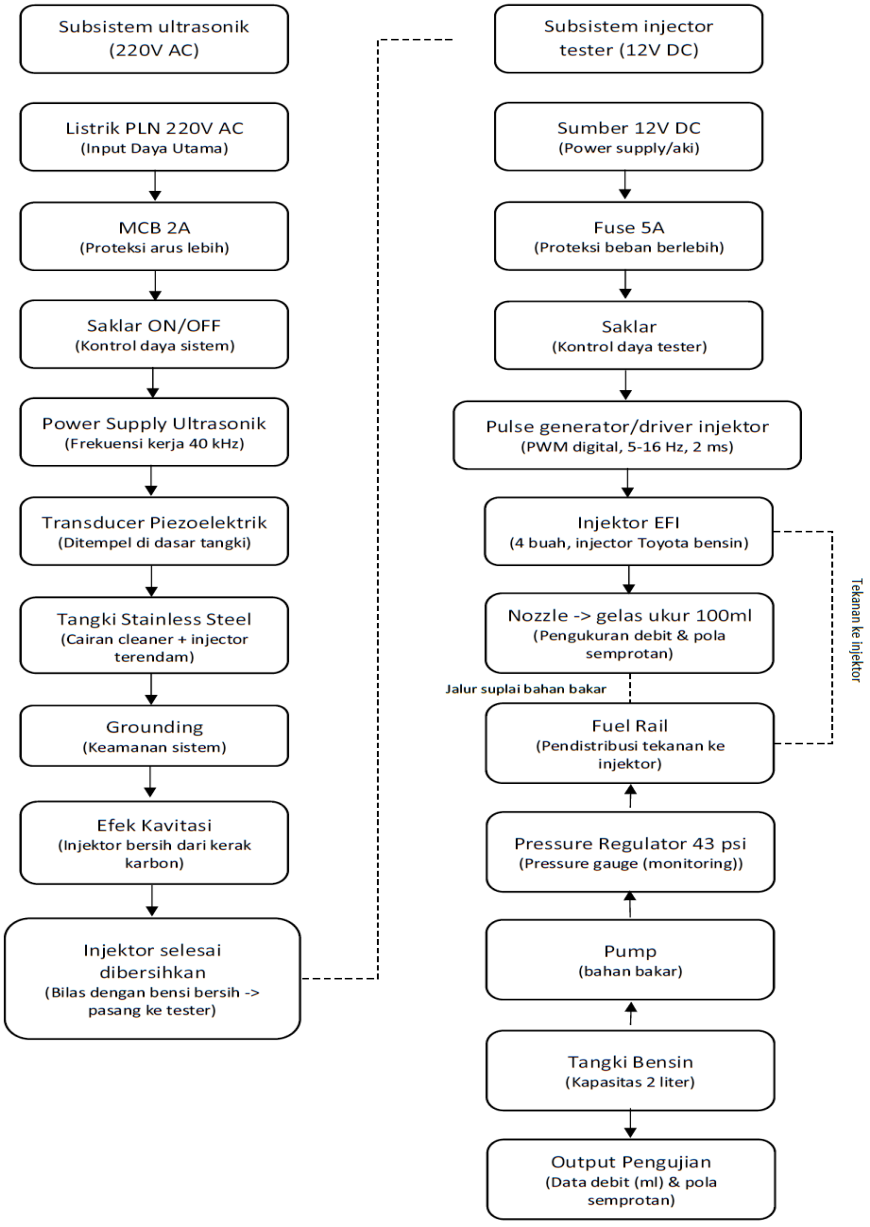
2.2 Diagram Blok Cara Kerja Alat

Sistem kelistrikan alat terdiri dari dua subsistem utama yang bekerja secara paralel namun terpisah secara keamanan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.** Pada subsistem ultrasonik, sumber listrik PLN 220V AC dialirkan melalui MCB 2A sebagai proteksi arus lebih, kemudian menuju saklar ON/OFF untuk mengontrol daya sistem. Selanjutnya, daya masuk ke power supply ultrasonik dengan frekuensi kerja 40 kHz yang terhubung ke transducer piezoelektrik yang dipasang di dasar tangki stainless steel. Transducer tersebut mengubah energi listrik menjadi gelombang ultrasonik yang merambat melalui cairan cleaner di dalam tangki sehingga menimbulkan efek kavitasi. Efek kavitasi inilah yang secara mekanis melepaskan kerak karbon pada injector yang direndam di dalam tangki. Sistem juga dilengkapi dengan grounding sebagai proteksi keamanan. Setelah proses pembersihan selesai, injector dibilas dengan bensin bersih dan dipindahkan ke subsistem injector tester untuk dilakukan pengujian.

Pada subsistem injector tester, sumber daya berasal dari tegangan 12V DC yang dialirkan melalui fuse 5A sebagai proteksi beban berlebih, kemudian diteruskan melalui saklar kontrol daya tester menuju pulse generator/driver injektor. Komponen ini menghasilkan sinyal PWM digital dengan rentang frekuensi 5–16 Hz dan durasi pulsa 2 ms untuk mengaktifkan empat buah injektor EFI Toyota bensin secara terkontrol. Secara bersamaan, jalur suplai bahan bakar dialirkan dari tangki bensin berkapasitas 2 liter melalui pompa bahan bakar menuju pressure regulator 43 psi yang dilengkapi pressure gauge untuk memantau tekanan secara real-

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

time. Bahan bakar bertekanan kemudian didistribusikan melalui fuel rail ke masing-masing injektor. Hasil semprotan dari nozzle ditampung dalam gelas ukur 100 ml untuk mengukur volume bahan bakar dan mengamati pola semprotan sebagai output pengujian.



Gambar 3. Diagram Operasi Sistem

2.3 Prosedur Pengujian

2.3.1 Proses Pembersihan Ultrasonik

Tangki *ultrasonic cleaner* diisi dengan cairan pembersih khusus injektor EFI hingga batas yang ditentukan. Injektor direndam ke dalam tangki dengan bagian *nozzle* terendam sempurna, kemudian dihubungkan ke driver pulsa dengan frekuensi 5–10 Hz agar injektor membuka dan menutup selama proses pembersihan berlangsung. *Ultrasonic cleaner* kemudian dinyalakan pada frekuensi kerja 40 kHz. Transducer piezoelektrik menghasilkan getaran ultrasonik yang menyebabkan kavitasi pada cairan, menghasilkan jutaan gelembung mikro yang pecah dan mengikis kerak karbon pada lubang *nozzle* dan saluran internal injektor. Variasi waktu pembersihan yang digunakan adalah 5, 10, 15, dan 20 menit. Setelah proses selesai, injektor diangkat dan dibilas dengan bensin bersih.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

2.3.2 Proses Pengujian Injektor

Injektor yang telah dibersihkan dipasang pada *injector tester*. Tekanan *fuel rail* diatur pada 43 psi menggunakan *fuel pressure regulator*. *Pulse generator* diatur pada frekuensi 16 Hz dengan lebar pulsa 2 ms untuk mensimulasikan kondisi *idle*. Pengujian dijalankan selama 5 menit dan bahan bakar yang keluar ditampung pada masing-masing gelas ukur 100 ml. Volume bahan bakar yang tertampung dicatat sebagai data volume akhir, dan pola semprotan diamati serta difoto menggunakan media transparan/akrilik.

Dalam penelitian ini, pengujian injektor dilakukan menggunakan bensin dengan spesifikasi bahan bakar RON 90 (Pertalite). Perlu dicatat bahwa bilangan oktan bahan bakar berpotensi memengaruhi kondisi awal injektor sebelum proses pembersihan dilakukan, mengingat bahan bakar dengan oktan rendah cenderung lebih cepat membentuk deposit karbon pada nozzle injektor akibat pembakaran yang kurang sempurna [13]. Bahan bakar dengan nilai oktan lebih tinggi, seperti Pertamax Turbo (RON 98), umumnya mengandung aditif deterjen yang mampu mencegah pembentukan deposit pada injektor dan ruang bakar, sehingga injektor yang terpapar bahan bakar beroktan tinggi secara konsisten berpotensi memiliki kondisi awal yang lebih bersih [14]. Dengan demikian, variasi bilangan oktan bahan bakar yang digunakan kendaraan sebelum pengujian dapat memengaruhi besarnya peningkatan volume bahan bakar yang terukur setelah proses pembersihan ultrasonik, dan hal ini dapat menjadi variabel yang perlu dipertimbangkan dalam penelitian lanjutan.

2.4 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga jenis variabel. Variabel bebas meliputi waktu pembersihan ultrasonik (5, 10, 15, dan 20 menit) serta frekuensi pulsa PWM (6–7 Hz, 8–9 Hz, dan 16 Hz). Variabel terikat yang diukur mencakup volume bahan bakar (ml), pola semprotan injektor, dan keseragaman volume antar injektor. Adapun variabel kontrol dijaga tetap pada tekanan fuel rail 43 psi, lebar pulsa pengujian 2 ms, dan durasi pengujian selama 5 menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

3.1.1 Pengaruh Waktu Pembersihan Ultrasonik terhadap Volume Bahan Bakar

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan durasi pembersihan ultrasonik pada masing-masing injektor. Data hasil pengukuran volume sebelum dan sesudah pembersihan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Volume Bahan Bakar Sebelum dan Sesudah Pembersihan Ultrasonik

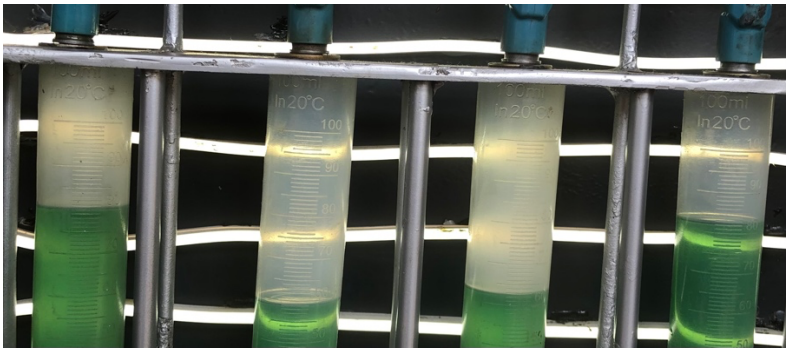
Injektor	Waktu Ultrasonik (menit)	Volume Sebelum (ml)	Volume Sesudah (ml)	Kenaikan Volume (ml)
1	5	80	80	0
2	10	59	82	23
3	15	63	82	19
4	20	82	84	2

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa pembersihan selama 10 menit menghasilkan kenaikan volume tertinggi, yakni sebesar 23 ml (38,98%), dari kondisi awal 59 ml menjadi 82 ml. Pembersihan selama 15 menit pada injektor yang memiliki volume awal 63 ml menghasilkan kenaikan 19 ml (30,16%) mencapai 82 ml. Menariknya, pembersihan selama 5 menit tidak menunjukkan peningkatan volume pada injektor yang kondisi awalnya sudah bersih (80 ml). Sementara pembersihan selama 20 menit hanya menghasilkan kenaikan 2 ml, mengindikasikan adanya titik jenuh efektivitas pembersihan. Hasil ini konsisten dengan temuan [2] yang menunjukkan peningkatan volume injektor setelah pembersihan, meskipun metode yang digunakan berbeda.

3.1.2 Pengaruh Waktu terhadap Perubahan Pola Semprotan

Pengamatan pola semprotan dilakukan secara visual dengan menyemprotkan injektor ke media akrilik transparan. Perubahan pola semprotan seiring waktu pembersihan dicatat pada Tabel 2.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)



Gambar 4. *Spray Pattern* Sebelum *Cleaning*



Gambar 5. *Spray Pattern* Setelah *Cleaning*

Tabel 2. Data Pola Semprotan Injektor Seiring Waktu Pembersihan

No.	Kondisi	Karakteristik Spray
1	Sebelum *cleaning*	Menetes
2	Setelah 15 detik	Mulai menyebar
3	Setelah 30 detik	Kabut lebih halus dengan pola V
4	Setelah 45 detik	Sangat merata

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kondisi injektor yang sebelumnya hanya menetes (indikasi penyumbatan signifikan) berubah secara progresif menjadi pola semprotan berbentuk kerucut V yang merata seiring berjalannya proses injeksi. Perlu dicatat bahwa satuan waktu pada Tabel 2 adalah detik, merujuk pada durasi pengamatan pola semprotan selama proses injeksi berlangsung, berbeda dengan satuan menit pada tabel lain yang merujuk pada durasi pembersihan ultrasonik. Pola semprotan berbentuk kerucut halus dan merata merupakan indikator kinerja injektor yang baik, karena atomisasi bahan bakar yang optimal akan meningkatkan efisiensi pembakaran di ruang bakar [1].

3.1.4 Keseragaman Kinerja Antar Injektor Setelah Pembersihan

Keseragaman volume antar keempat injektor diukur setelah seluruh proses pembersihan selesai. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4. Hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa keempat injektor memiliki volume yang relatif seragam, dengan rentang 80–84 ml dan selisih maksimum hanya 4 ml (4,88%).

Tabel 3. Data Keseragaman Volume Antar Injektor Setelah Pembersihan

Injektor	Volume (ml)
1	80
2	82
3	82
4	84

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

Tingkat keseragaman ini berada dalam rentang yang dapat diterima untuk keperluan pengujian dan perawatan, mengingat bahwa pada sistem mesin sesungguhnya, ketidakseragaman volume antar injektor yang melebihi 10% dapat menyebabkan ketidakseimbangan putaran mesin dan peningkatan emisi gas buang. Hasil ini sejalan dengan penelitian [15] yang menekankan pentingnya keseragaman kinerja injektor sebagai parameter utama dalam evaluasi alat penguji injektor.

3.1.5 Stabilitas Tekanan Sistem Bahan Bakar

Tekanan sistem bahan bakar diukur pada berbagai kondisi pengujian, dari kondisi *idle* hingga seluruh empat injektor aktif secara bersamaan. Data pengukuran tekanan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Data Tekanan Sistem Bahan Bakar pada Berbagai Kondisi

Kondisi	Tekanan (psi)
Idle (tidak ada injektor aktif)	45
1 injektor aktif	43
2 injektor aktif	43
3 injektor aktif	43
4 injektor aktif	43

Tabel 5 memperlihatkan bahwa tekanan sistem bahan bakar stabil pada 43 psi saat pengujian dengan satu hingga empat injektor aktif secara bersamaan. Penurunan tekanan dari 45 psi (*idle*) menjadi 43 psi (injektor aktif) merupakan respons normal dari sistem *pressure regulator* ketika bahan bakar mulai mengalir. Stabilitas tekanan pada nilai yang sama (43 psi) meskipun jumlah injektor yang aktif ditambah menunjukkan bahwa kapasitas *fuel pump* dan *pressure regulator* yang digunakan pada alat ini memiliki performa yang memadai.

3.1.6 Pengaruh Frekuensi PWM terhadap Volume Bahan Bakar

Variasi frekuensi sinyal PWM yang diberikan ke injektor berpengaruh terhadap volume bahan bakar yang dihasilkan. Data hasil pengujian disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Pengaruh Frekuensi PWM terhadap Volume Bahan Bakar

Frekuensi (Hz)	Volume (ml)
6-7	89
8-9	95
16	114

Data pada Tabel 6 menunjukkan hubungan positif antara frekuensi PWM dan volume bahan bakar: semakin tinggi frekuensi pulsa yang diberikan, semakin besar volume bahan bakar yang keluar dari injektor. Hal ini konsisten dengan prinsip kerja injektor EFI, di mana frekuensi pulsa yang lebih tinggi mensimulasikan kondisi putaran mesin yang lebih tinggi (*RPM* lebih tinggi), sehingga injektor membuka lebih sering dalam satuan waktu tertentu dan lebih banyak bahan bakar yang diinjeksikan [16].

3.1.7 Efektivitas Pembersihan Berdasarkan Variasi Waktu (Kumulatif)

Data efektivitas pembersihan kumulatif berdasarkan variasi waktu disajikan pada Tabel 7. Data ini diperoleh dari pengujian satu injektor tunggal yang diukur secara berulang setiap 5 menit dalam satu sesi pembersihan, menunjukkan peningkatan volume secara bertahap mulai dari kondisi injektor yang sangat kotor hingga mendekati kondisi optimal. Data pada Tabel 7 memperlihatkan bahwa peningkatan volume terbesar terjadi antara menit ke-5 dan menit ke-10, yaitu sebesar 35 ml (81,4%). Setelah menit ke-10, laju peningkatan mulai melambat, dengan tambahan hanya 6 ml antara menit ke-10 dan ke-15. Pola ini mengindikasikan bahwa durasi pembersihan optimal berada pada kisaran 10–15 menit.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

Tabel 6. Data Efektivitas Pembersihan Ultrasonik (Kumulatif)

Waktu (menit)	Volume (ml)
0 (sebelum pembersihan)	25
5	43
10	78
15	84

Pembersihan lebih dari 15 menit tidak memberikan manfaat signifikan dan berisiko menyebabkan paparan cairan pembersih yang berlebihan pada komponen non-logam injektor.

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan bahwa alat penguji dan pembersih injektor EFI berbasis ultrasonik yang dirancang dalam penelitian ini efektif meningkatkan kinerja injektor yang mengalami penyumbatan. Efektivitas pembersihan dibuktikan melalui peningkatan volume bahan bakar yang signifikan, perbaikan pola semprotan dari menetes menjadi kabut kerucut V, dan tercapainya keseragaman volume antar keempat injektor.

Mekanisme kavitasi akustik yang dihasilkan oleh transducer piezoelektrik pada frekuensi 40 kHz terbukti mampu mengikis endapan kerak karbon yang tidak dapat dihilangkan dengan metode pembersihan konvensional. Fenomena ini sesuai dengan yang dijelaskan oleh [17], di mana efek kavitasi menghasilkan gelombang kejut mikro yang bekerja pada level molekuler untuk memisahkan partikel kotoran dari permukaan logam. Penggunaan driver pulsa selama proses pembersihan (frekuensi 5–10 Hz) terbukti memperkuat efektivitas pembersihan karena membuka dan menutupnya jarum injektor secara berpulsa memaksa cairan pembersih untuk bersirkulasi melalui seluruh saluran internal injektor.

Temuan penting lainnya adalah bahwa durasi pembersihan berpengaruh nyata terhadap hasil pembersihan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 7. Efektivitas pembersihan mencapai titik optimal pada durasi 10–15 menit, setelah itu laju peningkatan volume mulai melambat. Oleh karena itu, pemilihan durasi pembersihan harus mempertimbangkan kondisi awal injektor dan risiko paparan cairan pembersih yang berlebihan pada komponen non-logam seperti *seal* dan *O-ring* jika digunakan dalam waktu lama [18].

Dari sisi tekanan sistem, stabilitas pada 43 psi untuk semua kondisi pengujian (Tabel 5) mengkonfirmasi bahwa desain sistem bahan bakar pada alat ini telah memenuhi syarat untuk merepresentasikan kondisi kerja nyata injektor EFI. Hal ini penting agar data volume dan pola semprotan yang dihasilkan relevan dan dapat diperbandingkan dengan spesifikasi pabrik.

Selain aspek teknis, alat ini juga terbukti layak sebagai media pembelajaran praktik di lingkungan pendidikan kejuruan otomotif. Alat ini tidak hanya berfungsi sebagai perangkat diagnostik dan perawatan, tetapi juga memungkinkan siswa memahami secara langsung prinsip kerja injektor EFI, dampak kerak karbon terhadap kinerja injektor, serta mekanisme pembersihan berbasis ultrasonik. Hal ini sesuai dengan pendapat [7] bahwa media pembelajaran berbasis alat nyata (*real tools*) meningkatkan pemahaman konseptual dan kompetensi praktis peserta didik dalam bidang otomotif.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa durasi pembersihan ultrasonik memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja injektor EFI. Durasi pembersihan selama 10 menit memberikan peningkatan volume bahan bakar tertinggi, yaitu sebesar 23 ml atau 38,98%, dari 59 ml menjadi 82 ml. Namun, peningkatan volume mulai melambat setelah 15 menit, sehingga durasi pembersihan yang optimal berada pada rentang 10–15 menit.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa keseragaman volume antar keempat injektor setelah proses pembersihan berada pada rentang 80–84 ml dengan selisih maksimum sebesar 4 ml atau 4,88%, sehingga memenuhi syarat penggunaan pada sistem mesin 4 silinder. Dari sisi sistem bahan bakar, tekanan yang dihasilkan tetap stabil pada 43 psi untuk seluruh kondisi pengujian, baik saat 1 hingga 4 injektor aktif, yang menunjukkan bahwa desain sistem fuel supply pada alat bekerja secara andal dan konsisten. Secara keseluruhan, alat penguji dan pembersih injektor berbasis ultrasonik yang dirancang terbukti efektif tidak

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

hanya sebagai perangkat perawatan teknis injektor EFI, tetapi juga sebagai media pembelajaran praktik otomotif yang mendukung proses pendidikan di lingkungan kejuruan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] H. Nurrohman, B. Susanto, and N. Widodo, "Studi Eksperimen Variasi Tekanan Bahan Bakar Terhadap Emisi pada Mesin EFI," *Automotive Experiences*, vol. 1, no. 1, 2018, doi: 10.31603/ae.v1i01.2003.

[2] M. Hazwi, T. B. Sitorus, D. M. Nasution, T. UHSG, and A. P., "Studi Analisa Performansi Mesin – Sistem Pembakaran EFI dan Karburator pada Mesin Bensin," *Dinamis: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 4, no. 1, p. 12, Mar. 2016, doi: 10.32734/dinamis.v4i1.7013.

[3] R. Marbun, "Analisa Kebutuhan dan Spesifikasi Teknis Pompa Umpan Hydrolizer pada Pusri Effluent Treatment Plant," *MACHINERY: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 4, no. 2, pp. 109–19, Jun. 2023, doi: 10.5281/zenodo.8085547.

[4] C. Wang, H. Xu, J. M. Herreros, J. Wang, and R. Cracknell, "Impact of fuel and injection system on particle emissions from a GDI engine," *Applied Energy*, vol. 132, pp. 178–191, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.06.012.

[5] R. Murcek, M. Finster, A. T. Georgi, et al., "Development of novel cleaning systems for improving immersion cleaning based on the hunting behaviour of the pistol shrimp," *Heat and Mass Transfer*, vol. 61, p. 99, 2025, doi: 10.1007/s00231-025-03598-w.

[6] M. Safitri, A. Wahyuni, and A. Fitriyah, "Ultrasonic Cleaner Dilengkapi Heater dan Pembuangan Air Otomatis Berbasis Mikrokontroller," *Medika Teknika: Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia*, vol. 4, pp. 1–10, Oct. 2022, doi: 10.18196/mt.v4i1.14304.

[7] A. Z. Yusuf and Y. Yasdin, "Analisis Desain Media Pembelajaran Alat Test dan Pembersih Injektor Sepeda Motor," *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomotif*, vol. 6, no. 1, pp. 61–70, Dec. 2023, doi: 10.21831/jpvo.v6i1.67078.

[8] R. T. F. Hutasoit, A. M. Siregar, and C. A. Siregar, "Desain dan Pembuatan Alat Pembersih Injector Portable Sepeda Motor Berbasis Flasher," *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomotif*, vol. 6, no. 1, pp. 109–118, Nov. 2023, doi: 10.21831/jpvo.v6i1.66000.

[9] S. Ranjith Kumar, S. Santhosh, M. Logesh Kumar, V. Aswin, and B. Gokul, "Development of a fuel injector relative performance tester and cleaner," in *AIP Conference Proceedings*, vol. 2527, no. 1, p. 030010, Oct. 2022, doi: 10.1063/5.0108109.

[10] I. Popoola, O. Adefuye, Q. Ajetunmobi, Y. M. A., and N. Raji, "Design and Development of a Fuel Injector Nozzle Cleansing Machine for Small Scale Workshops," *Asian Journal of Advanced Research and Reports*, vol. 19, pp. 49–58, Dec. 2025, doi: 10.9734/ajarr/2025/v19i121220.

[11] P. Yanuar, A. Khoryanton, and G. Oktariza, "Rancang Bangun Alat Uji Injektor Nozzle Spray Semi Otomatis," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 279–285, Aug. 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i2.2864.

[12] Y. Pratomo, Azharuddin, and A. A. Sani, "Rancang Bangun Alat Pengolahan Oli Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair Diesel dengan Perlakuan Panas," *MACHINERY: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 1, no. 1, pp. 23–30, Aug. 2020, doi: 10.5281/zenodo.4540898.

[13] F. Otriza, T. Sugiarto, D. Fernandez, and D. S. Putra, "Analisis Variasi Research Octane Number (RON) Bahan Bakar Terhadap Performa Mesin Daihatsu Xenia K3-VE," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 1, no. 3, pp. 411–419, Aug. 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i3.89.

[14] M. H. Albana, "Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar dengan Angka Oktan yang Berbeda terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Mesin," *Jurnal Integrasi*, vol. 8, no. 2, pp. 97–101, Oct. 2016.

[15] R. D. Burke, M. Madamedon, and R. Williams, "Newly identified effects of injector nozzle fouling in diesel engines," *Fuel*, vol. 278, p. 118336, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.118336.

[16] S. Pamungkas, "Analisa sistem bahan bakar injeksi pada mesin bensin menggunakan scan tools dan gas analyzer," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 3, no. 3, p. 38, 2017, doi: 10.22441/jtm.v3i3.1027.

[17] K. S., N. V., P. V., and M. R., "Validation of Ultrasound Cavitation at 20 kHz and 40 kHz Frequency in an Ultrasound Bath using the Aluminium Foil Corrosion Test," *Madras Agricultural Journal*, vol. 111, Jan. 2024, doi: 10.29321/maj.10.600002.

[18] G. Harvey, A. Gachagan, and T. Mutasa, "Review of high-power ultrasound-industrial applications and measurement methods," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 61, no. 3, pp. 481–495, 2014, doi: 10.1109/TUFFC.2014.2932.