



EMBEDSENSE: Inovasi Trainer Mikrokontroler Terintegrasi Arduino dan IoT pada Mata Kuliah Sensor dan Transducer

Rivan Permana Putra Simatupang^{1*}, Muhammad Aulia Rahman S²., Syaifullah³, Ano Jastin Sinaga⁴

¹⁻⁴Universitas Negeri Medan, Indonesia

E-mail: rivansmtpg.5233131026@mhs.unimed.ac.id¹, marsembiring@unimed.ac.id²,
syaifullahzhar@gmail.com³, anojastin.5231131004@mhs.unimed.ac.id⁴

*Penulis Korespondensi: rivansmtpg.5233131026@mhs.unimed.ac.id

Abstract. Learning sensors, transducers, embedded systems, and the Internet of Things (IoT) requires laboratory media that allows students to observe relationships among input signals, microcontroller processing, output responses, and network communication in one system. This study develops EMBEDSENSE, an integrated microcontroller trainer for the Sensor and Transducer course, and verifies its initial functional performance. The study uses Research and Development (R&D) with the ADDIE model and reports the Analysis, Design, and Development stages. EMBEDSENSE integrates Arduino Uno, Arduino Nano, NodeMCU ESP8266, DHT11, LDR, HC-SR04, LCD 16×2 I2C, relay, LEDs, buzzer, input-output terminals, and a power supply. Hardware assembly reached 100%, while the draft module and jobsheets reached approximately 85% and contained six progressive experiments. Internal testing showed that the sensor, display, and actuator groups operated according to their basic functions. The ESP8266 also established network communication, although connection stability required software and transmission-interval optimization. The prototype is ready for expert validation and limited user testing; feasibility, practicality, sensor accuracy, and learning effectiveness are not claimed at this stage.

Keywords: Arduino; EMBEDSENSE; Internet of Things; Learning Media; Sensor and Transducer.

Abstrak. Pembelajaran sensor, transduser, sistem embedded, dan Internet of Things (IoT) memerlukan media praktikum yang memungkinkan mahasiswa mengamati keterkaitan sinyal masukan, pemrosesan mikrokontroler, respons keluaran, dan komunikasi jaringan dalam satu sistem. Penelitian ini mengembangkan EMBEDSENSE sebagai trainer mikrokontroler terintegrasi untuk mata kuliah Sensor dan Transducer serta memverifikasi fungsi awal prototipenya. Penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) model ADDIE dan melaporkan tahap Analysis, Design, dan Development. EMBEDSENSE mengintegrasikan Arduino Uno, Arduino Nano, NodeMCU ESP8266, DHT11, LDR, HC-SR04, LCD 16×2 I2C, relay, LED, buzzer, terminal masukan-keluaran, dan catu daya. Perakitan perangkat keras mencapai 100%, sedangkan draf modul dan jobsheet mencapai sekitar 85% serta memuat enam eksperimen bertahap. Pengujian fungsional internal menunjukkan kelompok sensor, tampilan, dan aktuator menjalankan fungsi dasarnya. ESP8266 juga dapat membangun komunikasi jaringan, meskipun kestabilan koneksi memerlukan optimasi program dan interval pengiriman data. Prototipe siap dilanjutkan ke validasi ahli dan uji pengguna terbatas; kelayakan, kepraktisan, akurasi sensor, dan efektivitas pembelajaran belum menjadi klaim pada tahap ini.

Kata Kunci: Arduino; EMBEDSENSE; Internet of Things; Media Pembelajaran; Sensor dan Transducer.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan sistem *embedded* dan *Internet of Things* (IoT) mendorong pembelajaran Teknik Elektro agar tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep. Mahasiswa perlu memperoleh pengalaman mengukur, memprogram, mengendalikan, dan mengirimkan data melalui perangkat yang dapat diamati secara langsung. Pembelajaran berbasis proyek dan perangkat terbuka memberi ruang bagi mahasiswa untuk menghubungkan konsep pemrograman dengan perilaku sistem elektronik nyata (Chia, 2022; Kleinschmidt, 2021). Pengembangan media akuisisi data dan praktikum IoT juga menunjukkan bahwa perangkat

fisik dapat menjembatani konsep abstrak dengan aktivitas laboratorium (Ferdiansyah et al., 2024; Marpanaji, Zakarijah, & Bayu Nugraha, 2023).

Pada mata kuliah Sensor dan Transducer di Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Medan, mahasiswa mempelajari karakteristik sensor, proses akuisisi data, pengolahan sinyal, dan implementasinya pada sistem kendali. Observasi awal tim menunjukkan bahwa media praktikum yang tersedia belum sepenuhnya menyatukan sensor, mikrokontroler, aktuator, tampilan, dan komunikasi IoT dalam satu platform. Kebutuhan terhadap *trainer* sensor-transduser yang lebih terintegrasi juga dilaporkan pada penelitian sebelumnya (Purnamawati, Akil, & Nuridayanti, 2021; Putri, Syahrul, & Jaya, 2022; Yudisurya, Asnawi, & Hertanto, 2026).

Penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa *trainer* mikrokontroler dapat disusun dengan berbagai platform dan tujuan praktikum. Arduino Uno, Arduino Nano, dan ESP8266 digunakan untuk mendukung latihan pemrograman, pembacaan sensor, pengendalian aktuator, dan komunikasi data (Akmaluddin, Nur, & Sidik, 2022; Fuadi & Eliza, 2024; Harkha & Hidayat, 2025; Nur Fadhilah, Agung, Kholis, & Rusimamto, 2023; Putra, Sulistiyo, Kholis, & Widayaka, 2023; Sidik, Risal, & Hudiah, 2024; Simanjuntak & Sitorus, 2021). Temuan tersebut menunjukkan bahwa *trainer* lebih bermakna ketika perangkat keras, aktivitas praktikum, dan skenario pembelajaran dirancang sebagai satu kesatuan.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, EMBEDSENSE dikembangkan sebagai *trainer* mikrokontroler yang mengintegrasikan Arduino Uno, Arduino Nano, NodeMCU ESP8266, DHT11, LDR, HC-SR04, LCD, relay, LED, buzzer, terminal masukan-keluaran, dan catu daya dalam satu panel. Perbedaan EMBEDSENSE terletak pada konfigurasi tiga platform pemrosesan/komunikasi dan enam skenario praktikum bertahap untuk mata kuliah Sensor dan Transducer. Arah ini selaras dengan pemanfaatan *training kit* pada pembelajaran mikrokontroler dan IoT di pendidikan teknik (Eliza, Candra, Mukhaiyar, Fadli, & Wibowo, 2025; Habibi & Buditjahjanto, 2024; Mahmood, Ahmed, & Mahmood, 2022; Mustakim et al., 2024). Penelitian ini bertujuan merancang dan merealisasikan *trainer* EMBEDSENSE, menyusun draf modul/*jobsheet*, serta memverifikasi fungsi dasar perangkat sebelum memasuki tahap validasi ahli dan uji pengguna.

2. KAJIAN TEORITIS

Trainer merupakan media pembelajaran berbasis perangkat nyata yang memungkinkan mahasiswa melakukan pengkabelan, pemrograman, pengukuran, dan pengamatan respons sistem secara langsung. Penggunaan *trainer* sensor, aktuator, dan mikrokontroler dapat membantu membangun pengalaman belajar yang lebih konkret karena mahasiswa berinteraksi langsung dengan komponen dan alur kerja sistem (Jamal, Hartati, & Wahid, 2023; Yuliasuti & Zakarijah, 2023). Training kit juga dapat diarahkan untuk meningkatkan motivasi belajar dan menghubungkan aktivitas laboratorium dengan kompetensi pendidikan teknik (Eliza et al., 2025).

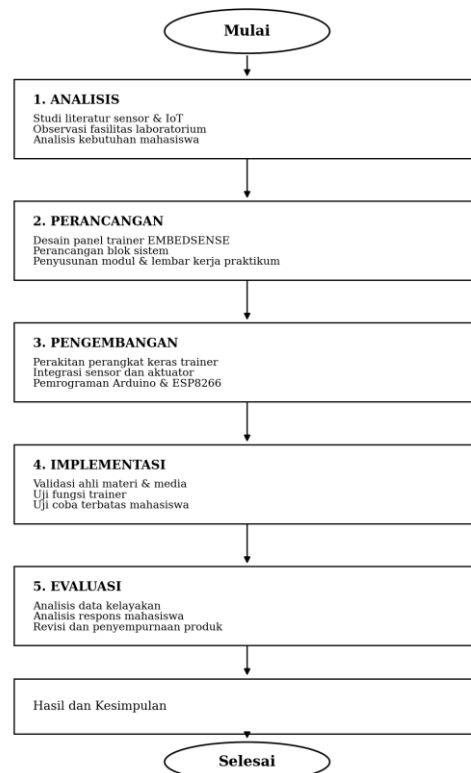
Secara fungsional, sistem *embedded* menerima sinyal dari sensor, memproses data melalui mikrokontroler, kemudian menghasilkan respons melalui aktuator atau tampilan. Lapisan IoT menambahkan komunikasi jaringan sehingga data dapat dipantau atau dikirim ke perangkat lain. Konsep ini telah diterapkan pada *trainer* dan *remote laboratory* berbasis IoT serta laboratorium pendidikan mikrokontroler jarak jauh (Idhar, Purnamawati, Tangking, & Ruslan, 2021; Jacko et al., 2022; Kleinschmidt, 2021). Pada pendidikan tinggi, integrasi perangkat keras, mikrokontroler, dan IoT juga digunakan untuk membangun pengalaman praktik yang menghubungkan pemrograman, konektivitas, dan pemecahan masalah (Mustakim et al., 2024).

Model ADDIE terdiri atas *Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation*. Model ini memberikan alur pengembangan yang sistematis sejak identifikasi kebutuhan sampai evaluasi produk dan pengguna (Spatioti, Kazanidis, & Pange, 2022). Dalam pendidikan vokasi, ADDIE dapat dipadukan dengan perbaikan iteratif berdasarkan validasi dan penerimaan pengguna (Shakeel, Al Mamun, & Haolader, 2023). Penelitian *trainer* sensor-transduser berbasis IoT juga menegaskan pentingnya validasi setelah produk selesai dikembangkan (Purnamawati, Akil, & Nuridayanti, 2024). Karena itu, artikel ini melaporkan pengembangan EMBEDSENSE sampai fase *Development*, sedangkan validasi ahli dan uji pengguna ditempatkan sebagai tahap lanjutan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development/R&D*) dengan mengadopsi model ADDIE (*Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, *Evaluation*). Pelaksanaan penelitian Student Grant berlangsung di Laboratorium Instalasi Listrik & Jaringan, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan pada tahun 2026. Artikel ini memfokuskan hasil pada tahap *Analysis*, *Design*, dan

Development karena data validasi ahli dan uji pengguna belum tersedia. Tahap *Analysis* mencakup studi literatur, observasi fasilitas, dan analisis kebutuhan; *Design* mencakup rancangan panel, konfigurasi modul, serta skenario praktikum; sedangkan *Development* meliputi perakitan, pengkabelan, pemrograman Arduino IDE, integrasi sensor-aktuator, komunikasi IoT, penyusunan draf modul/*jobsheet*, dan pengujian fungsional awal.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian EMBEDSENSE Model ADDIE

Sumber: Penulis (2026).

Pada tahap *Implementation* yang direncanakan, subjek uji ditentukan secara *purposive sampling*, yaitu mahasiswa aktif semester 4 Program Studi Pendidikan Teknik Elektro yang sedang menempuh mata kuliah Sensor dan Transducer. Instrumen penelitian disiapkan untuk mengukur fungsi perangkat, kelayakan, dan kepraktisan produk.

Lembar pemeriksaan fungsional digunakan untuk mencatat kinerja Arduino Uno, Arduino Nano, NodeMCU ESP8266, DHT11, LDR, HC-SR04, LCD, relay, LED, buzzer, dan komunikasi IoT. Lembar validasi ahli materi dan media berskala Likert 1–5 digunakan untuk menilai kesesuaian materi, desain media, keamanan, kemudahan penggunaan, dan fungsionalitas. Angket respons mahasiswa berskala Likert 1–5 digunakan untuk memperoleh data kepraktisan penggunaan trainer dan modul/*jobsheet*.

Data validasi dan respons pengguna pada tahap lanjutan direncanakan dianalisis secara deskriptif kuantitatif menggunakan persentase berikut.

$$P = (\Sigma X / \Sigma X_{\max}) \times 100\%$$

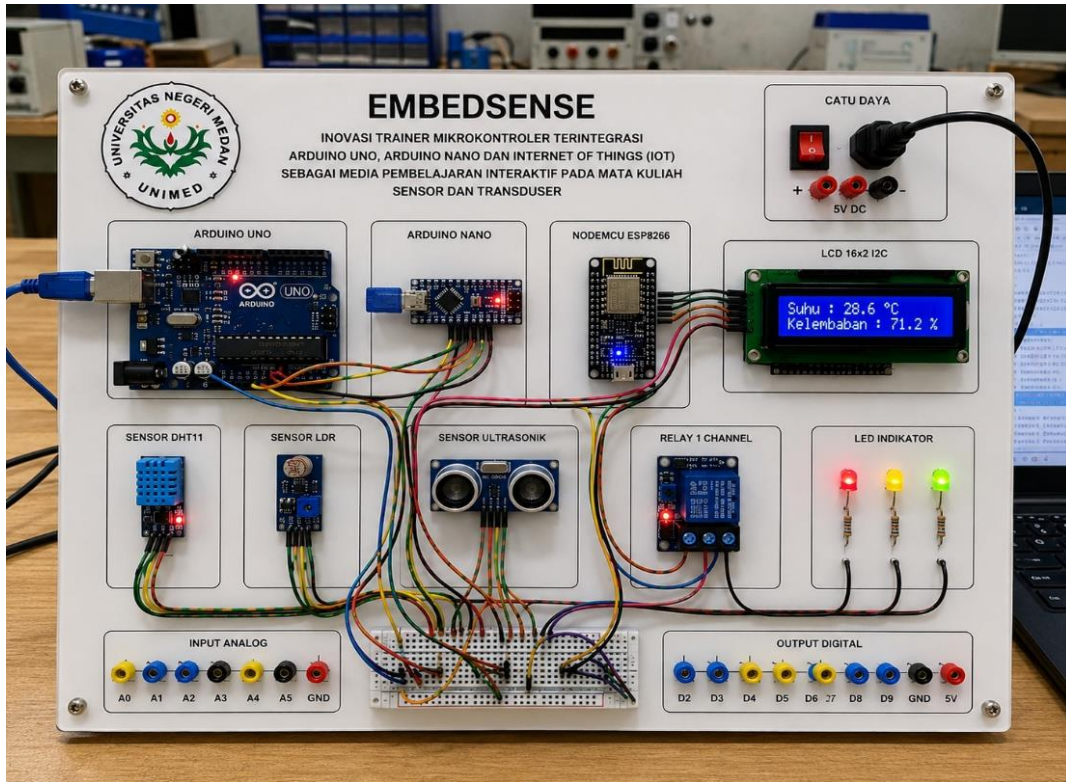
Keterangan: P merupakan persentase kelayakan atau kepraktisan, ΣX adalah jumlah skor empiris, dan $\Sigma X_{\max}$ adalah jumlah skor ideal maksimum. Indikator proposal menetapkan penilaian ahli minimal kategori Baik sebesar $\geq 85\%$ dan respons positif mahasiswa sebesar $\geq 80\%$. Persentase tersebut belum digunakan untuk menyimpulkan kelayakan atau kepraktisan pada artikel ini karena validasi ahli dan uji pengguna belum dilaksanakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dibahas berasal dari kegiatan pengembangan Januari–Agustus 2026 di Laboratorium Instalasi Listrik & Jaringan Universitas Negeri Medan. Data meliputi dokumentasi realisasi perangkat, catatan kemajuan penyusunan modul/*jobsheet*, serta lembar pemeriksaan fungsi dasar setiap kelompok modul. Hasil disajikan sebagai capaian pengembangan dan verifikasi fungsional, bukan sebagai data efektivitas pembelajaran.

Hasil Pengembangan Perangkat Keras Trainer EMBEDSENSE

Tahap *Design* dan *Development* berhasil merealisasikan perangkat keras *trainer* EMBEDSENSE hingga 100% sesuai konfigurasi rancangan. Arduino Uno berfungsi sebagai pengendali utama, Arduino Nano sebagai platform eksperimen tambahan, dan NodeMCU ESP8266 sebagai modul komunikasi IoT. Tiga sensor utama yang digunakan adalah DHT11 untuk suhu dan kelembapan, LDR untuk intensitas cahaya, serta HC-SR04 untuk pengukuran jarak. Bagian keluaran terdiri atas LCD 16×2 I2C, relay satu kanal, LED indikator, dan buzzer. Trainer juga dilengkapi catu daya serta terminal masukan analog dan keluaran digital untuk mendukung latihan pengkabelan.



Gambar 2. Prototipe Fisik Trainer EMBEDSENSE

Sumber: Dokumentasi Peneliti (2026).

Konfigurasi komponen pada panel EMBEDSENSE dan fungsi operasionalnya dalam praktikum dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi Modul Utama Trainer EMBEDSENSE

Jenis Modul	Komponen	Platform/Terminal	Fungsi Operasional pada Praktikum
Mikrokontroler utama	Arduino Uno	USB / I/O Arduino	Mengolah data sensor dan mengendalikan aktuator.
Mikrokontroler tambahan	Arduino Nano	USB / I/O Arduino	Platform eksperimen mikrokontroler tambahan.
Komunikasi IoT	NodeMCU ESP8266	Wi-Fi / I/O digital	Mengirim dan menerima data melalui jaringan IoT.
Sensor suhu & kelembapan	DHT11	Digital	Membaca suhu dan kelembapan lingkungan.
Sensor cahaya	LDR	Analog	Mengamati perubahan intensitas cahaya.
Sensor jarak	HC-SR04	Trigger/Echo	Mengukur jarak objek.
Tampilan	LCD 16×2 I2C	I2C	Menampilkan hasil pembacaan dan status sistem.
Aktuator	Relay 1 channel	Digital	Mengendalikan beban melalui keluaran mikrokontroler.
Aktuator indikator	LED dan buzzer	Digital	Memberikan indikator visual dan suara.
Terminal praktikum	Input analog & output digital	A0–A5 / D2–D9	Mendukung latihan pengkabelan dan eksperimen I/O.

Sumber: Data Penelitian EMBEDSENSE (2026).

Hasil Penyusunan Modul dan Jobsheet Praktikum

Draf modul dan lembar kerja praktikum telah mencapai sekitar 85%. Status tersebut menunjukkan bahwa enam skenario eksperimen telah tersusun, tetapi masih memerlukan validasi ahli, revisi, dan finalisasi. Urutan praktikum disusun dari pengamatan satu fungsi menuju integrasi beberapa subsistem.

- a. Eksperimen 1: pembacaan suhu dan kelembapan menggunakan DHT11 serta visualisasi data pada LCD.
- b. Eksperimen 2: pengukuran intensitas cahaya menggunakan LDR dan pengamatan perubahan nilai analog.
- c. Eksperimen 3: pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04
- d. Eksperimen 4: pengendalian LED, buzzer, dan relay melalui keluaran digital mikrokontroler
- e. Eksperimen 5: pemantauan dan pengendalian berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266
- f. Eksperimen 6: integrasi sensor, mikrokontroler, aktuator, tampilan, dan IoT sebagai simulasi sistem pemantauan cerdas.

Pengujian Fungsionalitas Laboratorium dan Pembahasan

Pengujian internal dilakukan setelah perakitan untuk memastikan fungsi dasar setiap kelompok modul. DHT11 menghasilkan data suhu dan kelembapan yang dapat ditampilkan pada LCD, LDR merespons perubahan intensitas cahaya, dan HC-SR04 membaca perubahan jarak objek. LED, buzzer, dan relay merespons perintah program. NodeMCU ESP8266 dapat terhubung ke jaringan untuk kebutuhan komunikasi IoT, meskipun pada pengujian awal ditemukan keterlambatan pengiriman data dan *connection timeout*. Penyesuaian program serta interval pengiriman data membuat koneksi lebih stabil pada pengujian internal. Hasil ini merupakan verifikasi fungsi awal dan belum digunakan untuk menyimpulkan akurasi sensor, keandalan komunikasi secara kuantitatif, kelayakan, maupun efektivitas pembelajaran.

Tabel 2. Matriks Hasil Pengujian Fungsional Awal EMBEDSENSE

No	Modul/Aspek	Skenario Uji	Hasil Observasi	Status
1	DHT11	Membaca suhu dan kelembapan.	Data terbaca dan tampil pada LCD.	Berfungsi
2	LDR	Mengubah intensitas cahaya.	Nilai berubah sesuai kondisi cahaya.	Berfungsi
3	HC-SR04	Mengubah jarak objek.	Nilai berubah sesuai jarak objek.	Berfungsi
4	LCD 16×2 I2C	Mengirim data dan status sistem.	Data dan status dapat ditampilkan.	Berfungsi
5	LED, buzzer, relay	Memberikan perintah keluaran.	Aktuator merespons perintah program.	Berfungsi

No	Modul/Aspek	Skenario Uji	Hasil Observasi	Status
6	NodeMCU ESP8266	Menguji koneksi dan komunikasi data.	Koneksi berhasil; lebih stabil setelah optimasi.	Berfungsi dengan catatan

Sumber: Data Penelitian EMBEDSENSE (2026).

Secara keseluruhan, tahap *Development* menunjukkan bahwa EMBEDSENSE dapat direalisasikan sebagai *trainer* terpadu yang menghubungkan sensor, mikrokontroler, aktuator, tampilan, dan komunikasi IoT. Hasil ini sejalan dengan pengembangan *trainer* sensor-transduser dan mikrokontroler yang menekankan pentingnya perangkat fisik dan skenario praktikum terstruktur (Mustakim et al., 2024; Nur Fadhilah et al., 2023; Putri et al., 2022). Pembeda EMBEDSENSE terletak pada penggunaan Arduino Uno, Arduino Nano, dan NodeMCU ESP8266 dalam satu panel dengan enam skenario praktikum. Kendala komunikasi ESP8266 juga memperlihatkan bahwa kualitas jaringan dan interval pengiriman data merupakan bagian penting dari pengembangan *trainer* IoT. Karena pengujian masih bersifat internal, temuan ini tidak digunakan untuk mengklaim kelayakan, kepraktisan, atau peningkatan hasil belajar.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengembangan, dan pengujian fungsional awal, *trainer* EMBEDSENSE telah terealisasi 100% pada aspek perakitan perangkat keras, sedangkan draf modul/*jobsheet* mencapai sekitar 85% dan memuat enam skenario praktikum. Arduino Uno, Arduino Nano, NodeMCU ESP8266, DHT11, LDR, HC-SR04, LCD, relay, LED, dan buzzer dapat diintegrasikan dalam satu panel. Pengujian internal menunjukkan bahwa kelompok sensor, tampilan, dan aktuator menjalankan fungsi dasar sesuai rancangan, sedangkan komunikasi ESP8266 dapat beroperasi dengan catatan kestabilan yang membaik setelah optimasi program dan interval pengiriman data. Dengan demikian, EMBEDSENSE telah mencapai tahap prototipe fungsional yang siap dilanjutkan ke proses validasi.

Keterbatasan penelitian terletak pada tahap pelaksanaan yang baru mencapai *Development* dan pengujian internal. Validasi ahli media dan materi, uji coba mahasiswa, pengukuran akurasi sensor menggunakan instrumen pembanding, serta pengujian keandalan komunikasi secara kuantitatif belum dilakukan. Penelitian selanjutnya perlu melaksanakan tahap *Implementation* dan *Evaluation* untuk memperoleh data kelayakan, kepraktisan, serta dampak penggunaan *trainer* terhadap pembelajaran Sensor dan Transducer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Medan atas dukungan pendanaan melalui Skema Penelitian Student Grant Tahun Anggaran 2026. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Pendidikan Teknik Elektro serta Laboratorium Instalasi Listrik & Jaringan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, atas dukungan fasilitas selama proses perancangan, perakitan, dan pengujian awal EMBEDSENSE.

DAFTAR REFERENSI

- Akmaluddin, A., Nur, H., & Sidik, D. (2022). Pengembangan media pembelajaran trainer mikrokontroler pada jurusan teknik elektronika SMK negeri di Makassar. *UNM Journal of Technology and Vocational*, 6(2), 151–162. <https://doi.org/10.26858/ujtv.v6i2.34787>
- Chia, K. S. (2022). An Integration of Open-Source Resources in Distance Teaching for Real-Time Embedded System Using Arduino Microcontroller and Freertos. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(6), 194–205. <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.06.017>
- Eliza, F., Candra, O., Mukhaiyar, R., Fadli, R., & Wibowo, Y. E. (2025). Development of a Microcontroller Training Kit to Increase Student Learning Motivation. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 15(3), 22319–22326. <https://doi.org/10.48084/etasr.10142>
- Ferdiansyah, H., N, Z., Nurmayanti, N. L., Sofyan, W., Agustina, V. T., & Efendy, M. A. (2024). Implementation of IoT-based practicum learning media for vocational students in the 4.0 era. *Jurnal Konseling Dan Pendidikan*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.29210/179700>
- Fuadi, Z., & Eliza, F. (2024). Perancangan trainer mikrokontroler berbasis Arduino Uno. *Jurnal Riset Edukasi, Vokasi, Inovasi, Dan Sosial*, 1(1), 34–46. <https://doi.org/10.58740/j-revisi.v1i1.183>
- Habibi, M. W., & Buditjahjanto, I. G. P. A. (2024). Impact of Training Kit-Based Internet of Things to Learn Microcontroller Viewed in Cognitive Domain. *TEM Journal*, 13(2), 1157–1166. <https://doi.org/10.18421/TEM132-30>
- Harkha, A. P., & Hidayat, H. (2025). Design Of Microcontroller Trainer Based On Internet Of Things (IoT). *AT-TAKLIM: Jurnal Pendidikan Multidisiplin*, 2(2), 161–174. <https://doi.org/10.71282/at-taklim.v2i2.137>
- Idhar, I., Purnamawati, P., Tangking, R., & Ruslan, R. (2021). The use of internet of things (IoT) to produce trainer and remote lab learning media. *Journal of Physics: Conference Series*, 1810(1), 12003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1810/1/012003>
- Jacko, P., Bereš, M., Kováčová, I., Molnár, J., Vince, T., Dziak, J., ... Kováč, D. (2022). Remote IoT Education Laboratory for Microcontrollers Based on the STM32 Chips. *Sensors*, 22(4), 1440. <https://doi.org/10.3390/s22041440>
- Jamal, S., Hartati, S. J., & Wahid, A. (2023). Pengembangan Sensor dan Aktuator Dasar Berbasis Arduino pada Capaian Pembelajaran Embedded System Fase F. *Ideguru: Jurnal Karya Ilmiah Guru*, 8(2), 232–237. <https://doi.org/10.51169/ideguru.v8i2.498>

- Kleinschmidt, J. H. (2021). Teaching internet of things for engineering courses: A project-based cooperative approach. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 58(4), 858–873. <https://doi.org/10.1177/0020720919867437>
- Mahmood, A. F., Ahmed, K. A., & Mahmood, H. A. (2022). Design and implementation of a microcontroller training kit for blend learning. *Computer Applications in Engineering Education*, 30(4), 1236–1247. <https://doi.org/10.1002/cae.22517>
- Marpanaji, E., Zakarijah, M., & Bayu Nugraha, N. A. (2023). Arduino-Based High-Frequency Signal Data Acquisition for Learning Media on Antenna and Wave Propagation Practices. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 8(1), 8–18. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v8i1.60182>
- Mustakim, W., Effendi, H., Aswardi, A., Giatman, M., Hariyadi, H., & Dwi Pratiwi, W. (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), 4–16. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v20i09.48349>
- Nur Fadhilah, A. A., Agung, A. I., Kholis, N., & Rusimanto, P. W. (2023). Pembuatan Media Pembelajaran Trainer Mikrokontroler Arduino Uno Berbasis IOT. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 13(1), 21–30. <https://doi.org/10.26740/jpte.v13n01.p21-30>
- Purnamawati, P., Akil, M., & Nuridayanti, N. (2021). Analysis of needs for the development of trainer sensor and transducer learning media based on Internet of Things (IoT). *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 11(3), 232–242. <https://doi.org/10.21831/jpv.v11i3.43833>
- Purnamawati, P., Akil, M., & Nuridayanti, N. (2024). The Effectiveness Analysis of Using an IoT-based Sensor and Transducer Trainer as A Learning Media for Teachers and Students in Vocational Schools. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12(18s), 706–713. Retrieved from <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/5026>
- Putra, R. A., Sulistiyo, E., Kholis, N., & Widayaka, P. D. (2023). Pengembangan Trainer Mikrokontroler ESP8266 untuk Meningkatkan Hasil Belajar di SMKN 1 Sidoarjo. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 12(3), 241–250. <https://doi.org/10.26740/jpte.v12n03.p241-250>
- Putri, P., Syahrul, S., & Jaya, H. (2022). Pengembangan Trainer Sensor dan Transduser di Program Studi Pendidikan Vokasional Mekatronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar. *Jurnal Nalar Pendidikan*, 10(2), 87–94. <https://doi.org/10.26858/jnp.v10i2.38422>
- Shakeel, S. I., Al Mamun, M. A., & Haolader, M. F. A. (2023). Instructional design with ADDIE and rapid prototyping for blended learning: validation and its acceptance in the context of TVET Bangladesh. *Education and Information Technologies*, 28(6), 7601–7630. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11471-0>
- Sidik, D., Risal, A., & Hudiah, A. (2024). Iot-Based Microcontroller Trainer Media: Innovation for Vocational Education Essential Programs. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*, 13(11), 6–10. <https://doi.org/10.51583/IJLTEMAS.2024.131102>
- Simanjuntak, K., & Sitorus, P. (2021). Pengembangan Trainer Mikrokontroler Berbasis Arduino Nano pada Mata Pelajaran Teknik Pemrograman, Mikroprosesor dan Mikrokontroler Kelas XI. *JEVTE Journal of Electrical Vocational Teacher Education*, 1(2), 86–97. <https://doi.org/10.24114/jevte.v1i2.29251>

- Spatioti, A. G., Kazanidis, I., & Pange, J. (2022). A Comparative Study of the ADDIE Instructional Design Model in Distance Education. *Information*, 13(9), 402. <https://doi.org/10.3390/info13090402>
- Yudisurya, A., Asnawi, R., & Hertanto, D. B. (2026). Development of an ESP32-Based Internet of Things Trainer for Sensor and Transducer Learning in Electrical Engineering Education. *Jurnal Edukasi Elektro*, 10(1), 112–124. <https://doi.org/10.21831/jee.v10i1.96831>
- Yulastuti, R., & Zakarijah, M. (2023). Trainer Sensor Berbasis Arduino Uno Sebagai Media Pembelajaran Mata Pelajaran Penerapan Rangkaian Elektronika Kelas XI Elektronika Industri SMK Negeri 1 Magelang. *Journal of Electronics and Education (JEED)*, 1(1), 11–21. Retrieved from <https://journal.uny.ac.id/publications/jeed/article/view/51>