

Rancang Bangun Alat Peraga Penyemprotan Bahan Bakar Diesel

Yolanda J. Lewerissa, Djoko Setyanto*

Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi,
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51, Jakarta 12930

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received 06 May 2026 Accepted 04 July 2026 <i>Keywords:</i> Diesel training aid, Weighted Decision Matrix, Anthropometry, Injection system, Learning media..	<i>Learning diesel fuel injection systems in vocational education is often constrained by safety risks and cost inefficiencies when using live engines, as well as the limitations in visualizing abstract atomization phenomena. This study aims to design and build a prototype of a diesel fuel injection training aid that is safe, ergonomic, and representative. The design method employs a human-centered design approach based on Indonesian population anthropometric data and functional hierarchy mapping. Component selection was conducted objectively and measurably using the Weighted Decision Matrix (WDM) method with six evaluation criteria: Cost, Performance, Reliability, Availability, Energy Efficiency, and Safety. The prototype was assembled and functionally tested through visual observation of atomization and injection volume uniformity measurement. The WDM results yielded an optimal configuration: a Bosch pump, diesel nozzle, gasoline engine, metal tank, and UNP 40x40 steel frame. Functional testing demonstrated that the tool successfully visualized the atomization process and uniform fuel distribution across four injectors without the risks of extreme pressure.</i>

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i> Diserahkan: 06 Mei 2026 Diterima: 04 Juli 2026 <i>Kata Kunci:</i> Alat peraga diesel, Weighted Decision Matrix, Antropometri, Sistem injeksi, Media pembelajaran.	Pembelajaran sistem bahan bakar diesel pada pendidikan kejuruan sering terkendala oleh risiko keselamatan dan inefisiensi biaya jika menggunakan mesin utuh (live engine), serta keterbatasan visualisasi fenomena atomisasi yang abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat purwarupa alat peraga penyemprotan bahan bakar diesel yang aman, ergonomis, dan representatif. Metode perancangan menggunakan pendekatan human-centered design berbasis data antropometri populasi Indonesia dan pemetaan hierarki fungsi. Pemilihan komponen dilakukan secara objektif dan terukur menggunakan metode Weighted Decision Matrix (WDM) dengan enam kriteria evaluasi: Biaya, Kinerja, Keandalan, Ketersediaan, Efisiensi Energi, dan Keamanan. Purwarupa dirakit dan diuji secara fungsional melalui pengamatan visual atomisasi serta pengukuran keseragaman volume injeksi. Hasil WDM menghasilkan konfigurasi optimal: Bosch pump, nozzle diesel, motor bensin, tangki logam, dan rangka besi UNP 40x40. Pengujian fungsional menunjukkan alat berhasil memvisualisasikan proses atomisasi dan distribusi bahan bakar secara seragam pada empat injektor tanpa risiko tekanan ekstrem.

1. PENDAHULUAN

Pendidikan kejuruan teknik otomotif bertujuan mempersiapkan peserta didik dengan kompetensi psikomotorik dan kognitif yang selaras dengan industri (Pratiwi *et al.*, 2022).

*Corresponding author. Djoko Setyanto
Email address: djoko.setyanto@atmajaya.ac.id

Dalam pembelajaran sistem bahan bakar diesel, pemahaman mengenai mekanisme pengabutan dan tekanan tinggi seringkali bersifat abstrak jika hanya mengandalkan metode ceramah dan diagram 2D (Wigraha *et al.*, 2024). Penggunaan mesin diesel utuh (*live engine*) untuk praktikum penyemprotan injektor memiliki risiko keselamatan yang tinggi akibat komponen bertekanan ekstrem (100-300 bar) dan putaran mesin yang berbahaya, serta memiliki biaya operasional bahan bakar yang tidak efisien. Oleh karena itu, implementasi alat peraga simulasi yang dimanipulasi secara manual mampu memitigasi keterbatasan sumber daya laboratorium sekaligus menjembatani kesenjangan antara instruksi teoretis dengan pengalaman praktis (Sollano & Cuasito, 2024).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan media pembelajaran sistem bahan bakar. Penelitian tentang pengembangan trainer sistem bahan bakar diesel tipe in-line, yang layak sebagai media pembelajaran. Penelitian ini menghasilkan produk media pembelajaran Trainer Sistem Bahan Bakar Diesel Tipe In-Line Pada Mata kuliah Teknologi Motor Diesel yang telah dikembangkan dengan persentase kelayakan oleh ahli materi sebesar 97.33% kategori sangat layak, dan oleh ahli media adalah 94.67% dengan kategori sangat layak, namun fokus utama penelitian tersebut belum menyertakan analisis kekuatan struktur rangka dan motor penggerak yang digunakan adalah motor listrik (Pratiwi *et al.*, 2022). Penelitian tentang perbaikan trainer untuk mendukung *Project Based Learning*. *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*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah perbaikan, terjadi peningkatan signifikan pada kemampuan mahasiswa dalam memahami sistem mesin diesel (25%) dan keterampilan *troubleshooting* (35%). Penelitian ini menunjukkan pentingnya alat peraga dalam kondisi selalu baik untuk menunjang proses pembelajaran. Proses pembelajaran tidak hanya mengandalkan ceramah dan diagram 2D, namun menjadi pembelajaran yang nyata (Wigraha *et al.*, 2024).

Penelitian tentang pentingnya pemilihan ukuran puli dan sabuk yang tepat pada trainer sistem bahan bakar diesel tipe in-line agar trainer berfungsi secara optimal dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ukuran puli dan sabuk pada trainer sistem bahan bakar diesel tipe in-line melalui perhitungan teknik berdasarkan parameter teknis dari motor penggerak motor bensin dan pompa injeksi (Muskita, 2025). Sementara, penelitian lainnya membahas tentang rancang bangun rangka trainer sistem bahan bakar motor diesel tipe in-line dan menganalisis kekuatan rangka tersebut menggunakan *software solidwork* dengan mengasumsi komponen-komponen trainer yang akan diletakkan pada rangka tersebut (Lewerissa, 2025). Kedua penelitian ini memberi ruang untuk penelitian selanjutnya tentang bagaimana merancang dan membuat alat peraga yang tidak hanya berfungsi secara mekanis, tetapi juga divalidasi melalui pendekatan matriks keputusan berbobot dalam pemilihan komponen untuk menjamin objektivitas rancangan. Kedua penelitian tersebut menjadi rujukan untuk penelitian ini.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk melakukan perancangan alat peraga penyemprotan bahan bakar diesel dan pembuatan purwarupa alat penyemprotan bahan bakar diesel. Manfaat dari pembuatan alat peraga ini adalah:

1. Menambah inventaris media pembelajaran praktikum yang representatif dan sesuai dengan kurikulum teknik otomotif.
2. Mahasiswa dapat belajar mengidentifikasi masalah umum pada sistem bahan bakar diesel. Mengetahui jika nozzle meneteskan bahan bakar (tidak menutup rapat). Melihat dampak lubang nozzle yang tersumbat terhadap distribusi bahan bakar.

3. Menguji sistem injeksi secara terpisah jauh lebih hemat bahan bakar dibandingkan menyalakan mesin diesel stasioner berkapasitas besar. Risiko kecelakaan kerja akibat putaran mesin tinggi dapat diminimalisir karena pengujian dilakukan pada stand statis.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Metode Perancangan

Perancangan menggunakan pendekatan *human-centered design* dengan mempertimbangkan data antropometri populasi Indonesia untuk memastikan kesesuaian ergonomis alat dengan pengguna (Wulantari *et al.*, 2021). Metode fungsional diterapkan berdasarkan hierarki sub-fungsi. Desain gambar alat peraga 3D menggunakan *software solidwork*. *Software* ini juga mampu membuat model tiga dimensi serta melakukan simulasi pembebanan secara virtual sebelum proses manufaktur dilakukan (Nuhgraha *et al.*, 2023).

2.2 Parameter Desain

1. Parameter struktural untuk material rangka profil UNP 40 x 40 dengan tebal 4 mm dengan pertimbangan kekakuan struktural, kemudahan fabrikasi, dan ketersediaan material (Pratiwi *et al.*, 2022).
2. Parameter ergonomis untuk tinggi meja kerja 75-85 cm (percentil 50-75) dengan jangkauan horisontal 60-80 cm berdasarkan data antropometri Indonesia (Wirakusuma *et al.*, 2025).
3. Parameter teknis untuk tekanan pompa 100-300 bar dan volume tangki 10-15 liter.

2.3 Kriteria Pengambilan Keputusan

Pemilihan komponen tidak dilakukan secara subjektif, melainkan menggunakan Matriks Keputusan Berbobot (*Weighted Decision Matrix*). Metode *Weighted Decision Matrix* memberikan pendekatan kuantitatif yang objektif dengan mempertimbangkan berbagai kriteria penting sesuai bobot prioritas (Manurung & Khairani, 2025). Kriteria evaluasi dan bobot diuraikan pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1.

Kriteria Evaluasi dan Bobot

Kriteria	Bobot (%)	Keterangan
C1 : Biaya	20	Harga komponen
C2 : Kinerja	25	Efektivitas fungsi
C3 : Keandalan	20	<i>Durabilitas & reliability</i>
C4 : Ketersediaan	15	Kemudahan mendapat komponen
C5 : Efisiensi Energi	10	Konsumsi energi
C6 : Keamanan	10	<i>Safety factor</i>
TOTAL	100	

Skor nilai : 1 – 10

Nilai Total diperoleh dengan rumus $\text{Nilai Total} = \sum(\text{skor} \times \text{bobot})$, Kesimpulan pemilihan komponen berdasarkan Matriks Keputusan Bobot untuk konfigurasi optimal.

2.4. Standar dalam Perancangan

Standar yang digunakan dalam perancangan adalah:

1. SNI 07-0723: Spesifikasi baja profil
2. DIN 1026-1: Standar UNP channels
3. ISO 6385: Prinsip ergonomi dalam desain sistem kerja

4. Permenkes No. 2 Tahun 2020: Standar antropometri
5. Standar keselamatan laboratorium teknik mesin Politeknik Saint Paul

2.5. Proses Perancangan dan Pembuatan

Proses perancangan dan pembuatan purwarupa alat peraga terdiri dari:

1. Perancangan detail rangka, komponen dan desain gambar
2. Fabrikasi struktur dan komponen
3. *Assembly* dan integrasi sistem
4. Testing fungsional dan keselamatan
5. Evaluasi dan revisi

3. DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Perancangan Alat

Data perancangan alat terdiri dari spesifikasi alat peraga, rancangan konseptual dan rancangan bentuk yang diuraikan penyajian dibawah ini.

3.1.1. Spesifikasi Alat Peraga

Proses penyemprotan bahan bakar diesel merupakan fenomena termodinamika kompleks yang terjadi dalam ruang tertutup. Kualitas atomisasi bahan bakar sangat bergantung pada tekanan injeksi dan geometri nozzle. Namun, mengamati proses ini pada mesin *running* secara langsung sangat berbahaya dan tidak memungkinkan secara visual. Oleh karena itu, rancang bangun ini mengadopsi prinsip visualisasi media pembelajaran (Yanuar *et al.*, 2021). Penggunaan alat peraga fisik yang dimodifikasi akan menempatkan mahasiswa pada tahap pengalaman visual dan ikonik, sehingga konsep abstrak aliran bahan bakar dapat dipahami secara konkret (Sukir & Wicaksono, 2023).

Rangka alat peraga dirancang menggunakan profil besi UNP 40 x 40. Pemilihan dimensi ini didasarkan pada perhitungan beban statis dan dinamis akibat getaran pompa injeksi, dengan mengacu pada standar perancangan elemen mesin (Hihamisyah *et al.*, 2024). Selain aspek kekuatan, perancangan juga memperhatikan faktor antropometri siswa. Tinggi meja kerja ditetapkan disesuaikan dengan data antropometri populasi Indonesia sehingga siswa dapat mengamati proses injeksi tanpa harus membungkuk yang dapat menyebabkan kelelahan fisik (Wirakusuma *et al.*, 2025).

3.1.2 Rancangan Konseptual

Rancangan konseptual alat peraga penyemprotan bahan bakar diesel dapat disusun berdasarkan hierarki fungsi. Berikut adalah rancangan konseptual berdasarkan sub-sub fungsi:

1. Menyemprotkan bahan bakar
2. Mengalirkan bahan bakar/pompa
3. Menggerakkan pompa
4. Menampung bahan bakar
5. Menampung hasil semprotan
6. Membawa peralatan-peralatan sub fungsi 1 – 5

Alat peraga yang dirancang terdiri dari komponen yang menyemprotkan bahan bakar, yang dialirkan dari tangki bahan bakar menggunakan pompa, yang digerakkan oleh motor penggerak, yang mana hasil semprotan bahan bakar ditampung pada wadah transparan memiliki ukuran untuk mengetahui volume penyemprotan yang seragam dan gabungan bersamaan pada rangka.

Pemilihan komponen sub fungsi dapat disajikan sebagai berikut:

1. Komponen Sub Fungsi

Komponen-komponen sub fungsi dipilih berdasarkan 2 solusi yang disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1.
Alternatif Komponen Sub Fungsi

	Sub Fungsi	Solusi	
		1	2
1	Menyemprotkan bahan bakar	Nozzle sistem bahan bakar diesel	Injektor bensin
2	Mengalirkan bahan bakar/pompa	Pompa injeksi/bosch pump	Pompa elektrik
3	Menggerakkan pompa	Motor listrik	Motor bensin
4	Menampung bahan bakar	Tangki logam	Jerigen Modifikasi
5	Menampung hasil semprotan	Gelas kimia	Tabung ukur plastik
6	Menahan peralatan	Rangka besi	Rangka kayu

2. Pemilihan Solusi

Analisis pemilihan solusi dari sub-sub fungsi menggunakan metode *Weighted Decision Matrix* (Matriks Keputusan Bobot).

Matriks Keputusan dari sub-sub fungsi disajikan pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3.
Matriks Keputusan Pemilihan Komponen

Sub Fungsi	Kriteria	Skor Solusi 1	Skor Solusi 2
1. Menyemprotkan bahan bakar	C1 : Biaya	7	8
	C2 : Kinerja	9	7
	C3 : Keandalan	9	6
	C4 : Ketersediaan	8	9
	C5 : Efisiensi Energi	9	7
	C6 : Keamanan	8	7
2. Mengalirkan bahan bakar	C1 : Biaya	6	8
	C2 : Kinerja	9	8
	C3 : Keandalan	9	7
	C4 : Ketersediaan	7	8
	C5 : Efisiensi Energi	7	9
	C6 : Keamanan	8	8
3. Menggerakkan pompa	C1 : Biaya	8	7
	C2 : Kinerja	7	9
	C3 : Keandalan	8	9
	C4 : Ketersediaan	6	9
	C5 : Efisiensi Energi	9	6
	C6 : Keamanan	9	8
4. Menampung bahan bakar	C1 : Biaya	6	9
	C2 : Kinerja	9	6
	C3 : Keandalan	9	5
	C4 : Ketersediaan	7	9
	C5 : Efisiensi Energi	8	7
	C6 : Keamanan	9	6
5. Menampung hasil semprotan	C1 : Biaya	7	9
	C2 : Kinerja	8	7
	C3 : Keandalan	7	8
	C4 : Ketersediaan	6	9
	C5 : Efisiensi Energi	7	8
	C6 : Keamanan	6	8
6. Menahan peralatan	C1 : Biaya	6	9
	C2 : Kinerja	9	6
	C3 : Keandalan	9	5
	C4 : Ketersediaan	7	9
	C5 : Efisiensi Energi	7	8
	C6 : Keamanan	8	6

Hasil perhitungan menggunakan rumus yang menunjukkan solusi terpilih dari tiap-tiap sub fungsi disajikan dalam Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4.

Total Skor Bobot Komponen

Sub Fungsi	Komponen	Total Skor Bobot	Peringkat
Menyemprotkan bahan bakar	Solusi 1: Nozzle diesel	8.35	Terpilih
	Solusi 2: Injektor bensin	7.15	
Mengalirkan bahan bakar	Solusi 1: Bosch pump	7.85	Terpilih
	Solusi 2: Pompa elektrik	7.75	
Menggerakkan pompa	Solusi 1: Motor listrik	7.65	Terpilih
	Solusi 2: Motor bensin	8.20	
Menampung bahan bakar	Solusi 1: Tangki logam	7.90	Terpilih
	Solusi 2: Jerigen modifikasi	6.65	
Menampung hasil semprotan	Solusi 1: Galas kimia	7.05	Terpilih
	Solusi 2: Tabung plastik	7.65	
Menahan peralatan	Solusi 1: Rangka besi	7.75	Terpilih
	Solusi 2: Rangka kayu	6.85	

Kesimpulan pemilihan komponen berdasarkan Matriks Keputusan Bobot untuk konfigurasi optimal yang dipilih adalah:

- Nozzle sistem bahan bakar diesel
- Pompa injeksi/Bosch pump
- Motor bensin
- Tangki logam
- Tabung plastik
- Rangka besi

3. Penentuan Ukuran Komponen Alat Peraga

Penentuan ukuran komponen-komponen alat peraga sebagai berikut:

- Tipe dan ukuran nozzle sistem bahan bakar diesel dipilih tipe DLLA 150 P 77 atau DLLA 150 P 158 sesuai dengan tipe pompa injeksi yang dipilih yaitu tipe injeksi langsung.
- Ukuran pompa injeksi/*bosch pump* dipilih merujuk hasil penelitian (Muskita, 2025), yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5.

Ukuran Pompa Injeksi

Besaran	Ukuran
Tipe bosch pump	4JB1-TC
Kapasitas silinder	2771 cc
Diameter x langkah	93 x 102 mm
Daya maksimum	100 PS/3400 rpm
Torsi maksimum	22.5 kgm/900–3200 rpm

- Tipe dan ukuran motor bensin dipilih merujuk hasil penelitian (Muskita, 2025), yang disajikan dalam Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6.
Ukuran Motor Bensin

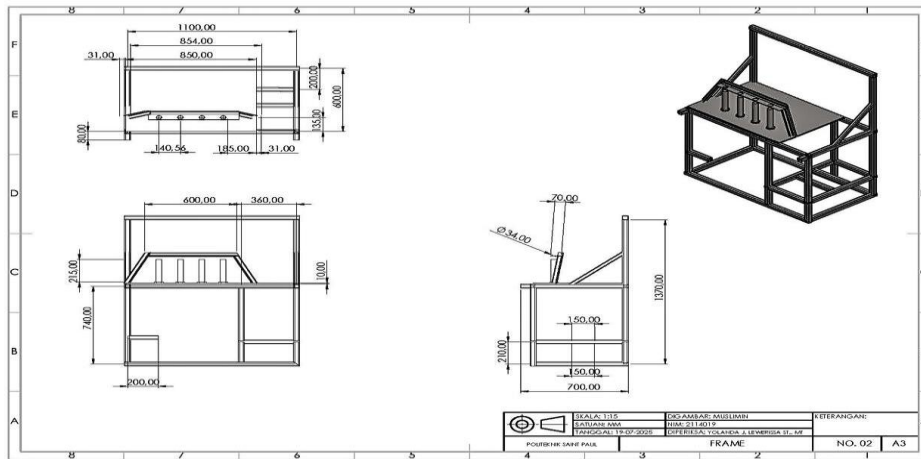
Besaran	Ukuran
Tipe mesin Penggerak	4 tak OHV 25 inclined sylinder
Displacement	168 cc
Compression ratio	7.0 : 1
Maksimum power	5,5 PS/3.600 rpm
Maksimum torque	1.1 kgm/2.500 rpm
Ignition system	Transistorized magneto
Starting system	Recoil
Fuel capacity	3,6 L
Oil capacity	0,6 L

Dengan demikian ukuran puli dan sabuk yang digunakan juga merujuk hasil penelitian (Muskita, 2025), diameter puli penggerak 80 mm, diameter puli pompa injeksi 320 mm dan ukuran sabuk yang dipilih A1850 dengan jarak sumbu poros motor penggerak dan poros pompa injeksi 600 mm.

- d. Jika alat peraga menggunakan penggerak motor bensin yang menghasilkan getaran dan panas yang tinggi, solusi menggunakan tangki logam sangat tepat. Wadah logam memiliki risiko kebocoran yang lebih rendah akibat getaran mekanis. Ukuran tangki yang dipilih 15 liter.
- e. Tabung ukur plastik penampung bahan bakar hasil semprotan dipilih berukuran 250 ml.
- f. Rangka yang dibuat jika menggunakan motor (getaran tinggi) disarankan menggunakan material besi Hollow atau Pipa Kotak. Berat dari besi akan membantu meredam getaran dari motor bensin sehingga alat tidak "berjalan" sendiri saat dinyalakan (Pratiwi *et al.*, 2022). Hasil rancangan rangka secara keseluruhan dari penentuan ukuran dan desain gambar rangka merujuk dari hasil penelitian (Lewerissa, 2025). Rangka dirancang dengan ukuran sebagai berikut:
 - a) Lebar Depan: 1100 mm.
Lebar Samping: 680 mm.
 - b) Tinggi Dudukan Bosch Pump: 740 mm.
Tinggi Dudukan Motor Penggerak: 530 mm.
 - c) Ukuran Tinggi Meja Kerja: 740 mm.
 - d) Tinggi Keseluruhan: 1370 mm.

3.1.3 Rancangan Bentuk

Hasil gambar berdasarkan rancangan konseptual berupa rancangan bentuk disajikan dalam gambar desain yang dibuat menggunakan *software solidwork* dari hasil penelitian sebelumnya (Lewerissa, 2025). Gambar 1 menunjukkan hasil gambar desain rangka alat peraga.

**Gambar 1.**

Gambar Desain Rangka
(Lewerissa, 2025)

Gambar 1 desain rangka dianalisis sebagai berikut:

1. Analisis Geometri dan Dimensi Utama

Objek ini adalah struktur rangka besi hollow atau profil siku yang berfungsi sebagai meja kerja khusus untuk *stand* mesin, dimensi keseluruhan sebagai berikut:

- Panjang (X-axis): 1100 mm (dilihat dari tampak atas/kiri atas)
- Lebar (Y-axis): 680 mm (dilihat dari tampak samping kanan bawah)
- Tinggi Total (Z-axis): 1370 mm (dilihat dari tampak samping kanan bawah, diukur dari lantai sampai puncak rangka belakang)

2. Analisis Tampak

Gambar ini menggunakan proyeksi ortogonal dengan pandangan isometri untuk memperjelas bentuk 3D.

a. Tampak Isometri (Kanan Atas)

Menunjukkan bentuk 3D objek, terlihat rangka dasar berbentuk kotak (*box frame*), terdapat meja kerja dengan bagian yang miring (*slanted surface*) di tengahnya, terdapat rangka tinggi di bagian belakang (*back frame*) yang menjulang, dan ada 4 batang vertikal (*pin/rod*) yang menonjol dari bagian meja yang miring.

b. Tampak Depan (Kiri Bawah)

Tinggi Meja Kerja: Sekitar 740 mm dari lantai (standar tinggi meja kerja ergonomis).

Struktur Atas: Terdapat bagian miring dengan tinggi 215 mm.

Lebar: Terbagi menjadi dua area dimensi 600 mm dan 360 mm.

c. Tampak Samping (Kanan Bawah)

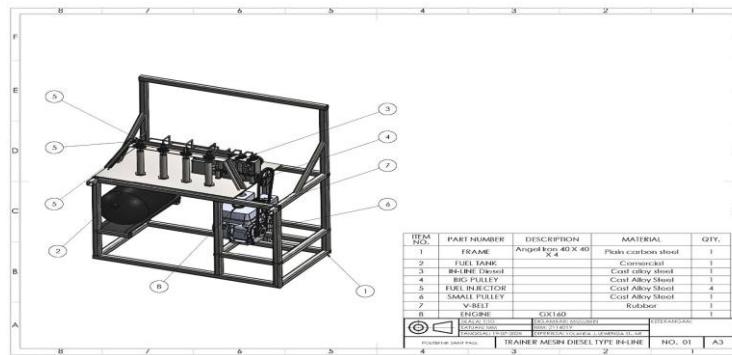
Profil Tinggi: Menunjukkan ketinggian total 1370 mm pada rangka belakang.

Struktur Miring: Menunjukkan detail kemiringan pipa/batang dengan diameter $\varnothing 34,00$ mm.

Posisi: Batang miring ini memiliki *offset* horizontal 70,00 mm.

Basis: Lebar kaki rangka adalah 700 mm dengan tinggi kaki/*base* 210 mm.

Setelah diperoleh gambar desain rangka, dilanjutkan membuat gambar desain alat peraga yang dilengkapi dengan komponen-komponen alat peraga penyemprotan bahan bakar diesel. Gambar tersebut disajikan pada gambar 2.

**Gambar 2.**

Gambar Desain Alat Peraga Penyemprotan Bahan Bakar Diesel

Gambar 2 ini merupakan gambar susunan (*assembly drawing*) dalam pandangan isometrik 3D lengkap dengan balon penunjuk item (*balloon callouts*). Berikut adalah rincian material dan jumlah komponen berdasarkan Tabel 7 berikut ini:

Tabel 7.

Daftar Komponen Gambar Desain Alat Peraga

No. Item	Deskripsi	Spesifikasi	Material	Jumlah
1	Rangka	Besi siku 40 x 40 x 4	Plain carbon steel	1
2	Tangki bahan bakar	15 liter	Comercial	1
3	Pompa injeksi	4JB1-TC	Cast alloy steel	1
4	Puli besar	320 mm	Cast Alloy Steel	1
5	Injektor diesel	DLLA 150 P 77	Cast Alloy Steel	4
6	Puli kecil	80 mm	Cast Alloy Steel	1
7	Sabuk V	A1850	Rubber	1
8	Mesin	GX160	-	1

1. Trainer ini menggunakan mesin bensin (Item 8) sebagai penggerak utama. Mesin ini diletakkan di kompartemen bawah rangka untuk memutar sistem di atasnya.
2. Putaran dari poros Engine diteruskan menggunakan kombinasi puli kecil (Item 6) ke puli besar (Item 4) yang dihubungkan oleh V-Belt berbahan karet (Item 7). Penggunaan diameter puli yang berbeda ini berfungsi sebagai reduksi putaran (*speed reducer*) agar simulasi pompa injeksi di bagian atas bergerak pada kecepatan yang aman untuk diamati.
3. Putaran dari puli besar kemudian menggerakkan mekanisme pompa injeksi (Item 3) di atas meja kerja. Komponen ini disimulasikan terhubung dengan 4 buah injektor/nozzle (Item 5) yang dipasang berbaris sejajar (*in-line*) sebagai representasi visual sistem injeksi bahan bakar mesin diesel multi-silinder.
4. Terdapat tabung tangki bahan bakar (Item 2) berkapasitas horizontal di sisi kiri bawah rangka yang berfungsi menyuplai atau menampung fluida dalam simulasi penginjeksian ini.
5. Rangka dibuat menggunakan profil baja siku (*Angle Iron*) ukuran 40×40 mm dengan ketebalan 4 mm berbahan *Plain Carbon Steel*. Material ini sangat kokoh dan memadai untuk menahan getaran mekanis yang dihasilkan oleh mesin selama operasional.
6. Komponen pompa injeksi, puli dan injektor/nozzle menggunakan material *Cast Alloy Steel* (Baja paduan cor). Pemilihan material ini sangat tepat karena memiliki ketahanan aus yang tinggi (*wear resistance*) terhadap gesekan dan gerakan mekanis berulang.

3.2 Pembuatan Purwarupa Alat Peraga

Pembuatan purwarupa alat peraga terdiri dari langkah persiapan komponen, perakitan, dan pengujian alat untuk mengetahui alat berfungsi dengan baik..

3.2.1. Persiapan Komponen dan Perakitan

Setelah perancangan dilanjutkan dengan pembuatan purwarupa alat penyemprotan bahan bakar diesel dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Ukur besi dan pelat sesuai ukuran pada gambar.
2. Potong besi dan pelat sesuai ukuran.
3. Sambung besi dan pelat membentuk rangka sesuai gambar dengan cara pengelasan.
4. Cat rangka untuk estetika dan perlindungan korosi.
5. Pemasangan tangki bahan bakar, motor penggerak, bosch pump, pipa injeksi, injektor dan gelas ukur secara teratur pada rangka.
6. Pemasangan puli dan sabuk V-Belt untuk menghubungkan penggerak ke pompa.
7. Pemasangan papan informasi skema sistem bahan bakar untuk mempermudah identifikasi alur kerja oleh praktikan.

Gambar proses pengukuran besi, pemotongan besi, pengelasan membentuk rangka dan proses pengecatan serta perakitan komponen alat peraga disajikan pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3.

Gambar Proses Pembuatan Rangka



Gambar 4.

Gambar Proses Perakitan Komponen



Gambar 5.

Gambar Purwarupa Alat Penyemprotan Bahan Bakar Diesel

3.2.2. Pengujian Alat

Langkah-langkah pengujian purwarupa alat peraga penyemprotan bahan bakar diesel sebagai berikut:

1. Persiapan: Isi tangki solar, dan kosongkan keempat gelas ukur.
2. Aktivasi Mesin: Nyalakan motor penggerak (mesin bensin di bawah) untuk memutar poros pompa injeksi.
3. Pengamatan Nozzle: Perhatikan semprotan pada keempat nozzle. Pastikan solar mengabut sempurna dan tidak ada tetesan (*dripping*) saat posisi idle.
4. Pengukuran Volume: Tarik tuas gas ke posisi maksimal. Biarkan solar mengisi gelas ukur selama 30 detik.
5. Evaluasi Hasil: Matikan mesin. Bandingkan tinggi solar di keempat gelas ukur.
 - Hasil Baik: Tinggi solar di keempat gelas hampir sejajar (rata).
 - Hasil Buruk: Jika ada satu gelas yang jauh lebih rendah/tinggi, berarti pompa atau nozzle tersebut perlu disetel/diservis.
6. Hasil pengujian menunjukkan alat tersebut dapat berfungsi dengan baik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh adalah:

1. Telah berhasil dirancang dan dibuat purwarupa alat peraga visualisasi sistem injeksi bahan bakar diesel yang dapat mengatasi keterbatasan pembelajaran konvensional, dimana proses injeksi yang merupakan fenomena termodinamika kompleks dalam ruang tertutup dapat diamati secara visual dan langsung oleh mahasiswa.
2. Penerapan metode *Weighted Decision Matrix* (WDM) dengan 6 kriteria (Biaya, Kinerja, Keandalan, Ketersediaan, Efisiensi Energi, Keamanan) berhasil menghilangkan subjektivitas dalam pemilihan komponen. Konfigurasi optimal yang dihasilkan (Pompa injeksi Bosch, nozzle diesel, motor bensin, tangki logam, dan rangka besi) terbukti secara kuantitatif paling memenuhi standar fungsional dan keselamatan alat peraga.
3. Secara praktis, purwarupa berhasil memvisualisasikan fenomena atomisasi bahan bakar secara aman tanpa risiko tekanan ekstrem mesin running, serta menghemat konsumsi bahan bakar. Secara teoritis, penelitian ini memberikan *state-of-the-art* berupa metodologi perancangan alat peraga yang terintegrasi antara analisis keputusan berbobot dan simulasi komputasional, yang dapat direplikasi untuk pengembangan media praktikum keinsinyuran lainnya.

4.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya yang lebih terstruktur dan inovatif, direkomendasikan beberapa hal berikut:

1. Mengingat alat peraga menggunakan motor bensin yang menghasilkan getaran mekanis tinggi secara kontinu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis getaran (*Modal Analysis*) dan uji kelelahan material (*Fatigue Analysis*) menggunakan FEA untuk memprediksi ketahanan rangka terhadap resonansi dan keretakan jangka panjang.
2. Pengujian saat ini masih terbatas pada pengamatan visual dan volumetrik. Disarankan untuk menambahkan sensor tekanan (*pressure transducer*) dan sensor aliran yang terintegrasi dengan antarmuka digital (IoT/DAQ). Hal ini akan memungkinkan mahasiswa untuk melakukan analisis grafis tekanan injeksi terhadap sudut poros engkol dan melatih keterampilan *troubleshooting* berbasis data.

diagnostik.

3. Meskipun motor bensin terpilih dalam WDM karena ketersediaan dan biaya, penelitian masa depan dapat mengevaluasi penggunaan motor listrik yang dikendalikan oleh *Variable Frequency Drive* (VFD). Sistem ini akan menghilangkan slip pada sabuk dan memungkinkan simulasi variasi putaran pompa injeksi yang lebih presisi dan terprogram untuk materi lanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Hihamsyah, D. P., Abu, R., & Selviyanty, V. (2024). Perancangan Alat Uji Putaran Kritis Poros Menggunakan Digital Counter. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 7(1), 528–535.
2. Lewerissa, Y. J. (2025). Rancang Bangun Rangka Trainer Sistem Bahan Bakar Motor Diesel Tipe In Line. *Jurnal Voering*, 10(1), 9–15.
3. Manurung, J., & Khairani, N. (2025). Sistem Penunjang Keputusan Pemilihan Saham Sektor Perbankan dengan Metode TOPSIS. *Emasains: Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains*, 14(2), 253–264.
4. Muskita, N. D. (2025). Penentuan Ukuran Puli Dan Sabuk Pada Trainer Sistem Bahan Bakar Diesel Tipe In Line. *Jurnal Voering*, 10(1), 24–33.
5. Nuhgraha, Y. A., Abdi, F., & Damayanti, E. (2023). Perancangan mesin pencacah sampah organik. *Jurnal TEDC*, 17(3), 195–202.
6. Pratiwi, M., Mutmainnah, N., & Saputra, W. (2022). Pengembangan Media Pembelajaran Trainer Sistem Bahan Bakar Diesel Tipe In-Line. *Jambura Journal of Engineering Education*, 1(1), 40-49.
7. 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.
8. Sukir, S., & Wicaksono, T. (2023). Kinerja Training Kit Mesin Pengisi dan Penutup Botol otomatis Sebagai Media Praktik Programmable Logic Controllers di SMK. *Journal on Education*, 6(1), 550–563.
9. Wigraha, N. A., Dantes, K. R., & Gede, A. (2024). Engine Diesel: Perbaikan Trainer Untuk Menunjang Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL). *Seminar Nasional Riset Inovatif*, (pp. 9-14). Bali: Universitas Pendidikan Ganesha.
10. Wirakusuma, K. W., Aifah, N., & Padang, R. L. (2025). Integrasi Pendekatan Antropometri dan Metode RULA dalam Perancangan Meja Ragum Ergonomis untuk Praktikum Kerja Bangku. *Inventory: Industrial Vocational E-Journal On Agroindustry*, 6(2), 56–66.
11. Wulantari, I. G. P. A. P., Wirdiani, N. K. A., & Buana, P. W. (2021). Penerapan Metode Human Centered Design Dalam Perancangan User Interface (Studi Kasus: PT. X). *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Komputer*, 2(3), 459–470.
12. Yanuar, P., Khoryanton, A., & Oktariza, G. (2021). Rancang Bangun Alat Uji Injektor Nozzle Spray Semi Otomatis. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 279–285.