JPTV (Jurnal Pendidikan Teknik dan Vokasional)
Volume 9, Nomor 1, Juni 2026, Halaman 70-79
p-ISSN: 2502-1605, e-ISSN: 2620-3065
doi: http://doi.org/10.21009/JPTV.9.1.70

Pengembangan Dan Evaluasi Simulator Sistem Pgm-Fi Berbasis Arduino Sebagai Media Pembelajaran Praktik Di Training Center

Zha Zha Oktaviana Dela Putri[1*)], Darwin Rio Budi Syaka[2], Muhammad Yusro[2]

[1]Program Studi Magister Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta Timur, 13220, Indonesia
[2]Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta Timur, 13220, Indonesia
[*)] E-mail: zhazhaoktavianadputri@gmail.com

Abstrak: Perkembangan sistem Programmed Fuel Injection (PGM-FI) menuntut media praktik yang mampu menampilkan hubungan sensor, pengendali, dan aktuator secara nyata. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi simulator sistem PGM-FI berbasis Arduino sebagai media pembelajaran praktik di Training Center PT Wahana Makmur Sejati Jatake. Penelitian menggunakan metode research and development dengan model ADDIE dan pendekatan mixed methods. Tahapan penelitian mencakup analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Produk diuji oleh tiga validator ahli dan diimplementasikan kepada 30 peserta pelatihan melalui desain one-group pretest-posttest. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, validasi ahli, uji fungsional, tes hasil belajar, serta angket respons pengguna. Analisis meliputi persentase kelayakan, Cronbach's Alpha, paired sample t-test, Normalized Gain, dan Cohen's d. Hasil validasi menunjukkan skor 88,5% pada aspek media, 91,0% pada aspek materi, dan 86,0% pada desain instruksional. Reliabilitas instrumen mencapai 0,842. Nilai rata-rata peserta meningkat dari 58,33 menjadi 84,67. Uji t menghasilkan t = -15,821, df = 29, dan p = 0,000. Rata-rata N-Gain sebesar 0,66 dengan Cohen's d sebesar 2,01. Respons pengguna mencapai 87,8%. Temuan menunjukkan simulator sangat layak, efektif, aman, interaktif, dan dapat mendukung latihan diagnosis serta troubleshooting sistem PGM-FI tanpa menggunakan bahan bakar nyata.
Kata kunci: Arduino, media pembelajaran, PGM-FI, simulator, training center

Development and Evaluation of an Arduino-Based PGM-FI System Simulator as a Practical Learning Medium at a Training Center

Abstract: *The Programmed Fuel Injection (PGM-FI) system requires practical learning media that can clearly display the relationship among sensors, controllers, and actuators. This study aimed to develop and evaluate an Arduino-based PGM-FI system simulator as a practical learning medium at the Training Center of PT Wahana Makmur Sejati Jatake. The study applied a research and development method using the ADDIE model and a mixed-methods approach. The stages included needs analysis, design, development, implementation, and evaluation. Three experts validated the product, and 30 trainees used it in a one-group pretest-posttest design. Data were collected through observation, interviews, expert validation, functional testing, learning achievement tests, and user-response questionnaires. The analyses included feasibility percentages, Cronbach's Alpha, paired sample t-test, Normalized Gain, and Cohen's d. The validation scores were 88.5% for media, 91.0% for content, and 86.0% for instructional design. Instrument reliability reached 0.842. The participants' mean score increased from 58.33 to 84.67. The paired sample t-test produced t = -15.821, df = 29, and p = 0.000. The average N-Gain was 0.66, while Cohen's d was 2.01. User responses reached 87.8%. These findings indicate that the simulator is highly feasible, effective,*

safe, and interactive. It supports diagnostic and troubleshooting practice for the PGM-FI system without using actual fuel.
Keywords: *Arduino, learning media, PGM-FI, simulator, training center*

PENDAHULUAN

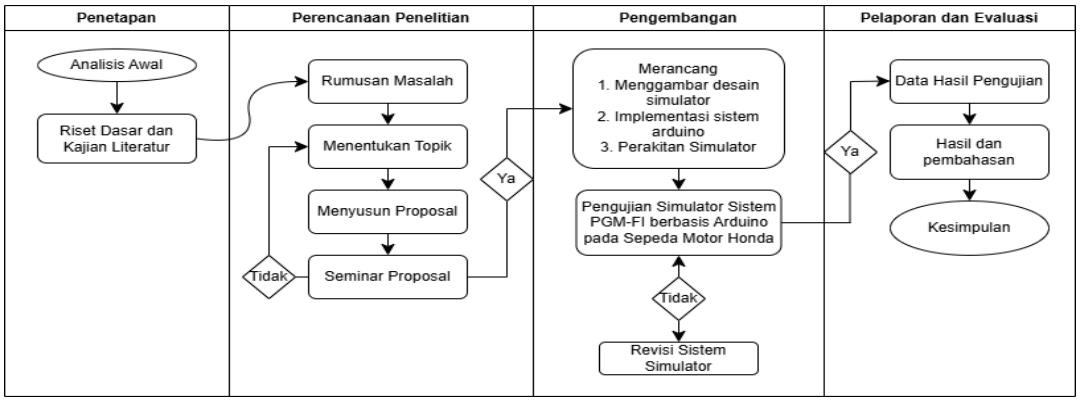
Perkembangan teknologi otomotif mendorong penggunaan sistem bahan bakar yang semakin presisi. Pada sepeda motor Honda, sistem Electronic Fuel Injection dikenal sebagai Programmed Fuel Injection atau PGM-FI. Sistem ini mengatur jumlah bahan bakar berdasarkan informasi dari sensor, kemudian Engine Control Unit memproses data dan mengendalikan aktuator sesuai kondisi kerja mesin. Peserta pelatihan perlu memahami fungsi komponen, alur sinyal, durasi injeksi, serta prosedur diagnosis agar mampu menangani sistem secara tepat. Pembelajaran PGM-FI tidak cukup dilakukan melalui penjelasan teori. Komponen sensor, aktuator, dan pengendali saling terhubung dan sebagian besar berada pada posisi tertutup di dalam kendaraan. Kondisi tersebut membuat peserta hanya melihat hasil akhir kerja mesin. Mereka sulit mengamati perubahan sinyal, hubungan input dan output, serta respons sistem saat terjadi gangguan. Media visual dan praktik langsung lebih sesuai untuk membantu peserta membangun pemahaman sistematis tentang alur kerja injeksi elektronik (Widodo et al., 2015; Puspitasari et al., 2018).

Hasil observasi awal di Training Center PT Wahana Makmur Sejati Jatake menunjukkan bahwa kegiatan praktik masih menggunakan unit sepeda motor atau engine asli. Jumlah unit terbatas. Penggunaan berulang menimbulkan risiko kerusakan komponen. Instruktur juga sulit membuat skenario gangguan tertentu secara aman dan berulang. Peserta tidak bebas mengukur titik diagnosis karena beberapa komponen tertutup. Keterbatasan media tersebut dapat mengurangi waktu latihan dan membuat pembelajaran troubleshooting kurang optimal. Kondisi serupa menjadi dasar pengembangan berbagai trainer sistem kelistrikan dan injeksi untuk memperjelas proses kerja serta meningkatkan kompetensi praktik (Gunawan & Arsana, 2016; Nasrullah & Pambudi, 2020). Simulator dapat menjadi alternatif karena menampilkan komponen secara terbuka, mengurangi risiko penggunaan unit kendaraan, dan memberikan kesempatan latihan yang berulang. Trainer PGM-FI juga dapat membantu peserta mempelajari sensor, aktuator, dan rangkaian kontrol tanpa merusak motor asli (Arif & Warju, 2015). Pemilihan media perlu mempertimbangkan kesesuaian dengan tujuan, isi materi, karakteristik peserta, kemudahan penggunaan, mutu teknis, dan efisiensi biaya (Arsyad, 2010; Sadiman, 2003). Media yang bersifat interaktif memberi peserta peluang untuk mengamati perubahan input, melakukan pengukuran, menemukan kode gangguan, dan mengambil keputusan diagnosis. Kegiatan tersebut mendukung pembelajaran praktik yang berorientasi pada pemecahan masalah. Pemanfaatan mikrokontroler memperluas fungsi simulator. Arduino dapat menerima sinyal analog, menjalankan program kontrol, serta mengaktifkan indikator dan aktuator sesuai skenario. Penggunaan Arduino pada media pembelajaran memungkinkan pengaturan durasi injeksi, pembacaan sensor, dan visualisasi data secara terprogram (Rohman & Nabilah, 2022). Teknologi mikrokontroler juga mendukung pengembangan media yang portabel, mudah dimodifikasi, serta dapat disesuaikan dengan kebutuhan pembelajaran otomotif (Mintoro, 2018; Malik et al., 2023). Penelitian terdahulu telah mengembangkan trainer PGM-FI, multimedia interaktif, dan alat pemeriksa sensor. Namun, media tersebut cenderung berfokus pada satu unit kendaraan, satu sensor, atau penyajian materi digital. Penelitian ini mengintegrasikan sistem PGM-FI dalam panel terbuka berbasis Arduino. Simulator dirancang untuk memperlihatkan hubungan sensor, ECU, injektor, pompa bahan bakar, sistem pengapian, Malfunction Indicator Light, dan tampilan data. Produk juga dilengkapi fitur fault injection agar instruktur dapat membuat skenario kerusakan. Evaluasi dilakukan secara menyeluruh melalui validasi ahli, reliabilitas instrumen, uji fungsional, perbandingan pretest dan posttest, N-Gain, ukuran efek, observasi, dan angket pengguna

METODE

Penelitian dilaksanakan di Training Center PT Wahana Makmur Sejati, Jatake, Kota Tangerang, Banten, pada Desember 2025 sampai Juni 2026. Lokasi dipilih karena menyelenggarakan Technical Training Level 2 yang mencakup sistem PGM-FI, diagnosis kerusakan, electrical system, dan troubleshooting. Subjek implementasi terdiri atas 30 peserta Honda Technician Training berusia 20-30 tahun. Peserta berlatar belakang mekanik AHASS, telah mengikuti Technical Training Level 1, dan belum pernah menggunakan simulator PGM-FI berbasis Arduino. Penelitian menggunakan research and development untuk menghasilkan serta menguji produk pembelajaran (Sugiyono, 2013). Proses pengembangan mengikuti model ADDIE yang meliputi Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation (Prawidilaga, 2007). Model ini dipilih karena setiap tahap menghasilkan masukan bagi tahap berikutnya dan memungkinkan revisi produk dilakukan secara sistematis. Pendekatan mixed methods digunakan untuk menggabungkan data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berasal dari validasi ahli, uji fungsional, pretest, posttest, dan angket. Data kualitatif diperoleh melalui observasi proses pelatihan, wawancara instruktur, serta catatan selama uji coba produk.

Tahap Analysis mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik peserta, kompetensi, materi, dan spesifikasi media. Tahap Design menyusun tujuan pembelajaran, rancangan mekanik, sistem kelistrikan, tata letak komponen, alur program, fitur fault injection, dan instrumen evaluasi. Tahap Development merealisasikan rancangan menjadi simulator fisik, memprogram mikrokontroler, memasang komponen, serta melakukan validasi dan revisi. Tahap Implementation menerapkan simulator melalui pemberian pretest, praktik kondisi normal dan troubleshooting, posttest, serta angket respons. Tahap Evaluation menilai fungsi perangkat, kelayakan empiris, efektivitas, dan kepuasan pengguna.



Gambar 1. Tahapan pengembangan simulator sistem PGM-FI berbasis Arduino

Validasi produk melibatkan tiga validator yang mewakili ahli media atau mikrokontroler, ahli materi otomotif PGM-FI, dan ahli desain instruksional. Instrumen validasi menggunakan skala penilaian yang dikonversi menjadi persentase kelayakan. Reliabilitas instrumen dianalisis dengan Cronbach's Alpha. Uji fungsional dilakukan melalui black-box testing pada sumber daya, mikrokontroler, sistem kontrol injeksi, sensor, aktuator, tampilan, dan fitur gangguan. Efektivitas diuji menggunakan desain one-group pretest-posttest. Analisis meliputi statistik deskriptif, uji normalitas, paired sample t-test pada taraf signifikansi 0,05, Normalized Gain, dan Cohen's d. Observasi dan angket skala Likert digunakan untuk menilai aktivitas, kemudahan penggunaan, interaktivitas, daya tarik, kualitas teknis, dan keamanan simulator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pengembangan Simulator

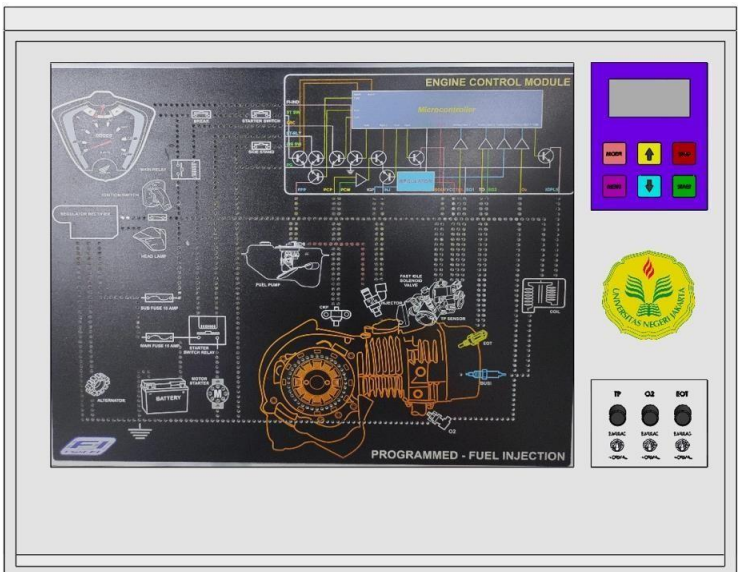
Tahap analisis menemukan lima kebutuhan utama dalam pengembangan simulator sistem Programmed Fuel Injection (PGM-FI), yaitu media harus menampilkan komponen PGM-FI secara terbuka, memperlihatkan kondisi kerja sistem secara real-time, aman digunakan tanpa bahan bakar, mampu menyediakan skenario troubleshooting, serta memiliki bentuk yang ringkas dan mudah dipindahkan. Kebutuhan tersebut menjadi dasar dalam menentukan karakteristik media yang sesuai dengan kondisi pelatihan dan kompetensi yang harus dicapai peserta. Peserta juga membutuhkan media visual dan interaktif karena penjelasan melalui slide presentasi belum cukup untuk menunjukkan hubungan kerja antara sensor, Electronic Control Unit (ECU), dan aktuator secara menyeluruh. Melalui media simulasi, peserta diharapkan dapat mengamati hubungan antarkomponen, memahami perubahan sinyal, serta menghubungkan prinsip kerja sistem dengan gejala gangguan yang mungkin terjadi. Kompetensi yang menjadi acuan pengembangan meliputi identifikasi komponen, penjelasan fungsi sensor, pemahaman alur kerja sistem PGM-FI, penggunaan alat ukur, analisis gangguan, dan pelaksanaan troubleshooting sesuai prosedur pelatihan Honda. Oleh karena itu, simulator dirancang tidak hanya sebagai media demonstrasi, tetapi juga sebagai sarana latihan keterampilan teknis yang mendukung pemahaman konseptual dan kemampuan analitis peserta. Pada tahap desain, simulator dirancang dalam bentuk panel portabel berukuran 63 × 50 × 21 cm dengan sumber daya 12 V. Dimensi tersebut dipilih untuk mengakomodasi komponen utama sistem sekaligus mempertahankan kemudahan pemindahan dan penyimpanan media. Bagian panel menampilkan komponen fisik dan jalur sistem secara terbuka sehingga peserta dapat mengamati susunan komponen, mengenali posisi setiap bagian, serta memahami keterkaitan antarkomponen tanpa harus membongkar unit mesin. Komponen yang direpresentasikan meliputi throttle body, fuel pump module, ECU, ignition coil, busi, sensor EOT, sensor O2, sensor TPS, dan pulser CKP. Setiap komponen ditempatkan dengan mempertimbangkan kemudahan pengamatan dan akses selama kegiatan praktik. Label pada setiap komponen berfungsi membantu peserta mengidentifikasi nama dan fungsi komponen, menentukan titik ukur, serta mengikuti alur kerja sistem berdasarkan hubungan antara sensor, unit pengendali, dan aktuator. Selain itu, penyajian komponen dan jalur sistem secara terbuka diharapkan dapat mengurangi kesulitan peserta dalam memahami susunan sistem PGM-FI yang pada kendaraan sebenarnya memiliki penempatan komponen relatif kompleks.

Tahap pengembangan menghasilkan sistem kendali berbasis Arduino yang digunakan untuk mengolah sinyal masukan dan menjalankan simulasi kondisi kerja sistem PGM-FI. Program dirancang untuk merepresentasikan beberapa kondisi pengoperasian, meliputi mesin dingin, putaran rendah, putaran menengah, putaran tinggi, akselerasi, serta deselerasi. Perubahan frekuensi pulser digunakan untuk merepresentasikan perubahan putaran mesin atau RPM, sedangkan masukan sensor digunakan sebagai dasar untuk menggambarkan perubahan kondisi kerja sistem. Selanjutnya, program mengolah masukan tersebut untuk menghasilkan keluaran simulasi yang menunjukkan respons sistem terhadap kondisi yang diberikan. Output program mengaktifkan indikator injeksi, sistem pengapian, pompa bahan bakar, serta tampilan data yang membantu peserta mengamati respons setiap bagian sistem. Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak ini memungkinkan simulator menyajikan hubungan antara perubahan kondisi masukan dan respons keluaran secara visual, sehingga peserta dapat memahami prinsip dasar pengendalian elektronik pada sistem PGM-FI tanpa harus mengoperasikan mesin dengan bahan bakar secara langsung.

Informasi hasil simulasi ditampilkan melalui layar LCD yang menyajikan parameter berupa RPM, tegangan sensor, durasi injeksi, dan kode kegagalan. Penyajian parameter tersebut membantu

peserta mengamati perubahan kondisi sistem berdasarkan skenario yang sedang dijalankan serta memahami keterkaitan antara masukan sensor dan respons pengendalian. Fitur self-diagnosis juga dikembangkan untuk memunculkan pola kedipan Malfunction Indicator Light (MIL) sesuai dengan gangguan yang diaktifkan. Fitur ini digunakan untuk memperkenalkan prinsip identifikasi gangguan melalui indikator diagnostik, sehingga peserta dapat berlatih mengenali kode kegagalan dan menghubungkannya dengan kemungkinan permasalahan pada komponen terkait. Dengan demikian, simulator tidak hanya menampilkan kondisi kerja normal, tetapi juga menyediakan representasi kondisi abnormal sebagai bahan latihan analisis gangguan. Penggunaan skenario gangguan tersebut memberikan kesempatan kepada peserta untuk mengikuti tahapan pemeriksaan secara sistematis, mulai dari mengenali gejala, mengidentifikasi kemungkinan sumber masalah, menentukan titik pemeriksaan, hingga menyusun langkah penanganan berdasarkan prosedur pelatihan yang digunakan. Simulator yang dikembangkan memiliki tiga skema penggunaan, yaitu Training, Practice, dan Examination, yang disusun untuk mendukung proses pembelajaran secara bertahap. Mode Training digunakan untuk mengenalkan komponen, fungsi dasar, hubungan antarkomponen, dan visualisasi prinsip kerja sistem PGM-FI. Pada tahap ini, instruktur dapat memberikan penjelasan mengenai fungsi sensor, proses pengolahan sinyal oleh ECU, serta respons aktuator berdasarkan kondisi simulasi. Mode Practice digunakan untuk mendukung latihan terbimbing dalam melakukan pengukuran, membaca parameter, mengenali indikasi gangguan, dan menentukan langkah diagnosis. Melalui mode ini, peserta dapat mengembangkan keterampilan dalam menghubungkan informasi visual dengan prosedur pemeriksaan teknis. Sementara itu, mode Examination digunakan untuk menilai kompetensi peserta dalam melakukan troubleshooting berdasarkan skenario gangguan yang disediakan. Penilaian dapat diarahkan pada ketepatan identifikasi gejala, pemilihan titik pemeriksaan, interpretasi hasil pengukuran, serta kesesuaian langkah diagnosis dengan prosedur yang berlaku. Pembagian ketiga mode tersebut membuat media dapat digunakan sesuai dengan tujuan pelatihan, mulai dari pengenalan konsep hingga evaluasi keterampilan.

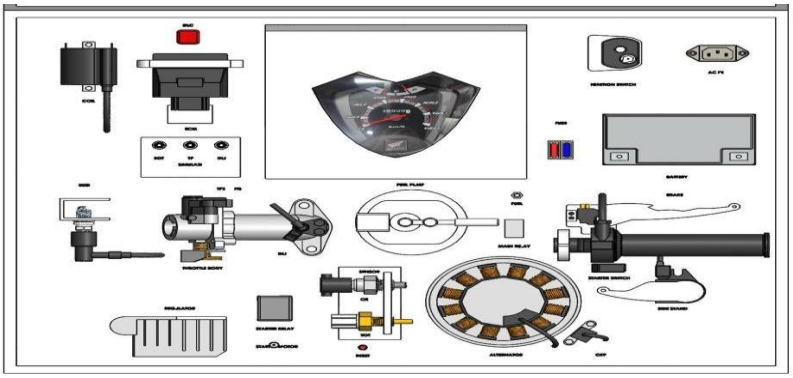
Secara keseluruhan, hasil pengembangan menunjukkan bahwa simulator PGM-FI dirancang untuk mengintegrasikan visualisasi komponen fisik, simulasi kondisi kerja, penyajian parameter, dan latihan diagnosis dalam satu media pembelajaran portabel. Karakteristik tersebut diharapkan dapat membantu peserta memahami sistem PGM-FI secara lebih konkret dibandingkan pembelajaran yang hanya mengandalkan penjelasan verbal atau slide presentasi. Selain memberikan gambaran mengenai hubungan sensor, ECU, dan aktuator, simulator menyediakan lingkungan latihan yang lebih terkendali karena skenario gangguan dapat diaktifkan tanpa menggunakan bahan bakar.



Gambar 2. Desain panel simulator sistem PGM-FI berbasis Arduino

Desain panel terbuka memperjelas hubungan input, proses, dan output. Peserta dapat mengamati komponen, menghubungkan alat ukur, membaca data, dan menelusuri gangguan pada satu media. Karakter ini sejalan dengan pengembangan trainer injeksi yang menempatkan komponen secara terbuka agar fungsi dan aliran sistem dapat dipelajari langsung (Nasrullah & Pambudi, 2020). Integrasi Arduino menambah fleksibilitas karena respons sensor dan aktuator dapat diprogram sesuai skenario (Rohman & Nabilah, 2022). Desain panel terbuka memperjelas hubungan antara input, proses, dan output dalam sistem PGM-FI, sehingga peserta dapat memahami alur kerja sistem secara lebih konkret dan sistematis. Penempatan komponen secara terbuka memungkinkan peserta mengamati bentuk fisik komponen, mengenali fungsi setiap bagian, menghubungkan alat ukur pada titik pemeriksaan, membaca data hasil simulasi, serta menelusuri kemungkinan gangguan dalam satu media pembelajaran yang terintegrasi. Selain mempermudah proses identifikasi komponen, desain tersebut membantu peserta memahami keterkaitan antara sensor sebagai sumber masukan, ECU sebagai unit pengolah sinyal, dan aktuator sebagai bagian yang menjalankan perintah pengendalian. Dengan demikian, pembelajaran tidak hanya berfokus pada pengenalan nama dan fungsi komponen, tetapi juga pada pemahaman hubungan kerja antarkomponen dalam satu kesatuan sistem. Karakteristik ini sejalan dengan pengembangan trainer injeksi yang menempatkan komponen secara terbuka agar fungsi, susunan, dan aliran kerja sistem dapat dipelajari secara langsung (Nasrullah & Pambudi, 2020). Selain itu, penggunaan panel yang ringkas dan portabel memberikan keuntungan dari segi fleksibilitas penggunaan, terutama dalam kegiatan demonstrasi instruktur, praktik kelompok, dan latihan diagnosis di lingkungan pelatihan.

Integrasi Arduino menambah fleksibilitas pengembangan simulator karena respons sensor dan aktuator dapat diprogram serta disesuaikan dengan skenario pembelajaran yang dibutuhkan (Rohman & Nabilah, 2022). Melalui pemrograman tersebut, simulator dapat merepresentasikan variasi kondisi operasional, seperti perubahan putaran mesin, kondisi akselerasi dan deselerasi, serta kemunculan indikasi gangguan pada sistem. Fleksibilitas ini memungkinkan instruktur menyusun kegiatan pembelajaran secara bertahap, mulai dari pengenalan prinsip kerja hingga latihan analisis gangguan. Peserta juga dapat mengamati perubahan parameter yang ditampilkan pada LCD dan menghubungkannya dengan kondisi simulasi yang sedang berlangsung. Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak tersebut menjadikan simulator lebih adaptif dibandingkan media demonstrasi yang hanya menampilkan komponen tanpa respons sistem. Meskipun demikian, respons yang dihasilkan tetap merupakan representasi simulasi berdasarkan logika program, sehingga kesesuaiannya dengan karakteristik sistem PGM-FI pada kendaraan nyata perlu diperhatikan. Oleh karena itu, simulator ini lebih tepat digunakan sebagai media pendukung untuk membangun pemahaman konseptual dan keterampilan dasar diagnosis sebelum peserta melaksanakan pemeriksaan langsung pada sistem kendaraan yang sebenarnya.



Gambar 3. Tata letak komponen pada simulator sistem PGM-FI

Tata letak komponen disusun menyerupai hubungan komponen pada kendaraan, tetapi seluruh bagian dibuat lebih mudah dijangkau. Peserta dapat mengikuti jalur dari sensor menuju pengendali, lalu mengamati respons injektor, pompa bahan bakar, koil pengapian, busi, dan indikator. Susunan ini membantu proses identifikasi komponen sebelum peserta melakukan diagnosis dengan alat ukur.

Tabel 1. Skema penggunaan simulator dalam kegiatan pelatihan

Mode	Tujuan	Aktivitas utama	Hasil yang diharapkan
Training	Mengenalkan komponen	Penjelasan sensor, ECU, aktuator, dan data	Mengidentifikasi komponen dan fungsi
Practice	Melatih pengukuran dan diagnos	Mengubah kondisi, membaca data, dan memeriksa titik ukur	Menjelaskan hubungan input, proses, dan output
Examination	Menilai troubleshooting	Mengaktifkan gangguan dan menyusun diagnosis	Menemukan gangguan dan menentukan tindakan

A. Validitas, Reliabilitas, dan Kelayakan

Penilaian ahli dilakukan sebelum implementasi kepada peserta. Hasil validasi menunjukkan seluruh aspek berada pada kategori sangat valid atau sangat layak. Skor tertinggi terdapat pada materi dan realisme sistem PGM-FI sebesar 91,0%. Aspek media berbasis mikrokontroler memperoleh 88,5%, sedangkan desain instruksional memperoleh 86,0%. Rata-rata gabungan mencapai 88,5%.

Tabel 2. Hasil validasi ahli terhadap simulator PGM-FI

Aspek penilaian	Skor (%)	Kategori
Media dan konstruk mikrokontroler	88,5	Sangat layak
Materi dan realisme sistem PGM-FI	91,0	Sangat layak
Desain instruksional	86,0	Sangat layak
Rata-rata gabungan	88,5	Sangat layak

Nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,842 menunjukkan instrumen memiliki konsistensi yang tinggi. Hasil tersebut memperkuat bahwa data kelayakan dapat digunakan dalam evaluasi produk. Skor materi yang paling tinggi menunjukkan simulator mampu merepresentasikan hubungan komponen dan prinsip kerja PGM-FI. Skor desain instruksional yang tetap berada pada kategori sangat layak menunjukkan media dapat ditempatkan dalam kegiatan pelatihan secara terstruktur. Uji fungsional memastikan setiap subsistem bekerja sesuai tujuan.

Tabel 3. Ringkasan uji fungsional simulator

Komponen	Parameter	Hasil	Status
Power supply	Tegangan keluaran	12,04 V stabil	Lulus
Mikrokontroler Arduino	Pengolahan sinyal dan I/O	Respons < 5 ms	Lulus
Kontrol injeksi	Pulsa injektor	Sesuai peta RPM	Lulus
Sensor TPS	Variasi tegangan	0,5-4,5 V linier	Lulus
Sensor EOT	Perubahan resistansi	Sesuai karakter NTC	Lulus
Ignition coil dan busi	Percikan bunga api	Kontinu tanpa miss	Lulus
LCD dan fault injection	Data dan kode gangguan	Jelas dan tepat	Lulus

Kelayakan tersebut menunjukkan bahwa simulator tidak hanya berfungsi sebagai alat peraga visual, tetapi juga sebagai sistem praktik diagnosis. Peserta dapat melihat perubahan parameter dan

memeriksa respons sistem tanpa risiko bahan bakar. Hasil ini mendukung temuan bahwa trainer injeksi dapat meningkatkan kualitas praktik karena peserta berinteraksi langsung dengan komponen dan rangkaian (Gunawan & Arsana, 2016).

B. Efektivitas Simulator

Implementasi simulator sistem PGM-FI berbasis Arduino dilakukan terhadap 30 peserta pelatihan Technical Training Level 2 (TTL-2) di Training Center PT Wahana Makmur Sejati Jatake. Evaluasi hasil belajar dilakukan dengan membandingkan nilai pretest sebelum penggunaan simulator dan posttest setelah peserta mengikuti pembelajaran menggunakan simulator. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata nilai pretest peserta sebesar 58,33 dengan standar deviasi 7,24. Setelah pembelajaran menggunakan simulator, rata-rata nilai posttest meningkat menjadi 84,67 dengan standar deviasi 5,81. Dengan demikian, terjadi peningkatan rata-rata hasil belajar sebesar 26,34 poin dibandingkan dengan kondisi sebelum penggunaan simulator.

Tabel 4. Ringkasan hasil pretest, posttest, dan uji statistik

Indikator	Hasil
Jumlah peserta	30
Rata-rata pretest	58,33
Rata-rata posttest	84,67
Standar deviasi pretest	7,24
Standar deviasi posttest	5,81
Selisih rata-rata	26,34 poin
t-hitung; df; Sig. (2-tailed)	-15,821; 29; 0,000
Effect Size Cohen's d	2,01, very large effect

Paired sample t-test menghasilkan nilai signifikansi 0,000, lebih kecil dari 0,05. Hasil tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan antara nilai sebelum dan sesudah penggunaan simulator. Nilai Cohen's d sebesar 2,01 termasuk efek sangat besar. Artinya, peningkatan tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga kuat secara praktis dalam konteks pelatihan teknis. Rata-rata N-Gain pada evaluasi akhir sebesar 0,66. Sebanyak 23 peserta atau 76,67% berada pada kategori sedang, sedangkan 7 peserta atau 23,33% berada pada kategori tinggi. Tidak ada peserta yang berada pada kategori rendah. Distribusi ini menunjukkan peningkatan terjadi pada seluruh peserta, bukan hanya pada kelompok dengan kemampuan awal tertentu.

Tabel 5. Distribusi kategori N-Gain peserta

Kategori	Rentang N-Gain	Jumlah	Persentase
Tinggi	>= 0,70	7	23,33%
Sedang	0,30-0,69	23	76,67%
Rendah	< 0,30	0	0%
Rata-rata	0,66	30	Kategori sedang, mendekati tinggi

Peningkatan hasil belajar berkaitan dengan karakter simulator yang menggabungkan visualisasi, praktik pengukuran, dan pemecahan masalah. Peserta tidak hanya menghafal fungsi sensor. Mereka dapat mengubah kondisi input, melihat respons output, dan menelusuri kode kegagalan. Proses tersebut membantu menghubungkan konsep dengan tindakan diagnosis. Pembelajaran langsung menggunakan trainer juga dilaporkan dapat meningkatkan kompetensi praktik sistem injeksi (Gunawan & Arsana, 2016) dan mendukung pemahaman aliran bahan bakar pada sistem Honda Beat FI (Nasrullah & Pambudi, 2020). Fitur fault injection memberi nilai tambah

karena instruktur dapat membuat gangguan secara terencana. Peserta berlatih mengidentifikasi gejala, menentukan titik pengukuran, membaca indikator, dan menyusun keputusan perbaikan. Latihan dapat diulang tanpa menciptakan kerusakan pada unit sepeda motor. Pendekatan tersebut sesuai dengan pembelajaran praktik yang menekankan tindakan langsung dan diagnosis sistem (Iman Taka et al., 2018). Penggunaan Arduino juga mendukung konsistensi skenario. Program mengatur sinyal input dan output sehingga kondisi praktik dapat dibuat sama untuk setiap peserta. Hal ini penting dalam penilaian kompetensi. Media mikrokontroler dapat menghubungkan input sensor dengan output indikator secara cepat dan terukur (Malik et al., 2023). Pada sistem injeksi, Arduino juga dapat digunakan untuk mengontrol durasi injeksi sesuai perubahan kondisi (Rohman & Nabilah, 2022).

C. Respons dan Kepuasan Pengguna

Hasil angket menunjukkan respons keseluruhan sebesar 87,8% dengan kategori sangat positif. Aspek interaktivitas memperoleh skor tertinggi, yaitu 91,2%. Daya tarik dan motivasi belajar mencapai 88,0%. Kemudahan memahami cara kerja sistem PGM-FI mencapai 86,4%, sedangkan kualitas teknis dan keamanan memperoleh 85,6%.

Tabel 6. Respons peserta terhadap penggunaan simulator

Indikator	Skor (%)	Kategori
Kemudahan memahami cara kerja PGM-FI	86,4	Sangat baik
Interaktivitas dan fitur troubleshooting	91,2	Sangat baik
Daya tarik dan motivasi belajar	88,0	Sangat baik
Kualitas teknis dan keamanan	85,6	Sangat baik
Rata-rata keseluruhan	87,8	Sangat positif

Observasi selama praktik menunjukkan peserta aktif berkomunikasi dengan instruktur, mencoba titik pengukuran, membaca visualisasi sistem, dan menyelesaikan skenario gangguan. Panel terbuka mempercepat adaptasi karena komponen dan jalur diagnosis terlihat langsung. Simulator juga tidak menggunakan bahan bakar bensin sehingga risiko kebakaran dan tumpahan dapat dikurangi. Respons positif memperlihatkan bahwa media dapat digunakan sebagai jembatan antara teori dan prosedur bengkel. Tampilan data dan komponen fisik membantu peserta memahami konsep, sedangkan skenario gangguan membentuk keterampilan analitis. Media interaktif berbasis komputer atau mikrokontroler dapat meningkatkan keterlibatan karena peserta mengendalikan proses belajar dan memperoleh umpan balik langsung (Widiantoro & Ismawati, 2015; Wiguna, 2020).

SIMPULAN DAN SARAN

Pengembangan menggunakan model ADDIE menghasilkan simulator sistem PGM-FI berbasis Arduino dalam bentuk panel terbuka, portabel, dan aman tanpa bahan bakar nyata. Simulator menampilkan komponen utama, data sensor, indikator injeksi, sistem pengapian, self-diagnosis, Malfunction Indicator Light, dan fitur fault injection. Produk dapat digunakan dalam mode training, practice, dan examination. Simulator memperoleh skor kelayakan 88,5% pada aspek media, 91,0% pada aspek materi, dan 86,0% pada desain instruksional. Reliabilitas instrumen sebesar 0,842. Seluruh subsistem pada uji fungsional dinyatakan lulus. Penggunaan simulator meningkatkan rata-rata hasil belajar dari 58,33 menjadi 84,67. Uji t menunjukkan p = 0,000. Rata-rata N-Gain sebesar 0,66 dan Cohen's d sebesar 2,01. Respons pengguna mencapai 87,8%. Hasil tersebut menunjukkan simulator sangat layak dan efektif untuk mendukung pemahaman komponen, diagnosis, serta keterampilan troubleshooting PGM-FI. Training Center disarankan mengintegrasikan simulator ke dalam modul Technical Training Level 2 dan menggunakan skenario gangguan yang bervariasi. Media dapat

direplikasi pada SMK Teknik Sepeda Motor dan lembaga pelatihan otomotif lain. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan konektivitas nirkabel berbasis ESP32 agar data sensor dan proses troubleshooting dapat dipantau melalui perangkat komputer atau telepon pintar. Penerapan simulator perlu disertai panduan operasi, prosedur keselamatan, lembar kerja diagnosis, dan jadwal pemeliharaan. Instruktur perlu memastikan peserta memahami kondisi normal sebelum mengaktifkan skenario kerusakan. Evaluasi juga sebaiknya mencakup kemampuan memilih alat ukur, menentukan titik pemeriksaan, membaca hasil, dan menyusun tindakan perbaikan. Dengan langkah tersebut, simulator dapat digunakan secara konsisten sebagai media belajar dan alat asesmen kompetensi.

DAFTAR PUSTAKA

Agustia, I., Leni, D., & Hafiza, J. (2025). Design and construction of Supra X motorcycle electrical system trainer based on interactive visuals to strengthen the competency of mechanical engineering students Muhammadiyah University of West Sumatra.

Apriliana, F. (2013). Pengembangan modul engine tuner EA-800A pada mata kuliah praktik motor bensin di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin, 1(2), 1–6.

Arif, M. F., & Warju. (2015). Rancang bangun trainer sistem PGM-FI Honda Beat FI sebagai media pembelajaran praktik sepeda motor dan motor kecil. Jurnal Rekayasa Mesin, 2(2), 31–35.

Arifin, Z. (2012). Penelitian pendidikan: Metode dan paradigma baru. PT Remaja Rosdakarya.

Arsyad, A. (2010). Media pembelajaran. Raja Grafindo Persada.

Borg, W. R., & Gall, M. D. (2003). Educational research: An introduction (4th ed.). Longman.

Gunawan, H., & Arsana, I. M. (2016). Penerapan pembelajaran dengan trainer sistem injeksi berbasis modul untuk meningkatkan kompetensi sistem injeksi pada praktik sepeda motor mahasiswa D3 Teknik Mesin Unesa. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Unesa, 4, 58–63.

Iman Taka, B., Qudus, N., Anis, S., Kayen, D. R., & Tengah, J. (2018). Direct training practical learning model on the teaching material diesel fuel injection system. JVCE, 3(2), 187–195.

Malik, A. V., Haqqoni, B. M., Fawaz, F. C., Fauzan, I., Musthofa, M. N., Sakdi, M., Aufar, R. A., & Suryadi, A. (2023). Pemanfaatan Arduino Uno untuk meningkatkan pembelajaran. 1(6), 585–589.

Mariesman, S. A., Leni, D., & Hafiza, J. (2025). Design and construction of electrical system trainers Honda Beat motorcycle.

Mintoro, S. (2018). Pemanfaatan teknologi dan informasi mikrokontroler Arduino sebagai media pembelajaran mahasiswa (pp. 336–344).

Nasrullah, H., & Pambudi, A. (2020). Pembuatan dan pengujian trainer aliran bahan bakar sistem injeksi pada sepeda motor Honda Beat FI. AEEJ: Journal of Automotive Engineering and Vocational Education, 1(1), 49–58. https://doi.org/10.24036/AEEJ.V1I1.7

Pramudito, G., Fibriani, L. N., & Syahroni, S. (2021). Pembuatan alat TPS (Throttle Position Sensor) checker pada sepeda motor Honda Revo PGM-FI berbasis IoT menggunakan modul ESP32. Technologic, 12(2). https://doi.org/10.52453/T.V12I2.381

Prawidilaga, D. S. (2007). Prinsip desain pembelajaran: Instructional design principles. Prenadamedia Group.

Puspitasari, D. M., Burhan, M., & Wijaya, R. (2018). Pengembangan multimedia pembelajaran interaktif sistem bahan bakar PGM-FI berbasis Lectora Inspire. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin, 18(1), 19–23.

Rohman, A., & Nabilah, R. (2022). Sistem kontrol durasi injeksi bahan bakar berbasis Arduino pada alat peraga sistem injeksi sepeda motor. Jurnal Saintesa: Jurnal Ilmiah Sains, Teknologi dan Rekayasa, 2(1), 1–7.

Sadiman, A. S. (2003). Media pendidikan: Pengertian, pengembangan dan pemanfaatannya. PT Raja Grafindo Persada.

Sugiyono. (2013). Metodologi penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D. Alfabeta.

Sukmadinata, N. S. (2009). Metode penelitian pendidikan. PT Remaja Rosdakarya.

Widiantoro, R. I., & Ismawati, E. (2015). Pengembangan media pembelajaran interaktif mata pelajaran instalasi motor listrik di SMKN 1 Sidoarjo. Jurnal Pendidikan Teknik Elektro, 4(2), 397–406.

Widodo, N., Sulistyo, B., & Siswanto, I. (2015). Pengembangan multimedia pembelajaran interaktif sistem bahan bakar injeksi, sistem pendingin air dan transmisi otomatis pada sepeda motor matic injeksi. 6(1), 44–57.

Wiguna, M. D. D. (2020). Pengembangan media pembelajaran trainer pengendali elektromagnetik berbasis smart relay. Jurnal Pendidikan Teknik Elektro, 9(3), 203–212.