

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 Syaka², Muhammad Yusro²

¹Program Studi Magister Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta Timur, 13220, Indonesia

²Program 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

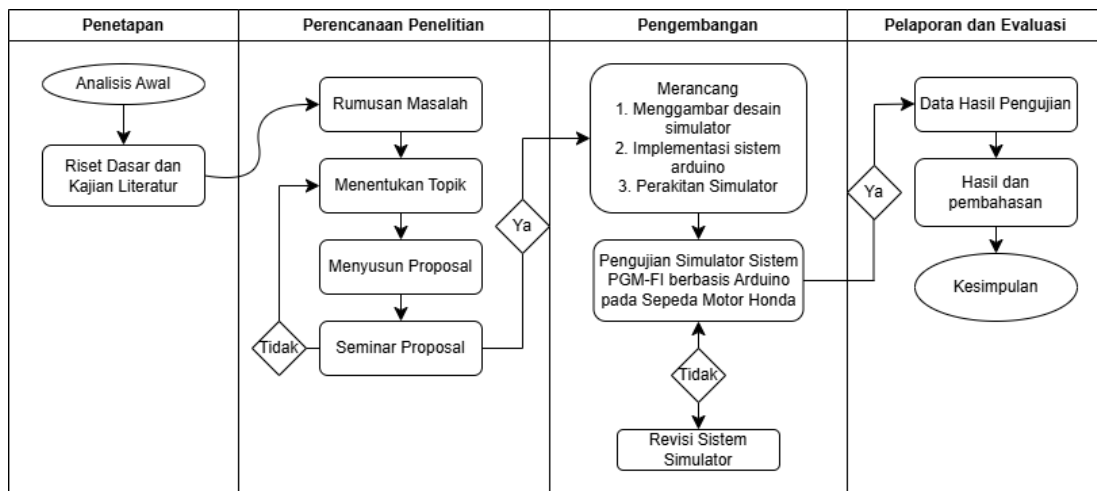
Perkembangan teknologi otomotif mendorong penggunaan sistem bahan bakar yang semakin presisi. Pada sepeda motor Honda, sistem Electronic Fuel Injection dikenal sebagai Programmed Fuel Injection atau PGM-FI. Sistem ini mengatur jumlah bahan bakar berdasarkan informasi dari sensor, kemudian Engine Control 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,

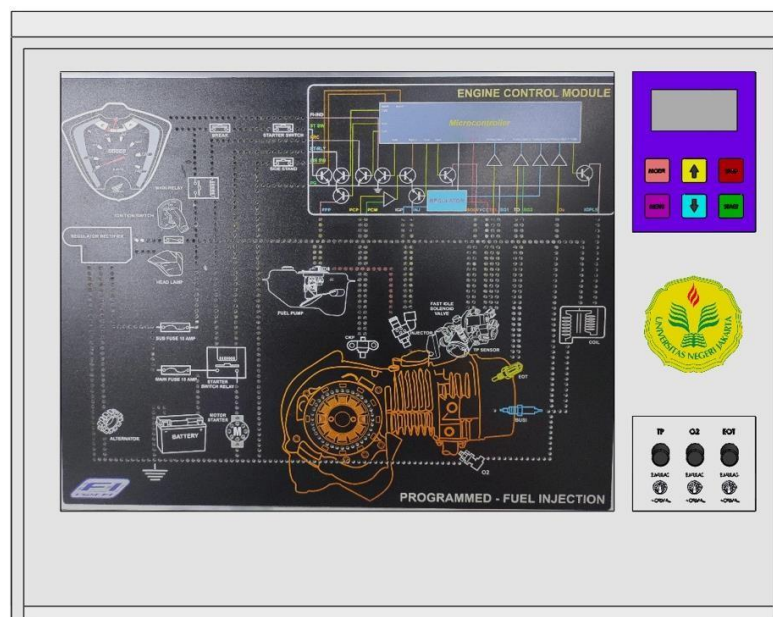
interaktivitas, daya tarik, kualitas teknis, dan keamanan simulator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pengembangan Simulator

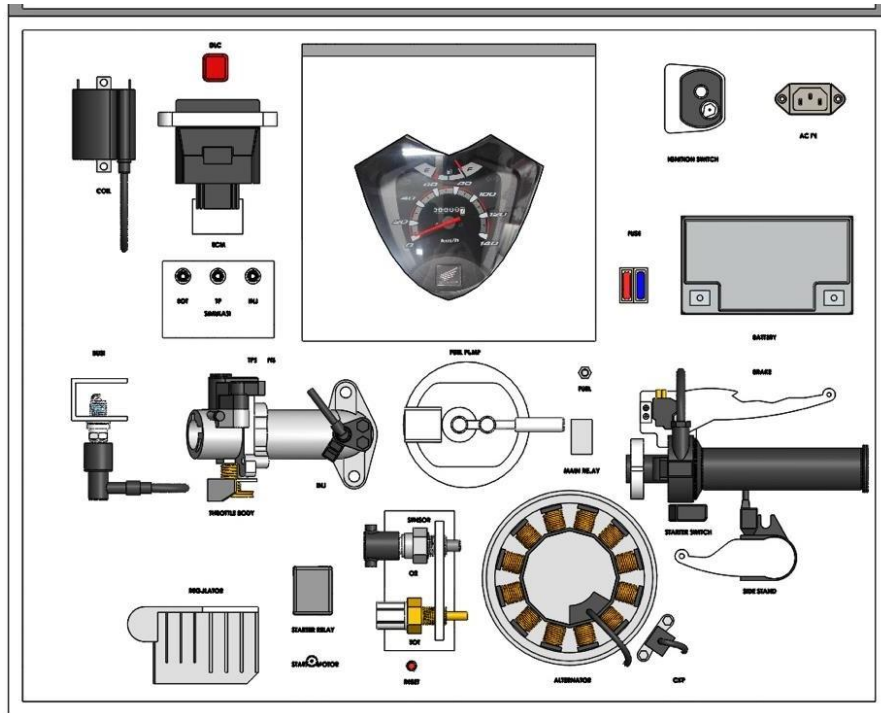
Tahap analisis menemukan lima kebutuhan utama. Media harus menampilkan komponen PGM-FI secara terbuka, memperlihatkan kondisi kerja secara real-time, aman tanpa bahan bakar, mampu membuat skenario troubleshooting, dan mudah dipindahkan. Peserta juga membutuhkan media visual karena penjelasan melalui slide belum cukup untuk menunjukkan hubungan sensor, ECU, dan aktuator. Kompetensi yang menjadi acuan meliputi identifikasi komponen, penjelasan fungsi sensor, pemahaman alur kerja, penggunaan alat ukur, analisis gangguan, dan troubleshooting sesuai prosedur pelatihan Honda. Pada tahap desain, simulator dirancang dalam bentuk panel portabel berukuran 63 x 50 x 21 cm dengan sumber daya 12 V. Bagian panel menampilkan komponen fisik dan jalur sistem secara terbuka. Komponen yang direpresentasikan meliputi throttle body, fuel pump module, ECU, ignition coil, busi, sensor EOT, sensor O2, sensor TPS, dan pulser CKP. Label pada setiap komponen membantu peserta menentukan titik ukur dan mengikuti alur sistem.

Tahap pengembangan menghasilkan sistem kendali berbasis Arduino. Program mengolah sinyal input sensor dan mensimulasikan kondisi mesin dingin, putaran rendah, putaran menengah, putaran tinggi, akselerasi, serta deselerasi. Pengaturan frekuensi pulser merepresentasikan perubahan RPM. Output program mengaktifkan indikator injeksi, sistem pengapian, pompa bahan bakar, dan tampilan data. Layar LCD menyajikan RPM, tegangan sensor, durasi injeksi, dan kode kegagalan. Fitur self-diagnosis memunculkan pola kedipan Malfunction Indicator Light sesuai gangguan yang diaktifkan. Simulator memiliki tiga skema penggunaan. Mode Training digunakan untuk mengenalkan komponen dan visualisasi dasar. Mode Practice mendukung latihan terbimbing dalam pengukuran dan diagnosis. Mode Examination digunakan untuk menilai kompetensi troubleshooting. Susunan tersebut membuat media dapat digunakan secara bertahap sesuai tujuan pelatihan.



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).



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 diagnosis	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

B. 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. Sumber daya menghasilkan tegangan 12,04 V secara stabil. Mikrokontroler merespons input dan output kurang dari 5 ms. Sensor TPS menghasilkan perubahan tegangan linier 0,5-4,5 V. Sensor EOT menunjukkan karakter perubahan resistansi sesuai sensor NTC. Fuel pump, ignition coil, layar LCD, dan fault injection berfungsi sesuai skenario. Seluruh komponen yang diuji dinyatakan lulus.

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).

C. 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. Selain peningkatan nilai rata-rata, penurunan standar deviasi dari 7,24 menjadi 5,81 mengindikasikan bahwa sebaran nilai peserta pada posttest lebih kecil dibandingkan dengan pretest, sehingga hasil belajar setelah intervensi cenderung lebih terkonsentrasi di sekitar nilai rata-rata. Temuan ini menunjukkan adanya perubahan positif pada hasil belajar peserta setelah mengikuti pembelajaran

menggunakan simulator. Media ini memberikan kesempatan kepada peserta untuk mengamati hubungan antara sensor, unit pengendali elektronik (Electronic Control Unit atau ECU), dan aktuator secara langsung melalui panel terbuka, sekaligus mempelajari perubahan parameter sistem dalam berbagai kondisi operasi. Fitur fault injection juga memungkinkan peserta berlatih mengidentifikasi gejala gangguan, melakukan pemeriksaan, dan memahami proses diagnosis secara lebih terstruktur. Meskipun demikian, peningkatan hasil belajar tersebut perlu ditafsirkan sesuai dengan konteks penelitian karena evaluasi dilakukan pada satu kelompok peserta tanpa kelompok kontrol. Oleh karena itu, hasil ini menunjukkan peningkatan yang terjadi setelah penggunaan simulator, tetapi belum dapat memastikan bahwa seluruh peningkatan tersebut semata-mata disebabkan oleh penggunaan media pembelajaran.

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	$\geq 0,70$	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).

D. 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).

E. Implikasi, Keterbatasan, dan Pengembangan Lanjutan

Implikasi praktis utama penelitian terletak pada perubahan pola pembelajaran dari pengamatan pasif menjadi diagnosis aktif. Pada penggunaan engine asli, peserta cenderung mengikuti demonstrasi instruktur karena akses komponen dan kesempatan mencoba terbatas. Simulator memberi ruang bagi setiap peserta untuk melakukan pengukuran, membandingkan nilai, mengaktifkan gangguan, membaca indikator, dan menguji keputusan perbaikan. Proses tersebut dapat membantu instruktur menilai cara berpikir peserta, bukan hanya jawaban akhir. Bagi Training Center, simulator dapat digunakan sebelum praktik pada unit kendaraan. Tahap awal difokuskan pada pengenalan komponen dan jalur sinyal. Tahap berikutnya menggunakan skenario normal untuk memahami perubahan RPM, tegangan sensor, dan durasi injeksi. Setelah peserta menguasai pola normal, instruktur dapat mengaktifkan fault injection dan memberikan tugas diagnosis. Urutan ini mengurangi risiko kesalahan pada unit kendaraan serta membuat waktu praktik lebih terarah. Media juga dapat digunakan untuk asesmen karena skenario yang sama dapat diberikan kepada seluruh peserta. Simulator mempunyai keterbatasan. Produk belum memiliki konektivitas nirkabel untuk

mengirim data ke perangkat lain. Tampilan dan data masih digunakan pada unit simulator. Selain itu, penelitian diterapkan pada satu kelompok peserta di satu Training Center. Efektivitas yang diperoleh menggambarkan kondisi implementasi pada peserta TTL-2 dan belum membandingkan hasil dengan kelompok kontrol yang menggunakan media konvensional. Temuan perlu dipahami sesuai konteks tersebut.

Pengembangan berikutnya dapat menambahkan modul ESP32 untuk pemantauan data melalui komputer atau telepon pintar. Integrasi tersebut dapat memperluas fungsi data logger, dokumentasi hasil diagnosis, dan evaluasi jarak jauh. Penelitian selanjutnya juga dapat menggunakan kelompok kontrol, jumlah peserta yang lebih besar, serta lokasi pelatihan yang berbeda. Pengujian lanjutan diperlukan untuk menilai daya tahan komponen, konsistensi fungsi setelah pemakaian berulang, dan kesesuaian simulator dengan tipe sepeda motor Honda yang berbeda. Pemanfaatan mikrokontroler dan IoT pada perangkat pemeriksa sensor menunjukkan peluang pengembangan tersebut (Pramudito et al., 2021). Pada pendidikan vokasi, media ini dapat direplikasi dengan tetap memperhatikan kesesuaian kurikulum, kompetensi instruktur, keselamatan listrik, dan prosedur pemeliharaan. Pengembangan media bukan hanya kegiatan merakit perangkat. Produk harus memiliki tujuan pembelajaran yang jelas, materi yang benar, pengoperasian yang mudah, dan evaluasi yang dapat mengukur perubahan kompetensi. Prinsip tersebut sejalan dengan penelitian dan pengembangan yang menghubungkan kajian teoritis dengan pemecahan masalah praktis (Arifin, 2012; Borg & Gall, 2003).

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 of

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., Sulisty, 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.