

RANCANG BANGUN *ENGINE STAND* MESIN KIJANG 4K SEBAGAI PENUNJANG PRAKTIKUM *OVERHAUL*

Riza Dwi Ahmadi ^{a,*}, Anggara Sukma Ardiyanta ^a^a Program Studi Pendidikan Vokasional Teknologi Otomotif, Universitas Bhinneka PGRI, Jl. Mayor Sujadi Timur nomor 7 Tulungagung, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima 10 Februari 2026

Diterima setelah direvisi 22 April 2026

Disetujui 24 April 2026

Kata kunci:

Engine Stand, Engine Overhaul, Design and Development, Learning Media, Vocational Education

Abstract- This research aims to develop an engine stand overhaul as a learning medium for automotive engineering practicals. The primary issues addressed are the lack of engine stands in the campus workshop and the limitations of conventional designs, which are typically only compatible with a single engine type. The study follows the Research and Development (R&D) method using the ADDIE model. The design was created using Autodesk Inventor, while fabrication utilized steel with the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method. The developed product features two main components: a Universal Adjustable Engine Adapter Plate and a 360° Rotation Gearbox system based on steel shafts and UCP bearings. Test results demonstrate that the engine stand can be used for various types of gasoline engines without additional modifications. Student performance improved, with average scores increasing from 60.4 to 78.2 after using the media. Furthermore, the feasibility survey achieved a score of 90%, placing it in the "highly feasible" category. In conclusion, the developed engine stand is technically viable and effective in supporting engine overhaul practical learning.

Intisari- Penelitian ini bertujuan mengembangkan engine stand overhaul sebagai media pembelajaran pada praktikum teknik otomotif. Permasalahan yang dihadapi adalah belum tersedianya engine stand di bengkel kampus serta keterbatasan desain konvensional yang umumnya hanya sesuai untuk satu tipe mesin. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* dengan model ADDIE. Perancangan dilakukan menggunakan *Autodesk Inventor*, sedangkan fabrikasi menggunakan baja besi dengan metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Produk yang dikembangkan memiliki dua fitur utama, yaitu *Universal Adjustable Engine Adapter Plate* dan sistem *Gearbox* Rotasi 360° berbasis poros baja dan *bearing* UCP. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *engine stand* dapat digunakan pada berbagai tipe mesin bensin tanpa modifikasi tambahan. Nilai rata-rata mahasiswa meningkat dari 60,4 menjadi 78,2 setelah penggunaan media, dan hasil angket kelayakan memperoleh persentase sebesar 90% dengan kategori sangat layak. *Engine stand* yang dikembangkan layak secara teknis dan efektif mendukung pembelajaran praktikum *overhaul* mesin.

1. Pendahuluan

Pendidikan vokasional menuntut proses pembelajaran yang berbasis praktik nyata agar mahasiswa tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu menerapkan keterampilan sesuai standar industri. Dalam bidang teknik otomotif, efektivitas pembelajaran sangat ditentukan oleh ketersediaan media praktik yang representatif dan relevan dengan kebutuhan kerja lapangan. Media pembelajaran berbasis alat praktik terbukti mampu meningkatkan pemahaman teknis, ketelitian kerja, serta kesiapan kompetensi mahasiswa[1]. Selain itu, kelengkapan fasilitas dan peralatan praktik memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil belajar dan penguasaan keterampilan peserta didik pada pembelajaran otomotif[2]. Oleh sebab itu, ketersediaan sarana praktik yang sesuai standar industri bukan sekadar pelengkap, melainkan komponen esensial dalam menjamin mutu pembelajaran vokasional.

Praktikum *overhaul* mesin merupakan mata kuliah inti yang menuntut mahasiswa melakukan pembongkaran, pemeriksaan, dan perakitan kembali mesin secara menyeluruh sesuai prosedur teknis. Dalam praktik industri, proses tersebut selalu menggunakan *engine stand* untuk menjamin stabilitas, keselamatan kerja, serta kemudahan akses terhadap seluruh bagian mesin. Penggunaan *engine stand* yang tepat terbukti meningkatkan efektivitas praktik dan kompetensi teknis peserta didik[3], [4], [5]. Namun, berdasarkan hasil observasi awal di bengkel kampus, hingga saat ini belum tersedia *engine stand overhaul* yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran resmi. Kondisi tersebut menyebabkan proses praktikum belum sepenuhnya merepresentasikan standar kerja industri dan berpotensi mengurangi efisiensi serta kualitas pengalaman belajar mahasiswa.

Di sisi lain, berbagai *engine stand* yang tersedia di pasaran maupun yang dikembangkan untuk kebutuhan pendidikan umumnya masih bersifat spesifik atau *fixed*, sehingga hanya sesuai untuk satu tipe atau pola duduk mesin tertentu[6], [7], [8]. Desain tersebut membatasi

* Corresponding Author:

E-mail: rdahmadi1@gmail.com (Riza Dwi Ahmadi)

fleksibilitas penggunaan ketika dihadapkan pada variasi konfigurasi baut dan dimensi blok mesin yang berbeda. Selain itu, sistem rotasi pada sebagian *engine stand* belum sepenuhnya dirancang untuk memberikan putaran yang ringan dan stabil pada beban mesin yang relatif berat. Penelitian terkait pembuatan *engine stand* sebelumnya menunjukkan bahwa kendala utama pada desain yang ada adalah kurangnya adaptasi terhadap kebutuhan praktis bengkel pendidikan maupun dunia industri [7], [8]. Pengembangan *engine stand* sebelumnya umumnya lebih menitikberatkan pada kekuatan rangka dan fungsi dasar penopang mesin, tanpa mengintegrasikan sistem dudukan universal dan mekanisme rotasi berbasis transmisi mekanis dalam satu rancangan pembelajaran terpadu. Keterbatasan ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kebutuhan pembelajaran vokasional yang dinamis dengan desain alat praktik yang konvensional, sehingga diperlukan inovasi *engine stand* yang lebih universal dan optimal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan media pembelajaran berupa *engine stand* sebagai penunjang praktikum *overhaul* mesin. Kebaruan penelitian ini terletak pada dua fitur utama yang belum terintegrasi secara optimal pada desain sebelumnya, yaitu *Universal Adjustable Engine Adapter Plate* dan *Gearbox* Rotasi 360° berbasis poros baja dengan penyangga *bearing* tipe UCP. Fitur *adjustable plate* memungkinkan alat digunakan pada berbagai tipe mesin seperti Toyota seri K, Toyota NR, Daihatsu, maupun Honda tanpa memerlukan modifikasi tambahan. Sementara itu, sistem *gearbox* yang terhubung dengan poros dan *bearing* memungkinkan mesin diputar secara ringan, stabil, dan 360° penuh untuk memudahkan akses kerja dari berbagai sudut. Integrasi sistem dudukan universal dan mekanisme rotasi berbasis *gearbox* dalam satu desain pembelajaran praktikum menjadi kontribusi teknis yang membedakan penelitian ini dari pengembangan *engine stand* konvensional, sekaligus meningkatkan fleksibilitas, efisiensi, dan kualitas pembelajaran vokasional otomotif.

2. Metodologi

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) dengan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Model ADDIE digunakan karena memberikan tahapan sistematis dalam mengembangkan media pembelajaran berbasis praktik, mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi produk yang dihasilkan.

2.1. Analysis

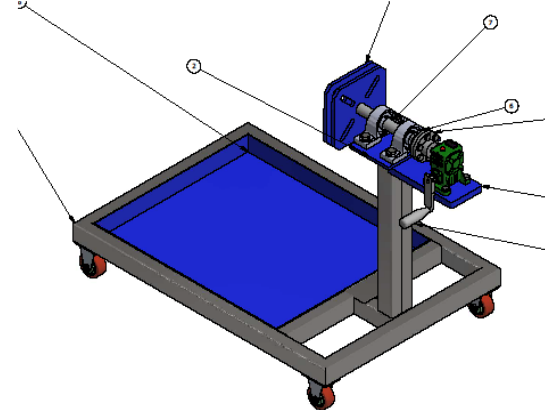
Tahap analisis dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran dan kondisi fasilitas bengkel kampus. Kegiatan ini meliputi observasi langsung sarana praktik serta wawancara dengan dosen pengampu mata kuliah praktikum *overhaul*. Hasil analisis menunjukkan bahwa belum tersedia *engine stand overhaul* sebagai media pembelajaran, sehingga diperlukan pengembangan alat yang dapat menunjang stabilitas, keselamatan, dan efektivitas praktikum. Selain itu, diperlukan desain yang fleksibel untuk berbagai tipe mesin dengan sistem rotasi yang ringan dan stabil.

2.2. Design

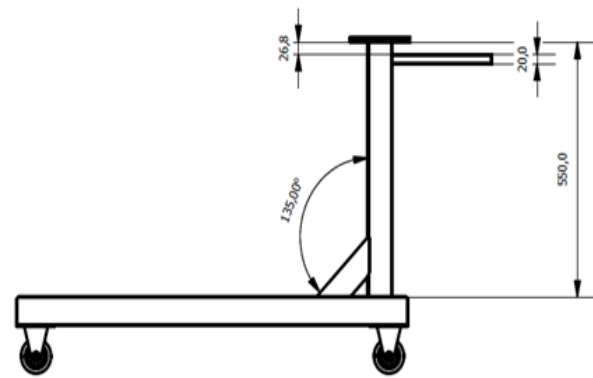
Tahap perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor untuk menghasilkan gambar teknik yang detail dan presisi. Pada tahap ini dirancang secara sistematis:

- 1) Rangka utama dengan spesifikasi kekuatan material sesuai beban mesin bensin konvensional
- 2) Sistem *Universal Adjustable Engine Adapter Plate* dengan slot dan pola baut yang dapat disesuaikan
- 3) Sistem *Gearbox* Rotasi 360°
- 4) Poros baja sebagai penghubung antara *gearbox* dan plat dudukan mesin
- 5) Penyangga poros menggunakan *bearing* tipe UCP
- 6) Mekanisme pengunci posisi rotasi

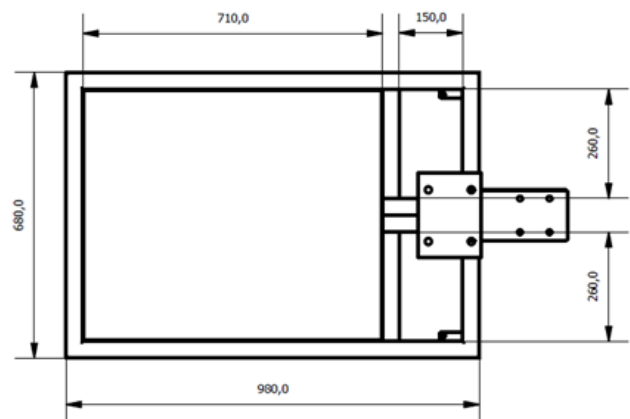
Hasil tahap desain berupa gambar kerja detail, simulasi struktur, serta spesifikasi dimensi dan material yang digunakan sebagai acuan fabrikasi.



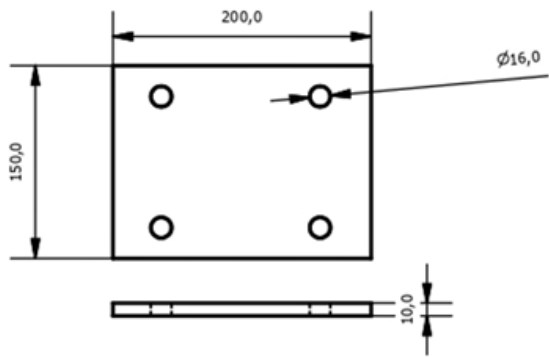
Gambar 1. Desain 3D *Engine Stand* Hasil Perancangan Menggunakan Autodesk Inventor.



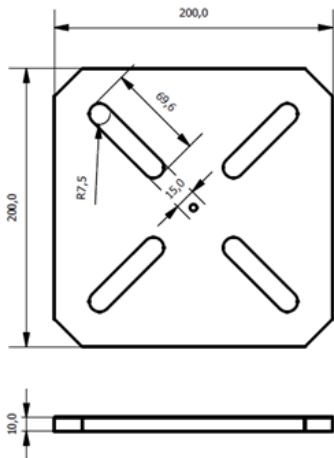
Gambar 2. Desain Rancangan *Engine Stand Overhaul* Mesin Tampak Samping.



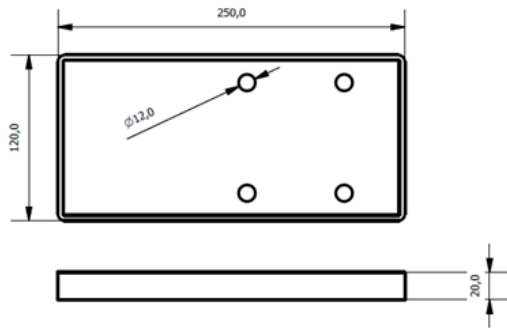
Gambar 3. Desain Rancangan *Engine Stand Overhaul* Mesin Tampak Atas.



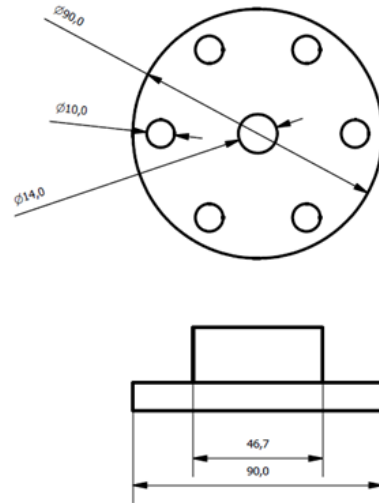
Gambar 4. Desain Plat untuk Dudukan Bearing UCP.



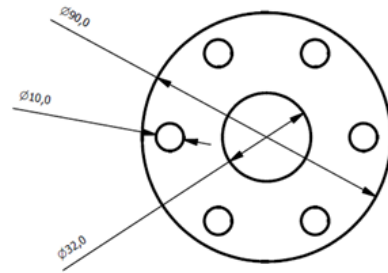
Gambar 5. Desain Plat untuk Dudukan Mesin yang Terhubung antara AS dengan Gearbox.



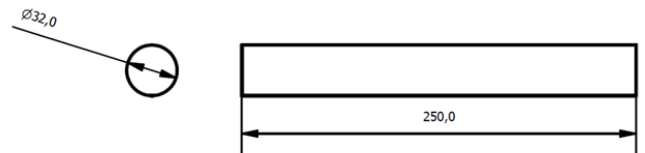
Gambar 6. Desain Plat untuk Dudukan Gearbox.



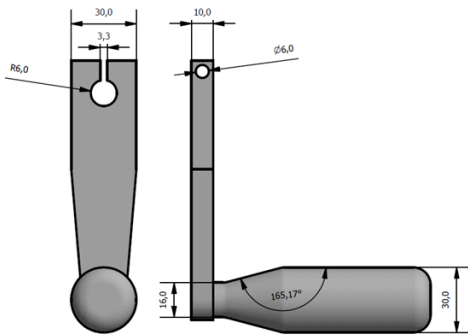
Gambar 7. Desain Kopling FCL yang Terhubung pada Bagian Gearbox.



Gambar 8. Desain Kopling FCL yang Terhubung pada Bagian AS.



Gambar 9. Desain AS Besi Diameter 1.5 Inchi.



Gambar 10. Desain Tuas untuk Memutar Poros Gearbox.

2.3. Development

Tahap pengembangan dilakukan dengan proses fabrikasi berdasarkan gambar kerja hasil desain *Autodesk Inventor*. Proses ini meliputi pemotongan material, pengelasan rangka, perakitan sistem *adjustable plate*, pemasangan *gearbox*, instalasi poros baja, serta pemasangan bearing tipe UCP. Setelah seluruh komponen terpasang, dilakukan pengecekan keselarasan poros dan keseimbangan struktur. Produk yang telah selesai kemudian diuji secara teknis untuk memastikan kekuatan rangka, stabilitas dudukan, serta kelancaran sistem rotasi 360°.

Pada tahap pengembangan, pemilihan material dilakukan berdasarkan pertimbangan kekuatan struktur, kestabilan, serta kapasitas beban mesin bensin konvensional. Rangka utama menggunakan besi hollow berukuran 4×6 cm dengan ketebalan 2 mm berbahan baja karbon (besi murni) yang memiliki kekuatan struktural cukup untuk menopang beban mesin sekaligus mempertahankan kestabilan konstruksi. Dudukan mesin dan plat *gearbox* menggunakan plat baja dengan ketebalan 10 mm untuk meningkatkan kekakuan struktur dan meminimalkan deformasi saat menerima beban statis maupun dinamis.

Sistem rotasi menggunakan poros baja pejal berdiameter 1½ inci dengan panjang 30 cm yang ditopang oleh bearing tipe UCP. Kombinasi tersebut dirancang untuk memastikan distribusi beban merata serta menghasilkan putaran yang ringan dan stabil saat mesin diputar 360°. Spesifikasi material yang digunakan dalam proses fabrikasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi dan Bahan yang Digunakan

Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah
Besi hollow	4×6 cm, t = 2 mm	1 lonjor
Plat baja	20×20 cm, t = 10 mm	2 lembar
Plat baja	15×20 cm, t = 10 mm	1 lembar
Roda caster	4 inci	1 lembar
Gearbox	40×40	4 lembar
Bearing UCP	1,5 inci	4 biji
Besi as	1½ inc	30 cm

Proses perakitan rangka dilakukan menggunakan metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) atau las busur listrik manual. Metode SMAW dipilih karena sesuai untuk pengelasan besi baja struktural dengan ketebalan tipis hingga menengah serta mampu menghasilkan sambungan yang kuat dan stabil pada konstruksi rangka[9]. Proses pengelasan dilakukan pada seluruh sambungan rangka utama berbahan hollow 4×6 cm tebal 2 mm untuk memastikan kekakuan struktur dan distribusi beban yang merata. Pemilihan metode ini juga mempertimbangkan kemudahan aplikasi, ketersediaan peralatan bengkel, serta karakteristik penetrasi yang memadai pada baja karbon rendah[10].

Setelah proses pengelasan selesai, dilakukan pemeriksaan visual terhadap kualitas sambungan untuk memastikan tidak terdapat cacat las seperti porositas atau *incomplete fusion* sebelum tahap finishing dan pengecatan.

2.4. Implementation

Uji coba dilakukan dengan memasang beberapa tipe mesin pada *engine stand* untuk menguji kompatibilitas dan fleksibilitas desain. Mesin yang digunakan dalam pengujian meliputi:

- Toyota Kijang 4K
- Toyota seri NR
- Mesin Daihatsu dengan konfigurasi dudukan sejenis
- Mesin Honda bensin dengan konfigurasi pola baut berbeda

Pengujian dilakukan untuk menilai:

- Kesesuaian pola dudukan melalui sistem *adjustable plate*
- Kemudahan penyesuaian posisi baut
- Stabilitas mesin saat dilakukan pembongkaran
- Kelancaran rotasi 360° menggunakan sistem *gearbox*

Tahap ini bertujuan membuktikan bahwa desain bersifat universal dan dapat digunakan pada berbagai tipe mesin bensin.

2.5. Evaluation

Evaluasi dilakukan dalam dua aspek, yaitu evaluasi teknis dan evaluasi pengguna.

- Evaluasi teknis meliputi pengamatan terhadap stabilitas struktur, kelancaran rotasi, kinerja *gearbox*, serta fungsi *bearing* UCP.
- Evaluasi pengguna dilakukan melalui angket berbasis skala Likert (1–5) kepada mahasiswa yang mengikuti praktikum *overhaul*. Aspek yang dinilai meliputi kemudahan penggunaan, stabilitas alat, kelancaran rotasi, serta efektivitas alat dalam membantu proses pembongkaran dan perakitan mesin.

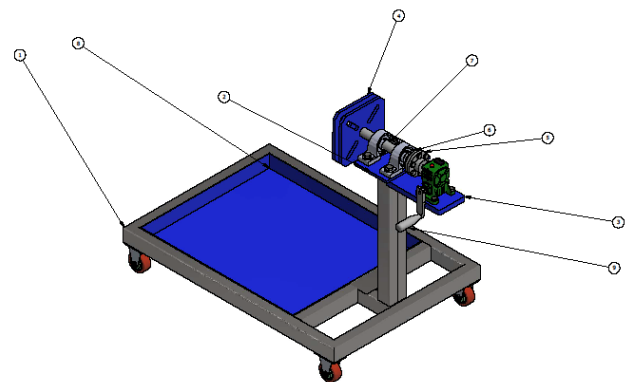
Data dianalisis menggunakan persentase kelayakan untuk menentukan kategori kelayakan produk.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

1. Hasil Pengembangan *Engine Stand*

Penelitian ini menghasilkan media pembelajaran berupa *engine stand overhaul* yang dirancang menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor* untuk memastikan akurasi dimensi, kekuatan struktur, serta kesesuaian antar komponen. Proses desain dilakukan melalui tahap pemodelan rangka utama, dudukan mesin (*adapter plate*), sistem rotasi, serta mekanisme penguncian posisi putar.



Gambar 11. Desain 3D *Engine Stand* Menggunakan *Autodesk Inventor*

Rangka utama menggunakan besi hollow 4×6 cm dengan ketebalan 2 mm berbahan baja besi, sedangkan dudukan mesin menggunakan plat baja tebal 10 mm untuk meningkatkan kekakuan struktur. Sistem rotasi memanfaatkan poros baja diameter 1½ inci yang ditopang bearing tipe UCP dan dikombinasikan dengan gearbox manual sebagai penggerak putaran. Produk hasil fabrikasi ditunjukkan pada Gambar 12.



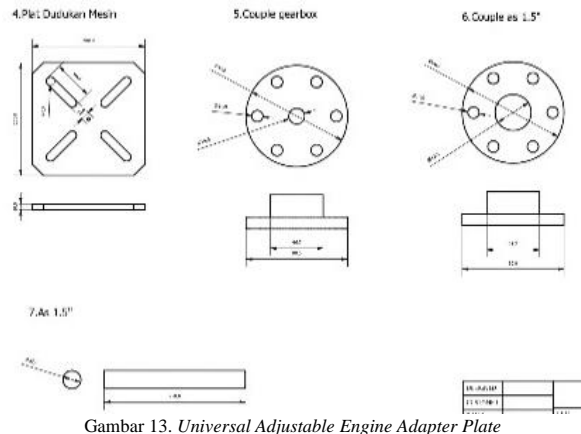
Gambar 12. Engine Stand Hasil Fabrikasi

Secara konstruksi, engine stand mampu menopang mesin bensin dengan berat rata-rata 80–120 kg tanpa mengalami deformasi struktur yang signifikan. Penggunaan plat baja 10 mm meningkatkan kekakuan dudukan, sedangkan kombinasi poros dan bearing menjaga kestabilan saat mesin diputar.

2. Implementasi Fitur Kebaruan

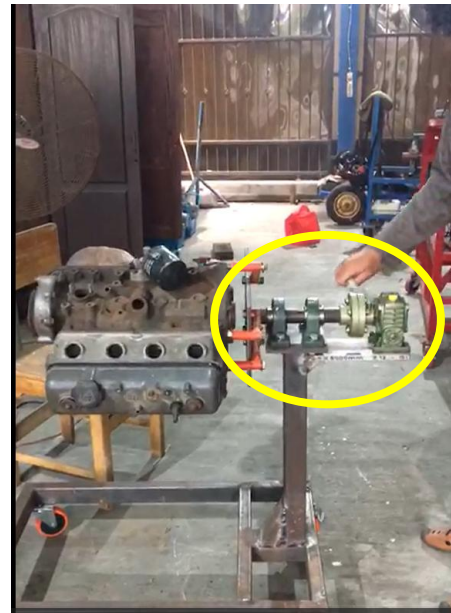
Kebaruan utama pada penelitian ini terletak pada dua fitur, yaitu Universal Adjustable Engine Adapter Plate dan sistem Gearbox Rotasi 360°.

Universal adjustable plate memungkinkan variasi pola baut untuk berbagai tipe mesin tanpa modifikasi tambahan. Slot baut dirancang fleksibel sehingga dapat menyesuaikan jarak antar dudukan mesin Toyota seri K, Toyota NR, Daihatsu, maupun Honda.



Gambar 13. Universal Adjustable Engine Adapter Plate

Selain itu, sistem rotasi menggunakan gearbox yang terhubung dengan poros baja dan ditopang bearing UCP, sehingga menghasilkan putaran yang ringan, stabil, dan dapat berputar penuh 360°.



Gambar 14. Sistem Gearbox dan Bearing UCP pada Lingkaran Kuning

Sistem ini memungkinkan mahasiswa memutar mesin ke berbagai posisi kerja tanpa perlu membongkar ulang dudukan mesin.

3. Hasil Uji Fungsional

Uji fungsional dilakukan dengan memasang beberapa tipe mesin, yaitu Toyota seri NR, Daihatsu (platform serupa), dan Honda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa adjustable plate mampu mengakomodasi perbedaan pola baut secara efektif.



Gambar 15. Pengujian Pemasangan Mesin pada Engine Stand

Selama pengujian, sistem rotasi menunjukkan kinerja stabil tanpa getaran berlebih. Mesin dapat diputar penuh 360° dengan gaya putar relatif ringan, sehingga mempermudah akses pembongkaran bagian bawah mesin seperti crankcase dan oil pan.

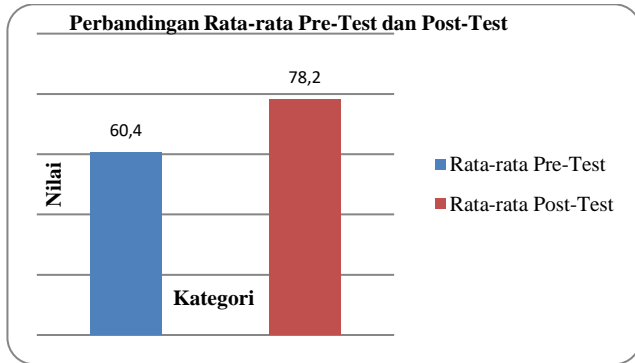
4. Hasil Uji Efektivitas (Pre-Post Test)

Pengujian efektivitas dilakukan terhadap 15 mahasiswa melalui pre-test dan post-test. nilai rata-rata pre-test sebesar 60,4, sedangkan rata-rata post-test meningkat menjadi 78,2. terjadi peningkatan rata-rata sebesar 17,8 poin.

Tabel 2. Rata-rata Nilai *Pre-Test* dan *Post-Test*

Kategori	Rata-rata
Pre-Test	60,4
Post-Test	78,2
Peningkatan	17,8

Perbandingan rata-rata nilai ditunjukkan pada Grafik 1.



Gambar 16. Grafik Perbandingan

Peningkatan ini menunjukkan bahwa penggunaan *engine stand* berkontribusi terhadap peningkatan pemahaman konseptual dan prosedural mahasiswa dalam praktikum *overhaul* mesin.

5. Hasil Uji Kelayakan Media (Angket Mahasiswa)

Evaluasi kelayakan dilakukan melalui angket skala likert kepada 15 mahasiswa. Hasil perhitungan menunjukkan skor total sebesar 540 dari skor maksimal 600 dengan persentase kelayakan sebesar 90%.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Angket

Skor aktual	Skor maksimal	Persentase	Kategori
540	600	90%	sangat layak

Hasil ini menunjukkan bahwa mahasiswa menilai *engine stand* sangat layak digunakan dalam praktikum *overhaul*, terutama pada aspek stabilitas, kemudahan akses kerja, dan kenyamanan posisi kerja.

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *engine stand* yang dikembangkan memenuhi aspek kelayakan teknis dan pedagogis. peningkatan nilai post-test mengindikasikan dampak pada aspek kognitif, sedangkan persentase kelayakan 90% menunjukkan penerimaan positif dari sisi pengguna.

Kombinasi fitur *universal adjustable plate* dan sistem rotasi *gearbox* 360° terbukti meningkatkan fleksibilitas penggunaan serta mendukung ergonomi kerja mahasiswa. stabilitas struktur dan kemudahan rotasi memungkinkan mahasiswa bekerja dengan posisi yang lebih natural dan efisien, sehingga fokus pembelajaran lebih terarah pada prosedur teknis *overhaul*.

Secara keseluruhan, integrasi antara inovasi desain dan hasil evaluasi pembelajaran memperkuat bahwa *engine stand* yang dikembangkan tidak hanya menyelesaikan permasalahan ketersediaan alat di bengkel kampus, tetapi juga meningkatkan efektivitas pembelajaran vokasional otomotif.

4. Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan *engine stand overhaul* berbasis model ADDIE dengan dua fitur kebaruan utama, yaitu *Universal Adjustable Engine Adapter Plate* dan sistem *Gearbox* Rotasi 360°. Produk dirancang menggunakan *Autodesk Inventor* dan direalisasikan melalui konstruksi baja besi dengan metode pengelasan SMAW, sehingga menghasilkan struktur yang kokoh dan stabil untuk menopang berbagai tipe mesin bensin tanpa modifikasi tambahan.

Hasil pengujian menunjukkan peningkatan nilai rata-rata mahasiswa dari 60,4 menjadi 78,2 setelah penggunaan *engine stand* dalam praktikum *overhaul* mesin. Selain itu, hasil angket kelayakan memperoleh persentase sebesar 90% dengan kategori sangat layak. Temuan ini menunjukkan bahwa *engine stand* yang dikembangkan tidak hanya layak secara teknis dan ergonomis, tetapi juga efektif mendukung peningkatan kualitas pembelajaran praktikum otomotif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Bhinneka PGRI Tulungagung melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Referensi

- [1] A. Sukma Ardiyanta, Y. Dianastiti, and B. Surya Hadi, "Rancang Bangun Engine Trainer Mesin Bensin sebagai Media Pembelajaran Motor Bensin," vol. 8, no. 2, pp. 161–168, 2022, doi: 10.24843/METTEK.2022.v08.i02.p11.
- [2] M. F. M. Nasir, J. Suwignyo, and F. Fatra, "Pengaruh Kelengkapan Alat dan Bahan Praktik Bengkel Otomotif Terhadap Hasil Belajar Siswa pada Materi Sistem Starter," *Journal of Vocational Education and Automotive Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 167–173, 2023.
- [3] A. N. Akhmadi, M. T. Qurohman, and S. A. Romadhon, "Penerapan Overhaul Engine Stand Kijang Menggunakan Alat-Alat Spesial Service Tool Di SMK NU 1 Adiwerna Kabupaten Tegal," *Madani: Indonesian Journal of Civil Society*, vol. 1, no. 1, pp. 7–10, 2019.
- [4] N. A. Handoyo and R. Rabiman, "PENGEMBANGAN TRAINING KIT ENGINE MANAGEMENT SYSTEM TOYOTA AVANZA K3-VE UNTUK PRAKTIKUM OTOMOTIF," *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomotif*, vol. 6, no. 1, pp. 37–48, 2023.
- [5] G. WIRATMAJA, E. ARTA, and W. ZALUKHU, "Rancang Bangun Pemanfaatan Limbah Mesin Pendingin Sebagai Alat Bantu Proses Penggantian Oli Pada Kendaraan Bermotor," *JURNAL INOVATOR Учредителю: Politeknik Jambi*, vol. 7, no. 1, pp. 30–35, 2024.
- [6] Ikram Mulkarim, "Rancang Bangun Engine Stand untuk Overhaul Engine Mobil," 2023.
- [7] Zulfikar and Muhaji, "Redesain Trainer Rangka Engine Stand Motor Bensin Toyota Kijang 4K," 2018.
- [8] D. Kusaei, "Pembuatan Alat Pratikum Engine Stand Block Cylinder Toyota 5k," vol. 16, no. 1, 2025.
- [9] H. B. Cary and S. C. Helzer, "Welding background," *Modern Welding Technology*, p. 6, 2005.
- [10] A. W. Society. S. W. Committee, A. W. Society, and A. N. S. Institute, *Structural Welding Code--steel*. American Welding Society, 1994.