MeKanik, Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Mesin *Vol.18, No.2 Nopember 2025*
e-ISSN: 3046-8272, p-ISSN: 1979-0708 **(Hal: 49-59)**
Alamat Redaksi : Politeknik Negeri Samarinda, Jurusan Teknik Mesin, Jl.Ciptomangunkusumo Kampus Gg.Lipan Samarinda Kalimantan Timur

PENGARUH KERUSAKAN INJEKTOR PADA SISTEM INJEKSI TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN EMISI GAS BUANG PADA KENDARAAN RINGAN 1.500 CC

The Effect Of Injector Damage In The Injection System On Fuel Consumption And Exhaust Emissions In 1,500 CC Light Vehicles

Simon Petrus[1] , Merpatih[2] , Ayub Rifandi Sihombing[3]

[1,2]Jurusan Teknik Mesin, Dosen Prodi. Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda
[3]Jurusan Teknik Mesin, Mahasiswa Prodi. Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda
Jl.Dr.Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan, Samarinda Seberang, Kota Samarinda
e-mail: [1] s_pet66@yahoo.com, [2] ,merpatih1966@yahoo.com , [3]ayub.rifandi01@gmail.com

Info Artikel

Riwayat Artikel:
Diterima: 04/11/2025
Diterima dalam bentuk revisi: 10/11/2025
Diteima/publis: 13/11/2025

Kata Kunci :
Injector, Gas emission, Fuel consumption

Abstrak

Pada sebuah mobil memiliki sistem pembakaran yaitu injektor yang merupakan salah satu komponen terpenting dalam suatu sistem bahan bakar bensin, injektor adalah salah satu komponen terpenting dalam suatu system bahan bakar bensin. Faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan injektor pada mobil Elektronik fuel injection (EFI) Kualitas Bahan Bakar yang Buruk, Penumpukan Karbon pada Injektor, Keausan pada Seal Injektor, Penyumbatan pada Filter Bahan Bakar, Kontaminasi Air dalam Bahan Bakar, faktor-faktor kerusakan tersebut dapat diketahui melalui pemerikasaan visual dan dengan menggunakan alat seperti injector tester. Hasil pada injector tester menunjukan bahwa injektor 1 beroperasi tidak optimal dengan menyemprotkan bahan bakar tidak sama rata dengan injektor yang lain nya yang dapat menyebabkan konsumsi bahan bakar meningkat, dan terhadap emisi gas buang pada saat salah satu injektor rusak kadar HC, CO2 lebih tinggi dari pada saat keadaan semua injektor normal. Dan pada pemeriksaan secara visual saya menemukan bahwa injektor satu tidak memiliki filter basket. Kesimpulan yang dapat saya ambil adalah terdapat penumpukan karbon pada injektor 1 oleh karena itu terjadi pengkabutan yang tidak sempurna.

Abstract

In a car, there is a combustion system called an injector, which is one of the most important components in a gasoline fuel system. The injector plays a crucial role in the fuel delivery process. Several factors can cause injector damage in Electronic Fuel Injection (EFI) systems, including poor fuel quality, carbon buildup on the injector, wear on the injector seal, fuel filter blockage, and water contamination in the fuel. These damage factors can be identified through visual inspection and by using tools such as an injector tester. The test results indicate that Injector 1 is not operating optimally, as it sprays fuel unevenly compared to the other injectors. This uneven spray can lead to increased fuel consumption. Additionally, during emission gas analysis, when one injector is faulty, the levels of HC (hydrocarbons) and CO2 are higher than when all injectors are functioning normally. Upon visual inspection, I found that Injector 1 lacks a filter basket. The conclusion I can draw is that there is carbon buildup in injector 1, resulting in imperfect atomization.

@MEKANIK 2025. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

PENDAHULUAN

Efisiensi konsumsi bahan bakar dan tingkat emisi gas buang merupakan faktor kunci dalam performa serta keberlanjutan sistem pembakaran internal modern. Salah satu komponen vital dalam sistem ini adalah injektor bahan bakar (fuel injector), yang berfungsi mengatomisasi bahan bakar agar tercampur sempurna dengan udara sebelum proses pembakaran. Kinerja injektor yang baik menentukan efisiensi pembakaran, konsumsi bahan bakar, serta tingkat emisi gas buang. Namun, ketika injektor mengalami kerusakan akibat penyumbatan, deposit karbon, atau keausan, maka pola semprotan bahan bakar menjadi tidak seragam, yang pada akhirnya menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar dan pembakaran tidak sempurna [1], [2].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa deposit pada injektor secara signifikan memengaruhi karakteristik semprotan dan peningkatan emisi hidrokarbon (HC) serta partikulat (PM) pada mesin bensin injeksi langsung (GDI). Akumulasi karbon mengubah panjang penetrasi semprotan dan ukuran droplet bahan bakar, sehingga menurunkan kualitas atomisasi dan menyebabkan peningkatan emisi [1]. Hasil serupa ditemukan oleh Luo et al. (2021), yang menegaskan bahwa perubahan strategi injeksi dan kondisi injektor berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran dan emisi mesin diesel dual-fuel [3]. Sementara itu, penelitian oleh Li et al. (2024) membuktikan bahwa spesifikasi injektor seperti jumlah lubang semprotan dan diameter nozzle memiliki dampak signifikan terhadap performa mesin dan emisi gas buang [4].

Kondisi injektor yang tidak optimal dapat pula menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar yang cukup besar. Studi oleh Peng (2015) menunjukkan bahwa keausan injektor akibat penggunaan bahan bakar biodiesel menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar hingga 10–15%, serta peningkatan kadar CO dan Nox [5]. Temuan serupa diperkuat oleh Luo et al. (2020), yang menemukan bahwa variasi tekanan injeksi memengaruhi pola semprotan dan efisiensi pembakaran [3]. Tekanan injeksi yang tidak stabil menyebabkan atomisasi tidak sempurna, yang berdampak langsung pada efisiensi termal dan peningkatan emisi karbon monoksida.

Sistem injeksi modern, seperti Electronic Fuel Injection (EFI) atau Common Rail Direct Injection (CRDI), dirancang untuk mengontrol suplai bahan bakar secara presisi menggunakan sensor dan unit kontrol elektronik (ECU). Namun, sistem ini tetap rentan terhadap gangguan mekanik seperti kebocoran gasket atau flange injektor, yang menyebabkan campuran udara-bahan bakar menjadi tidak ideal. Menurut Zhang et al. (2021), kebocoran kecil pada sistem injeksi dapat menyebabkan ketidakseimbangan tekanan yang berdampak pada distribusi bahan bakar antar silinder, sehingga menurunkan efisiensi pembakaran dan memperburuk emisi [6].

Penelitian oleh Wang et al. (2018) juga mengemukakan bahwa kondisi injektor berpengaruh langsung terhadap formasi partikel di mesin GDI [2]. Mereka menunjukkan bahwa injektor yang aus atau tersumbat meningkatkan jumlah partikel hingga 40% dibandingkan injektor baru. Dalam konteks emisi gas buang, studi oleh Ferrari et al. (2024) menyoroti bahwa pengaruh desain injektor dan tekanan injeksi terhadap pembentukan CO_2, NOx, serta HC sangat signifikan pada mesin berbahan bakar bensin dan etanol. Dengan demikian, kerusakan injektor tidak hanya berdampak pada efisiensi bahan bakar, tetapi juga berimplikasi langsung terhadap lingkungan [7].

Selain faktor injektor, gasket dan flange juga memiliki peran penting dalam menjaga kedapnya sistem bahan bakar. Kebocoran kecil pada flange akibat kegagalan gasket dapat menimbulkan perubahan tekanan dan aliran udara ke dalam sistem, yang berujung pada pembakaran tidak sempurna [8]. Dalam jangka panjang, hal ini dapat mempercepat degradasi komponen injektor,

meningkatkan konsumsi bahan bakar, serta memperparah emisi gas buang. Penelitian oleh C. Wang et al., (2024b) menemukan bahwa kerusakan pada sistem sambungan injektor menyebabkan ketidakseimbangan rasio udara-bahan bakar dan menghasilkan emisi HC yang lebih tinggi [9].

Dari perspektif desain sistem injeksi, The Impact of the Common Rail Fuel Injection System on Performance and Emissions of Modern and Future Compression Ignition Engines (2023) menunjukkan bahwa strategi injeksi ganda dan tekanan injeksi tinggi mampu mengurangi emisi CO_2 hingga 18%. Namun, performa optimal tersebut hanya dapat dicapai bila kondisi injektor dan flange dalam keadaan baik. Oleh karena itu, penting untuk meneliti hubungan antara kondisi mekanik injektor—termasuk kebocoran akibat kegagalan gasket—dengan konsumsi bahan bakar dan emisi [10].

Walaupun banyak penelitian membahas aspek teknis sistem injeksi, masih terdapat gap penelitian yang cukup besar terkait pengaruh kerusakan injektor terhadap efisiensi bahan bakar dan emisi pada kendaraan bensin harian seperti Honda Jazz 1.500 cc [6]. Sebagian besar studi berfokus pada mesin diesel industri atau eksperimen laboratorium, sementara studi eksperimental pada kendaraan komersial di Indonesia dengan bahan bakar Pertamax masih terbatas [11]. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pemahaman empiris mengenai efek kerusakan injektor dan kegagalan gasket pada konsumsi bahan bakar serta emisi gas buang kendaraan bermotor.

Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh kerusakan injektor dan kebocoran flange terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang mobil Honda Jazz 1.500 cc tahun 2010. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan dalam perawatan sistem injeksi bahan bakar serta memberikan rekomendasi untuk mengurangi dampak lingkungan akibat peningkatan emisi gas buang yang disebabkan oleh kerusakan injektor.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem injeksi bahan bakar merupakan komponen kunci dalam mesin pembakaran dalam yang mengontrol jumlah, waktu, dan pola semprotan bahan bakar ke ruang bakar — faktor-faktor yang secara langsung memengaruhi kualitas atomisasi, rasio udara-bahan bakar, efisiensi pembakaran, konsumsi bahan bakar, serta emisi gas buang. Beberapa studi eksperimental dan tinjauan komprehensif menegaskan bahwa karakteristik semprotan (ukuran droplet, sudut semburan, dan panjang penetrasi) sangat dipengaruhi oleh geometri nozzle, kondisi internal injektor (mis. deposit/fouling), dan tekanan injeksi; perubahan pada parameter-parameter ini mengubah pola pembakaran sehingga berdampak negatif pada efisiensi dan emisi. Bukti empiris dan tinjauan teori ini dijelaskan secara mendalam oleh Jiang et al. yang menunjukkan efek deposit injektor terhadap karakteristik semprotan, emisi gas dan partikel pada mesin GDI [4].

Tinjauan sistematis mengenai fouling pada injektor DISI (direct-injection spark-ignition) menekankan bahwa deposit injektor bersifat bahan-bakar-terkait dan dibentuk melalui jalur reaksi kimia berbeda (low-temperature auto-oxidation dan high-temperature pyrolysis); deposit ini dapat mengubah aliran dan sudut semprot sehingga memperbesar droplet dan penetrasi semprot, menurunkan homogenitas campuran udara-bahan bakar, serta meningkatkan emisi HC dan partikel. Hasil tinjauan ini memberikan dasar mengapa kondisi mekanik injektor harus dimonitor dan dikontrol [12].

Beberapa studi eksperimental membandingkan injektor dalam kondisi bersih dan tersumbat/terfouling, dan menemukan bahwa deposit pada ujung injektor menyebabkan perubahan nyata pada pembakaran in-cylinder, penurunan efisiensi termal, peningkatan konsumsi bahan bakar, serta kenaikan emisi (HC, CO dan partikel). Zhang et al. (2020)

melakukan pengujian fouling terakselerasi pada injektor GDI dan melaporkan bahwa pembersihan deposit mengembalikan karakteristik semprotan dan mengurangi dampak negatif pada bahan bakar dan emisi [6].

Variasi strategi injeksi (mis. pilot-main, multi-injeksi, pengaturan durasi pulsa) juga terbukti signifikan memengaruhi pembakaran dan emisi, baik pada mesin diesel maupun mesin dual-fuel. Luo et al. (2021) menunjukkan bahwa pengaturan strategi injeksi memengaruhi profil tekanan silinder, laju pelepasan kalor (heat release rate), serta emisi NOx/CO pada mesin dual-fuel; prinsip-prinsip ini relevan untuk memahami bagaimana perubahan waktu atau pola injeksi akibat kegagalan injektor atau kebocoran pada flange/gasket dapat memodifikasi proses pembakaran dan emisi [3].

Tekanan injeksi adalah variabel teknis lain yang sering dikaitkan dengan kualitas semprotan dan efisiensi pembakaran. Penelitian mengenai efek tekanan injeksi pada mesin DI menemukan bahwa peningkatan tekanan injeksi umumnya memperbaiki atomisasi dan mengurangi BSFC (brake specific fuel consumption) serta beberapa fraksi emisi, namun sistem tekanan tinggi juga lebih sensitif terhadap fenomena cavitation, keausan nozzle, dan kebocoran pada sambungan, yang dapat memicu deviasi performa [10].

Kerusakan mekanis pada sistem injeksi —misalnya keausan seal, kegagalan gasket, atau kebocoran flange—dapat menyebabkan dua jalur dampak utama: (1) kebocoran bahan bakar atau masuknya udara tidak terkendali mengubah rasio udara-bahan bakar dan tekanan saluran, sehingga mengubah durasi/pola injeksi; dan (2) kondisi kebocoran/malfungsi mempercepat pembentukan deposit pada ujung injektor atau di dalam saluran, memperburuk atomisasi. Studi-studi pemodelan dan eksperimental terkait kebocoran dan deteksi kebocoran menekankan bahwa bahkan kebocoran kecil pada skala sambungan dapat memengaruhi karakteristik aliran dan menyebabkan penurunan performa serta kenaikan emisi jika tidak ditangani [13].

Selain fouling dan kebocoran, fenomena penuaan dan keausan injektor (aging) juga mempengaruhi dinamika semprotan dan respons durasi injeksi; studi aging injektor dan simulasi numerik menunjukkan perubahan distribusi aliran dan peningkatan variabilitas antar-injektor seiring waktu operasional. Perubahan-perubahan ini berkontribusi pada penurunan efisiensi bahan bakar dan peningkatan output emisi pada kondisi operasional nyata [14].

Penelitian tentang emisi partikulat dan sifat aerosol dari mesin GDI memperlihatkan korelasi kuat antara kondisi injektor (deposit, tip fouling) dan keluaran partikel (OC/EC, partikel ultrafine). Wang et al. (2014) dan studi lanjutan menampilkan bukti bahwa kombinasi kondisi bahan bakar, desain injektor, dan strategi injeksi menentukan jumlah dan sifat partikel yang dihasilkan. Ini relevan untuk target regulasi emisi modern yang semakin ketat [6].

Dalam konteks aplikasi kendaraan harian (light-duty gasoline vehicles), literature empiris yang menguji pengaruh kerusakan injektor dan kebocoran flange secara langsung terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi operasional di lapangan relatif terbatas; sebagian besar studi menggunakan mesin uji terkontrol atau mesin referensi laboratorium. Oleh karena itu, penelitian yang menghubungkan kondisi mekanik injektor (termasuk kegagalan gasket/flange) dengan parameter konsumsi bahan bakar dan emisi di kendaraan nyata (mis. Honda Jazz 1.5 L) akan mengisi kekosongan pengetahuan ini dan memberikan nilai aplikatif untuk perawatan dan kebijakan lingkungan [1].

Ringkasnya, literatur menunjukkan empat temuan penting yang menjadi landasan penelitian ini: (1) kondisi fisik injektor (deposit, keausan) memengaruhi pola semprotan dan atomisasi sehingga berdampak pada efisiensi pembakaran dan emisi; (2) tekanan serta strategi injeksi memodulasi efek tersebut dan dapat

memperbaiki atau memperburuk dampak fouling; (3) kebocoran mekanis pada sambungan (gasket/flange) adalah sumber gangguan yang relatif kurang diteliti tetapi berpotensi besar mengubah rasio udara-bahan bakar dan distribusi injeksi; dan (4) banyak bukti laboratorium perlu dilengkapi dengan studi lapangan pada kendaraan komersial untuk mendapatkan gambaran operasional yang realistis. Temuan-temuan ini menegaskan urgensi analisis empiris terhadap pengaruh kebocoran flange akibat gagalnya gasket pada unit HCC terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang kendaraan bermotor.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu Analisis Visual dan Metode deskriptif.

Dalam perencanaan mesin ini meliputi beberapa tahapan yaitu :

Lokasi dan Waktu Pelaksanaan

Lokasi pelaksanaan penelitian Mobil Honda Jazz dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Samarinda, Jl. Cipto Mangunkusumo 75131 Kota Samarinda East Kalimantan. Waktu pelaksanaan yang di manfaatkan penulis adalah mulai dari bulan Januari 2024 sampai dengan bulan Juli 2024.

Alat dan Bahan

Alat :

1. Gelas ukur
2. Stopwatch
3. *Toolbox Set*
4. *Emission gas analyzer*
5. *Injector tester*

Bahan :

1. Pertamax

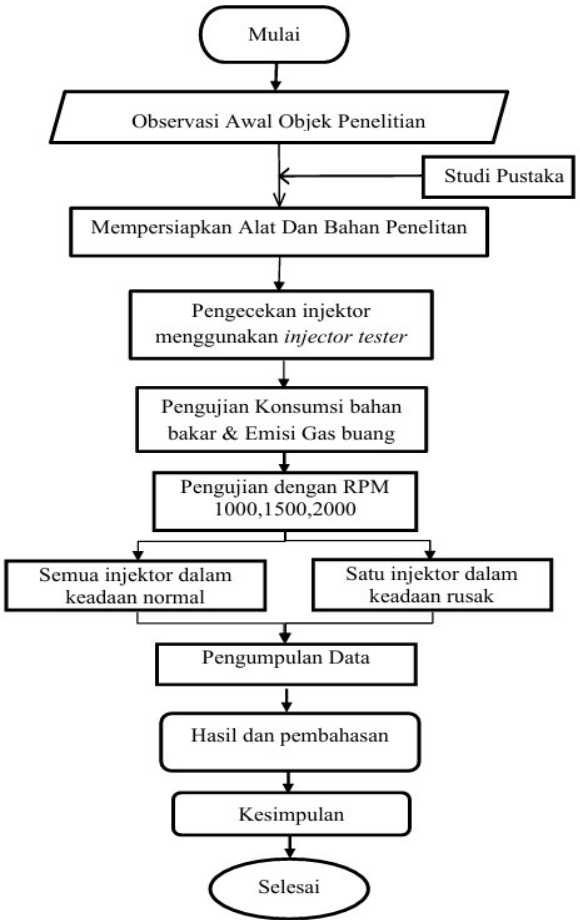
Teknik Pengambilan Data

Metode pencarian data yang akan dilakukan penulis dengan mengumpulkan data melalui beberapa tahap yang diantaranya adalah Studi Keperpustakaan (Library Research) dan Studi Lapangan (Field Research)

Langkah-Langkah Pengujian :

1. Mengisi 3 liter bahan bakar pertamax kedalam gelas ukur
2. Nyalakan mesin kendaraan dengan kecepatan tertentu (1000 rpm, 1500 rpm, dan 2000 rpm)
3. Dalam posisi menyala diamkan mesin selama 1 menit hingga stabil kemudian ukur konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang
4. Masukkan probe gas analyzer ke dalam lubang knalpot
5. Pastikan probe terpasang dengan baik dan tidak ada kebocoran
6. Tunggu hingga gas analyzer menujukan hasil pengukuran yang stabil, lalu catat hasil tersebut
7. Pengambilan data konsumsi bahan bakar dilakukan menggunakan gelas ukur, dan data akan di ambil setelah waktu yang ditentukan di capai
8. Pengujian dilakukan masing-masing 3 kali
9. Seletah itu lakukan pengecekan volume penyemprotan pada injektor
10. Siapkan injector tester
11. lepas injector pada mesin dan lakukan beberapa pengujian menggunakan injector tester
12. Setelah itu lakukan pengujian seperti Idle testing, Medium speed testing, High speed testing, Accelerating testing, Shifting speed testing, Idling spray value testing, Medium speed spray value testing, High speed spray value testing, dan Reverse flushing
13. Pengujian dilakukan masing-masing 3 kali
14. Amati volume penyemprotan dari setiap pengujian, lalu catat hasil dari masing-masing pengujian yang dilakukan

@MEKANIK 2025. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal



Gambar 1. Diagram AlirHASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan Penelitian

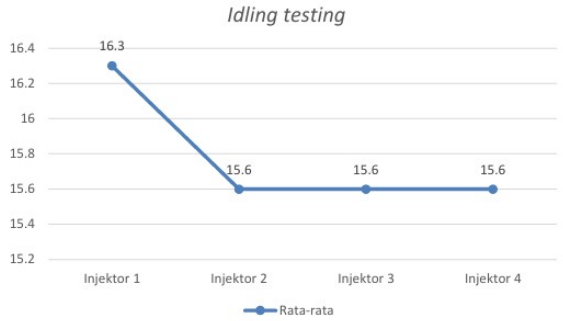
Data yang diperoleh penulis saat melakukan penelitian pada mesin Honda Jazz 1.500 CC tahun 2010 yaitu konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang dalam kondisi terjadi kerusakan pada satu injektor dengan keadaan normal menggunakan variasi putaran RPM dengan varian 1000, 1500, dan 2000, serta melakukan pengujian injektor. Penelitian ini dilakukan dengan 3 kali pengambilan data pada setiap percobaan dalam durasi pengambilan data selama 5 menit mengunakan 3000 ml pertamax pada awal penelitian, data dicatat semua hasil konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang, dan untuk pengujian injektor menggunakan waktu yang di tentukan oleh injector tester, kemudian diambil rata-rata.

Hasil pengambilan data

Data Pengukuran volume penyemprotan injector

Tabel 1. Tabel pengukuran volume Idling testing

Injektor	Waktu	Tekanan	V. Penyemprotan (ml)			Rata-rata (ml)
			Vf1	Vf2	Vf3	
1	3 menit	45 psi	12	11	26	16,3
2			16	16	15	15,6
3			16	16	15	15,6
4			16	16	15	15,6



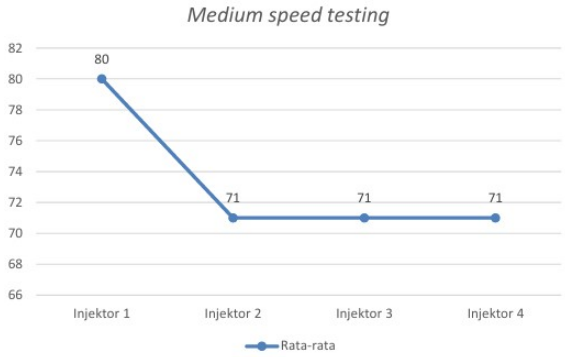
Gambar 1. Grafik hasil pengukuran volume Idling testing

Berdasarkan gambar 1 hasil pengukuran volume penyemprotan idling testing pada injektor menjukan perbedaan yang cukup signifikan terhadap injektor 1 daripada injektor lain nya, perbedaan yang cukup signifikan tersebut dapat menyebab kan ketidakstabilan mesin pada saat mobil sedang idle dikarenakan menyemprotkan volume bahan bakar yang berbeda.

Tabel 2. Tabel pengukuran volume Medium speed testing

Injektor	Waktu	Tekanan	V. Penyemprotan (ml)			Rata-rata (ml)
			Vf1	Vf2	Vf3	
1	3 menit	45 psi	92	54	94	80
2			75	74	64	71
3			75	74	64	71
4			75	74	64	71

MeKanik, Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Mesin
e-ISSN: 3046-8272, p-ISSN: 1979-0708
Vol.18, No.2 Nopember 2025
(Hal: 49-59)
Alamat Redaksi : Politeknik Negeri Samarinda, Jurusan Teknik Mesin, Jl.Ciptomangunkusumo Kampus Gg.Lipan Samarinda Kalimantan Timur

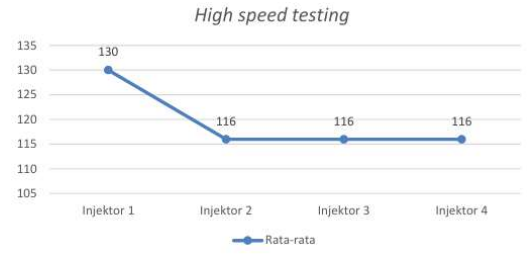


Gambar 2. Grafik hasil pengukuran volume Medium speed testing

Berdasarkan gambar 2 hasil pengukuran volume penyemprotan medium speed testing (1500 RPM) pada injektor menjukan perbedaan yang cukup signifikan terhadap injektor 1 daripada injektor lain nya, perbedaan volume bahan bakar yang di injeksikan dapat mengakibatkan ketidaknyamanan saat berkendara dengan kecepatan menengah.

Tabel 3. Tabel pengukuran volume High speed testing

Injektor	Waktu	Tekanan	V. Penyemprotan (ml)			Rata-rata (ml)
			Vf1	Vf2	Vf3	
1	3 menit	45 psi	94	124	172	130
2			118	108	122	116
3			118	108	122	116
4			118	10	122	116

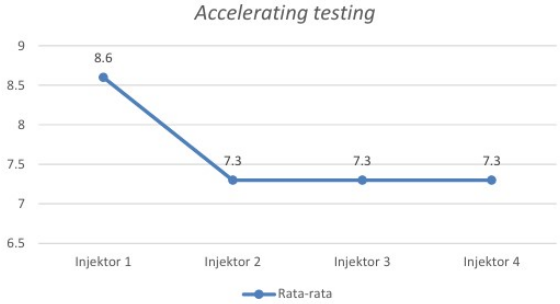


Gambar 3. Grafik hasil pengukuran volume High speed testing

Berdasarkan gambar 3 hasil pengukuran volume penyemprotan High speed testing (2000 RPM) pada injektor menjukan perbedaan yang signifikan, Pada pengujian kecepatan tinggi injektor 1 menujukan volune penyemprotan yang berbeda yang mengakibatkan konsumsi bahan bakar yang cenderung boros.

Tabel 4. Tabel pengukuran volume Accelerating testing

Injektor	Waktu	Tekanan	V. Penyemprotan (ml)			Rata-rata (ml)
			Vf1	Vf2	Vf3	
1	30 detik	45 psi	8	10	8	8,6
2			6	8	8	7,3
3			6	8	8	7,3
4			6	8	8	7,3

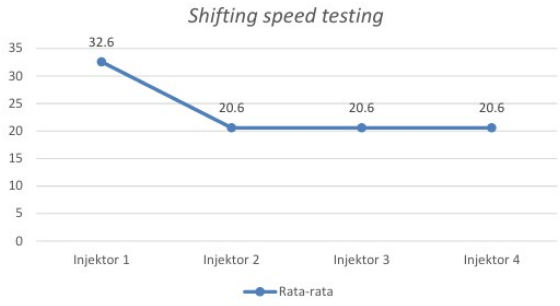


Gambar 4. Grafik hasil pengukuran volume Accelerating testing

Berdasarkan gambar 4 hasil pengukuran volume penyemprotan Accelerating testing pada injektor menjukan perbedaan terhadap injektor 1 daripada injektor lain nya, perbedaan tersebut dapat mengakibatkan konsumsi bahan bakar menjadi tinggi dikarenakan volume penyemprotan yang tidak sama rata.

Tabel 5. Tabel pengukuran volume Shifting speed testing

Injektor	Waktu	Tekanan	V. Penyemprotan (ml)			Rata-rata (ml)
			Vf1	Vf2	Vf3	
1	1 menit	45 psi	24	36	38	32,6
2			22	18	22	20,6
3			22	18	22	20,6
4			22	18	22	20,6



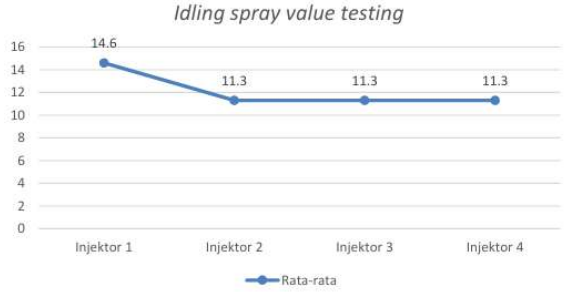
Gambar 5 Grafik hasil pengukuran volume Shifting speed testing

Berdasarkan gambar 5 hasil pengukuran volume penyemprotan Shifting speed testing pada injektor menjukan perbedaan yang cukup signifikan terhadap injektor 1 daripada injektor lain nya,

perbedaan ini mengakibatkan ketidaknyamanan pada saat merubah kecepatan dari rendah ke tinggi.

Tabel 4.6 Tabel pengukuran volume Idling spray value testing

Injektor	Waktu	Tekanan	V. Penyemprotan (ml)			Rata-rata (ml)
			Vf1	Vf2	Vf3	
1	2 menit	45 psi	10	20	14	14,6
2			10	10	12	11,3
3			10	10	12	11,3
4			10	10	12	11,3

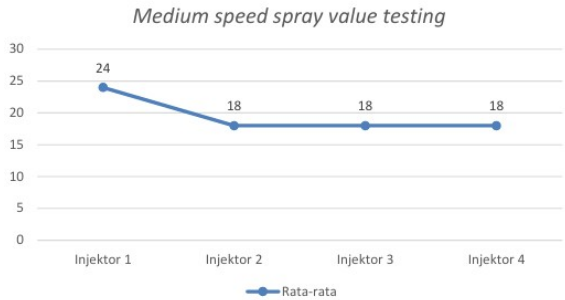


Gambar 4.6 Grafik hasil pengukuran volume Idling spray value testing

Berdasarkan gambar 6 hasil pengukuran volume penyemprotan Idling spray value pada injektor menjukan perbedaan yang signifikan terhadap injektor 1 daripada injektor lain nya, perbedaan volume tersebut dikarenakan hasil volume penyemprotan yang tidak benar membuat mesin tidak dalam keadaan yang stabil pada saat idle.

Tabel 4.7 Tabel pengukuran volume Medium speed spray value testing

Injektor	Waktu	Tekanan	V. Penyemprotan (ml)			Rata-rata (ml)
			Vf1	Vf2	Vf3	
1	40 detik	45 psi	20	34	18	24
2			20	16	18	18
3			20	16	18	18
4			20	16	18	18

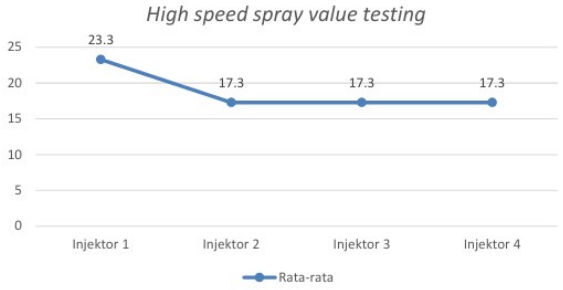


Gambar 7 Grafik hasil pengukuran volume Medium speed spray value testing

Berdasarkan gambar 7 hasil pengukuran volume penyemprotan Medium speed spray value testing (1500 RPM) pada injektor menjukan perbedaan yang signifikan terhadap injektor 1 daripada injektor lain nya, jumlah bahan bakar yang disemprotkan oleh injektor pada kecepatan menengah yang signifikan tersebut mengakibatkan konsumsi bahan bakar yang meningkat.

Tabel 8. Tabel pengukuran volume High speed spray value testing

Injektor	Waktu	Tekanan	V. Penyemprotan (ml)			Rata-rata (ml)
			Vf1	Vf2	Vf3	
1	30 detik	45 psi	18	32	20	23,3
2			18	16	18	17,3
3			18	16	18	17,3
4			18	16	18	17,3

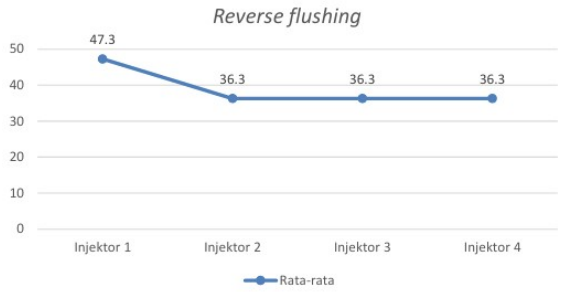


Gambar 8 Grafik hasil pengukuran volume High speed spray value testing

Berdasarkan gambar 8 hasil pengukuran volume penyemprotan High speed spray value testing (2000 RPM) pada injektor menjukan perbedaan yang signifikan terhadap injektor 1 daripada injektor lain nya, jumlah bahan bakar yang disemprotkan oleh injektor pada kecepatan tinggi mengakibatkan konsumsi bahan bakar menjadi tinggi.

Tabel 9. Tabel pengukuran volume Reverse flushing

Injektor	Waktu	Tekanan	V. Penyemprotan (ml)			Rata-rata (ml)
			Vf1	Vf2	Vf3	
1	1 menit	45 psi	62	52	28	47,3
2			39	34	36	36,3
3			39	34	36	36,3
4			39	34	36	36,3



Gambar 9. Grafik hasil pengukuran volume Reverse flushing

Berdasarkan gambar 9 hasil pengukuran volume penyemprotan Reverse flushing yaitu pengujian Untuk membersihkan, menunjukan bahwa injektor 1 menyemprotkan bahan bakar yang berbeda secara signifikan dengan yang lain nya.

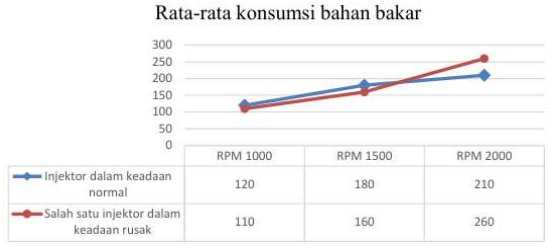
Data hasil pengujian konsumsi bahan bakar

Tabel 10. Tabel hasil pengujian konsumsi bahan bakar

Waktu	Putaran mesin (RPM)	Konsumsi bahan bakar (ml)			Rata-rata konsumsi (ml)
		vf1	vf2	vf3	
5 menit	1000	120	120	120	120
	1500	180	180	180	180
	2000	210	210	210	210

Tabel 11. Tabel hasil pengujian konsumsi bahan bakar kondisi satu injektor rusak

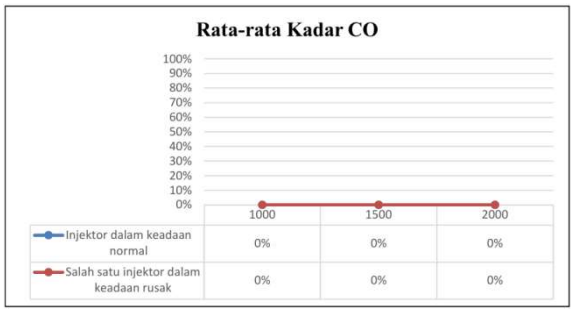
Waktu	Putaran mesin (RPM)	Konsumsi bahan bakar (ml)			Rata-rata konsumsi (ml)
		vf1	vf2	vf3	
5 menit	1000	150	90	90	110
	1500	150	150	180	160
	2000	300	240	240	260



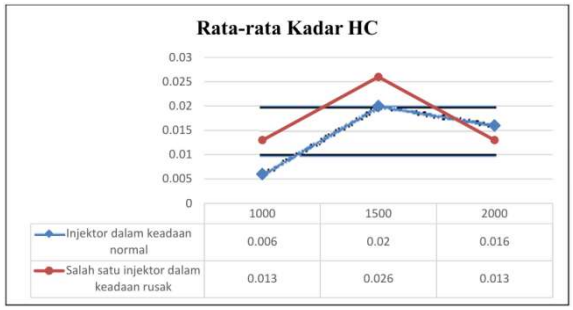
Gambar 10. Grafik Rata-rata konsumsi bahan bakar pada injektor baik dan injektor rusak

Berdasarkan gambar 10 rata-rata konsumsi bahan bakar injektor dalam keadaan normal di bandingkan dengan saat salah satu injektor keadaan rusak yang di mana pada saat RPM redah dan menengah, rata-rata konsumsi bahan bakar cenderung irit, sementara itu tiba-tiba konsumsi bahan bakar meningkat pesat pada RPM tinggi, perbedaan tersebut dikarenakan penyemprotan volume bahan bakar yang tidak sama rata, semprotan bahan bakar yang tidak memadai mengakibatkan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi, yang Dimana mengakibatkan konsumsi bahan bakar yang tidak beraturan saat RPM tinggi konsumsi bahan bakar tinggi sedangkan saat RPM rendah dan menengah Konsumsi bahan bakar rendah.

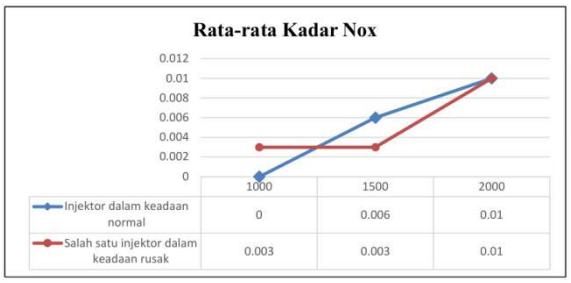
Data hasil pengujian emisi gas buang Injektor keadaan normal



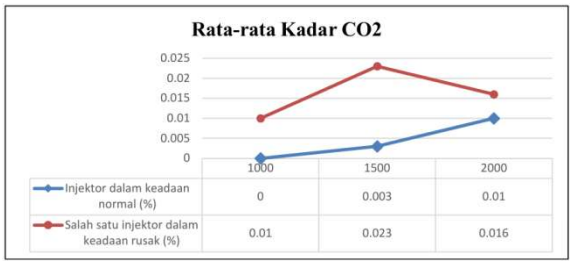
Gambar 11. Grafik Rata-rata kadar CO dari emisi gas buang



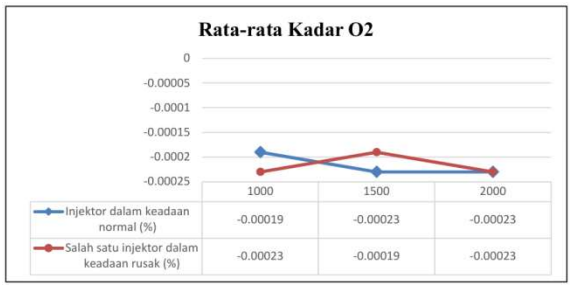
Gambar 12. Grafik Rata-rata kadar HC dari emisi gas buang



Gambar 13. Grafik Rata-rata kadar Nox dari emisi gas buang



Gambar 14. Grafik Rata-rata kadar CO2 dari emisi gas buang



Gambar 15. Grafik Rata-rata kadar O2 dari emisi gas buang

Berdasarkan grafik-grafik emisi gas buang di atas, emisi gas buang dalam injektor dalam keadaan normal pada RPM 1000 sampai RPM 2000 tidak menunjukan perbedaan yang signifikan, memasuki range standar karena nilai dari emisi gas buang di dapat tidak melibihi standar yang sudah di tentukan. Dikarenakan proses kompresi yang terjadi diruang pembakaran dengan timing yang tepat dan memberikan pembakaran yang optimal sehingga emisi yang dikeluarkan memenuhi standar, dan juga proses pembakaran yang tidak sempurna pada bahan bakar akan meningkatkan kandungan hidrokarbon (HC). Sedangkan pada emisi gas buang saat keadaan salah satu injektor rusak pada RPM 1000 sampai RPM 2000 menunjukan perbedaan yang signifikan dari pengujian sebelum nya, tetapi ini masih memasuki range standar karena nilai dari emisi gas buang di dapat tidak melibihi standar yang sudah di tentukan. Dikarenakan proses kompresi yang terjadi diruang pembakaran dengan timing yang tepat dan memberikan pembakaran yang optimal sehingga emisi yang dikeluarkan memenuhi standar, Sistem pembersihan, seperti katalis konverter, berperan dalam mengurangi emisi gas berbahaya, termasuk CO. Jika sistem ini berfungsi dengan baik, kadar CO akan mendekati nol, terdapat kadar negatif O2 yaitu dikarenakan kekurangan nya kadar tersebut pada saat proses pembakaran yang di mana menunjukan data yang negatif.

KESIMPULAN

1. Rata-rata konsumsi bahan bakar injektor dalam keadaan normal di bandingkan dengan saat salah satu injektor keadaan rusak yang di mana pada saat RPM redah dan menengah, rata-rata konsumsi bahan bakar cenderung irit, sementara itu tiba-tiba konsumsi bahan bakar meningkat pesat pada RPM tinggi.
2. Terdapat penumpukan karbon/kotoran pada injektor 1 oleh karena itu terjadi pengkabutan yang tidak sempurna

DAFTAR PUSTAKA

[1] C. Jiang *et al.*, “Effect of fuel injector deposit on spray characteristics, gaseous emissions and particulate matter in a gasoline direct injection engine,” *Appl. Energy*, vol. 203, pp. 390–402, 2017.

[2] 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,” *Appl. Energy*, vol. 132, pp. 178–191, 2014.

[3] J. Luo *et al.*, “Effects of different injection strategies on combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with dual fuel,” *Processes*, vol. 9, no. 8, p. 1300, 2021.

[4] Z. Lv, L. Wei, Q. Song, W. Huang, and Y. Gao, “Effects of pilot injector specifications on combustion and emissions of diesel-methanol dual-fuel direct injection engine,” *J. Therm. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 1, pp. 20–24, 2024.

[5] D.-X. Peng, “The effect on diesel injector wear, and exhaust emissions by using ultralow sulphur diesel blending with biofuels,” *Mater. Trans.*, vol. 56, no. 5, pp. 642–647, 2015.

[6] W. Zhang *et al.*, “Impact of injector

@MEKANIK 2025. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

tip deposits on gasoline direct injection engine combustion, fuel economy and emissions," *Appl. Energy*, vol. 262, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.APENERGY.2020.114538.

[7] A. Ferrari, S. Gurrì, and O. Vento, "Injected Fuel Mass and Flow Rate Control in Internal Combustion Engines: A Systematic Literature Review," *Energies 2024, Vol. 17, Page 6455*, vol. 17, no. 24, p. 6455, Dec. 2024, doi: 10.3390/EN17246455.

[8] J. A. González *et al.*, "Effects of Goat Manure Fertilization on Grain Nutritional Value in Two Contrasting Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Varieties Cultivated at High Altitudes," *Agron. 2023, Vol. 13, Page 918*, vol. 13, no. 3, p. 918, Mar. 2023, doi: 10.3390/AGRONOMY13030918.

[9] 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," *Appl. Energy*, vol. 132, pp. 178–191, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.06.012.

[10] A. Ferrari and A. Vassallo, "The Impact of the Common Rail Fuel Injection System on Performance and Emissions of Modern and Future Compression Ignition Engines," *Energies*, vol. 18, no. 19, p. 5259, 2025.

[11] D. Rio, B. Syaka, W. Sugita, N. Gama Yoga, and M. R. Widanarko, "The Influence of Fuel Pump Pressure Variations on the Performance of 2-Stroke Gasoline Direct Injection Engines," *J. Asiimetrik J. Ilm. Rekayasa Inov.*, vol. 6, pp. 61–68, Jan. 2024, doi: 10.35814/ASIIMETRIK.V6I1.5354.

[12] H. Xu, C. Wang, X. Ma, A. K. Sarangi, A. Weall, and J. Krueger-Venus, "Fuel injector deposits in direct-injection spark-ignition engines," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 50, pp. 63–80, Oct. 2015, doi: 10.1016/J.PECS.2015.02.002.

[13] X. Wu and R. He, "Study on leak detection model and influencing factors of vehicle fuel evaporation system," *J. Energy Resour. Technol.*, vol. 144, no. 12, p. 122103, 2022.

[14] D. Version, I. A. Effects, and D. Engine, *A Study of Injector Aging Eects on the Spray and Combustion in a Diesel Engine Document Version : Publisher ' s PDF , also known as Version of record*. 2020.