

## Rancang Bangun Alat Penguji Injektor Mobil Bensin dengan Sistem Kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*) Berbasis Mikrokontroler

Nova Agustin Yuhana<sup>1</sup>, Yusep Sukrawan<sup>2</sup>, Ibnu Mubarak<sup>3</sup>, Tatang Permana<sup>4</sup>, Afitro Adam Nugraha<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia.

<sup>2</sup>Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia.

<sup>3</sup>Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia.

<sup>4</sup>Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia.

<sup>5</sup>Teknik Otomotif, Teknik Mesin dan Industri, Politeknik Astra, Cikarang.

Email: <sup>1</sup>[novayuhanaa16@upi.edu](mailto:novayuhanaa16@upi.edu) <sup>2</sup>[yusepsukrawan@upi.edu](mailto:yusepsukrawan@upi.edu) <sup>3</sup>[barox82@upi.edu](mailto:barox82@upi.edu)  
<sup>4</sup>[permana@upi.edu](mailto:permana@upi.edu) <sup>5</sup>[afitroadam22@gmail.com](mailto:afitroadam22@gmail.com)

### ABSTRAK

Sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) pada kendaraan bensin memerlukan injektor yang bekerja secara optimal agar proses pembakaran berlangsung dengan baik. Injektor yang mengalami gangguan seperti penyumbatan, pola semprotan tidak merata, atau kebocoran dapat menyebabkan konsumsi bahan bakar meningkat, kinerja Engine menurun, dan pembakaran menjadi tidak sempurna. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat penguji injektor mobil bensin menggunakan sistem kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*) berbasis mikrokontroler. Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang meliputi tahap identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, pembuatan alat, pengujian sistem, dan analisis data. Sistem alat terdiri dari mikrokontroler, modul PWM, pompa bahan bakar, pengukur tekanan, penundaan pengatur waktu relai, serta sistem pengukuran volume bahan bakar. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kestabilan sistem kerja PWM, pola semprotan injektor, volume bahan bakar, dan kebocoran injektor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu bekerja dengan baik dan stabil pada simulasi putaran Engine 750 RPM dengan frekuensi 6 Hz, *duty cycle* 2%, tekanan bahan bakar 3,3 bar, dan waktu pengujian 40 detik. Volume bahan bakar yang dihasilkan pada setiap pengujian menunjukkan hasil yang sama yaitu sebesar 80 ml. Hasil pengujian pola semprotan menunjukkan bentuk kabut bahan bakar yang halus dan merata, sedangkan pada pengujian kebocoran tidak ditemukan tetesan bahan bakar pada nozzle injektor. Berdasarkan hasil penelitian, alat penguji injektor berbasis mikrokontroler dengan sistem kontrol PWM dapat digunakan sebagai media pengujian injektor mobil bensin secara efektif dan stabil.

**Kata kunci:** Injektor, *Electronic Fuel Injection* (EFI), PWM, Mikrokontroler, Pengujian Injektor

## A. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomotif pada kendaraan bermotor mengalami peningkatan yang sangat pesat, khususnya pada sistem bahan bakar kendaraan bensin. Sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) merupakan sistem bahan bakar modern yang menggunakan kontrol elektronik untuk mengatur suplai bahan bakar ke Engine secara presisi sehingga proses pembakaran menjadi lebih optimal, efisien dan ramah lingkungan dibandingkan sistem karburator konvensional (Aird, n.d., 2001). Sistem EFI bekerja dengan memanfaatkan *Electronic Control Unit* (ECU) dan berbagai sensor untuk mengatur jumlah serta waktu penyemprotan bahan bakar sesuai kebutuhan kerja Engine (Budiman et al., 2021). Selain itu, teknologi EFI mampu meningkatkan efisiensi bahan bakar, kinerja Engine, serta menjaga kestabilan kerja kendaraan pada berbagai kondisi operasional (Yoga, 2024). Pemahaman mengenai komponen, fungsi, cara kerja, pemeriksaan, dan perawatan sistem injeksi menjadi bagian penting dalam mendukung pengoperasian dan pemeliharaan sistem EFI secara optimal (Pambudi & Ashari, 2021)

Salah satu komponen utama pada sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) adalah injektor bahan bakar yang berfungsi menyemprotkan bahan bakar ke ruang bakar dalam bentuk kabut halus agar mudah bercampur dengan udara sehingga proses pembakaran dapat berlangsung secara optimal (Heywood, 1988). Seiring bertambahnya penggunaan kendaraan bermotor, injektor dapat mengalami penurunan kinerja akibat pemakaian yang terus-menerus. Gangguan seperti nozzle kotor, penyumbatan, pola semprotan yang tidak merata, dan kebocoran injektor dapat menyebabkan proses pembakaran menjadi tidak sempurna sehingga mengakibatkan penurunan tenaga Engine, peningkatan konsumsi bahan bakar, serta peningkatan emisi gas buang kendaraan (Toyota Astra, 2026). Maka dari itu diperlukan pengujian dan perawatan injektor secara berkala untuk memastikan kondisi kerja injektor tetap optimal (Yusuf et al., 2023). Dalam konteks pengujian sistem bahan bakar kendaraan, diperlukan alat yang mampu digunakan untuk membantu proses pemeriksaan kondisi injektor secara lebih mudah dan efektif sehingga kondisi pola semprotan, volume bahan bakar, dan kebocoran injektor dapat diketahui dengan lebih jelas (Fajar maulana, Supriadi, 2023). Proses perancangan dan pembuatan alat penguji injektor dilakukan melalui tahapan perancangan sistem, perakitan komponen, dan pengujian kerja alat sehingga alat dapat digunakan sesuai fungsi yang direncanakan (Kusuma, 2023).

Metode yang dapat digunakan untuk mengontrol kerja injektor adalah *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM merupakan metode pengaturan sinyal digital yang digunakan untuk menghasilkan keluaran menyerupai sinyal analog melalui pengaturan lebar pulsa (*pulse width*) dalam satu periode tertentu (Lubis & Yanie, 2022). PWM banyak digunakan pada bidang elektronika dan otomotif karena mampu mengontrol kerja perangkat elektronik secara efisien, stabil, dan presisi (Ramadhan & Apriaskar, 2021). Pada penelitian ini, sistem PWM menggunakan modul ZK-PP1K sebagai pembangkit sinyal PWM karena memiliki pengaturan frekuensi dan *duty cycle* yang stabil serta dilengkapi tampilan digital yang mempermudah pengoperasian.

Mikrokontroler merupakan sistem komputer berukuran kecil yang terintegrasi dalam satu chip dan terdiri atas prosesor (*Central Processing Unit*), memori, serta pin

*input/output ( I/O )* (Pratama et al., 2021) Mikrokontroler banyak digunakan untuk mengontrol perangkat elektronik secara otomatis karena memiliki ukuran yang ringkas, konsumsi daya rendah, dan mudah diprogram sesuai kebutuhan sistem (Santoso & Sudarto, 2023). Pada penelitian ini, mikrokontroler digunakan sebagai sistem pengontrol tambahan pada alat penguji injektor mobil bensin yang berfungsi mengatur waktu pengujian, mengontrol relay, dan mengendalikan sistem kelistrikan alat

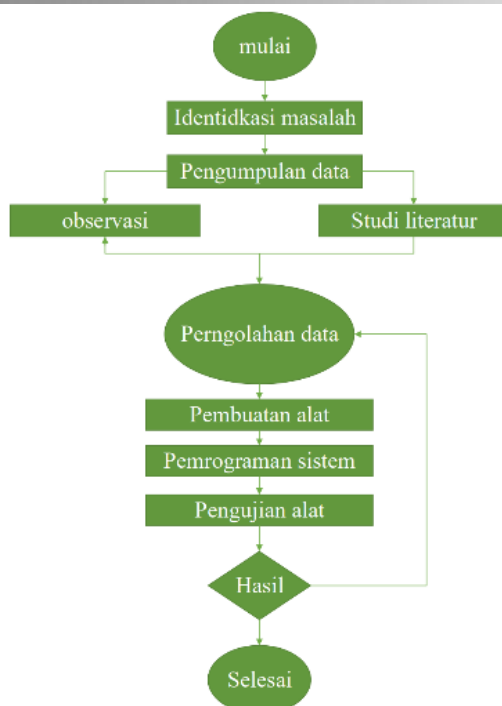
Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu alat penguji injektor yang mampu digunakan untuk mengetahui kondisi kerja injektor secara lebih mudah, efektif, dan akurat. Pada penelitian ini dirancang alat penguji injektor mobil bensin menggunakan sistem kontrol *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan modul ZK-PP1K sebagai pembangkit sinyal PWM untuk mengontrol kerja injektor melalui pengaturan frekuensi dan *duty cycle* . Alat ini dirancang untuk membantu proses pengujian pola semprotan, volume bahan bakar, dan kebocoran injektor sehingga kondisi kerja injektor dapat diketahui dengan lebih baik. Selain itu, alat dirancang agar mudah dioperasikan, memiliki biaya pembuatan yang lebih ekonomis, serta dapat digunakan sebagai media praktik dan pembelajaran pada bidang teknik otomotif.

## B. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian dan pengembangan *Research and Development*. Menurut Sugiyono (2019, hlm. 297), “penelitian dan pengembangan merupakan metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan produk tersebut.” Penelitian rancang bangun dalam penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat penguji injektor mobil bensin dengan sistem kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*) berbasis mikrokontroler. Penelitian dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat dalam melakukan pengujian pola semprotan, volume bahan bakar, dan kebocoran injektor pada sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI).

Lokasi pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan di laboratorium teknik otomotif dan bengkel praktik otomotif, SMKN 1 Cirebon. yang mendukung proses perancangan, perakitan, dan pengujian alat. Objek dalam penelitian ini yaitu *injektor kendaraan bensin system Electronic Fuel Injection (EFI)*. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu menguji kerja injektor menggunakan sistem kontrol PWM berbasis mikrokontroler terhadap pola semprotan, volume bahan bakar, dan kebocoran injektor

### Tahapan Penelitian



Gambar 1. Tahapan Penelitian

### 1. Tahap Identifikasi Masalah

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan yang berkaitan dengan pengujian dan pembersihan injektor pada kendaraan bensin. Permasalahan yang ditemukan meliputi keterbatasan media praktik, tingginya biaya alat komersial, serta kebutuhan akan alat yang mampu menguji injektor secara efektif untuk mendukung proses pembelajaran dan pemeliharaan sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI).

### 2. Tahap Pengumpulan Data

Setelah masalah teridentifikasi, dilakukan pengumpulan data sebagai dasar dalam proses perancangan alat. Pengumpulan data dilakukan melalui dua metode, yaitu:

- **observasi**, yaitu pengamatan langsung terhadap kondisi pembelajaran praktik sistem EFI, penggunaan alat penguji injektor yang tersedia, serta kebutuhan pengguna terhadap alat yang akan dikembangkan.
- **Studi Literatur**, yaitu pengkajian berbagai sumber ilmiah seperti buku, jurnal, artikel penelitian, dan dokumen teknis yang berkaitan dengan sistem EFI, injektor bahan bakar, mikrokontroler, *Pulse Width Modulation* (PWM).

### 3. Tahap Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari observasi dan studi literatur kemudian dianalisis untuk menentukan kebutuhan sistem serta spesifikasi alat yang akan dikembangkan. Pada tahap ini dilakukan penentuan desain alat, pemilihan komponen elektronik dan mekanik, perancangan sistem kontrol PWM.

### 4. Tahap Pembuatan Alat

proses pembuatan alat yang meliputi perakitan rangkaian elektronik, pemasangan mikrokontroler, pompa bahan bakar, regulator tekanan, injector rail, dan komponen pendukung lainnya. Tahap ini bertujuan menghasilkan prototipe alat sesuai dengan

rancangan yang telah dibuat.

#### 5. Tahap Pemrograman Sistem

Setelah proses perakitan selesai, dilakukan pemrograman mikrokontroler untuk mengendalikan seluruh fungsi alat. Program dirancang untuk mengatur parameter pengujian injektor, menghasilkan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM), mengontrol waktu kerja injektor.

#### 6. Tahap Pengujian Alat

Tahap berikutnya adalah pengujian alat untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dikembangkan. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan alat pada berbagai kondisi kerja guna mengevaluasi fungsi kontrol PWM, kestabilan sistem, pola semprotan injektor, debit bahan bakar.

#### 7. Hasil (evaluasi)

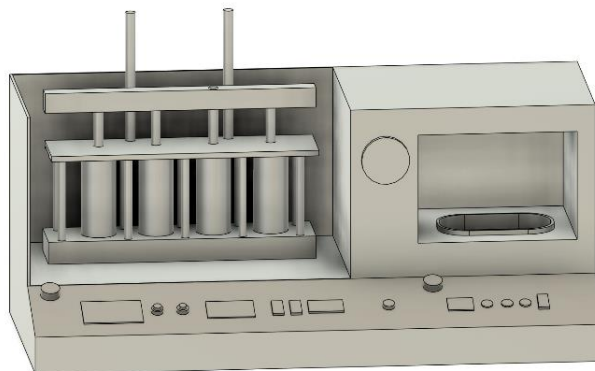
Hasil pengujian kemudian dianalisis dan dievaluasi untuk mengetahui tingkat keberhasilan alat dalam memenuhi tujuan penelitian. Apabila ditemukan kekurangan atau hasil pengujian belum sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan, maka dilakukan perbaikan pada tahap pengolahan data, desain alat, maupun pemrograman sistem hingga diperoleh kinerja yang optimal.

#### 8. Selesai

Tahap akhir menunjukkan bahwa alat penguji dan pembersih injektor yang dikembangkan telah berfungsi sesuai dengan spesifikasi dan tujuan penelitian. Hasil penelitian selanjutnya didokumentasikan dalam bentuk laporan ilmiah serta dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran praktik sistem EFI maupun sebagai alat pendukung pemeliharaan injektor kendaraan bensin.

### C. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### Pembuatan Desain 3D



Gambar 2. Pembuatan Desain 3D

Pembuatan desain 3D dilakukan sebagai tahap awal dalam proses visualisasi dan perancangan alat penguji injektor mobil bensin berbasis mikrokontroler. Desain 3D bertujuan untuk memberikan gambaran bentuk alat secara keseluruhan sebelum proses pembuatan dan perakitan dilakukan.

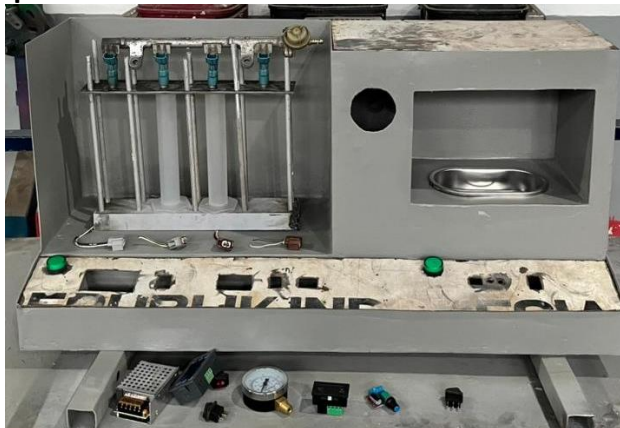
#### Pembuatan Rangka



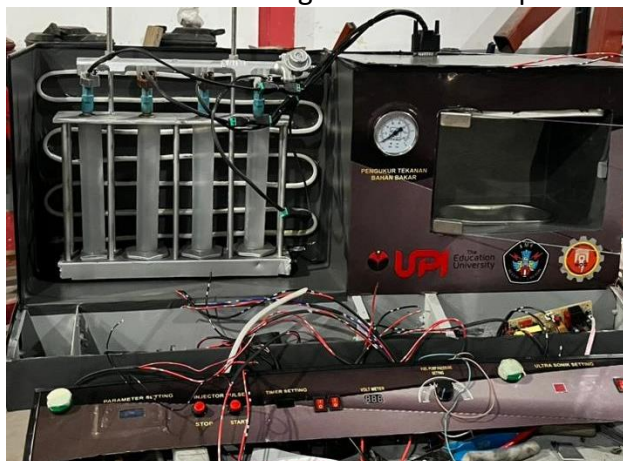
Gambar 3. Pembuatan Rangka

Pembuatan rangka alat dilakukan setelah proses desain 3D selesai dibuat. Rangka alat berfungsi sebagai penopang utama seluruh komponen pada alat pengujian injektor mobil bensin berbasis mikrokontroler. Pembuatan rangka dilakukan agar seluruh komponen dapat terpasang dengan baik, aman, dan tersusun secara rapi sehingga mempermudah proses pengoperasian serta pengujian alat

#### Pemasangan Seluruh Komponen

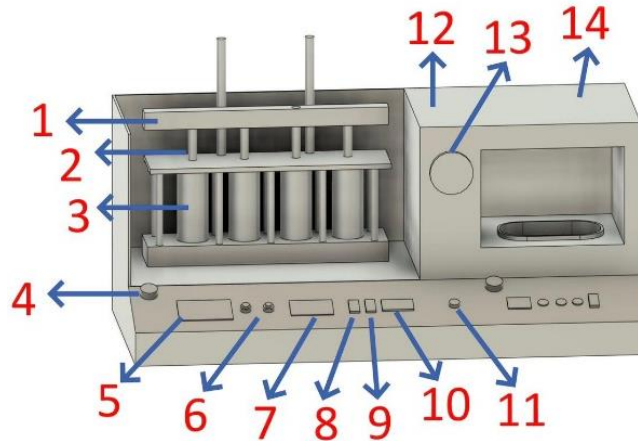


Gambar 4. Pemasangan Seluruh Komponen



Gambar 5. Pemasangan Seluruh Komponen

Proses pemasangan dimulai dengan pemasangan komponen elektronik pada panel kontrol alat. Komponen yang dipasang meliputi mikrokontroler, modul PWM, relay timer delay, saklar pengoperasian, dan *power supply*. Mikrokontroler dipasang sebagai pusat pengontrol sistem yang berfungsi menghasilkan sinyal PWM untuk mengontrol kerja injektor.

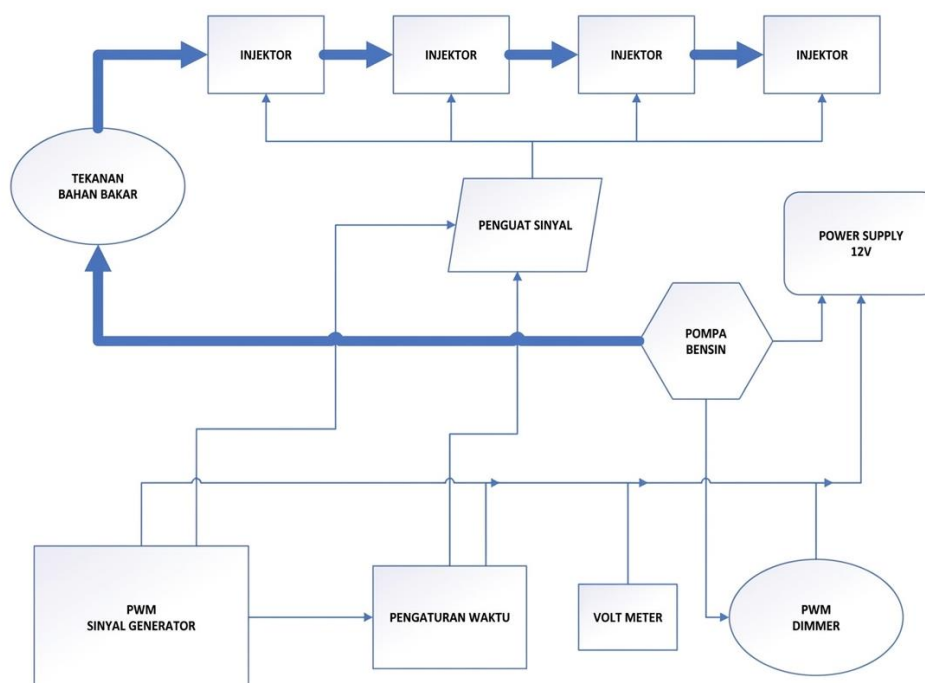


Gambar 6. Pemasangan Seluruh Komponen

1. Pipa nozzle injector 4 lubang  
Berfungsi sebagai tempat pemasangan injector dan jalur keluarnya bahan bakar menuju gelas takar.
2. Injector mobil bensin Toyota 4 buah  
Berfungsi untuk menyembrotkan bahan bakar dalam bentuk kabut serta sebagai objek pengujian injector.
3. Lampu indikator  
Berfungsi sebagai penanda bahwa sistem atau komponen alat sedang aktif dan bekerja.
4. Gelas takar ukuran 100 ml  
Berfungsi untuk mengukur volume hasil semprotan bahan bakar dari masing-masing injector.
5. PWM generator sinyal digital pulsa  
Berfungsi menghasilkan sinyal pulsa elektronik untuk mengatur buka-tutup injector secara otomatis.
6. *Push button start* dan *off* PWM  
Berfungsi untuk mengaktifkan dan menghentikan kerja PWM generator secara manual.
7. Timer delay relay digital  
Berfungsi untuk mengatur durasi atau waktu kerja pengujian injector secara otomatis.
8. Saklar ON/OFF semua komponen  
Berfungsi untuk menghubungkan dan memutus seluruh aliran listrik pada sistem alat.

9. Saklar ON/OFF *fuel pump*  
Berfungsi untuk mengontrol kerja pompa bensin secara terpisah.
10. Voltmeter  
Berfungsi untuk mengukur dan menampilkan tegangan listrik pada sistem alat.
11. PWM dimmer / motor control kecepatan  
Berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran dan tekanan kerja fuel pump.
12. Pompa bensin / *fuel pump*  
Berfungsi untuk memompa bahan bakar menuju injector dengan tekanan tertentu.
13. Pengukur tekanan (pressure gauge)  
Berfungsi untuk mengukur tekanan bahan bakar pada sistem injector.
14. Power supply 20 ampere  
Berfungsi untuk menyuplai arus listrik ke seluruh komponen system

### Diagram Sistem Kerja



Gambar 7. Diagram Sistem Kerja

Diagram sistem kerja alat pengujian injektor mobil bensin menunjukkan hubungan antara sistem kelistrikan, sistem kontrol PWM, dan sistem aliran bahan bakar selama proses pengujian berlangsung. Sistem diawali dari *power supply* 12 volt yang menyuplai tegangan ke pompa bensin, *generator sinyal PWM*, dan komponen kontrol lainnya. Pompa bensin berfungsi menghasilkan tekanan bahan bakar dan menyalurkannya menuju injektor, sedangkan *PWM signal generator* menghasilkan sinyal PWM berdasarkan pengaturan frekuensi dan *duty cycle* yang kemudian diperkuat oleh penguat sinyal (*driver injector*) sebelum dibiarkan ke injektor agar proses buka dan



Frekuensi PWM merupakan jumlah pulsa yang dihasilkan dalam satu detik dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F = 1 / T$$

Keterangan:

F = Frekuensi (Hz)

T = Periode sinyal (detik)

Semakin besar nilai frekuensi, maka jumlah pulsa yang dihasilkan semakin banyak sehingga injektor bekerja lebih cepat. Sebaliknya, frekuensi yang kecil menghasilkan jumlah pulsa lebih sedikit sehingga kerja injektor menjadi lebih lambat. Pengaturan frekuensi pada sistem PWM digunakan untuk mengontrol kecepatan kerja perangkat elektronik secara stabil dan presisi (Ramadhan dkk., 2021).

*Duty cycle* merupakan perbandingan antara waktu aktif sinyal PWM (ON) dengan total periode sinyal PWM. Hubungan tersebut dapat dijelaskan melalui persamaan berikut:

$$\text{Siklus Kerja} = (T_{on} / (T_{on} + T_{off})) \times 100\%$$

Keterangan:

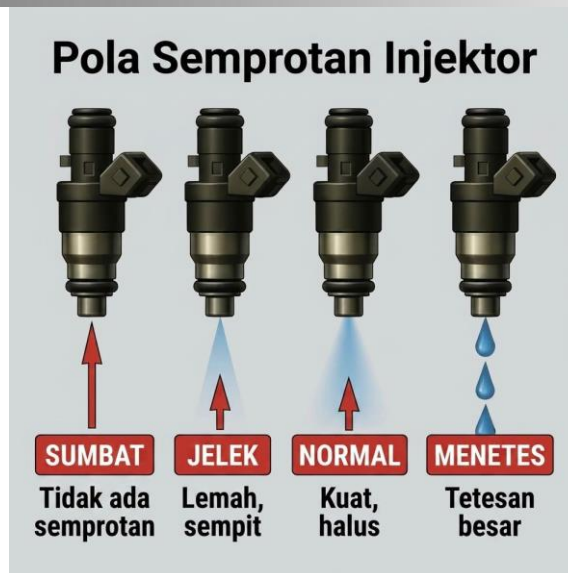
Ton = waktu sinyal aktif (ON)

Toff = waktu sinyal tidak aktif (OFF)

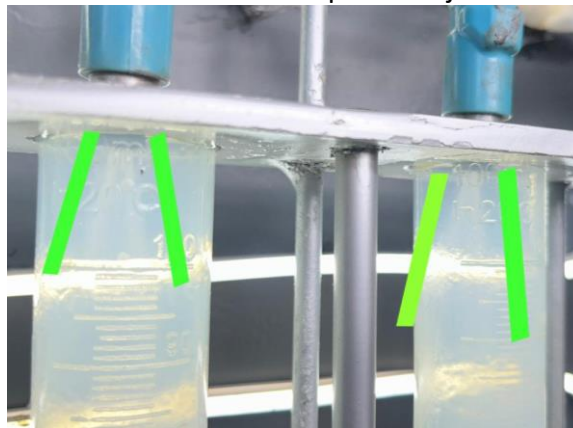
Semakin besar nilai *duty cycle*, maka waktu pembukaan injektor semakin lama sehingga volume bahan bakar yang disemprotkan menjadi lebih banyak. Sebaliknya, *duty cycle* yang kecil menyebabkan waktu pembukaan injektor lebih singkat sehingga jumlah bahan bakar yang keluar lebih sedikit. Pengaturan *duty cycle* digunakan untuk mengontrol besar kecilnya keluaran kerja sistem elektronik sesuai kebutuhan pengoperasian alat (Lubis & Yanie, 2022).

Pada penelitian ini digunakan pengaturan frekuensi sebesar 6 Hz dan *duty cycle* sebesar 2% untuk mencatat kondisi putaran Engine sekitar 750 RPM (*idle*). Pengaturan tersebut menghasilkan waktu pembukaan injektor yang singkat sehingga volume bahan bakar sesuai dengan kebutuhan Engine pada kondisi langsam. Sistem kerja dimulai ketika modul menghasilkan sinyal PWM sesuai parameter yang telah diatur, kemudian sinyal diteruskan menuju injektor untuk mengontrol proses buka dan tutup injektor secara berulang selama pengujian berlangsung. Penggunaan alat penguji injektor bertujuan untuk mengetahui kondisi kerja injektor melalui pengamatan pola semprotan dan volume bahan bakar yang dihasilkan (Yusuf et al., 2023).

### Pengujian Pola Semprotan



Gambar 9. Pola Semprotan Injektor



Gambar 10. Pengujian Pola Semprotan Injektor

Pengujian pola semprotan injektor dilakukan untuk mengetahui kualitas penyemprotan bahan bakar yang dihasilkan injektor melalui pengamatan visual terhadap bentuk dan penyebaran bahan bakar yang keluar dari nozzle injektor selama proses pengujian berlangsung. Pola semprotan yang baik ditandai dengan bentuk kabut bahan bakar yang halus, merata, dan stabil, yang menunjukkan bahwa injektor masih mampu bekerja dengan baik dalam mengabutkan bahan bakar sebelum masuk ke ruang pembakaran. Injektor berfungsi mengubah bahan bakar cair menjadi partikel halus agar proses pencampuran udara dan bahan bakar berlangsung optimal (Heywood, 1988).

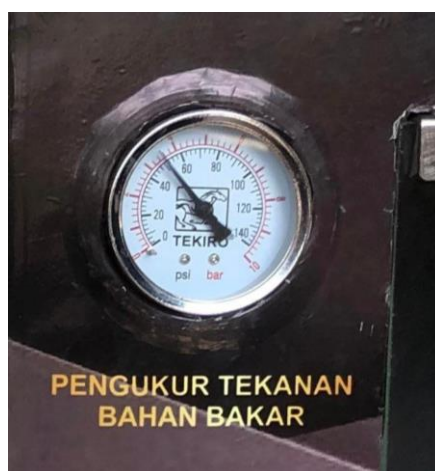
No.	Hasil Pengamatan	Kondisi Injektor
1.	Semprotan berbentuk kabut halus dan merata	Baik
2.	Penyebaran bahan bakar stabil	Baik
3.	Tidak terdapat percikan bahan bakar berlebih	Baik
4.	Tidak terjadi tetesan bahan bakar saat penyemprotan	Baik

Berdasarkan hasil pengujian, injektor menghasilkan pola semprotan yang merata dan berbentuk kabut halus selama proses pengujian berlangsung. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses atomisasi bahan bakar berjalan dengan baik sehingga pencampuran udara dan bahan bakar dapat berlangsung secara optimal. Selain itu, tidak ditemukan percikan berlebihan maupun tetesan bahan bakar pada nozzle injektor, yang menandakan bahwa injektor masih dalam kondisi baik dan tidak mengalami penyumbatan. Proses perancangan alat penguji injektor dilakukan untuk membantu pengamatan kondisi pola semprotan dan kerja injektor secara lebih jelas (Kusuma, 2023).

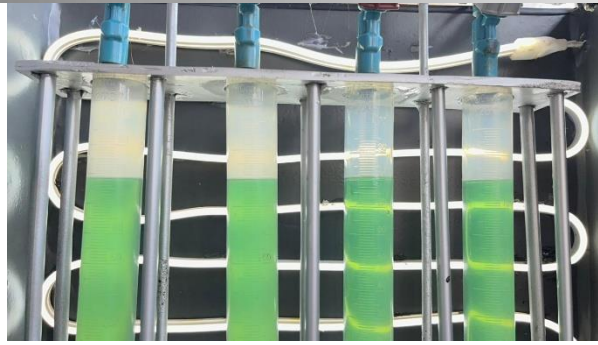
### Pengujian Kondisi Simulasi Putaran Engine



Gambar 11. Pengujian Simulasi Putaran Engine



Gambar 12. Pengujian Simulasi Putaran Engine



Gambar 13. Pengujian Simulasi Putaran Engine

Pada pengujian ini digunakan kondisi simulasi putaran Engine *idle* sebesar 750 RPM. Kondisi *idle* dipilih karena pada putaran rendah injektor bekerja dengan durasi penyemprotan yang singkat sehingga kestabilan sinyal PWM dan tekanan bahan bakar sangat mempengaruhi hasil semprotan. Pengaturan PWM digunakan untuk menghasilkan kontrol kerja perangkat elektronik yang stabil sesuai parameter yang diinginkan (Ramadhan & Apriaskar, 2021). Pengujian dilakukan sebanyak empat kali untuk mengetahui kestabilan sistem kerja dan konsistensi hasil penyemprotan injektor.

No	RPM	Freq	Duty Cycle	Tekanan (bar)	Durasi Waktu	Jumlah bahan bakar	Keterangan
1	750	6 Hz	2%	3,3	40 detik	80,80,80,80ml	Stabil

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh percobaan menghasilkan volume bahan bakar yang sama yaitu sebesar 80 mL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa alat pengujian injektor mampu bekerja secara stabil dan konsisten selama proses pengujian berlangsung. Pengaturan frekuensi PWM sebesar 6 Hz dan *duty cycle* sebesar 2% digunakan untuk memutar kondisi Engine *idle* 750 RPM sehingga injektor bekerja dengan durasi pembukaan yang singkat dan menghasilkan volume bahan bakar yang lebih sedikit. Selain itu, tekanan bahan bakar sebesar 3,3 bar mampu menjaga aliran bahan bakar tetap stabil selama pengujian berlangsung. Hasil pengamatan juga menunjukkan pola semprotan bahan bakar yang merata dan halus, yang menandakan bahwa injektor masih dalam kondisi baik dan tidak mengalami penyumbatan. Kesamaan hasil pada setiap pengujian menunjukkan bahwa frekuensi PWM, *duty cycle*, tekanan bahan bakar, dan sistem kontrol alat mampu bekerja dengan baik sesuai desain. Proses perancangan dan pengujian alat dilakukan untuk menghasilkan alat pengujian injektor yang mampu bekerja secara stabil dan sesuai fungsi yang direncanakan (Kusuma, 2023).

## Pembahasan

Hasil penelitian perancangan dan pembuatan, alat pengujian injektor mobil bensin dengan sistem kontrol *PulseWidth Modulation* (PWM) berbasis mikrokontroler berhasil dirancang sesuai dengan sistem kerja yang telah direncanakan. Alat tersebut mampu digunakan untuk melakukan pengujian pola semprotan, pengukuran volume bahan bakar, serta pengukuran kebocoran injektor pada sistem *Electronic Fuel Injection*

(EFI). Sistem kontrol PWM yang digunakan mampu mengatur kerja injektor melalui pengaturan frekuensi dan *duty cycle* secara stabil sehingga proses pengujian dapat berjalan dengan baik. Penggunaan PWM memungkinkan pengaturan lebar pulsa yang bervariasi untuk mengendalikan sistem keluaran secara presisi dan stabil (Ramadhan & Apriaskar, 2021)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat bekerja secara stabil pada kondisi simulasi putaran Engine 750 RPM dengan pengaturan frekuensi 6 Hz, *duty cycle* 2%, tekanan bahan bakar 3,3 bar, dan waktu pengujian selama 40 detik. Pada setiap pengujian diperoleh volume bahan bakar yang sama yaitu sebesar 80 mL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem kontrol PWM, tekanan bahan bakar, dan sistem kerja alat mampu bekerja secara konsisten sesuai parameter yang telah ditentukan sehingga alat dapat bekerja dengan stabil dan akurat. Konsistensi hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pengujian injektor mampu bekerja dengan baik dan menghasilkan penyemprotan yang stabil (Yusuf et al., 2023)

Selain itu, hasil pengujian pola semprotan menunjukkan bahwa injektor menghasilkan semprotan berbentuk kabut halus dan merata tanpa adanya penghalang pada nozzle injektor. Hasil pengujian kebocoran juga menunjukkan bahwa tidak terdapat tetesan bahan bakar pada nozzle injektor saat injektor berada pada kondisi tertutup. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian tersebut, alat penguji injektor berbasis mikrokontroler dengan sistem kontrol PWM dapat digunakan sebagai media pengujian injektor mobil bensin yang efektif, stabil, mudah dioperasikan, serta dapat dimanfaatkan sebagai media praktik pembelajaran pada bidang teknik otomotif. Pola semprotan yang baik diperlukan untuk menghasilkan atomisasi bahan bakar yang optimal sehingga proses pencampuran udara dan bahan bakar berlangsung lebih homogen (Heywood, 1988). Injektor yang baik juga harus mampu menghasilkan semprotan yang merata, volume bahan bakar yang presisi, dan tidak mengalami kebocoran saat tidak beroperasi (Toyota Astra, 2026).

#### D. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa alat penguji injektor mobil bensin dengan sistem kontrol *Pulse Wide Modulation* (PWM) berbasis mikrokontroler berhasil dirancang dan dibuat sesuai dengan tujuan penelitian. Alat yang dikembangkan mampu digunakan untuk melakukan pengujian pola semprotan, volume bahan bakar, dan kebocoran injektor pada sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI). Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat bekerja secara stabil dengan menghasilkan volume bahan bakar yang konsisten serta mampu mengidentifikasi kondisi pola semprotan dan kebocoran injektor dengan baik. Dengan demikian, alat yang dirancang dinyatakan layak digunakan sebagai media pengujian injektor dan dapat dimanfaatkan sebagai sarana praktik maupun pembelajaran pada bidang teknik otomotif. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan agar alat dilengkapi dengan pengaturan simulasi berbagai putaran mesin serta sistem pencatatan data digital guna meningkatkan fungsi dan kemudahan penggunaan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

