

A Smart Home Training Kit for Enhancing Practical Skills and Learning Engagement in Electrical Engineering Education

Syaiful Islami^{1*}, Darma Hendra¹

¹ Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

*Corresponding Author: syaiful_islami@ft.unp.ac.id

Abstract

The development of Internet of Things (IoT), automation, and smart electrical installation systems requires electrical engineering education to provide practical experiences that are relevant to technology development and engineering standards. This study aimed to develop a Smart Home Training Kit as a learning medium for building electrical installation practice by integrating electrical installation, protection, measurement, automation, and IoT-based Smart Home technology in accordance with the General Requirements for Electrical Installations (PUIL). The study employed Research and Development (R&D) using the Four-D model: Define, Design, Develop, and Disseminate. The product consisted of a modular practice panel equipped with electrical installation components, protection devices, smart switches, smart relays, sensors, an IoT module, a digital power meter, practical modules, job sheets, and user guidance. Validity was assessed by three validators using Aiken's V. Practicality was assessed using a Likert scale, while effectiveness was assessed through a questionnaire involving 30 students. The results indicated an average validity coefficient of 0.90, practicality of 91.25%, and effectiveness of 92.6%. These results indicate that the training kit can support contextual practical learning while introducing the integration of Smart Home and IoT technologies.

Keywords: Smart Home Training Kit; PUIL; electrical installation; vocational education; Internet of Things.

1. Introduction

Transformasi digital pada sistem kelistrikan bangunan mengubah kebutuhan kompetensi lulusan teknik elektro. Integrasi Internet of Things (IoT), otomasi, sensor, aktuator, dan sistem monitoring menjadikan instalasi listrik tidak lagi dipahami hanya sebagai jaringan penghantar dan beban, tetapi sebagai sistem terpadu yang dapat dipantau dan dikendalikan. Dalam konteks Industri 4.0 dan perkembangan menuju Society 5.0, dunia kerja membutuhkan tenaga yang mampu merancang, memasang, menguji, mengoperasikan, dan memelihara sistem secara aman serta sesuai standar [1][2].

Pendidikan vokasi mempunyai posisi penting dalam menyiapkan kompetensi tersebut karena pembelajaran diarahkan pada kemampuan terapan dan penyelesaian masalah nyata. Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi menempatkan pendidikan vokasi sebagai pendidikan tinggi yang mempersiapkan mahasiswa untuk memiliki pekerjaan dengan keahlian terapan tertentu. Dengan demikian, pembelajaran teknik elektro perlu memberi proporsi pengalaman praktik yang memungkinkan mahasiswa menghubungkan pengetahuan teoritis dengan prosedur kerja, keselamatan, standar, dan kondisi yang menyerupai dunia kerja [2].

Pada pembelajaran instalasi listrik, penerapan standar merupakan bagian penting dari kompetensi profesional. PUIL menjadi acuan dalam perencanaan, pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, dan pemeliharaan instalasi listrik tegangan rendah. PUIL 2020 juga mengakomodasi perkembangan persyaratan teknis dan

keselamatan instalasi serta harmonisasi dengan IEC 60364. Oleh sebab itu, pengalaman praktik mahasiswa harus memperlihatkan hubungan antara pemilihan komponen, pengawatan, proteksi, pembumian, pemeriksaan, dan pengujian [3][4][5].

Permasalahan yang ada adalah masih perlunya media praktikum yang mengintegrasikan instalasi listrik konvensional dengan teknologi Smart Home. Trainer konvensional cenderung menampilkan komponen secara terpisah sehingga mahasiswa belum selalu memperoleh pengalaman menyeluruh mulai dari perencanaan hingga pengoperasian. Kondisi tersebut dapat memperpanjang persiapan, pemasangan, dan pembongkaran komponen serta membatasi pengalaman mahasiswa dalam integrasi perangkat IoT.

Training kit dapat menjadi jembatan antara teori dan praktik karena memungkinkan latihan berulang dalam lingkungan yang lebih terstruktur dan aman. Pengulangan membantu pembentukan keterampilan psikomotorik, sedangkan pengalaman laboratorium mendukung pembelajaran melalui eksperimen dan pemecahan masalah [6]. Dari sisi efisiensi, media yang dapat digunakan berulang kali juga dapat mengurangi kebutuhan perakitan sistem dari awal pada setiap kegiatan praktikum [7].

Smart Home merupakan konteks yang sesuai untuk mempertemukan kompetensi instalasi listrik dengan otomasi dan IoT. Literatur tentang Smart Home menunjukkan bahwa teknologi ini mencakup integrasi perangkat, jaringan, kontrol, dan pengalaman pengguna dalam lingkungan hunian [8]. Dalam perspektif pembelajaran teknik, integrasi tersebut memberi kesempatan mahasiswa memahami aliran energi listrik sekaligus aliran informasi dan logika kendali. Namun, integrasi teknologi digital tidak menghilangkan prinsip dasar keselamatan instalasi. Sistem Smart Home tetap harus dibangun di atas instalasi yang benar, proteksi yang sesuai, dan prosedur pengujian yang memadai.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian mengembangkan Smart Home Training Kit dalam bentuk panel modular. Penelitian ini menjelaskan bahwa trainer dilengkapi panel distribusi, MCB, RCCB/ELCB, RCBO, sakelar, stop kontak, lampu, smart switch, smart relay, sensor gerak, sensor suhu dan kelembapan, sensor asap, buzzer, modul mikrokontroler/IoT, serta digital power meter. Konfigurasi ini memungkinkan mahasiswa mempelajari instalasi, proteksi, pengukuran, pengendalian, dan monitoring dalam satu media.

Keunikan pengembangan tidak hanya terletak pada keberadaan perangkat Smart Home, tetapi pada pengintegrasian teknologi tersebut dengan standar instalasi listrik dan perangkat pembelajaran. Jobsheet dirancang memuat tujuan, alat dan bahan, keselamatan kerja, diagram pengawatan, langkah kerja, pengujian, dan tugas. Dengan demikian, trainer diposisikan sebagai bagian dari sistem pembelajaran, bukan sekadar perangkat demonstrasi [9].

2. Material and methods

2.1 Methods

Penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model Four-D (4D) yang terdiri atas Define, Design, Develop, dan Disseminate. Model ini dipilih karena penelitian berorientasi pada pengembangan produk pembelajaran dan pengujian kelayakannya. Setiap tahap digunakan untuk menghubungkan kebutuhan pembelajaran dengan rancangan produk, validasi, uji coba, dan implementasi.

2.2 Define

Tahap Define meliputi analisis kebutuhan pembelajaran, karakteristik peserta didik, materi, sarana praktik, kurikulum, capaian pembelajaran, kompetensi instalasi listrik, perkembangan Smart Home, serta kebutuhan dunia industri. Hasil tahap ini menunjukkan perlunya media yang dapat mengintegrasikan instalasi listrik dan Smart Home dalam satu

sistem modular. Spesifikasi awal meliputi kebutuhan terhadap kemudahan penggunaan, keamanan, fleksibilitas, penggunaan berulang, dan kesesuaian dengan PUIL.

2.3 Design

Tahap Design menghasilkan rancangan mekanik dan elektrik training kit, tata letak komponen, wiring diagram, panel distribusi, sistem proteksi, pembumian, integrasi IoT, serta perangkat pembelajaran. Panel dirancang pada rangka meja logam beroda agar mudah dipindahkan di laboratorium. Jobsheet disusun sebagai pengarah aktivitas praktik dan memuat tujuan, alat dan bahan, prosedur K3, diagram pengawatan, langkah kerja, pengujian, dan tugas.

2.4 Develop

Pada tahap Develop, rancangan diwujudkan menjadi prototipe. Setelah perakitan dan pengujian fungsi awal, produk divalidasi oleh tiga validator yang memiliki keahlian terkait media pembelajaran, instalasi listrik, dan teknologi Smart Home. Instrumen validasi menggunakan skala 1–5 pada aspek desain dan konstruksi, kesesuaian komponen, fungsi dan kinerja, keamanan, kemudahan penggunaan, kesesuaian pembelajaran, kejelasan petunjuk, dan efisiensi.

Koefisien Aiken's V digunakan untuk menganalisis validitas. Setelah validasi, dilakukan revisi berdasarkan masukan validator, terutama pada tata letak komponen, identitas/symbol perangkat, keamanan terminal pengawatan, dan petunjuk penggunaan. Produk yang telah direvisi kemudian digunakan pada uji praktikalitas dan efektivitas.

2.5 Disseminate

Tahap Disseminate dilakukan melalui implementasi produk dalam pembelajaran praktik, pengenalan fungsi dan prosedur keselamatan, penggunaan jobsheet dan panduan, serta pengumpulan tanggapan pengguna. Tahap ini dimaksudkan untuk melihat keterterapan produk setelah melewati validasi dan uji coba.

2.6 Instrumen dan Analisis Data

Instrumen validitas digunakan untuk menilai kelayakan produk dari sisi desain, teknis, keamanan, kemudahan, pembelajaran, petunjuk, dan efisiensi. Tiga validator memberikan skor pada skala 1–5. Nilai Aiken's V digunakan untuk memperoleh koefisien kesepakatan isi terhadap butir penilaian.

Instrumen praktikalitas menggunakan skala Likert 1–5 dan menilai kemudahan penggunaan, pengoperasian, kejelasan petunjuk, efisiensi waktu, keamanan, pemasangan dan pengawatan, manfaat pembelajaran, serta daya tarik. Instrumen efektivitas terdiri dari 15 pernyataan dengan skala Likert 1–5 dan diberikan kepada 30 mahasiswa yang telah mengikuti rangkaian pembelajaran menggunakan trainer.

2.7 Spesifikasi Produk

Produk berbentuk panel praktik modular dengan ukuran yang tercantum pada rancangan: panjang 120 cm, lebar/kedalaman 60 cm, tinggi panel 120 cm dan tinggi meja 75 cm. Rangka meja menggunakan hollow steel dan dilengkapi roda 4 inci. Sistem menggunakan sumber 1 fase 220 VAC, 50 Hz, dengan kapasitas beban maksimum 3.500 VA dan pengaman utama MCB 2P 16A sesuai spesifikasi pada rancangan produk.

Spesifikasi tersebut memperlihatkan bahwa produk tidak dirancang sebagai trainer komponen tunggal. Seluruh komponen disusun sebagai sistem yang memungkinkan mahasiswa mengikuti alur pekerjaan instalasi dari sumber dan proteksi menuju beban, kemudian mengintegrasikan kendali dan monitoring digital.

Tabel 1. Spesifikasi Produk

Komponen/Fitur	Fungsi pembelajaran
Panel distribusi & MCB	Pembagian sirkit dan proteksi dasar
RCCB/ELCB & RCBO	Pembelajaran proteksi kebocoran/arus gangguan
Sakelar, stop kontak, lampu	Instalasi dan pengawatan beban
Smart switch & smart relay	Pengendalian beban berbasis Smart Home
Sensor PIR, suhu/kelembapan, asap	Akuisisi kondisi lingkungan dan otomasi
Digital power meter	Monitoring tegangan, arus, daya, energi, faktor daya
Modul IoT	Komunikasi dan kendali perangkat
Jobsheet & panduan	Pedoman prosedur, K3, pengujian dan tugas

3. Results and discussion

3.1 Define and Design

Analisis kebutuhan menunjukkan bahwa pembelajaran memerlukan media yang dapat mengintegrasikan instalasi listrik dengan Smart Home. Peralatan yang sebelumnya digunakan secara terpisah membuat proses persiapan dan pembongkaran menjadi kurang efisien. Hasil Define kemudian diterjemahkan menjadi kebutuhan trainer yang modular, dapat digunakan berulang, mudah diakses, aman, dan fleksibel.

Pada tahap Design, komponen disusun pada panel praktik sehingga mahasiswa dapat melakukan pemasangan dan pengawatan sekaligus mempelajari konfigurasi perangkat pintar. Rancangan pada laporan menunjukkan panel yang terdiri atas lampu, fitting, sakelar tunggal/ganda, stop kontak, smart switch, smart relay, perangkat proteksi, power meter, thermostat/sensor suhu, serta sistem kendali berbasis IoT. Sistem juga menyediakan jalur pembelajaran untuk monitoring energi.

Jobsheet menjadi bagian penting dari rancangan. Keberadaan tujuan, alat-bahan, prosedur keselamatan, diagram, langkah kerja, pengujian, dan tugas membuat aktivitas praktik lebih terstruktur. Dengan demikian, media dan perangkat pembelajaran membentuk satu kesatuan yang dapat digunakan dosen untuk mengarahkan mahasiswa.



Gambar 1. Design Smart Home Training Kit

3.2 Develop

Prototipe dikembangkan berdasarkan rancangan dan kemudian dinilai oleh tiga validator. Hasil validasi menunjukkan nilai Aiken's V rata-rata 0,90 dan berada pada kategori valid. Nilai tertinggi terdapat pada aspek fungsi dan kinerja sebesar 1,00. Aspek desain dan konstruksi, kesesuaian komponen, kemudahan penggunaan, kesesuaian pembelajaran, dan efisiensi memperoleh 0,92. Keamanan penggunaan dan kejelasan petunjuk memperoleh 0,83.

Tabel 2. Hasil Validitas Produk

Aspek	Aiken's V	Kategori
Desain dan konstruksi	0,92	Valid
Kesesuaian komponen	0,92	Valid
Fungsi dan kinerja	1,00	Valid
Keamanan penggunaan	0,83	Valid
Kemudahan penggunaan	0,92	Valid
Kesesuaian dengan pembelajaran	0,92	Valid
Kejelasan petunjuk penggunaan	0,83	Valid
Efisiensi penggunaan	0,92	Valid
Rata-rata	0,90	Valid

Hasil ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan produk memenuhi kelayakan isi, teknis, dan pembelajaran. Masukan validator tetap digunakan untuk penyempurnaan, khususnya aspek keamanan dan kejelasan petunjuk. Proses revisi tersebut penting karena media praktik berhubungan langsung dengan aktivitas pengawatan dan pengoperasian perangkat listrik.

3.3 Practicality

Uji praktikalitas dilakukan setelah pengguna menggunakan trainer dalam pembelajaran. Rata-rata skor mencapai 4,56 dari skala maksimum 5 atau 91,25%, dengan kategori sangat praktis. Aspek manfaat dalam pembelajaran memperoleh persentase tertinggi 94,00%, sedangkan kejelasan petunjuk memperoleh 88,00% dan menjadi nilai terendah, tetapi masih termasuk kategori sangat praktis.

Tabel 3. Hasil Praktikalitas

Aspek	Rata-rata	Persentase	Kategori
Kemudahan penggunaan	4,65	93,00%	Sangat Praktis
Kemudahan pengoperasian	4,55	91,00%	Sangat Praktis
Kejelasan petunjuk	4,40	88,00%	Sangat Praktis
Efisiensi waktu	4,50	90,00%	Sangat Praktis
Keamanan penggunaan	4,60	92,00%	Sangat Praktis
Pemasangan & pengawatan	4,45	89,00%	Sangat Praktis
Manfaat pembelajaran	4,70	94,00%	Sangat Praktis
Daya tarik	4,65	93,00%	Sangat Praktis
Rata-rata	4,56	91,25%	Sangat Praktis

Tingginya penilaian praktikalitas menunjukkan bahwa integrasi komponen dalam satu trainer membantu pengguna melakukan pemasangan, pengawatan, konfigurasi, dan pengujian tanpa persiapan peralatan yang terlalu kompleks. Temuan ini konsisten dengan fungsi training kit sebagai media yang mendukung latihan berulang dan pengalaman laboratorium yang terstruktur [10].

3.4 Effectivity

Uji efektivitas melibatkan 30 mahasiswa dengan 15 pernyataan. Nilai rata-rata keseluruhan adalah 4,63 dari maksimum 5 atau 92,6%, sehingga termasuk kategori sangat efektif. Indikator tertinggi adalah kelayakan digunakan pada pembelajaran berikutnya (95,6%), diikuti kelayakan digunakan pada praktikum (95,0%) dan kesesuaian dengan materi perkuliahan (94,4%). Indikator terendah adalah peningkatan kerja sama kelompok sebesar 90,0%. Meskipun menjadi nilai terendah dalam rangkaian indikator, hasil tersebut tetap berada pada kategori sangat efektif menurut klasifikasi laporan. Data ini menunjukkan bahwa mahasiswa memberikan tanggapan positif terhadap media dari sisi pemahaman, motivasi, keterampilan praktik, kemudahan penggunaan, dan kelayakan pemakaian.

Tabel 4. Hasil Efektifitas

Indikator kunci	Persentase	Kategori
Memahami konsep Smart Home	92,6%	Sangat Efektif
Memahami instalasi listrik	92,0%	Sangat Efektif
Meningkatkan motivasi belajar	90,6%	Sangat Efektif
Meningkatkan keterampilan praktik	94,0%	Sangat Efektif
Meningkatkan pemecahan masalah	91,0%	Sangat Efektif
Meningkatkan kerja sama kelompok	90,0%	Sangat Efektif
Layak untuk praktikum	95,0%	Sangat Efektif
Layak untuk pembelajaran berikutnya	95,6%	Sangat Efektif

3.5 Discussion

Hasil pengembangan memperlihatkan hubungan yang jelas antara kebutuhan pembelajaran, desain media, dan hasil uji kelayakan. Pada tahap Define, kebutuhan utamanya adalah media yang dapat menyatukan kompetensi instalasi listrik dengan teknologi Smart Home. Pada tahap Design, kebutuhan tersebut diwujudkan dalam bentuk panel modular dan perangkat pembelajaran. Pada tahap Develop, rancangan diuji dan diperbaiki melalui validasi. Rangkaian ini menunjukkan bahwa model 4D dapat digunakan sebagai kerangka sistematis untuk menghasilkan produk pembelajaran.

Nilai validitas rata-rata 0,90 menunjukkan bahwa tiga validator memberikan penilaian yang konsisten terhadap kelayakan produk. Nilai fungsi dan kinerja sebesar 1,00 memperlihatkan bahwa komponen dan fungsi utama sesuai dengan rancangan. Sementara nilai 0,83 pada keamanan dan kejelasan petunjuk menjadi masukan penting untuk penyempurnaan. Temuan ini menggarisbawahi bahwa trainer listrik tidak cukup dinilai dari kemampuan berfungsi; aspek keselamatan dan komunikasi prosedur juga harus menjadi bagian dari desain [11].

Praktikalitas sebesar 91,25% memperlihatkan bahwa produk relatif mudah digunakan dalam konteks pembelajaran. Integrasi komponen pada satu panel mengurangi kebutuhan menyiapkan sistem secara terpisah. Hal ini mendukung efisiensi waktu dan memungkinkan mahasiswa lebih banyak berfokus pada kompetensi yang dipelajari. Pengalaman seperti ini sejalan dengan tujuan laboratorium teknik yang memberikan kesempatan melakukan eksperimen dan memperoleh pengalaman langsung [12].

Efektivitas berdasarkan persepsi mahasiswa mencapai 92,6%. Hasil ini terutama terlihat pada penilaian bahwa media layak digunakan pada pembelajaran berikutnya dan praktikum. Selain itu, skor keterampilan praktik sebesar 94,0% menunjukkan bahwa trainer dipersepsikan mendukung aktivitas praktik. Namun, efektivitas dalam artikel ini harus dibaca sesuai instrumen yang digunakan, yaitu angket persepsi mahasiswa. Data tersebut belum merupakan ukuran peningkatan hasil belajar berbasis pretest-posttest atau perbandingan kelompok.

Dari sisi pedagogis, integrasi instalasi listrik dan Smart Home memungkinkan pembelajaran menjadi lebih kontekstual. Mahasiswa dapat memulai dari gambar instalasi, menentukan

komponen, melakukan pengawatan, memeriksa proteksi, menguji sistem, kemudian menambahkan fungsi kendali dan monitoring. Urutan ini mendekati alur pekerjaan teknis dan dapat dikembangkan menjadi proyek yang menuntut analisis serta pemecahan masalah. Kompetensi seperti berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi dapat muncul melalui pembagian tugas dan penyelesaian proyek [13][14] [15].

Aspek standar juga menjadi pembeda penting. PUIL ditempatkan sebagai dasar kerja, bukan sekadar materi bacaan. Dengan cara ini, mahasiswa belajar bahwa teknologi Smart Home harus dibangun di atas instalasi yang aman, proteksi yang tepat, dan proses verifikasi. Pendekatan tersebut sejalan dengan prinsip IEC 60364 mengenai fundamental principles, protection for safety, dan verification.

Dengan demikian, kontribusi utama produk bukan hanya pada penambahan fitur IoT, tetapi pada integrasi tiga lapisan kompetensi: kompetensi instalasi listrik, kompetensi otomasi/IoT, dan kompetensi prosedural berbasis standar. Integrasi ini relevan dengan tuntutan perubahan teknologi dan kebutuhan keterampilan dunia kerja yang semakin menekankan kemampuan teknologi serta analytical dan creative thinking.

Smart Home Training Kit dapat digunakan untuk menyusun pengalaman belajar bertahap. Pada tingkat awal, mahasiswa mempelajari komponen, simbol, fungsi, dan prinsip keselamatan. Pada tahap berikutnya, mahasiswa membaca diagram dan melakukan pengawatan. Tahap selanjutnya dapat mencakup pemeriksaan kontinuitas, pengukuran, pengujian proteksi, dan pengoperasian. Setelah dasar instalasi dikuasai, mahasiswa dapat mengembangkan skenario otomasi, menghubungkan sensor dan aktuator, serta melakukan monitoring energi.

Struktur tersebut memungkinkan dosen mengembangkan jobsheet berdasarkan tingkat kompleksitas. Jobsheet sederhana dapat berfokus pada satu sirkit, sedangkan jobsheet lanjutan dapat meminta mahasiswa merancang satu sistem Smart Home berdasarkan kebutuhan pengguna. Pendekatan ini sejalan dengan karakteristik pembelajaran vokasi yang menempatkan pengalaman kerja dan penyelesaian masalah sebagai bagian penting pembelajaran. Dalam pendidikan profesi dan pendidikan teknik, penggunaan trainer perlu memperkuat budaya kerja aman. PUIL memberikan kerangka untuk memastikan instalasi dirancang dan diuji secara benar. Trainer yang memuat MCB, RCCB/ELCB, RCBO, grounding, dan perangkat pengukuran memberi kesempatan untuk memperlihatkan fungsi proteksi secara lebih konkret. Namun, penggunaan perangkat tetap memerlukan prosedur operasi dan K3 yang konsisten [16][17].

Rancangan produk ini menempatkan keselamatan sebagai salah satu aspek yang divalidasi. Hal tersebut relevan karena kesalahan pengawatan pada media praktik dapat menjadi sumber risiko. Karena itu, revisi yang dilakukan setelah validasi pada terminal pengawatan dan petunjuk penggunaan merupakan bagian penting dari pengembangan produk [18]. Implementasi produk masih diarahkan pada konteks pembelajaran dan uji pengguna yang melibatkan 30 mahasiswa. Efektivitas yang dilaporkan bersumber dari angket persepsi, sehingga belum dapat digunakan untuk menyimpulkan besarnya peningkatan kompetensi melalui desain eksperimen dengan kelompok pembandingan. Penelitian lanjutan dapat memperluas jumlah dan karakteristik pengguna, menguji hasil belajar secara objektif, serta membandingkan pembelajaran menggunakan trainer dengan media konvensional.

Pengembangan berikutnya juga dapat menambahkan skenario yang lebih beragam sesuai perkembangan otomasi dan IoT. Fitur monitoring energi, kendali jarak jauh, sensor keselamatan, dan integrasi aplikasi dapat dikembangkan secara bertahap. Meski demikian, setiap pengembangan harus tetap mempertahankan fondasi instalasi yang sesuai standar dan prosedur keselamatan.

4. Conclusion

Smart Home Training Kit berhasil dikembangkan sebagai media pembelajaran praktikum yang mengintegrasikan instalasi listrik bangunan dengan teknologi Smart Home dan IoT.

Pengembangan menggunakan model 4D melalui tahap Define, Design, Develop, dan Disseminate. Produk berupa panel modular dengan komponen instalasi, proteksi, pengukuran, kendali, sensor, dan IoT serta didukung modul, jobsheet, dan panduan. Hasil evaluasi menunjukkan validitas rata-rata 0,90, praktikalitas 91,25%, dan efektivitas 92,6%. Berdasarkan kriteria dalam laporan penelitian, produk berada pada kategori valid, sangat praktis, dan sangat efektif. Media ini dapat digunakan untuk mendukung pembelajaran perancangan, pemasangan, pengawatan, pengujian, pengukuran, dan pengoperasian instalasi listrik sekaligus memperkenalkan integrasi Smart Home. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas implementasi dan menggunakan pengukuran hasil belajar yang lebih objektif agar pengaruh penggunaan trainer terhadap peningkatan kompetensi dapat diuji secara lebih kuat.

References

- [1] D. Mourtzis, E. Vlachou, G. Dimitrakopoulos, and V. Zogopoulos, "Cyber- Physical Systems and Education 4 . 0 – The Teaching Factory Physical Systems and Education Teaching Factory Costing models for capacity optimization in Industry between used capacity and operational efficiency," in *Procedia Manufacturing*, 2018, vol. 23, no. 2017, pp. 129–134, doi: 10.1016/j.promfg.2018.04.005.
- [2] M. Crnjac and N. Banduka, "From Concept to the Introduction of Industry 4 . 0," vol. 8, no. 1, pp. 21–30, 2017.
- [3] O. Candra, N. Faradina, S. Islami, D. T. P. Yanto, and C. Dewi, "Peningkatan Kompetensi Bidang Instalasi Listrik Domestik bagi Pemuda Panti Sosial Asuhan Anak Binaan Remaja (PSAABR) Budi Utama Lubuk Alung Kabupaten Padang Pariaman," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 5, no. 2, pp. 22–27, 2019.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000): Amandemen 1*. 2000.
- [5] S. Islami, D. Tri, P. Yanto, and O. Candra, "Validitas Jobsheet Instalasi Perumahan Berbasis Proyek Berbantuan E-Learning di Pendidikan Vokasi," *J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 174–178, 2020.
- [6] E. E. Rushdan, M. A. E.-S. Mohamed, G. E. Abdelhalim, A. M. El-Ashry, and H. F. M. Ali, "Effect of an escape room as a gamification evaluation tool on clinical reasoning and teamwork skills among nursing students: A quasi-experimental study," *Nurse Educ. Pract.*, vol. 82, p. 104188, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.nepr.2024.104188.
- [7] Sukardi *et al.*, "Soft Skills and Hard Skills Needed in Industry 4.0 for Electrical Engineering Students," *J. Appl. Eng. Technol. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 142–149, 2023, doi: 10.37385/jaets.v5i1.2174.
- [8] L. Ji *et al.*, "Paradigm shift in implementing smart technologies for machinery optimisation in manufacturing using decision support system," *Alexandria Eng. J.*, vol. 114, pp. 526–542, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.aej.2024.11.106.
- [9] T. Zafar, M. T. R. Khan, M. Fahrioglu, and E. Ever, "AI-driven smart home appliance optimization: A systematic review," *Appl. Energy*, vol. 426, p. 128665, Dec. 2026, doi: 10.1016/j.apenergy.2026.128665.
- [10] H. Setyawan, Sukardi, Risfendra, Habibullah, Ganefri, and M. Anwar, "Development and implementation of a multifunctional mobile robot training kit in embedded control systems instruction in vocational education," *HardwareX*, vol. 26, p. e00789, Jun. 2026, doi: 10.1016/j.ohx.2026.e00789.
- [11] O. Candra *et al.*, "Validity of development on authentic assessment tool of curriculum 2013 based in information technology," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 8, no. 12, pp. 265–267, 2019.
- [12] F. Eliza, D. E. Myori, O. Candra, and S. Islami, "The Validity Of Trainer On Materials Science And Devices Subject At Department Of Electrical Engineering," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 8, no. 9, pp. 642–645, 2019.

- [13] P. Pardede, "Integrating the 4Cs into EFL Integrated Skills Learning," *J. English Teach.*, vol. 6, no. March, pp. 71–85, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.33541/jet.v6i1.190>.
- [14] D. Efendi, S. Sumarmi, and D. H. Utomo, "The effect of PjBL plus 4Cs learning model on critical thinking skills," *J. Educ. Gift. Young Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 1509–1521, 2020, doi: 10.17478/jegys.768134.
- [15] H. Aprianty, A. Gani, and A. U. T. Pada, "Implementation of Project-Based Learning Through Stem Approach To Improve Students' Science Process Skills and Learning Outcomes," *JTK (Jurnal Tadris Kim.)*, vol. 5, no. 2, pp. 144–152, 2020, doi: 10.15575/jtk.v5i2.8370.
- [16] M. Ramstedt Stadin, S. Asplund, T. Nyman, M. Svartengren, and T. Hellman, "Digital competence is a must: Manager and safety representative perspectives on evolving job skills and balancing digital work environments in transportation, logistics, and home care," *Comput. Hum. Behav. Reports*, vol. 16, p. 100486, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.chbr.2024.100486.
- [17] Y. Hu, R. M. Wong, O. Adesope, and M. E. Taylor, "Effects of a computer-based learning environment that teaches older adults how to install a smart home system," *Comput. Educ.*, vol. 149, p. 103816, May 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2020.103816.
- [18] N. I. Ramli, M. I. M. Rawi, and F. N. N. Rebuan, "Integrated Smart Home Model," *Int. J. Web-Based Learn. Teach. Technol.*, vol. 17, no. 3, pp. 1–14, Nov. 2021, doi: 10.4018/IJWLTT.20220501.oa1.