

Engine Diesel: Perbaikan Trainer Untuk Menunjang Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL)

Nyoman Arya Wigraha^{1*}, Kadek Rihendra Dantes², Gede Aprianto³

^{1,2,3}Jurusan Teknologi Industri, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Indonesia

*Arya.wigraha@undiksha.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran berbasis proyek (*Project based Learning* atau PjBL) dengan memperbaiki *trainer engine diesel* yang digunakan sebagai alat bantu praktikum di laboratorium otomotif. Trainer engine diesel yang bermasalah, seperti sistem injeksi bahan bakar yang tidak optimal, sistem pendingin yang sering mengalami kebocoran, dan kurangnya fitur diagnostik, menghambat proses pembelajaran mahasiswa dalam memahami sistem kerja mesin diesel dan mengasah keterampilan *troubleshooting*. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dan observasi, yang mencakup identifikasi masalah, perbaikan komponen, uji coba kinerja, serta evaluasi efektivitas pembelajaran melalui tes praktek dan kuesioner. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah perbaikan, terjadi peningkatan signifikan pada kemampuan mahasiswa dalam memahami sistem mesin diesel (25%) dan keterampilan *troubleshooting* (35%). Selain itu, tingkat kepuasan mahasiswa terhadap proses pembelajaran juga meningkat sebesar 72%. Penelitian ini membuktikan bahwa perbaikan alat bantu praktikum, seperti *trainer engine diesel*, dapat secara langsung meningkatkan efektivitas pembelajaran berbasis proyek dan memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif serta efisien bagi mahasiswa.

Kata Kunci: Keterampilan praktis, Pembelajaran berbasis proyek (PjBL), Perbaikan, Teknik otomotif, *Trainer engine diesel*

1. PENDAHULUAN

Pembelajaran berbasis proyek (*Project Based Learning* atau PjBL) merupakan metode yang efektif dalam meningkatkan keterampilan praktis mahasiswa, salah satunya di bidang teknik otomotif. Pembelajaran berbasis proyek (PjBL) didasarkan pada konsep konstruktivisme. Konstruktivisme merupakan suatu teori yang memberikan keluasaan berfikir kepada peserta didik dan peserta didik dituntut untuk bagaimana mempraktikkan teori yang sudah diketahui dalam kehidupannya (Suparlan, 2019 : 82). Metode ini efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan teknis, terutama di bidang teknik otomotif yang membutuhkan pemahaman mendalam mengenai sistem mekanik, elektronik, dan diagnosa kerusakan. Metode ini juga memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk belajar secara langsung melalui proyek nyata yang relevan dengan dunia industri. Namun, efektivitas pembelajaran PjBL sangat bergantung pada ketersediaan alat bantu praktikum yang memadai dan sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

Di Laboratorium Teknik Otomotif Program Studi Pendidikan Teknik Mesin FTK Universitas Pendidikan Ganesha, salah satu alat bantu yang sering digunakan adalah *trainer engine diesel*. *Trainer engine diesel* adalah alat simulasi mesin yang memungkinkan mahasiswa untuk memahami komponen dan cara kerja mesin diesel tanpa harus menggunakan mesin asli kendaraan, sehingga lebih aman dan praktis dalam kegiatan belajar. Alat ini juga memungkinkan mahasiswa untuk mengasah keterampilan *troubleshooting*. Sayangnya, kondisi *trainer engine diesel* yang digunakan saat ini kurang optimal, seperti adanya masalah pada sistem injeksi bahan bakar, kebocoran pada sistem pendingin, serta keterbatasan fitur diagnostik. Masalah-masalah ini dapat menghambat proses pembelajaran dan mengurangi efektivitas metode PjBL.

Trainer engine diesel yang ada saat ini memiliki beberapa kendala teknis yang menghambat proses pembelajaran, di antaranya: (1) sistem injeksi bahan bakar yang tidak optimal, sehingga tidak dapat mereplikasi kondisi kerja mesin diesel dengan baik; (2) sistem pendingin yang sering mengalami kebocoran, menyebabkan gangguan dalam proses praktikum; dan (3) keterbatasan fitur diagnostik yang membuat mahasiswa kesulitan untuk melakukan *troubleshooting* dan pemahaman mendalam tentang sistem mesin. Kendala-kendala teknis tersebut harus dapat ditangani melalui perbaikan terhadap *trainer engine diesel* yang ada, sehingga mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran PjBL yang diterapkan. Langkah-langkah pemecahan masalah yang dilakukan meliputi: (1) Identifikasi masalah pada sistem injeksi bahan bakar, sistem pendingin, dan fitur diagnostik; (2) Perbaikan komponen yang bermasalah untuk mengoptimalkan kinerja *trainer engine diesel*; (3) Uji coba kinerja setelah perbaikan untuk memastikan alat bekerja dengan optimal dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran; dan (4) Evaluasi

efektivitas pembelajaran melalui tes praktik dan kuesioner kepuasan mahasiswa, untuk mengukur peningkatan pemahaman dan keterampilan *troubleshooting*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran berbasis proyek di Laboratorium Teknik Otomotif Program Studi Pendidikan Teknik Mesin FTK Universitas Pendidikan Ganesha melalui perbaikan *trainer engine* diesel. Dengan memperbaiki alat bantu praktikum ini, diharapkan mahasiswa dapat lebih mudah memahami sistem kerja mesin diesel dan mengasah keterampilan *troubleshooting* mereka, serta meningkatkan kepuasan terhadap proses pembelajaran secara keseluruhan melalui penerapan pembelajaran berbasis proyek.

2. KAJIAN PUSTAKA

Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL) merupakan metode pembelajaran yang memungkinkan siswa untuk memperoleh pengetahuan dan keterampilan melalui pengalaman langsung dalam menyelesaikan proyek nyata. Menurut Nurhidayah dkk. (2021), PjBL adalah pendekatan yang efektif untuk memfasilitasi pembelajaran yang lebih mendalam dan terintegrasi, terutama di bidang teknik, di mana peserta didik dapat langsung mengaplikasikan konsep yang dipelajari dalam konteks nyata. Hal ini selaras dengan pandangan dari Shaoxuan (2023), yang menyatakan bahwa PjBL meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, berpikir kritis, serta kolaborasi di antar peserta didik. Dalam konteks pendidikan otomotif, PjBL dapat membantu mahasiswa untuk memahami kompleksitas sistem mesin dan komponen otomotif (dalam hal ini *trainer engine* diesel) secara lebih mendetail.

Trainer engine diesel adalah perangkat simulasi yang dirancang untuk keperluan pelatihan Teknik otomotif. Alat ini memungkinkan pengguna untuk belajar tentang struktur, fungsi, dan perbaikan mesin diesel tanpa harus menggunakan mesin kendaraan asli, yang sering kali lebih sulit diakses. Penelitian oleh Taka dkk. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan *trainer engine* sebagai alat bantu praktikum dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang sistem kerja mesin diesel dan mempercepat proses pembelajaran. Selain itu, alat ini juga membantu mahasiswa mengasah keterampilan *troubleshooting* dengan cara yang lebih praktis dan aman. Menurut Sollano & Cuasito (2024), *trainer engine* diesel harus dirancang dengan sistem yang mencerminkan kondisi sebenarnya dari mesin kendaraan untuk memberikan simulasi yang akurat dan realistis. Pada penelitian ini, kegiatan difokuskan pada tiga sistem utama pada *trainer engine* diesel yang ada di Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Undiksha, yaitu sistem injeksi bahan bakar, sistem pendinginan dan fitur diagnostik pada *trainer*.

Sistem injeksi bahan bakar diesel modern telah mengalami banyak perkembangan dalam beberapa tahun terakhir. Chaua (2023) menjelaskan bahwa teknologi *Common Rail Injection*, yang saat ini banyak digunakan, memberikan kontrol yang lebih presisi terhadap jumlah dan tekanan bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi. Pada *trainer engine* diesel, sistem injeksi yang tidak optimal dapat mengakibatkan simulasi yang tidak akurat, sehingga memperlambat proses pembelajaran. Oleh karena itu, memastikan sistem injeksi pada *trainer engine* bekerja dengan baik adalah hal yang penting untuk memberikan pengalaman belajar yang lebih baik bagi mahasiswa.

Selanjutnya, sistem pendingin pada mesin diesel berfungsi untuk menjaga suhu mesin agar tetap dalam kondisi optimal selama beroperasi. Menurut Daly (2011), kegagalan sistem pendingin dapat mengakibatkan *overheating* yang menyebabkan kerusakan serius pada mesin. Di dalam konteks praktikum, sistem pendingin yang sering mengalami kebocoran atau malfungsi dapat menghambat proses belajar mahasiswa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kaleli & Akolaş (2022), memperbaiki dan meningkatkan efisiensi sistem pendingin pada alat praktikum seperti *trainer engine* diesel dapat membantu mahasiswa untuk belajar bagaimana cara mengatasi dan mencegah masalah *overheating* pada mesin diesel.

Fitur diagnostik pada *trainer engine* diesel memainkan peran penting dalam mengajarkan keterampilan *troubleshooting* kepada mahasiswa. Menurut laporan yang diterbitkan oleh Nissimagoudar dkk. (2016), fitur diagnostik membantu mahasiswa memahami bagaimana mendeteksi dan mendiagnosis masalah pada mesin dengan menggunakan alat uji diagnostik, yang juga digunakan di bengkel otomotif profesional. Penggunaan fitur diagnostik ini membantu mahasiswa untuk mengembangkan keterampilan analitis, serta mempersiapkan mereka untuk menghadapi situasi nyata di dunia kerja. Tanpa fitur diagnostik yang lengkap, mahasiswa mungkin akan kesulitan memahami dan menganalisis masalah pada mesin, yang dapat mengurangi efektivitas pembelajaran.

Evaluasi efektivitas pembelajaran adalah bagian penting dalam proses pendidikan, terutama dalam pembelajaran berbasis proyek. Dampierre dkk. (2024) menunjukkan bahwa peningkatan dalam keterampilan praktis dan pengetahuan teori dapat diukur melalui berbagai metode evaluasi, termasuk tes praktik, observasi, dan kuesioner kepuasan. Penggunaan alat praktikum yang memadai, seperti *trainer engine* diesel, memungkinkan mahasiswa untuk mempraktikkan keterampilan *troubleshooting*, sekaligus memberikan pengajaran yang lebih interaktif. Penelitian dari Maulana dkk. (2023) menyatakan bahwa

setelah perbaikan pada alat praktikum, mahasiswa menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam pemahaman mereka tentang sistem kerja mesin dan keterampilan *troubleshooting*, yang diukur melalui peningkatan hasil tes praktik dan umpan balik kuesioner.

Beberapa tinjauan empiris di atas menunjukkan bahwa kualitas alat bantu praktikum, seperti *trainer engine* diesel, memainkan peran penting dalam keberhasilan pembelajaran berbasis proyek di bidang teknik otomotif. Perbaikan komponen kunci seperti sistem injeksi bahan bakar, sistem pendingin, dan fitur diagnostik tidak hanya meningkatkan efektivitas simulasi, tetapi juga memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk mengembangkan keterampilan praktis yang relevan dengan dunia kerja. Selain itu, peningkatan kualitas alat juga berdampak positif pada tingkat kepuasan mahasiswa, yang menunjukkan bahwa mereka merasa lebih siap dan termotivasi untuk belajar. Hasil-hasil tinjauan empiris ini mendukung perlunya pengembangan dan perbaikan terus-menerus pada alat bantu praktikum untuk meningkatkan kualitas Pendidikan, khususnya di bidang teknik otomotif.

3. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen dan observasi untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran berbasis proyek (*Project Based Learning/PjBL*) melalui perbaikan *trainer engine* diesel. Metode yang digunakan bertujuan untuk mengidentifikasi masalah, melakukan perbaikan, menguji kinerja alat yang sudah diperbaiki, serta mengevaluasi efektivitas pembelajaran dengan alat tersebut.

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuasi-eksperimen dengan desain *pretest-posttest* untuk membandingkan hasil sebelum dan sesudah perbaikan dilakukan pada *trainer engine* diesel. Pendekatan ini efektif digunakan ketika peneliti ingin mengukur perubahan yang terjadi akibat intervensi tertentu (Creswell, 2018). Yang menjadi subjek pada penelitian ini adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Undiksha yang mengikuti mata kuliah Teknik Pemeliharaan Kendaraan. Sebanyak 40 mahasiswa dari dua kelas yang berbeda dilibatkan dalam penelitian ini. Kelas pertama menggunakan *trainer engine* diesel sebelum perbaikan (kelompok kontrol), sedangkan kelas kedua menggunakan *trainer engine* diesel setelah perbaikan (kelompok eksperimen). Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Otomotif selama periode satu semester akademik. Proses perbaikan alat dan uji coba berlangsung selama dua bulan, sementara evaluasi efektivitas pembelajaran dilakukan selama empat bulan.

3.2 Tahapan Penelitian

3.2.1 Identifikasi Masalah

Langkah pertama adalah melakukan identifikasi terhadap masalah-masalah yang ada pada *trainer engine* diesel. Melalui observasi langsung dan wawancara dengan teknisi serta dosen pengampu, ditemukan beberapa masalah seperti sistem injeksi bahan bakar yang tidak optimal, sistem pendingin yang sering bocor dan kurangnya fitur diagnostik. Identifikasi masalah dilakukan berdasarkan metodologi pengembangan alat praktikum yang dianjurkan oleh Suarniati dkk. (2018). Adapun masalah yang ditemukan meliputi: (1) Sistem injeksi bahan bakar yang tidak optimal; (2) Sistem pendingin yang sering mengalami kebocoran; dan (3) Kurangnya fitur diagnostik yang dapat digunakan untuk latihan *troubleshooting*.

3.2.2 Perbaikan Komponen

Tahapan selanjutnya adalah perbaikan pada komponen-komponen *trainer engine* diesel yang bermasalah. Proses ini meliputi perbaikan dan penyetelan ulang sistem injeksi, perbaikan sistem pendingin untuk mencegah kebocoran, serta penambahan modul diagnostik untuk memudahkan proses *troubleshooting*. Prosedur perbaikan didasarkan pada panduan standar perawatan mesin diesel yang dikembangkan oleh Ranjit (2024). Berdasarkan hasil identifikasi, langkah-langkah perbaikan yang dilakukan adalah: (1) Perbaikan dan kalibrasi sistem injeksi bahan bakar dilakukan untuk memastikan aliran bahan bakar yang stabil dan efisien. Sistem kalibrasi juga diterapkan untuk memberikan kontrol yang lebih presisi terhadap injeksi bahan bakar; (2) Sistem pendingin diperbaiki dengan mengganti komponen yang rusak dan memastikan tidak ada kebocoran. Perbaikan ini bertujuan untuk menjaga suhu mesin tetap stabil selama penggunaan praktikum; dan (3) Alat-alat diagnostik modern ditambahkan untuk membantu mahasiswa dalam mendeteksi masalah pada mesin, termasuk alat uji tekanan, sensor, dan perangkat lunak analisis yang dapat memberikan data *real-time*.

3.2.3 Uji Coba Kinerja Trainer

Setelah perbaikan, dilakukan uji coba kinerja *trainer engine* diesel untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik. Uji coba meliputi tes efisiensi sistem injeksi, ketahanan sistem pendingin, dan evaluasi akurasi fitur diagnostik. Metode ini sejalan dengan penelitian oleh Goolsarran dkk. (2018), yang menekankan pentingnya pengujian komprehensif untuk memastikan peningkatan kinerja setelah modifikasi alat praktikum. Pengujian ini meliputi: (1) Uji Sistem Injeksi: Pengujian dilakukan untuk memastikan aliran bahan bakar yang optimal dan efisien; (2) Uji Sistem Pendingin: Diuji untuk melihat apakah sistem dapat menjaga suhu mesin dalam kondisi stabil selama waktu operasi yang panjang tanpa mengalami *overheat*; dan (3) Uji Fitur Diagnostik: Pengujian untuk memastikan bahwa fitur diagnostik dapat mendeteksi masalah dan memberikan data yang akurat mengenai kondisi mesin.

3.2.4 Evaluasi Efektivitas Pembelajaran

Tahap akhir adalah evaluasi efektivitas pembelajaran dengan menggunakan metode tes praktek dan kuesioner. Tes praktek dilakukan untuk mengukur pemahaman teknis mahasiswa terkait sistem mesin diesel dan keterampilan *troubleshooting* sebelum dan sesudah menggunakan *trainer* yang telah diperbaiki. Selain itu, kuesioner digunakan untuk mengukur tingkat kepuasan mahasiswa terhadap proses pembelajaran. Metode ini mengacu pada penelitian oleh Hidayati (2023), yang menunjukkan bahwa evaluasi berlapis memberikan gambaran lebih akurat terkait hasil pembelajaran.

3.3 Teknik Analisis Data

Untuk analisis data, digunakan statistik deskriptif untuk menggambarkan data hasil tes praktek dan kuesioner, serta statistik inferensial dengan uji *t-test* untuk menguji perbedaan antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dalam hal pemahaman teknis dan keterampilan *troubleshooting*. Statistik inferensial memungkinkan peneliti untuk mengukur dampak perbaikan pada *trainer* terhadap peningkatan pemahaman teknis dan keterampilan *troubleshooting* mahasiswa (Field, 2017).

Uji *t-test* dua sampel independen digunakan untuk membandingkan rata-rata skor antara kelompok kontrol dan eksperimen, dengan asumsi variansi homogen dan jumlah sampel yang sama dalam setiap kelompok. Rumus uji *t* untuk dua sampel independen adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Dimana :

\bar{X}_1 dan \bar{X}_2 adalah rata-rata perbedaan skor pada kelompok kontrol dan eksperimen.

s_1^2 dan s_2^2 adalah variasi dari kedua kelompok.

n_1 dan n_2 adalah jumlah sampel pada masing-masing kelompok.

4. TEMUAN DAN DISKUSI

4.1 Temuan

Hasil penelitian meliputi peningkatan pemahaman teknis mahasiswa, keterampilan *troubleshooting*, serta tingkat kepuasan mahasiswa terhadap proses pembelajaran setelah perbaikan dilakukan.

4.1.1 Peningkatan Pemahaman Mahasiswa tentang Sistem Mesin Diesel

Sebelum perbaikan, dilakukan tes praktek untuk mengukur pemahaman mahasiswa tentang sistem mesin diesel. Tes ini dilakukan pada dua kelompok: kelompok kontrol (menggunakan *trainer* sebelum perbaikan) dan kelompok eksperimen (menggunakan *trainer* setelah perbaikan).

Tabel 1. Hasil *Pretest* dan *Posttest* Pemahaman Sistem Mesin Diesel.

Kelompok	Rata-rata Skor Sebelum Perbaikan	Rata-rata Skor Setelah Perbaikan	Peningkatan (%)
Kontrol	65	68	4,6%
Eksperimen	66	83	25,8%

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan rata-rata skor pemahaman sebesar 25,8%, sedangkan kelompok kontrol hanya mengalami peningkatan sebesar 4,6%. Uji statistik menunjukkan bahwa peningkatan pada kelompok eksperimen signifikan secara statistik

dengan nilai $p < 0,05$, yang berarti bahwa perbaikan pada *trainer engine* diesel berdampak langsung pada peningkatan pemahaman mahasiswa terhadap sistem mesin diesel.

4.1.2 Peningkatan Keterampilan Troubleshooting Mahasiswa

Keterampilan *troubleshooting* diukur dengan memberikan skenario praktikum di mana mahasiswa diminta untuk mendiagnosis dan memperbaiki masalah mesin diesel. Skor yang diberikan didasarkan pada kecepatan dan akurasi mahasiswa dalam menemukan dan menyelesaikan masalah.

Tabel 2. Hasil *Pretest* dan *Postest* Keterampilan *Troubleshooting*.

Kelompok	Rata-rata Skor Sebelum Perbaikan	Rata-rata Skor Setelah Perbaikan	Peningkatan (%)
Kontrol	58	63	8,6%
Eksperimen	60	81	35,0%

Data di atas menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan keterampilan *troubleshooting* sebesar 35%, sedangkan kelompok kontrol hanya 8,6%. Peningkatan yang signifikan pada kelompok eksperimen menunjukkan bahwa perbaikan sistem injeksi bahan bakar, sistem pendingin, dan penambahan fitur diagnostik pada *trainer engine* diesel telah membantu mahasiswa lebih efektif dalam mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah mesin.

4.1.3 Evaluasi Kinerja Trainer Engine Diesel

Uji coba kinerja *trainer engine* diesel dilakukan sebelum dan setelah perbaikan untuk mengevaluasi efektivitas sistem yang sudah diperbaiki. Hasil pengujian ini meliputi tiga aspek utama: sistem injeksi bahan bakar, sistem pendingin, dan fitur diagnostik.

Tabel 3. Evaluasi Kinerja *Trainer Engine* Diesel.

Aspek yang Diuji	Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan
Sistem Injeksi Bahan Bakar	Aliran bahan bakar tidak stabil, ada kebocoran	Aliran bahan bakar stabil, tidak ada kebocoran
Sistem Pendingin	Sering terjadi <i>overheat</i> , kebocoran air	Suhu stabil selama 3 jam operasional, tidak ada kebocoran
Fitur Diagnostik	Tidak ada alat diagnostik terintegrasi	Fitur diagnostik lengkap, dapat mendeteksi sensor dan aktuator

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua aspek mengalami peningkatan kinerja setelah perbaikan. Sistem injeksi bahan bakar menjadi lebih efisien dengan aliran bahan bakar yang lebih stabil. Sistem pendingin yang diperbaiki mampu menjaga suhu mesin tetap stabil selama sesi praktikum yang lebih lama tanpa mengalami *overheat*. Fitur diagnostik yang ditambahkan juga berfungsi dengan baik dalam membantu mahasiswa menganalisis kondisi mesin secara *real-time*.

4.1.4 Tingkat Kepuasan Mahasiswa terhadap Proses Pembelajaran

Untuk mengevaluasi tingkat kepuasan mahasiswa, kuesioner diberikan kepada peserta dari kedua kelompok. Kuesioner mencakup aspek seperti kemudahan penggunaan alat, kelengkapan fitur, dan efektivitas dalam membantu pembelajaran. Skala yang digunakan adalah skala Likert 1-5 (1 = sangat tidak puas, 5 = sangat puas).

Tabel 4. Tingkat Kepuasan Mahasiswa Terhadap Proses Pembelajaran.

Aspek yang Dinilai	Kelompok Kontrol	Kelompok Eksperimen
Kemudahan Penggunaan	3,2	4,5
Kelengkapan Fitur	2,8	4,7
Efektivitas dalam Pembelajaran	3,0	4,8
Kepuasan Keseluruhan	3,3	4,6

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa kelompok eksperimen merasa lebih puas dengan alat yang digunakan setelah perbaikan. Aspek kemudahan penggunaan meningkat dari skor rata-rata 3,2 menjadi 4,5, sedangkan kelengkapan fitur meningkat dari 2,8 menjadi 4,7. Secara keseluruhan, tingkat kepuasan mahasiswa meningkat sebesar 72% setelah perbaikan *trainer engine* diesel.

4.2 Diskusi

Dari data yang diperoleh dengan jumlah sampel masing-masing 20 orang, diketahui pada: (1) kelompok kontrol: rata-rata perubahan skor adalah 4,6 untuk pemahaman teknis dan 5 untuk *troubleshooting*, dan (2) kelompok eksperimen: rata-rata perubahan skor adalah 25,8 untuk pemahaman teknis dan 35 untuk *troubleshooting*. Setelah dilakukan perhitungan, diketahui nilai t sebesar 21,21, dengan derajat kebebasan (df) sebesar 38, diperoleh nilai p -value sebesar $1,15 \times 10^{-22}$. Dengan didapatkan nilai t yang sangat besar dalam nilai *absolute* dan p -value yang sangat kecil (lebih kecil dari 0,05), hal ini berarti terdapat perbedaan signifikan dalam efektivitas pembelajaran antara kedua kelompok.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbaikan *trainer engine* diesel yang mencakup optimalisasi sistem injeksi bahan bakar, perbaikan sistem pendingin, dan penambahan fitur diagnostik berkontribusi positif terhadap peningkatan pemahaman teknis mahasiswa dan keterampilan *troubleshooting* mereka. Peningkatan sebesar 25,8% dalam pemahaman teknis dan 35% dalam keterampilan *troubleshooting* membuktikan bahwa mahasiswa mampu belajar lebih efektif dengan alat yang sudah diperbaiki.

Selain itu, peningkatan kinerja alat setelah perbaikan memastikan bahwa mahasiswa dapat menjalankan praktikum tanpa gangguan seperti *overheat* atau kerusakan lainnya, yang sebelumnya sering terjadi. Penambahan fitur diagnostik juga memberikan nilai tambah, karena mahasiswa dapat berlatih mendiagnosis masalah mesin secara lebih efisien.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa perbaikan pada *trainer engine* diesel memberikan dampak positif yang signifikan terhadap efektivitas pembelajaran berbasis proyek di bidang teknik otomotif. Mahasiswa tidak hanya menjadi lebih terampil dalam memahami sistem mesin diesel, tetapi juga lebih percaya diri dalam mendiagnosis dan memperbaiki masalah yang terkait. Tingkat kepuasan yang tinggi juga menunjukkan bahwa mahasiswa merasa lebih nyaman dan termotivasi dalam belajar ketika menggunakan alat yang memadai dan berfungsi dengan baik. Penelitian ini menegaskan pentingnya perbaikan alat bantu praktikum dalam mendukung keberhasilan pembelajaran berbasis proyek, khususnya di bidang pendidikan teknik.

Beberapa saran terkait peningkatan efektivitas pembelajaran berbasis proyek di laboratorium teknik otomotif, khususnya yang melibatkan penggunaan *trainer engine* diesel yaitu: (1) Untuk menjaga kinerja optimal dari *trainer engine* diesel, sangat penting bagi pihak laboratorium untuk melakukan pemeliharaan rutin. Pemeliharaan mencakup pengecekan sistem injeksi bahan bakar, sistem pendingin, serta kalibrasi perangkat diagnostik secara berkala. Hal ini akan memastikan alat selalu siap digunakan dan mengurangi kemungkinan gangguan selama sesi praktikum. (2) Agar penggunaan *trainer engine* diesel yang telah diperbaiki dapat maksimal, disarankan untuk memberikan pelatihan kepada dosen dan teknisi laboratorium mengenai cara penggunaan, perawatan, dan pemecahan masalah pada alat tersebut. Dengan demikian, mereka dapat memberikan panduan yang lebih efektif dan mendukung proses pembelajaran mahasiswa. (3) Penelitian ini menunjukkan bahwa perbaikan pada alat bantu praktikum dapat memberikan dampak signifikan terhadap efektivitas pembelajaran. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan alat bantu pembelajaran lain, seperti *trainer engine* berbasis *hybrid* atau listrik, guna memperluas cakupan dan kedalaman materi praktikum yang dapat dipelajari oleh mahasiswa.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Bell, S. (2010). Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 83(2), 39-43. <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>.
- Chaua, V. T., Longb, T. D., Vangc, H. B., Hoanga, N. M., Phuca, N.H., Sy, N. Q. (2023). A Study On The Injection Rate Characteristics Of The Solenoid Common-Rail Injector Under Using A High-Pressure Fuel System. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 85(3), 25-33. <https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v85.19106>.
- Creswell, J. W. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE Publications.
- Daly, S. (2011). *Automotive air conditioning and climate control systems*. Elsevier.
- Dampierre, M. R., López, M. C. G., Bercial, P. J. L. (2024). Evaluation of the Implementation of Project-Based-Learning in Engineering Programs: A Review of the Literature. *Education Sciences*, 14(10):1107. <https://doi.org/10.3390/educsci14101107>.
- Field, A. (2017). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics*. SAGE Publications.
- Goolsarran, N., Hamo, C.E., Lane, S. dkk. (2018). Effectiveness of an interprofessional patient safety team-based learning simulation experience on healthcare professional trainees. *BMC Med Educ* 18(192).

- <https://doi.org/10.1186/s12909-018-1301-4>.
- Hidayati, D. (2023). Assessment of Project-Based Learning: Evaluating Its Impact on Students' Writing Proficiency and Academic Outcomes. *English Language and Literature in Education Journal*, 1(1), 1-11. <https://doi.org/10.63011/ep6nnx37>.
- Kaleli, A., & Akolaş, H. İ. (2022). The Design And Development Of A Diesel Engine Electromechanical EGR Cooling System Based On Machine Learning-Genetic Algorithm Prediction Models To Reduce Emission And Fuel Consumption. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(3), 1888-1902. <https://doi.org/10.1177/09544062211020045>.
- Nissimagoudar, P. C., Mane, V., Gireesha, H. M., Joshi, R., Kiran, M. R., Anisha, J., ... & BL, D. (2016). Automotive Electronics: Enhancing The Learning Through Integrated Laboratory. *Journal of Engineering Education Transformations*, 30(2). <https://dx.doi.org/10.16920/jeet/2016/v30i2/105443>.
- Nurhidayah, I. J., Wibowo, F. C., & Astra, I. M. (2021). Project Based Learning (PjBL) learning model in science learning: Literature review. In *Journal of Physics: Conference Series* 1. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2019/1/012043>.
- Ranjit, P. S., Ahmed, Z., Bhurat, S. S., Alur, V. B., Venkatesan, E. P., Samuel, O. D., Enweremadu, C., Kumar, A. S., Sekar, P. (2024). Comprehensive Comparative Study of the Durability Wear Assessment of a Diesel Engine Fuelled with Jatropha Seed Oil and Diesel Fuel and Its Troubleshooting and Scheduled Maintenance. *American Chemical Society: ACS Omega*, XXXX, XXX, XXX-XXX. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00204>.
- Shaoxuan, Z. (2023). Research On The Effectiveness Of Project-Based Learning In Automotive Engineering Teaching. *Advances in Educational Technology and Psychology*, 7(17), 139-144. <https://dx.doi.org/10.23977/aetp.2023.071720>.
- Sollano, R. P., & Cuasito, R. J. (2024). Design, Development and Implementation of a Diesel Rotary Injection Pump Mock-up for Autotronics Education and Research. *Cognizance Journal of Multidisciplinary Studies*, 4(6), 7-19. <https://doi.org/10.47760/cognizance.2024.v04i06.002>.
- Suarniati N. W., Hidayah, N., & Handarini, M. D. (2018). The Development of Learning Tools to Improve Student's Critical Thinking Skills in Vocational High School. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 175. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/175/1/012095>.
- Suparlan. (2019). Teori Konstruktivisme Dalam Pembelajaran. *Islamika : Jurnal Keislaman dan Ilmu Pendidikan*, 1(2), 79-88. <https://doi.org/10.36088/islamika.v1i2.208>.
- Taka, B. I., Qudus, N., & Anis, S. (2018). 'Direct Training' Practical Learning Model on the Teaching Material Diesel Fuel Injection System. *Journal of Vocational Career Education*, 3(2) (2018) : 187-195. <https://doi.org/10.15294/jvce.v3i2.18316>.