

PENGEMBANGAN TRAINER SISTEM MIKROPROSESOR BERBASIS INTERNET OF THINGS

**Muhammad Isnaini¹, Harvei Desmon Hutahaean², Bakti Dwi Waluyo³, Muhammad Dani Solihin⁴,
Muhammad Sulaiman⁵**

^{1,2,3,4,5} Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

¹misnaini@unimed.ac.id

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat pembelajaran berbasis mikroprosesor yang didukung oleh teknologi Internet of Things (IoT) di program studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan. Alat ini dirancang untuk membantu mahasiswa memahami integrasi mikroprosesor dengan IoT, yang semakin relevan dalam konteks revolusi industri 4.0. Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan ADDIE, yang mencakup tahap Analisis, Desain, Pengembangan, Implementasi, dan Evaluasi. Trainer ini menggunakan modul NodeMCU ESP8266 versi 5 yang dilengkapi dengan konektivitas Wi-Fi guna mendukung fungsi IoT. Validasi dilakukan oleh ahli materi dan media, serta diujicobakan secara terbatas pada mahasiswa. Hasil penelitian menunjukkan trainer ini sangat layak digunakan, dengan penilaian 86% dari ahli materi, 85,6% dari ahli media, serta kepuasan pengguna mencapai 85,4%. Selain itu, penggunaan trainer ini secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan praktis mahasiswa, terlihat dari kenaikan hasil post-test sebesar 32% dibandingkan pre-test. Kesimpulannya, trainer berbasis IoT ini efektif dan layak dijadikan media pembelajaran dalam pendidikan teknik.

Kata Kunci: Trainer, Mikroprosesor, Internet of Things, Media Pembelajaran

Abstract : This research aims to design and develop microprocessor-based learning tools supported by Internet of Things (IoT) technology in the Electrical Engineering Education study program, Faculty of Engineering, State University of Medan. This tool is designed to help students understand the integration of microprocessors with IoT, which is increasingly relevant in the context of the industrial revolution 4.0. This research uses the Research and Development (R&D) method with the ADDIE approach, which includes the stages of Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation. This trainer uses a NodeMCU module ESP8266 version 5 equipped with Wi-Fi connectivity to support IoT functions. Validation is carried out by material and media experts, and tested on a limited basis to students. The results of the study show that this trainer is very feasible to use, with 86% assessment from material experts, 85.6% from media experts, and user satisfaction reaching 85.4%. In addition, the use of this trainer significantly improved students' understanding of practical concepts and skills, as evidenced by a 32% increase in post-test results compared to pre-tests. In conclusion, this IoT-based trainer is effective and worthy of being used as a learning medium in engineering education.

Keywords: Trainer, Microprocessor, Internet of Things, Learning Media

PENDAHULUAN

Era revolusi industri 4.0 telah membawa perubahan besar dalam dunia teknologi global, dengan *Internet of Things* (IoT) menjadi salah satu komponen utamanya. IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik untuk saling berkomunikasi melalui jaringan internet, mengubah cara kita berinteraksi dengan dunia di sekitar kita. Teknologi ini juga memudahkan kita dalam mengelola berbagai sistem yang kompleks (Atzori et al., 2010). Di pusat revolusi ini, terdapat mikroprosesor dan mikrokontroler yang bertindak

sebagai otak dari perangkat pintar yang saling terkoneksi. Dengan adopsi IoT yang semakin luas di berbagai industri, permintaan akan tenaga kerja yang mampu mengembangkan dan mengelola sistem berbasis mikroprosesor dan IoT meningkat secara drastis (Gubbi et al., 2013).

Pendidikan vokasi, sebagai garda depan dalam menyiapkan SDM untuk industri, harus terus beradaptasi dengan teknologi terbaru. Meski begitu, masih ada kesenjangan antara kurikulum pendidikan dan kebutuhan industri, terutama dalam hal praktik langsung dan pengalaman

dengan teknologi terbaru (Sackey & Bester, 2016). Mengajarkan sistem mikroprosesor dan IoT tidaklah mudah, karena konsep-konsep ini sering kali abstrak dan sulit dipahami tanpa adanya praktik langsung. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengembangkan media pembelajaran yang tepat dan efektif agar dapat mengatasi celah antara konsep teoretis dan pengalaman praktis (Rahmawati et al., 2024).

Penggunaan multimedia dalam proses pembelajaran sangat berkaitan dengan upaya meningkatkan mutu pendidikan. Dengan pemanfaatan multimedia, pendidik diharapkan dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih mendalam, mendukung interaksi antara peserta didik dan pendidik, sesama peserta didik, serta memungkinkan komunikasi dengan para ahli di berbagai lokasi. Hal ini juga memperkaya pengalaman belajar peserta didik. Pendekatan ini dipercaya mampu mengubah suasana belajar yang pasif—di mana pendidik menjadi satu-satunya sumber informasi—menjadi suasana belajar yang aktif, dengan peserta didik berdiskusi dan mencari informasi dari berbagai sumber yang tersedia. Dalam konteks ini, pendidik berperan sebagai fasilitator yang terlibat dalam proses pembelajaran. Ketersediaan berbagai media dan teknologi pembelajaran memungkinkan peserta didik lebih fleksibel dalam mencapai tujuan pembelajaran mereka (Isnaini et al., 2022).

Trainer merupakan suatu set alat di laboratorium yang digunakan sebagai sarana praktikum untuk meningkatkan keterampilan peserta didik. Mereka juga dapat membantu peserta didik belajar dengan menerapkan pengetahuan dan konsep yang mereka pelajari ke situasi dunia nyata. Trainer atau alat peraga pendidikan telah lama diakui sebagai bagian penting dalam pendidikan teknik. Berdasarkan teori experiential learning yang dipaparkan oleh Kolb (1984), pembelajaran yang efektif melibatkan pengalaman konkret dan eksperimen langsung. Dalam pembelajaran sistem mikroprosesor dan IoT, trainer memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk secara langsung berinteraksi dengan perangkat keras dan lunak, memvisualisasikan konsep yang sulit, serta mengembangkan keterampilan yang relevan dengan industri (Grodzki et al., 2018).

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan efektivitas trainer dalam pembelajaran sistem

mikroprosesor dan mikrokontroler. Penelitian yang dengan judul penelitian "*Design and Implementation of IoT-Based Smart Home System Using NodeMCU ESP8266*" menunjukkan sistem yang dikembangkan menunjukkan akurasi sebesar 92% dalam mendeteksi dan mengontrol perangkat rumah dengan hasil dari survei pengguna, sistem dinilai memiliki kemudahan penggunaan sebesar 85% dan uji coba lapangan menunjukkan tingkat keberhasilan implementasi sistem mencapai 90% (Bedi et al., 2022).

Dalam penelitian yang berjudul "Pengembangan Kit Pelatihan Mikrokontroler Nodemcu ESP32 Berbasis IoT sebagai Media Pembelajaran pada Mata Pelajaran Pemrograman, Mikroprosesor, dan Mikrokontroler di SMK Negeri 1 Sidoarjo", ditemukan bahwa instruktur dinilai sangat valid dengan persentase kevalidan mencapai 87%. Selain itu, modul pembelajaran memperoleh nilai validitas sebesar 90,45%, sementara butir soal dalam modul tersebut menunjukkan tingkat validitas sebesar 89,87% menurut penilaian para praktisi. (Alyafi et al., 2021).

Dalam penelitian yang berjudul "Pengembangan Media Pembelajaran Pendeteksian dan Pengaman Kebocoran Gas LPG Berbasis IoT pada Mata Kuliah Sistem Kontrol Otomatis", validasi yang dilakukan oleh ahli materi menunjukkan tingkat kelayakan sebesar 94,23% dengan klasifikasi sangat layak. Sementara itu, validasi oleh ahli media mendapatkan nilai 96,25%, yang juga termasuk dalam kategori sangat layak. Pada uji coba yang melibatkan kelompok kecil dengan 5 responden, skor terendah yang diperoleh adalah 56 dengan klasifikasi sangat baik. Sedangkan pada uji coba kelompok besar yang melibatkan 10 responden, nilai terendah yang dicapai adalah 57, yang juga berada dalam kategori sangat baik (Ramadhan et al., 2023). Penelitian berjudul "Pengembangan Kit Mikrokontroler Arduino Uno Berbasis IoT sebagai Media Pembelajaran pada Mata Pelajaran Sistem Kontrol Terprogram di SMK Negeri 1 Jenangan Ponorogo" mengungkapkan bahwa penggunaan kit mikrokontroler Arduino Uno berbasis IoT sangat efektif sebagai media pembelajaran. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa alat ini memiliki tingkat kelayakan sebesar 91,67%, sehingga sangat layak untuk digunakan

dalam proses pengajaran (Wardiyanto & Yundra, 2019).

Dengan perkembangan teknologi IoT, ada perubahan besar dalam cara kita mengembangkan sistem embedded. Menurut Al-Fuqaha et al. (2015), IoT memungkinkan integrasi yang mulus antara dunia fisik dan digital, menciptakan ekosistem di mana sensor, aktuator, dan perangkat pintar dapat saling berkomunikasi untuk mencapai tujuan tertentu. Maka dari itu, pengetahuan tentang protokol komunikasi seperti MQTT, CoAP, dan HTTP REST API kini sama pentingnya dengan pemahaman tentang arsitektur mikroprosesor dan pemrograman embedded (Naik, 2017).

NodeMCU adalah platform pengembangan IoT yang bersifat open-source dan menggunakan modul ESP8266. Kit ini menawarkan beragam fitur seperti GPIO, PWM (Pulse Width Modulation), I2C, 1-Wire, dan ADC (Analog to Digital Converter) dalam satu papan, memudahkan pengguna dalam membuat prototipe perangkat IoT melalui IDE. Dengan bobot sekitar 7 gram, NodeMCU memiliki ukuran panjang 4,83 cm dan lebar 2,54 cm. Firmware serta dukungan Wi-Fi pada platform ini juga open-source, memungkinkan pengembang untuk menyesuaikan dan memodifikasinya sesuai kebutuhan mereka (Prasetyo & Wardana, 2021).



Gambar 1. (a) NodeMCU ESP8266 v5, dan
(b) Pin Out NodeMCU ESP8266 v5

Salah satu platform yang sedang naik daun dalam pengembangan aplikasi IoT adalah NodeMCU ESP8266. NodeMCU, yang berbasis chip ESP8266, adalah platform open-source yang menggabungkan kemampuan mikrokontroler dengan konektivitas Wi-Fi dalam satu perangkat yang kompak dan hemat energi (Kurniawan, 2019). Sejak pertama kali diluncurkan oleh Espressif Systems pada tahun 2014, ESP8266 telah menjadi solusi yang sangat hemat biaya untuk implementasi IoT, dengan penjualan

mencapai lebih dari 100 juta unit pada 2018 (Espressif Systems, 2018).

Laboratorium digital di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro telah dilengkapi dengan berbagai trainer guna menunjang proses pembelajaran secara lebih efektif. Meski demikian, ketersediaan perangkat masih terbatas, termasuk trainer untuk sistem mikrokontroler. Selain jumlah trainer yang terbatas, kesediaan power supply untuk mendukung kerja alat dan alat ukur untuk melihat karakteristik microprocessor. Bahkan beberapa diantaranya sering mengalami gangguan sehingga tidak dapat digunakan. Kondisi ini sering kali membuat aktifitas belajar terganggu dan banyak percobaan yang tidak dapat dilaksanakan. Padahal kegiatan praktikum sangat penting karena dapat membantu keterampilan proses dan keterampilan kerja serta tercapainya tujuan pembelajaran (Candra et al., 2020). Sehingga perlu dilakukan penyediaan alat trainer yang dapat membantu mahasiswa memahami teori-teori sistem microprocessor yang diajarkan pada kuliah sistem microprocessor.

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan proses serta hasil dari pengembangan trainer sistem mikroprosesor berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggunakan modul NodeMCU ESP8266 V5. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam memfasilitasi pemahaman mahasiswa terkait integrasi mikroprosesor dengan teknologi IoT, yang semakin penting di era industri 4.0.

METODE

Metodologi penelitian yang digunakan dalam pengembangan trainer ini adalah Research and Development (R&D) dengan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Model ini dipilih karena fleksibilitasnya dan kesesuaiannya dengan pengembangan produk pendidikan (Maribe Branch, 2009). Tahapan penelitian meliputi:

- 1) Analisis: Melibatkan studi literatur, analisis kebutuhan industri, dan survei terhadap dosen dan mahasiswa untuk mengidentifikasi kebutuhan spesifik dalam pembelajaran mikroprosesor dan IoT.
- 2) Desain: Mencakup perancangan arsitektur hardware trainer berbasis MODUL NODEMCU ESP8266 V5, desain interface

- pengguna, dan pengembangan kerangka modul pembelajaran.
- 3) Pengembangan: Melibatkan prototyping trainer, pengembangan firmware dan software pendukung, serta penyusunan modul pembelajaran lengkap.
 - 4) Implementasi: Dilakukan melalui uji coba terbatas dalam setting pembelajaran nyata, melibatkan mahasiswa dan dosen dari beberapa institusi pendidikan tinggi.
 - 5) Evaluasi: Mencakup validasi oleh ahli materi dan media, analisis feedback pengguna, serta pengukuran efektivitas pembelajaran menggunakan metode pre-test dan post-test.

Penelitian ini dilaksanakan dengan melibatkan mahasiswa dari Program Studi Pendidikan Teknik Elektro di Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan. Partisipan penelitian terdiri dari 15 mahasiswa, 2 dosen pengampu mata kuliah Sistem Mikroprosesor, serta 2 ahli materi dan 2 ahli media yang turut memberikan masukan terkait kebutuhan mereka dalam proses pembelajaran Sistem Mikroprosesor. Data dikumpulkan melalui teknik survei dengan instrumen dalam bentuk kuesioner. Kuesioner digunakan untuk mengetahui opini mahasiswa terkait dengan trainer sistem microprocessor yang dikembangkan. Instrumen penelitian ini terdiri dari 5 item pada angket kuesioner ahli materi, 4 item pada angket kuesioner ahli media, 4 item pada angket kuesioner dosen dan 5 item pada angket kuesioner mahasiswa. Angket kuesioner dihitung menggunakan rumus Tingkat Pencapaian Responden (TPR):

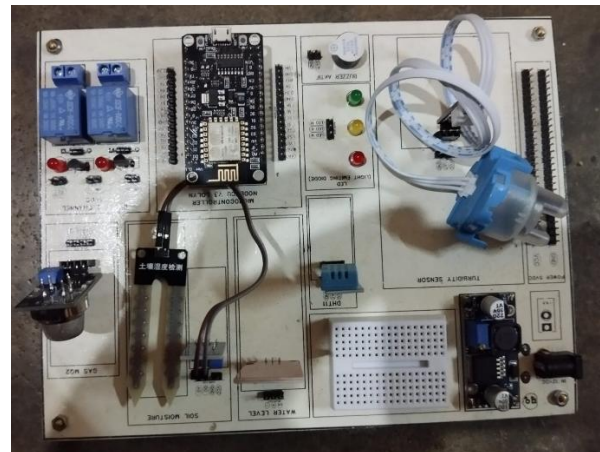
$$TPR = \frac{\text{Skor rerata}}{\text{Skor ideal max}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengembangan trainer sistem mikrokontroler berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan modul NodeMCU ESP8266 V5, yang dikembangkan melalui model ADDIE, telah berhasil memenuhi kebutuhan pembelajaran mahasiswa di Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan.

Pengembangan media ini mencakup tiga komponen utama: perangkat keras, perangkat

lunak, dan modul pembelajaran. Ketiga elemen ini dirancang untuk mendukung penggunaan trainer dalam proses pembelajaran Internet of Things (IoT). Perangkat keras meliputi semua komponen fisik yang diperlukan, sementara perangkat lunak mencakup aplikasi dan sistem yang diperlukan untuk operasional trainer. Modul pembelajaran dirancang untuk memfasilitasi pengajaran dan pembelajaran, memastikan bahwa pengguna dapat memanfaatkan trainer secara efektif dalam konteks pendidikan IoT.



Gambar 2. Trainer sistem mikrokontroler NodeMCU ESP8266 V5 berbasis Internet of Things (IoT)

Hasil dari penelitian ini dapat dibagi menjadi dua komponen utama: validasi oleh para ahli dan uji coba media yang melibatkan dosen serta mahasiswa. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sebuah instruktur untuk sistem mikrokontroler yang terintegrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT), memanfaatkan modul NodeMCU ESP8266 V5, dan menggunakan model ADDIE dalam proses pengembangannya. Proses validasi dilakukan oleh dua pakar materi dan dua ahli media guna memastikan bahwa trainer ini memenuhi standar kualitas dan kepraktisan sebagai alat bantu dalam pembelajaran.

Validasi ahli materi bertujuan untuk menilai kesesuaian isi trainer dengan kurikulum dan materi pembelajaran IoT di Prodi Pendidikan Teknik Elektro. Ahli materi memberikan penilaian terhadap aspek substansi dan relevansi konten yang disajikan dalam trainer. Berikut

adalah hasil validasi dari ahli materi yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil validasi ahli materi

Aspek Penilaian	Ahli 1	Ahli 2	Rata-rata	Kategori
Kesesuaian dengan kurikulum	85%	90%	87,5%	Sangat Baik
Kejelasan konsep IoT	88%	85%	86,5%	Sangat Baik
Kedalaman materi	80%	83%	81,5%	Baik
Relevansi materi	87%	90%	88,5%	Sangat Baik
Rata-rata			86,0%	Sangat Baik

Hasil validasi dari para ahli materi pada Tabel 1, mengindikasikan bahwa trainer sistem mikrokontroler berbasis IoT memperoleh rata-rata skor sebesar 86%. Skor ini menunjukkan bahwa trainer dinilai sangat baik dan siap digunakan dalam proses pembelajaran. Evaluasi tersebut juga mengonfirmasi bahwa materi yang disediakan sesuai dengan kurikulum yang ada dan relevan dengan kebutuhan pendidikan dalam bidang IoT.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa trainer sistem mikrokontroler berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 V5 yang dikembangkan dengan model ADDIE telah berhasil memenuhi kriteria kelayakan dari segi materi dan media. Validasi dari ahli materi dan media menunjukkan bahwa trainer memiliki kualitas yang sangat baik baik dari segi konten maupun desain teknis. Hal ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa penggunaan alat bantu pembelajaran interaktif, terutama di bidang teknologi seperti IoT, dapat meningkatkan pemahaman siswa dan keterlibatan mereka dalam pembelajaran.

Validasi ahli media dilakukan untuk mengevaluasi aspek teknis dan estetika trainer, termasuk kegunaan, tampilan, serta kemudahan penggunaannya. Penilaian dari ahli media bertujuan untuk memastikan bahwa trainer mudah dioperasikan oleh pengguna. Berikut adalah hasil validasi dari ahli materi dan ahli media yang disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil validasi ahli media

Aspek Penilaian	Ahli 1	Ahli 2	Rata-rata	Kategori
Desain visual	85%	88%	86,5%	Sangat Baik
Kemudahan penggunaan	80%	82%	81,0%	Baik
Fungsi perangkat	87%	85%	86,0%	Sangat Baik
Kesesuaian fitur	90%	88%	89,0%	Sangat Baik
Rata-rata			85,6%	Sangat Baik

Berdasarkan tabel 2. diatas, hasil validasi ahli media untuk trainer sistem mikrokontroler berbasis IoT ini dinilai sangat baik dan layak untuk diimplementasikan dalam pembelajaran yang ditunjukkan dari hasil skor rata-rata sebesar 85,6%. Hasil evaluasi dari ahli media ini menilai bahwa trainer memiliki desain yang baik dan mudah digunakan oleh mahasiswa.

Setelah melalui tahap validasi, trainer diujicobakan kepada dua orang dosen yang berperan sebagai penguji dan 15 orang mahasiswa yang berperan sebagai pengguna. Uji coba bertujuan untuk mengevaluasi penerimaan dan efektivitas trainer dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep mikrokontroler dan IoT. Berikut adalah hasil uji coba media yang disajikan dalam Tabel 3. dibawah ini.

Tabel 3. Hasil uji coba pada dosen

Aspek Penilaian	Dosen 1	Dosen 2	Rata-rata	Kategori
Kejelasan instruksi	85%	88%	86,5%	Sangat Baik
Kemudahan penggunaan	82%	84%	83,0%	Baik
Relevansi dengan pembelajaran	90%	88%	89,0%	Sangat Baik
Efektivitas dalam pembelajaran	85%	87%	86,0%	Sangat Baik
Rata-rata			86,1%	Sangat Baik

Tabel 3. diatas menunjukkan bahwa hasil uji coba trainer sistem mikrokontroler berbasis IoT pada dosen di Prodi Pendidikan Teknik Elektro

FT Unimed menunjukkan rata-rata skor sebesar 86,1% yang dinilai sangat baik dan layak untuk diimplementasikan dalam pembelajaran mata kuliah Sistem Mikroprosesor.

Tabel 4. Hasil uji coba pada mahasiswa

Aspek Penilaian	Rata-rata (n=15)	Kategori
Kejelasan instruksi	82%	Baik
Kemudahan penggunaan	85%	Sangat Baik
Kesesuaian fitur	88%	Sangat Baik
Keterlibatan dalam pembelajaran	87%	Sangat Baik
Efektivitas dalam meningkatkan pemahaman	85%	Sangat Baik
Rata-rata	85,4%	Sangat Baik

Pada Tabel 4. menunjukkan hasil uji coba pada mahasiswa menunjukkan bahwa trainer sistem mikrokontroler berbasis IoT dinilai sangat baik dan efektif dalam membantu pembelajaran. Rata-rata penilaian dari penilaian dari mahasiswa juga berada pada kategori sangat baik dengan rata-rata skor 85,4%. Kejelasan instruksi dan kemudahan penggunaan menjadi dua aspek yang menonjol, sementara keterlibatan mahasiswa dalam pembelajaran meningkat berkat penggunaan trainer ini.

Hasil uji coba menunjukkan bahwa trainer ini diterima dengan baik oleh dosen dan mahasiswa. Peningkatan pemahaman mahasiswa terhadap konsep mikrokontroler dan IoT menunjukkan bahwa trainer ini efektif sebagai media pembelajaran. Kejelasan instruksi dan kemudahan penggunaan menjadi aspek penting yang mendukung efektivitas pembelajaran. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan media pembelajaran yang dikembangkan secara sistematis dapat meningkatkan kualitas proses belajar mengajar.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan media pembelajaran inovatif berbasis teknologi yang relevan dengan perkembangan era industri 4.0, khususnya dalam konteks pembelajaran di lingkungan kampus.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan trainer sistem microprocessor menggunakan modul nodemcu esp8266 v5 berbasis internet of things yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Trainer sistem mikrokontroler berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan modul NodeMCU ESP8266 V5 yang dikembangkan melalui model ADDIE telah berhasil memenuhi kriteria validitas baik dari segi materi maupun media. Hasil validasi ahli materi menunjukkan bahwa trainer ini sesuai dengan kurikulum dan sangat relevan dengan kebutuhan pembelajaran IoT. Validasi dari ahli media menunjukkan bahwa desain trainer mudah digunakan dan memiliki fitur yang mendukung pembelajaran.
- 2) Uji coba kepada dosen dan mahasiswa menunjukkan bahwa trainer ini sangat efektif dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep mikrokontroler dan IoT. Pengguna (dosen dan mahasiswa) memberikan respons positif terhadap kejelasan instruksi, kemudahan penggunaan, serta relevansi trainer dengan pembelajaran IoT. Secara keseluruhan, trainer ini mampu memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan keterlibatan dan pemahaman mahasiswa dalam pembelajaran teknologi IoT.
- 3) Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi yang inovatif dan relevan dengan era industri 4.0, khususnya dalam bidang pendidikan teknologi informasi dan komunikasi di pendidikan vokasi. Trainer yang dikembangkan membantu menciptakan pembelajaran yang lebih aplikatif dan interaktif, sehingga siswa dapat lebih mudah memahami konsep-konsep abstrak dalam mikrokontroler dan IoT.

DAFTAR PUSTAKA

- Alyafi, M., Anifah, L., B, I. G. A., & Nurhayati, N. (2021). PENGEMBANGAN TRAINER KIT MIKROKONTROLER NODEMCU ESP32 BERBASIS IOT SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN PADA MATA PELAJARAN PEMROGRAMAN, MIKROPROSESOR, DAN MIKROKONTROLER DI SMK NEGERI 1

- SIDOARJO. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 11(02 SE-Articles). <https://doi.org/10.26740/jpte.v11n02.p203-212>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805.
- Bedi, H. S., Raju, K. V. K., Sriram, M. V., Khoisnam, H., Jahnavi, K., & Sai, P. N. (2022). Design and implementation of IOT based smart parking system using NodeMCU ESP8266. *Int. J. Mech. Eng*, 7(5), 1–6.
- Candra, O., Dewi, C., Yanto, D. T. P., & Hastuti, H. (2020). The Implementation of Power Electronics Training to Enhance Student Learning Activities in the Power Electronics Learning Process. *Int. J. Innov. Creat. Chang*, 11(4), 362–373.
- Grodotski, J., Ortelt, T. R., & Tekkaya, A. E. (2018). Remote and virtual labs for engineering education 4.0: achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University. *Procedia Manufacturing*, 26, 1349–1360.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
- Isnaini, M., Solihin, M. D., & Hutahaeen, H. D. (2022). PENGEMBANGAN MULTIMEDIA PEMBELAJARAN INTERAKTIF PADA MATAKULIAH PENGGUNAAN DAN PENGATURAN MOTOR LISTRIK. *JURNAL TEKNOLOGI INFORMASI & KOMUNIKASI DALAM PENDIDIKAN*, 9(2), 114–120.
- Maribe Branch, R. (2009). *Instructional Design* : (1st ed.). Springer.
- Naik, N. (2017). Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP. *2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, 1–7.
- Prasetyo, M. A., & Wardana, H. K. (2021). Rancang Bangun Monitoring Solar Tracking System Menggunakan Arduino dan Nodemcu Esp 8266 Berbasis IoT. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 4(2), 163–168.
- Rahmawati, L., Suharni, S., Ambulani, N., Febrian, W. D., Widyatiningtyas, R., & Rita, R. S. (2024). Pemanfaatan Aplikasi Canva Dalam Penyusunan Media Pembelajaran Berbasis Teknologi. *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(1), 129–136.
- Ramadhan, M., Ratnaya, I. G., & Pracasitaram, I. G. M. S. B. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran Pendeteksi Dan Pengaman Kebocoran Gas LPG Berbasis IoT Pada Mata Kuliah Sistem Kontrol Otomatis. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, 12(3), 253–262.
- Sackey, S. M., & Bester, A. (2016). Industrial engineering curriculum in Industry 4.0 in a South African context. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(4), 101–114.
- Wardiyanto, M. F., & Yundra, E. (2019). Pengembangan Trainer Kit Mikrokontroler Arduino Uno Berbasis IOT Sebagai Media Penunjang Pembelajaran pada Mata Pelajaran Sistem Kontrol Terprogram di SMK Negeri 1 Jenangan ponorogo. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 8(1), 139–148.