

## PENGEMBANGAN SMART MINI TRAINER SISTEM KELISTRIKAN BODI OTOMOTIF BERBASIS IOT UNTUK Mendukung PEMBELAJARAN ERA INDUSTRI 4.0

Sukardi\*, Muhammad Hudan Rahmat, Agung Samudra, Sri Murwantini, Harie Setiyadi Jaya

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Palangka Raya, Indonesia

\*E-mail: [sukardi.oto@mech.upr.ac.id](mailto:sukardi.oto@mech.upr.ac.id)

**Abstrak:** Pembelajaran Sistem Kelistrikan Otomotif menghadapi kendala ketersediaan media praktik yang mahal, statis, dan belum mendukung visualisasi data digital. Kondisi ini menghambat pemahaman diagnosa kerusakan berbasis data digital yang kini menjadi tuntutan *industry* 4.0. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengembangkan *smart mini trainer* yang valid; (2) menguji efektivitas *smart mini trainer* terhadap pemahaman konsep diagnosa kerusakan berbasis data digital dan motivasi mahasiswa; serta (3) menganalisis efisiensi biaya pengembangan antara *smart mini trainer* dan trainer standar. Metode penelitian menggunakan *research and development* model *instructional development institute* (IDI) dengan subjek uji coba 30 mahasiswa. Hasil validasi ahli menunjukkan *smart mini trainer* sangat layak/valid (0,93) untuk digunakan dalam pembelajaran. Hasil uji coba menunjukkan bahwa 83,3% mahasiswa termotivasi untuk mempelajari *smart mini trainer*. Selain itu, desain antarmuka media dinilai *user-friendly*, dibuktikan dengan total akumulasi respon positif mencapai 66,6%. Analisis efisiensi biaya menunjukkan bahwa substitusi komponen varian mini mampu menghemat biaya antara 60% hingga 98% dibandingkan trainer standar. Implikasi penelitian ini menawarkan solusi media pembelajaran yang *low-cost*, portabel dan valid untuk melatih logika diagnosa berbasis data digital pada Sistem Kelistrikan Otomotif.

**Kata Kunci:** Trainer pintar, kelistrikan otomotif, IoT, media pembelajaran, industri 4.0

**Abstract:** *Automotive Electrical Systems learning faces the constraints of the availability of expensive, static, and digital data visualization practice media. This condition hinders the understanding of digital data-based damage diagnosis which is now a requirement of industry 4.0. This study aims to: (1) develop a valid smart mini trainer; (2) test the effectiveness of the smart mini trainer on the understanding of the concept of digital data-based damage diagnosis and student motivation; and (3) analyze the development cost efficiency between the smart mini trainer and the standard trainer. The research method uses the instructional development institute (IDI) research and development model with 30 students as trial subjects. The expert validation results show that the smart mini trainer is very feasible/valid (0.93) for use in learning. The trial results show that 83.3% of students are motivated to learn the smart mini trainer. In addition, the media interface design is considered user-friendly, as evidenced by the total accumulation of positive responses reaching 66.6%. The cost efficiency analysis shows that substituting mini variant components can save costs between 60% and 98% compared to the standard trainer. The implications of this research offer a low-cost, portable and valid learning media solution for training digital data-based diagnostic logic in Automotive Electrical Systems.*

**Keywords:** *smart trainer, automotive electricity, IoT, learning media, industry 4.0*

### PENDAHULUAN

Revolusi Industri 4.0 telah mendorong transformasi mendasar dalam industri otomotif, yang ditandai dengan integrasi sistem elektronik yang semakin kompleks, seperti sistem masuk tanpa kunci dan jaringan sensor canggih. Akibatnya, kompetensi yang dibutuhkan dari teknisi otomotif telah bergeser secara signifikan dari dominasi keterampilan mekanik ke keahlian dalam diagnostik digital, analisis data, dan pemahaman tentang sistem elektronik terintegrasi. Lembaga pendidikan kejuruan memainkan peran penting dalam mempersiapkan sumber daya manusia yang mampu menghadapi tantangan era baru saat ini.

Namun, proses pembelajaran secara lebih spesifik di bidang Kelistrikan Bodi Otomotif saat ini menghadapi beberapa kendala yang menghambat pencapaian kompetensi lulusan. *Pertama*, ketergantungan pada media standar yang statis, besar, dan mahal. Karakteristik ini membatasi penggunaannya di laboratorium, mengurangi fleksibilitas dan mobilitas proses pembelajaran. Kondisi ini diperparah oleh rasio media dan mahasiswa yang kurang ideal, seperti yang terjadi di Laboratorium Pendidikan Teknik Mesin, di mana satu unit trainer Kelistrikan Bodi Otomotif harus melayani hingga 30 mahasiswa. Hal ini mengurangi efektivitas pengalaman praktik.

*Kedua*, metode pembelajaran yang ada cenderung pasif dan tidak sejalan dengan kemajuan teknologi digital. Mahasiswa tidak memiliki kesempatan untuk memvisualisasikan data dinamis secara real-time, seperti fluktuasi tegangan dan arus. Akibatnya, mereka kurang terlatih dalam menggunakan antarmuka digital yang telah menjadi standar di industri modern saat ini.

Untuk menjembatani kesenjangan tersebut, studi ini mengusulkan pengembangan Smart Mini Trainer untuk Sistem Kelistrikan Bodi Otomotif. Inovasi ini dirancang sebagai media pembelajaran portabel dan berbiaya rendah yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Trainer ini tidak hanya mereplikasi sirkuit fisik tetapi juga mampu menampilkan data diagnostik secara digital melalui display digital, ponsel atau laptop. Dengan menyajikan data secara *real-time* dan interaktif, inovasi ini diharapkan dapat menciptakan ekosistem pembelajaran yang lebih dinamis, adaptif, dan relevan untuk memenuhi tuntutan kompetensi era Industri 4.0.

Konsep kelistrikan seperti tegangan (V), arus (I) dan hambatan ( $\Omega$ ) seringkali abstrak dan sulit untuk dipahami oleh mahasiswa jika hanya diajarkan secara teoritis. Media konvensional hanya menunjukkan apakah suatu rangkaian berfungsi atau tidak, tanpa memvisualisasikan proses yang terjadi di dalamnya. Dengan menyajikan data fluktuasi tegangan dan arus secara *real-time* pada dasbor IoT, konsep-konsep abstrak ini menjadi fenomena konkret yang dapat diamati. Pendekatan visual dan interaktif ini, yang selaras dengan prinsip-prinsip pembelajaran *discovery*, dapat secara signifikan meningkatkan pemahaman konseptual siswa dibandingkan dengan metode pembelajaran konvensional (Purwaningsih & Sari, 2020).

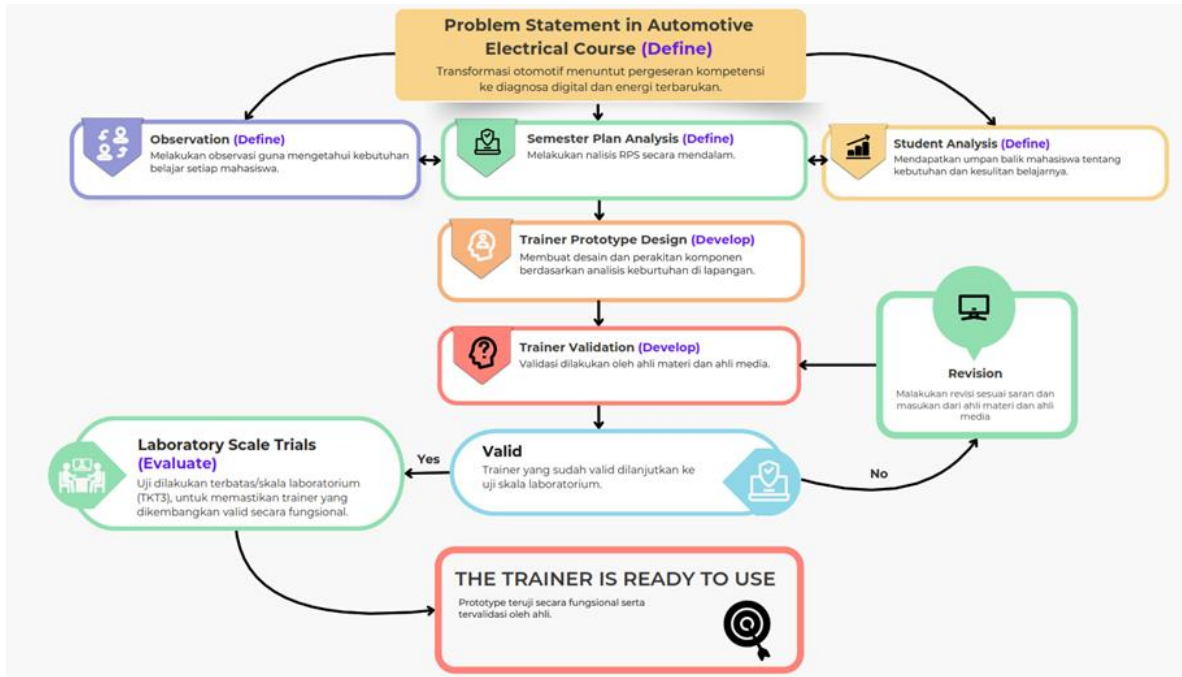
Pengembangan media yang ada sebagian besar berfokus pada keterampilan teknis dan kelayakan fungsional di berbagai domain. Misalnya, (Alensyah dkk, 2024) dan (Sukardi, dkk, 2023) menekankan pada alat bantu pelatihan energi terbarukan untuk meningkatkan pemahaman praktis, sementara (Hidayat, dkk, 2022) dan (Rifa'i, 2019) berfokus pada kit berbasis mikrokontroler untuk meningkatkan kepraktisan dalam mata pelajaran kejuruan tertentu. Demikian pula, (Yusro dkk., 2021) mengembangkan alat bantu pelatihan multi-sensor untuk menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik instrumentasi. Pengembangan tersebut berfokus pada fungsionalitas sirkuit fisik tanpa integrasi mendalam dengan visualisasi data berbasis IoT *real-time* untuk sistem kelistrikan otomotif. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan dasbor diagnostik interaktif yang menjembatani kesenjangan antara teori kelistrikan dan praktik diagnostik digital modern.

Mengembangkan media pembelajaran inovatif bukan hanya tentang fungsionalitas teknis. Untuk memastikan efektivitas *smart mini trainer* yang dikembangkan, diperlukan proses pengujian kelayakan yang komprehensif. Oleh karena itu, validasi oleh para ahli (dosen otomotif) dilakukan untuk memastikan kesesuaian konten dengan prinsip-prinsip kelistrikan otomotif. Selanjutnya, penilaian oleh para ahli dilakukan untuk memastikan kemudahan penggunaan, desain antarmuka, dan efektivitas pedagogis.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: 1) mengembangkan *smart mini trainer* sistem Kelistrikan Bodi Otomotif yang mengintegrasikan komponen varian mini dengan teknologi IoT untuk visualisasi data *real-time*; 2) menguji efektivitas *smart mini trainer* dalam meningkatkan pemahaman diagnosa dan motivasi belajar; 3) melakukan *cost-efficiency* penggunaan komponen mini dibandingkan komponen standar.

## METODE

Penelitian ini merupakan *research and development* (R&D) bertujuan untuk menghasilkan produk. Untuk memastikan proses pengembangan yang sistematis dan terukur, studi ini mengadopsi model IDI, sebagaimana telah diterapkan dalam penelitian pendidikan teknik serupa (Mustakim dkk, 2024). Prosedur ini terdiri dari tiga tahap terintegrasi yaitu: *define*, *develop* dan *evaluate*. Model ini dipilih karena efektivitasnya dalam mengembangkan media pembelajaran berbasis perangkat keras yang membutuhkan validasi dan pengujian lapangan yang ketat. Gambar 1 adalah alur kegiatan penelitian yang menggambarkan tahapan *define*, *develop* dan *evaluate*.



Gambar 1. Alur penelitian *define, develop* dan *evaluate*

**Tahap 1: *define*** berfokus pada identifikasi kesenjangan antara kondisi pembelajaran saat ini dan persyaratan industri. Pada tahap ini, analisis kurikulum (secara spesifik Rencana Pembelajaran Semester/RPS) pada mata kuliah Sistem Kelistrikan Otomotif untuk memetakan kompetensi yang dibutuhkan oleh Industri 4.0. Data observasi menunjukkan bahwa alat pelatihan konvensional yang ada bersifat statis dan tidak mampu memvisualisasikan data waktu nyata, yang menyebabkan kurangnya keterampilan diagnostik di kalangan mahasiswa. Tahap ini menetapkan spesifikasi teknis yang dibutuhkan untuk *smart mini trainer*, termasuk kebutuhan sensor dan antarmuka dasbor digital.

**Tahap 2: *develop*** melibatkan konstruksi fisik dan perangkat lunak dari alat pelatihan, diikuti dengan validasi oleh para ahli. Desain produk *smart mini trainer* dibuat menggunakan komponen otomotif yang terintegrasi dengan NodeMCU untuk memungkinkan fitur IoT. Sebelum pengujian lapangan, prototipe menjalani penilaian oleh para ahli. Mereka mengevaluasi produk menggunakan instrumen validitas berdasarkan skala *Likert*, aspek penilaian disajikan dalam tabel 1.

Berdasarkan tabel 1, ahli difokuskan untuk menilai kelayakan konstruksi media yang meliputi aspek konten, komunikasi visual, dan akurasi komponen (C, K, R). Aspek daya implementasi (D) dinilai oleh pengguna/mahasiswa pada tahap uji coba untuk mengetahui dampak praktis penggunaan media.

Tabel 1. Aspek penilaian produk

Aspek Penilaian	Indikator Penilaian	Kode
Content (Isi/Materi)	1) Kecukupan dan kesesuaian materi dengan tujuan pembelajaran.	C1
	2) Kebenaran substansi isi konten media.	C2
	3) Kekinian, relevansi, dan ketepatan waktu konten.	C3
Media dan Komunikasi Pembelajaran	1) Tingkat interaktivitas dan kemudahan penggunaan ( <i>usability</i> ).	K1
	2) Kemenarikan pengemasan media (estetika).	K2
Realisme dan Akurasi Komponen	1) Komponen yang digunakan menyerupai komponen asli kendaraan.	R1
	2) Diagram kelistrikan disajikan dengan jelas dan akurat.	R2
Daya Implementasi	1) Trainer mudah untuk digunakan.	D1
	2) Meningkatkan motivasi untuk mempelajari.	D2

**Tahap 3: *evaluate*** bertujuan untuk mengukur daya implementasi produk. Uji coba dilakukan dengan 30 mahasiswa yang sedang menempuh mata kuliah Sistem Kelistrikan Otomotif. Mahasiswa memberikan umpan balik melalui kuesioner daya implementasi yang mencakup aspek kemudahan

penggunaan dan motivasi. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk menentukan kelayakan produk.

Kriteria persentase kelayakan mengacu pada modifikasi skala Hadi, dkk, (2023) seperti yang disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Kriteria interpretasi skor kelayakan

Rentang Skor (%)	Kategori
90 – 100	Sangat Layak
80 – 89	Layak
65 – 79	Cukup Layak
55 – 64	Kurang Layak
0 – 54	Tidak Layak

## HASIL DAN DISKUSI

### Hasil Tahap *Define*

Tahap *define* dilaksanakan untuk memetakan kesenjangan antara tuntutan kurikulum dengan ketersediaan infrastruktur pembelajaran. Langkah awal melibatkan analisis mendalam terhadap dokumen Rencana Pembelajaran Semester (RPS) mata kuliah Kelistrikan Otomotif. Berdasarkan RPS, bahwa orientasi pembelajaran saat ini menitikberatkan pada kemampuan berpikir tingkat tinggi (*higher order thinking skills*), khususnya pada aspek diagnosa pemecahan masalah.

Pemetaan spesifikasi kompetensi yang menjadi dasar pengembangan media disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Analisis kebutuhan kompetensi diagnostik berdasarkan RPS

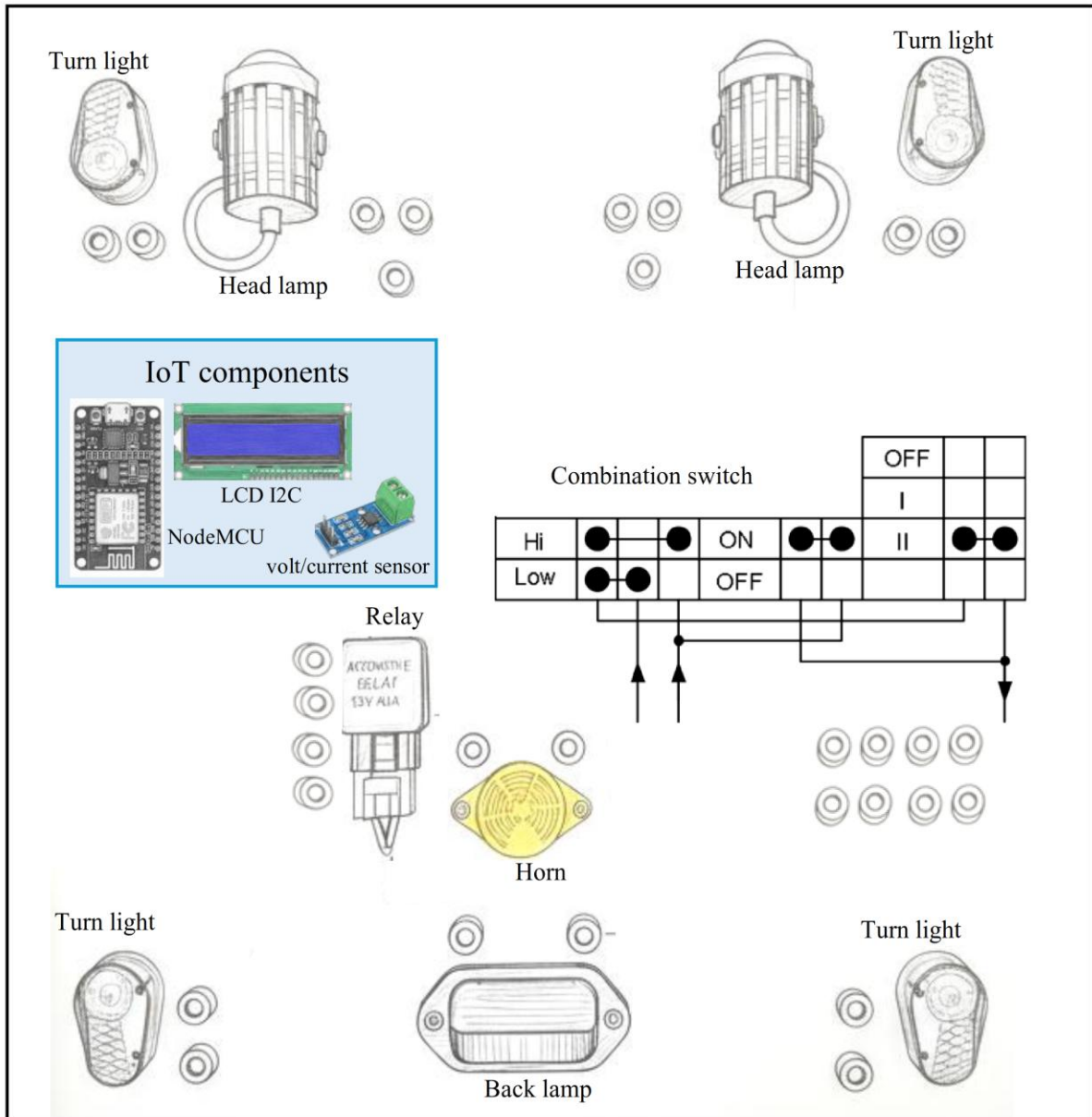
Sub-Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (Sub-CPMK)	Metode Pembelajaran	Ketersediaan Media
Memecahkan masalah rangkaian seri, paralel dan gabungan.	<i>Problem Solving</i>	Hanya papan rangkaian biasa, tidak ada data arus <i>real-time</i> .
Melakukan diagnosis sistem pengapian.	<i>Case Study</i>	Simulator konvensional tanpa visualisasi data sensor.
Melakukan diagnosis sistem pengisian.	<i>Case Study</i>	Sulit melihat fluktuasi tegangan pengisian secara detail.
Melakukan diagnosis sistem kelistrikan bodi.	<i>Problem Solving</i>	Media statis, sulit mendeteksi <i>voltage drop</i> , aliran arus bersifat abstrak.

Berdasarkan Tabel 3, kurikulum menuntut mahasiswa untuk tidak hanya sekadar merangkai komponen, tetapi harus mampu melakukan diagnosis kompleks. Hal tersebut diperkuat dengan skema penilaian mata kuliah yang mengalokasikan bobot 60% untuk *problem solving*. Namun, di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan teknologi. Oleh karena itu, *smart mini trainer* yang mengintegrasikan IoT menjadi solusi mendesak untuk memvisualisasikan fenomena kelistrikan abstrak tersebut menjadi data konkret yang dapat dianalisis.

### Hasil Tahap *Develop*

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada tahap *define*, tahap pengembangan (*develop*) berfokus pada rekayasa solusi perangkat keras dan perangkat lunak yang mendorong keterampilan diagnostik. Inovasi utama dalam pengembangan ini adalah konsep mini. Tidak seperti trainer standar yang besar dan berat, perangkat ini menggunakan tata letak yang hemat ruang dan indikator berbasis LED untuk merepresentasikan *output* beban tinggi. Strategi ini mengatasi kendala yang terkait dengan ruang laboratorium dan biaya produksi namun mempertahankan fungsional.

Untuk mengatasi kesenjangan visualisasi, arsitektur perangkat keras mengintegrasikan mikrokontroler NodeMCU. Sistem ini memungkinkan trainer untuk mengirimkan data listrik secara nirkabel ke antarmuka seluler, menciptakan kembaran digital dari rangkaian fisik. Fitur ini memungkinkan siswa untuk memantau aliran arus dan status tegangan secara *real-time* melalui ponsel pintar mereka, kemampuan yang dirancang untuk mensimulasikan alat diagnostik kendaraan modern. Perkembangan dari desain trainer yang telah dikembangkan diilustrasikan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Desain *layout* mini trainer

Sepesifikasi komponen yang digunakan dalam pengembangan *smart mini trainer* dituangkan dalam tabel 4 berikut.

**Tabel 4.** Komponen dan spesifikasi smart mini trainer.

No.	Nama Komponen	Spesifikasi	Kegunaan
1.	Lampu laser led mini	12 Volt 20 Watt	Lampu kepala ( <i>head lamp</i> )
2.	Lampu sein tempel led	12 Volt	Lampu tanda belok ( <i>turn lamp</i> )
3.	Lampu led plat nomor universal	12 Volt	Lampu penerangan plat nomor
4.	<i>Speaker Small Horn</i>	12 Volt 1 Watt 5 cm 50 mm	Klakson
5.	<i>Relay mini</i>	12 Volt 40 Ampere	Relay
6.	Sekring mini	12 Volt	Pengaman rangkaian
7.	NodeMcu	ESP8266	Perangkat IoT
8.	LCD I2C	5 Volt 4 Baris 20 Karakter	Pembacaan digital
9.	Sensor arus	30A	Sensor
10.	Sensor tegangan	0-25 Volt DC	Sensor
11.	Saklar/Kunci Kontak mini	12 Volt 1 Ampere 12 mm	Kunci kontak

Untuk kebutuhan media pembelajaran yang praktis dan terjangkau, trainer dikembangkan ke dalam konsep mini. Trainer ini mensubstitusi komponen bodi kendaraan yang besar menjadi varian yang lebih ringkas namun fungsional, seperti penggunaan lampu laser LED mini, sein tempel, dan *speaker small horn* yang tetap beroperasi pada standar tegangan 12 Volt. Meskipun berdimensi portabel agar mudah dibawa ke dalam kelas, sistem kontrol dan pengamanannya tetap mengacu pada standar menggunakan *relay mini* dan sekering, sehingga mahasiswa dapat mempelajari prinsip kerja kelistrikan yang autentik.

Nilai tambah utama dari trainer ini terletak pada integrasi teknologi IoT yang membedakannya dengan trainer standar. Dikendalikan oleh NodeMCU ESP8266, trainer ini dilengkapi sensor arus dan sensor tegangan yang mampu membaca beban kerja rangkaian secara *reeltime*. Data tersebut kemudian ditampilkan secara *real-time* melalui layar LCD 20x4, memungkinkan mahasiswa tidak hanya terampil merangkai, tetapi juga mampu menganalisis data parameter listrik secara digital.

Implementasi logika kendali pada *smart mini trainer* diprogram menggunakan Arduino IDE, di mana struktur kodenya dapat dilihat secara detail pada Gambar 3. *Smart mini trainer* dilengkapi oleh program, yang bertugas mengintegrasikan logika kontrol dengan antarmuka visual pada layer LCD. Kode program diawali dengan *library LiquidCrystal I2C* dan *Wire.h* untuk memfasilitasi komunikasi data antara mikrokontroler NodeMCU dan layar LCD. Pendefinisian konstanta *pin* seperti *pinLed* pada D0, *pinRelay* pada D5, dan *pinSensor* pada A0 dilakukan secara spesifik agar mikrokontroler dapat memetakan jalur *input* dan *output (I/O)* komponen fisik trainer dengan akurat. Pada *void setup*, program dirancang untuk membangun protokol komunikasi I2C pada pin D1 dan D2 serta mengaktifkan *backlight* LCD ukuran 20x4. Sebagai indikator interaktif bahwa trainer telah siap digunakan, program memerintahkan layar untuk menampilkan pesan pembuka pengukuran arus dan tegangan.



```

sketch_dec15a | Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
File Edit Sketch Tools Help

sketch_dec15a §
1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3
4 // PIN KONFIGURASI
5 const int pinLed = D0;
6 const int pinRelay = D5;
7 const int pinSensor = A0;
8
9 // LCD KONFIGURASI
10 // Menggunakan konfigurasi 20 kolom dan 4 baris (sesuai gambar terakhir)
11 // Cek kembali: Pastikan LCD Anda benar-benar 20x4. Jika 16x2, ganti 20, 4 menjadi 16, 2.
12 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
13
14 void setup() {
15   Serial.begin(115200);
16
17   // Inisialisasi LCD (sesuai library Anda: lcd.begin() tanpa parameter)
18   lcd.begin();
19   Wire.begin(D2, D1); // Inisialisasi I2C: D2 (SDA), D1 (SCL)
20   lcd.backlight(); // Nyalakan lampu latar
21
22   // Tampilkan pesan awal
23   lcd.clear();
24   lcd.print("Pengukuran Energi");
25   lcd.setCursor(0, 1);
26   lcd.print("Tunggu...");
27
28   // Konfigurasi pin
29   pinMode(pinLed, OUTPUT);
30
31   // Urutan pinMode untuk pinRelay

```

Gambar 3. Kode program inisialisasi sistem pada Arduino IDE

### Hasil Tahap *Evaluate*

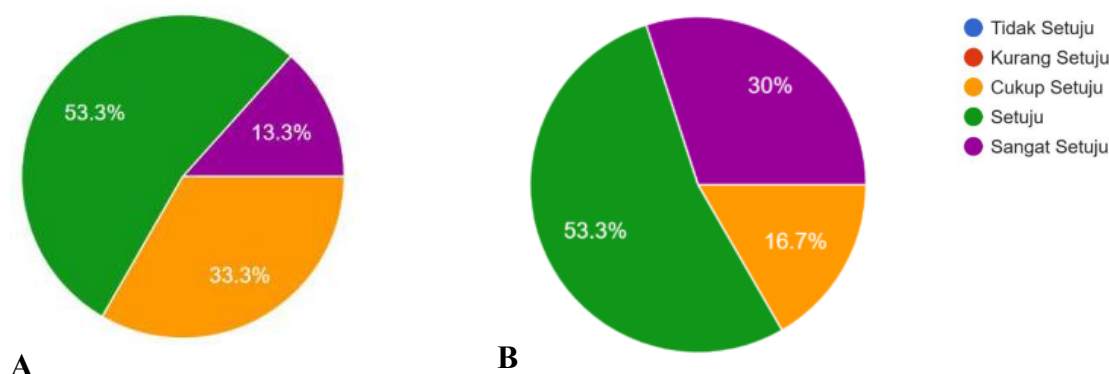
Tahap *evaluate* menilai validitas dan dampak pedagogis mini trainer yang dikembangkan. Tahap ini melibatkan tinjauan ahli dan studi percobaan terbatas. Validitas konstruk dan isi dari *smart mini trainer* dinilai oleh para ahli di bidangnya. Instrumen evaluasi mencakup tiga dimensi penting: kecukupan konten, komunikasi media, dan realisme komponen. Rekapitulasi skor dan persentase pencapaian untuk setiap indikator disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Pencapaian untuk setiap indikator dan aspek penilaian.

Indikator	Skor	Persentase (%)	Kategori
C1	5	80	Layak
C2	5	100	Sangat layak
C3	5	100	Sangat layak
K1	5	100	Sangat layak
K2	4	80	Layak
R1	4	80	Layak
R2	5	100	Sangat layak

Berdasarkan data pada Tabel 5, menunjukkan hasil yang dominan pada kategori sangat layak. Empat indikator mencapai skor maksimum dengan persentase capaian 100%, yaitu kebenaran substansi isi, relevansi, tingkat interaktivitas, dan akurasi diagram kelistrikan. Hal ini mengindikasikan bahwa *smart mini trainer* memiliki keunggulan utama pada validitas materi dan presisi teknis diagram.

Sementara itu, kecukupan materi, daya tarik dan realisme memperoleh persentase 80% dengan kategori layak. Meskipun tidak mencapai nilai maksimum, skor ini menegaskan bahwa media tetap memenuhi standar kelayakan untuk digunakan. Secara keseluruhan, penilaian ahli menghasilkan koefisien validitas yang tinggi sebesar 0,93. Temuan tingginya validitas ini sejalan dengan tren pengembangan alat pendidikan terkini. Misalnya, (Mustakim dkk., 2024) yang mencapai skor validitas identik (0,93) untuk *Kit Pelatih IoT* pada mata pelajaran rangkaian digital, menegaskan bahwa integrasi teknologi IoT secara struktural memang layak dan andal untuk tujuan pendidikan vokasi. Lebih lanjut, (Supraptono, 2025) juga menunjukkan bahwa alat peraga sistem SCADA secara signifikan memvalidasi relevansi media terhadap standar kurikulum. Dengan demikian, hasil ini membuktikan bahwa *smart mini trainer* telah memenuhi kelayakan/valid untuk digunakan sebagai media pembelajaran.

**Gambar 4.** Data hasil uji skala kecil.

Setelah dinyatakan layak/valid oleh para ahli, studi percobaan dilakukan terhadap 30 mahasiswa. Berdasarkan hasil uji skala kecil, evaluasi daya implementasi *smart mini trainer* ditinjau dari aspek kemudahan penggunaan dan motivasi mempelajari. Pada indikator kemudahan penggunaan (Gambar 4A), respon mahasiswa menunjukkan penerimaan yang positif di mana mayoritas responden sebesar 53,3% menyatakan setuju bahwa alat ini mudah dioperasikan, didukung oleh 13,3% yang menyatakan sangat setuju, dan 33,3% yang menilai cukup setuju. Hal ini mengindikasikan bahwa desain antarmuka alat sudah cukup ramah pengguna (*user-friendly*), dibuktikan dengan total akumulasi respon positif (gabungan setuju dan sangat setuju) yang mencapai 66,6%. Sementara itu, persepsi terhadap aspek motivasi untuk mempelajari terlihat lebih tinggi pada indikator motivasi (Gambar 4B). Persentase responden yang menyatakan setuju 53,3%, sangat setuju mencapai 30%, sedangkan 16,7% menyatakan cukup setuju. Pergeseran tren positif ini menegaskan bahwa interaktivitas *smart mini trainer* sangat efektif dalam memicu antusiasme belajar, dibuktikan dengan total akumulasi respon positif (gabungan setuju dan sangat setuju) yang mencapai 83,3% pada aspek motivasi.

Data menunjukkan bahwa 83,3% mahasiswa termotivasi untuk mempelajari mini trainer. Temuan ini menguatkan (Kamal, dkk., 2025), yang melaporkan bahwa perangkat pelatihan pintar yang dilengkapi teknologi modern secara signifikan meningkatkan motivasi dan kemandirian mahasiswa. Motivasi ini

tumbuh karena mahasiswa merasa tertantang menyelesaikan skenario kerusakan nyata melalui antarmuka digital yang relevan dengan tren industri masa kini.

Berdasarkan temuan ini, motivasi untuk menguasai materi sangat dibutuhkan mengingat diagnosa kerusakan kelistrikan bukan sekadar prosedur teknis, melainkan sebuah *ill-structured problem* (masalah tidak terstruktur). Mengacu pada Jaakkola dan Nurmi (2004), sebagian besar proses pemecahan masalah dalam pendidikan kejuruan didominasi oleh analisis kognitif dibandingkan tindakan teknis semata. Dalam konteks penelitian ini, *smart mini trainer* dapat digunakan untuk melatih kemampuan diagnosa. Fitur simulasi *malfunction* (kerusakan) yang terintegrasi dengan visualisasi data IoT memaksa mahasiswa untuk meninggalkan metode tebak-tebakan dan beralih pada logika diagnosa berbasis validasi data (Fadilah dkk, 2021). Tantangan pemecahan masalah berbasis data riil inilah yang menjadi kunci efektivitas *smart mini trainer*. Hal tersebut diperkuat oleh Alensyah dkk. (2024) menemukan bahwa penggunaan perangkat pelatihan membantu peserta didik memvisualisasikan konsep abstrak, sehingga meningkatkan keterlibatan dan kualitas pembelajaran. Kemampuan untuk memvisualisasikan data dari jarak jauh melalui IoT terbukti sangat penting. Seperti yang disoroti oleh (Mustakim dkk., 2024), integrasi IoT dalam media pembelajaran memungkinkan peserta didik memahami sinyal digital yang kompleks. Selain itu, (Yusro dkk., 2021) menekankan bahwa perangkat pelatihan multi-sensor yang mampu mengakuisisi data sangat penting untuk memastikan peserta didik memiliki keterampilan teknis yang sesuai dengan standar instrumentasi industri saat ini. *Smart mini trainer* berhasil menyediakan fungsi didaktik yang melatih mahasiswa untuk menganalisis data digital, keterampilan yang sangat relevan dengan diagnostik kendaraan modern saat ini.

Selain keunggulan pedagogis pada aspek pemecahan masalah dan motivasi, pengembangan trainer ini juga menawarkan solusi efisiensi biaya. Penggunaan komponen varian "mini" sesuai spesifikasi pada Tabel 4 terbukti lebih ekonomis dibandingkan perakitan trainer dengan komponen standar, namun tetap mempertahankan fungsi kerja sistem kelistrikan. Perbandingan estimasi biaya komponen disajikan pada Tabel 6 berikut.

**Tabel 6.** Perbandingan estimasi harga komponen mini trainer vs komponen standar.

Nama Komponen Minitrainer	Estimasi Harga (Rp)	Komponen Standar	Estimasi Harga (Rp)	Selisih/Hemat
Lampu Laser Led Mini (20 Watt)	± 45.000	Headlamp Mobil (Halogen/LED Assy)	± 450.000	90%
Lampu Sein Tempel Led	± 15.000	Lampu Sein Standar	± 150.000	90%
Speaker Small Horn	± 25.000	Klakson Standar	± 120.000	79%
Relay Mini (12V 40A)	± 10.000	Relay Standar	± 35.000	71%
Skring Mini Sepeda Motor	± 2.000	Fuse Block Standar	± 150.000	98%
Kunci Kontak Mini	± 25.000	Kunci Kontak Standar	± 300.000	92%
Baterai Sepeda Motor	± 300.000	Baterai Mobil	± 750.000	60%
Saklar mini	± 45.000	Saklar Kombinasi	± 450.000	90%
Kabel 0,5 – 0,85 mm <sup>2</sup>	± 50.000	Kabel 1,25 – 2 mm <sup>2</sup>	± 150.000	67%
Komponen IoT	± 800.000	Tanpa IoT	0	-

Data Tabel 6 menunjukkan bahwa substitusi ke komponen spesifik seperti lampu laser mini, saklar, dan kunci kontak mini dapat memangkas biaya per item antara 60% hingga 98%. Efisiensi terbesar diperoleh dari penggantian *fuse block* standar mobil ke sekering mini motor (hemat 98%) dan mekanisme saklar kombinasi yang mahal menjadi saklar tombol yang jauh lebih ekonomis (hemat 90%). Meskipun terdapat alokasi dana khusus untuk Komponen IoT sebesar ± Rp 800.000 yang tidak terdapat pada trainer konvensional, total biaya pembuatan *smart mini trainer* tetap jauh lebih rendah dibandingkan biaya total komponen standar.

Meskipun efektif, penelitian ini memiliki keterbatasan pada perbedaan karakteristik beban (*load*) antara komponen mini dan komponen mobil sesungguhnya. Tantangan utama saat ini adalah menemukan formulasi spesifikasi teknis yang presisi agar data fluktuasi pada IoT tetap autentik menyerupai kendaraan riil. Selain itu, penggunaan saklar tombol sebagai pengganti saklar kombinasi masih menjadi bahan pertimbangan lanjut, mengingat prinsip kerja mekanisnya yang tidak sepenuhnya identik. Aspek-aspek ini menjadi fokus penyempurnaan pada tahap riset berikutnya.

## SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan prototipe *smart mini trainer* Sistem Kelistrikan Bodi Otomotif berbasis IoT yang terbukti valid/layak dan fungsional. Berdasarkan validasi ahli, media ini dinyatakan sangat layak dengan skor validitas 0,93. Secara pedagogis, *smart mini trainer* terbukti efektif. Hasil uji coba lapangan menunjukkan bahwa 83,3% mahasiswa termotivasi untuk belajar. Dari aspek ekonomis, inovasi penggunaan komponen varian mini terbukti memberikan efisiensi biaya. Analisis komparatif menunjukkan bahwa *smart mini trainer* menghemat biaya produksi 60% hingga 98% dibandingkan dengan *trainer* standar. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan media ini sebagai solusi *low-cost* untuk mengatasi keterbatasan rasio media praktik di laboratorium.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM Universitas Palangka Raya (UPR) yang telah mendanai penelitian ini melalui skema PDP Tahun 2025, sesuai dengan nomor kontrak: 1443/UN24.13/AL.04/2025.

## DAFTAR RUJUKAN

- Alensyah, A. et al. (2024). Development of PLTS Trainers as Learning Media in the Energy Conversion Laboratory. *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 8(1), p. 23. DOI: <https://doi.org/10.22373/crc.v8i1.19674>.
- Fadilah, M. W., Usodo, B., & Subanti, S. (2021). How is the PISA-Like Problem-solving Skills Level 1 to Level 3 of Junior High School Students?. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 597, pp. 176–185.
- Hadi, N. et al. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Aplikasi Android Mata Pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Otomotif. *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 1(2), pp. 251–266. DOI: <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v1i2.59>.
- Hidayat, A., Martha Fitriani, I. and Pradhana, C. (2022). Pengembangan Trainer Kit untuk Menunjang Kegiatan Praktikum Mikroprosesor dan Mikrokontroler di Universitas Islam Raden Rahmat. *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 1(2), pp. 55–60. DOI: <https://doi.org/10.33379/metrotech.v1i2.1317>.
- Jaakkola, T., & Nurmi, S. (2004). Academic Impact of Learning Objects: The Case of Electric Circuits', *Proceedings of the Symposium on Learning Objects in the Classroom*, Manchester.
- Kamal, N., Alamsyah, et al. (2025). Pengembangan Smart Trainer Kit Praktikum Jaringan Komputer Sebagai Media Pembelajaran Modern. *Didaktika: Jurnal Kependidikan*, 14(4), pp. 6943–6956.
- Mustakim, W. et al. (2024). Development of Internet of Things Trainer Kit as a Learning Media for Digital Circuit Subjects in Higher Education. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 20(9), pp. 4–16.
- Purwaningsih, E., Sari, S. P., Sari, A. M. (2020). The Effect of Stem-PJBL And Discovery Learning on Improving Students' Problem-Solving Skills of The Impulse And Momentum Topic. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(4), pp. 465–476. DOI: <https://doi.org/10.15294/jpii.v9i4.26432>.
- Rifa'i, F. P.W.R. (2019). Pengembangan Trainer Kit Sensor Fire Fighting Berbasis Arduino Uno Sebagai Media Pembelajaran Pada Mata Pelajaran Perencanaan Sistem Robotik di SMK Negeri 2 Bojonegoro. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 08(02), pp. 205–209.
- Sukardi, Samudra, A. Suryanto, A.E. (2023). Development Solar Cell Trainer (SCT) as Learning Media on Renewable Energy. *Vanos Journal of Mechanical Engineering Education*, 8(2), pp. 200–209.
- Suprpto, E. A.W. (2025). SCADA Learning Trainer Development for Vocational High School Electrical Engineering Teachers in Semarang. *Journal of Vocational Education*, 42(1), pp. 1–7.
- Yusro, M. et al. (2021). Pengembangan Trainer Aplikasi Multi-Sensors (TAMS) Berbasis Arduino dan Raspberry Pi. *Risenologi*, 6(1), pp. 77–85. DOI: <https://doi.org/10.47028/j.risenologi.2021.61.150>.