

Membangun Mahasiswa Mandiri dan Adaptif Melalui Proyek Tempat Sampah Otomatis Berbasis Mikrokontroler Dalam Integrasi STEM

Irfan Andika Pratama¹, Olif Agustina², Arrori Ashar Hidayad³, Boedy Irhadtanto⁴

^{1,2,3,4}Pendidikan Teknologi Informasi, IKIP PGRI Bojonegoro, Jl. Panglima Polim No. 46

Bojonegoro

E-mail: irfanandikaprl2@gmail.com¹, olifagustina5@gmail.com²,
arroriarasharhidayad17@gmail.com³, boedyirh@ikip PGRI Bojonegoro.ac.id⁴, Telp: +6282337193803¹,
+6285888639181², +6285895446352³, +6285730262105⁴

Abstrak

Di era transformasi digital saat ini, pendidikan tinggi membutuhkan mahasiswa yang memiliki kemampuan untuk menerapkan keterampilan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) dalam praktik dunia nyata sekaligus membangun karakter yang mandiri dan adaptif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjelaskan bagaimana STEM diintegrasikan ke dalam proyek tempat sampah otomatis berbasis mikrokontroler, serta bagaimana hal ini berdampak pada kemandirian dan kemampuan adaptif mahasiswa. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Subjek penelitian dipilih secara purposive, yaitu satu kelompok mahasiswa yang terdiri dari 4 orang mahasiswa kelas PTI 1A IKIP PGRI Bojonegoro yang membuat proyek tempat sampah otomatis berbasis mikrokontroler sebagai tugas akhir mata kuliah dasar-dasar sains. Proyek dilaksanakan selama 14 hari mulai 17 November sampai 1 Desember 2025 dengan menerapkan model pengembangan ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Data dikumpulkan melalui observasi partisipasi penuh dan dokumentasi, kemudian dianalisis menggunakan model Miles dan Huberman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proyek ini efektif untuk meningkatkan kemandirian mahasiswa dalam perencanaan proyek, eksplorasi solusi teknis secara mandiri, tanggung jawab individu, dan ketekunan. Selain itu, sikap adaptif mahasiswa juga berkembang, yang ditunjukkan oleh kemampuan beradaptasi dengan keterbatasan komponen dan anggaran, fleksibilitas mengubah rencana, serta inisiatif belajar mandiri. Integrasi keempat pilar STEM terjadi secara nyata dalam setiap tahap pengerjaan, dapat dilihat melalui konsep gelombang ultrasonik (science), penggunaan mikrokontroler dan pemutar audio (technology), rekayasa mekanik dan elektronik (engineering), dan logika pemrograman dan perhitungan jarak (mathematics). Hasil uji coba dilakukan sebanyak 20 kali yang menunjukkan tingkat keberhasilan rata-rata 92%.

Kata Kunci: Mahasiswa Mandiri, Adaptif, STEM, Tempat Sampah Otomatis, Mikrokontroler

Abstract

In today's era of digital transformation, higher education requires students who have the ability to apply STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) skills in real-world practice while building independent and adaptive characters. The purpose of this study is to explain how STEM is integrated into a microcontroller-based automatic trash can project, and how this impacts students' independence and adaptive abilities. This study uses a qualitative research method with a case study approach. The research subjects were selected purposively, namely a group of four students from class PTI 1A IKIP PGRI Bojonegoro who created a microcontroller-based automatic trash can project as a final assignment for the science fundamentals course. The project was implemented for 14 days from November 17 to December 1, 2025, using the ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) development model. Data were collected through full participant observation and documentation, then analyzed using the Miles and Huberman model. The results showed that this project was effective in increasing students' independence in project planning, independent exploration of technical solutions, individual responsibility, and perseverance. Furthermore, students' adaptive behavior also developed, demonstrated by their ability to adapt to component and budget constraints, flexibility in changing plans, and independent learning initiatives. The integration of the four STEM pillars was evident in every stage of the project, as evidenced by the concept of ultrasonic waves (science), the use of microcontrollers and audio players (technology), mechanical and electronic engineering (engineering), and programming logic and distance calculations (mathematics). Twenty trials demonstrated an average success rate of 92%.

PENDAHULUAN

Abad ke-21 ditandai oleh perubahan yang cepat, kompleks, dan tidak menentu, yang menuntut setiap orang untuk memiliki kemampuan beradaptasi dan kemandirian dalam belajar dan bekerja. Dunia pendidikan tinggi, yang bertanggung jawab untuk menghasilkan sumber daya manusia yang berkualitas, tidak dapat lagi bergantung pada pembelajaran teoritis. Pendidikan tinggi harus memberikan mahasiswa pengalaman langsung yang mendorong mereka untuk berpikir kreatif, kritis, kolaboratif, dan mampu memecahkan masalah dalam dunia nyata. Berbagai perangkat cerdas semakin dekat dengan kehidupan sehari-hari berkat kemajuan teknologi otomatisasi. Salah satu produk inovatif, tempat sampah otomatis yang menggunakan arduino UNO, sensor ultrasonik, motor servo, dan audio untuk membuat pengalaman penggunaan yang higienis dan interaktif. Pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) hadir sebagai pendekatan interdisipliner yang mengintegrasikan keempat bidang tersebut dalam pembelajaran kontekstual (Sujarwanto, 2023: 408). Sayangnya, banyak penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa di Indonesia masih tergolong rendah dalam kemandirian belajar. Misalnya, penelitian oleh Harahap et al., (2021: 185) menemukan bahwa 10% mahasiswa BKI di Universitas Islam Negeri Sumatera Utara memiliki kemandirian belajar yang "sedang" dan belum mencapai tingkat yang ideal. Ini menunjukkan bahwa tidak semua mahasiswa dapat sepenuhnya mengatur proses belajar mereka sendiri. Kondisi ini diperburuk dengan tidak memiliki keterampilan adaptif, yaitu kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan situasi baru, mengubah strategi saat menghadapi hambatan, dan fleksibel dalam menerima perubahan (Ilham, 2024: 198). Padahal, dunia kerja saat ini sangat menginginkan orang yang tidak hanya memiliki pengetahuan teoretis tetapi juga fleksibel, berani, dan berinisiatif. Oleh karena itu, diperlukan inovasi pendidikan yang dapat membangun kedua karakter tersebut secara bersamaan. Pembelajaran berbasis proyek (Project-Based Learning) yang diintegrasikan dengan STEM, adalah salah satu pendekatan yang terbukti efektif. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Saputri & Herman (2022: 247) integrasi STEM dalam pembelajaran harus mempertimbangkan metode berbasis masalah dan proyek, dan pembelajaran harus kooperatif. Menurut penelitian Ardiansyah & Asikin (2019: 111), STEM Context dapat menawarkan solusi alternatif untuk pelaksanaan pembelajaran dengan pemberian kasus atau masalah yang lebih relevan. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Ananda & Salamah (2021: 61) menemukan bahwa penerapan pendekatan STEM terintegrasi memiliki dampak yang signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis mahasiswa dengan effect size rata-rata 0,92 pada model Problem Based Learning.

Proyek tempat sampah otomatis berbasis mikrokontroler memungkinkan integrasi semua pilar STEM dan mengajak mahasiswa untuk memecahkan masalah lingkungan yang nyata. Selain itu, inovasi ini membantu mengurangi kontak langsung, menjaga kebersihan, dan menciptakan lingkungan yang lebih sehat. Penelitian yang dilakukan oleh Perdana & Wellem (2023: 115) telah berhasil merancang sistem kontrol yang dapat digunakan untuk membuka dan menutup tempat sampah secara otomatis dengan menggunakan sensor ultrasonik, motor servo, dan Arduino. Komponen seperti Arduino Uno, sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo SG90, DFPlayer Mini, memory card, speaker mini, dan baterai holder memberikan banyak ruang untuk bereksperimen dalam bidang seperti pemrograman, rangkaian elektronik, desain mekanik, dan pengujian sistem. Proyek ini dikerjakan dalam waktu singkat mulai 17 November 2025 sampai 1 Desember 2025 oleh satu kelompok beranggotakan empat mahasiswa kelas PTI 1A IKIP PGRI Bojonegoro pada semester pertama, sehingga menjadi kesempatan awal untuk membangun fondasi kemandirian dan adaptasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana proyek tempat sampah otomatis dapat membantu mahasiswa menjadi lebih mandiri dan adaptif, serta sejauh mana integrasi STEM berkontribusi pada proses tersebut.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif dengan pendekatan studi kasus (case study). Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan secara mendalam bagaimana mahasiswa mengembangkan kemandirian dan sikap adaptif melalui proyek pembuatan tempat sampah otomatis berbasis mikrokontroler dalam integrasi STEM. Penelitian dilaksanakan pada semester ganjil Tahun Akademik 2025/2026, mulai tanggal 17 November 2025 - 1 Desember 2025.

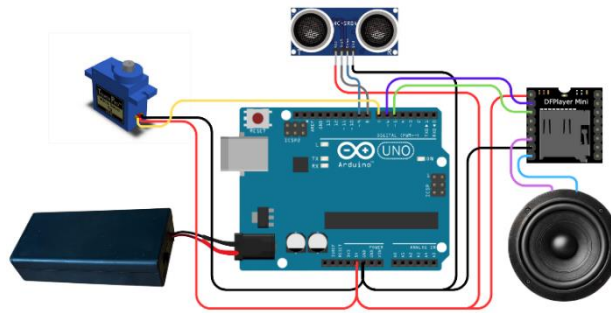
Subjek penelitian dipilih secara sengaja menggunakan teknik purposive sampling dengan kriteria berikut: (1) mahasiswa yang terlibat secara langsung dalam setiap tahapan proyek tempat sampah otomatis, mulai dari perancangan, perakitan, pemrograman, hingga uji coba; (2) tergabung dalam satu kelompok untuk menyelesaikan proyek akhir mata kuliah Dasar-dasar Sains; dan (3) bersedia untuk diamati secara aktif selama proses pengerjaan proyek. Berdasarkan kriteria tersebut, terpilih satu kelompok proyek yang terdiri dari 4 mahasiswa dari kelas PTI 1A sebagai subjek penelitian. Proyek tempat sampah otomatis dikerjakan oleh mahasiswa di luar jam mata kuliah dan lokasi penelitian ini dilakukan di kelas PTI 1A kampus IKIP PGRI Bojonegoro.

Proses penelitian menggunakan model pengembangan ADDIE, yang terdiri dari lima tahapan sistematis: Analysis (Analisis), Design (Perancangan), Development (Pengembangan), Implementation (Implementasi), dan Evaluation (Evaluasi). Tahap analysis meliputi identifikasi masalah sampah di lingkungan kampus dan analisis kebutuhan komponen. Tahap design meliputi perancangan skematik rangkaian, alur program, dan desain mekanik. Tahap development meliputi perakitan komponen, pemrograman dengan Arduino IDE, pengisian file suara, dan pengujian komponen. Tahap implementation meliputi pemasangan komponen ke wadah tempat sampah mini dan uji coba. Tahap evaluation meliputi penilaian keberhasilan deteksi, kejelasan suara, dan kestabilan mekanik.

Teknik pengumpulan data dihimpun melalui observasi partisipasi penuh dan dokumentasi pengerjaan proyek. Pertama, observasi partisipasi penuh di mana peneliti bertindak sebagai anggota kelompok sekaligus pengamat yang terlibat langsung dalam proses pengerjaan dan mencatat inisiatif individu, dinamika kerja, dan respons terhadap hambatan teknis. Kedua, dokumentasi dilakukan dengan menggunakan foto dan video. Analisis data menggunakan model Miles dan Huberman. Model ini mengelompokkan temuan ke dalam tema-tema kemandirian (perencanaan proyek, eksplorasi solusi teknis mandiri, tanggung jawab individu, ketekunan) dan sikap adaptif (adaptasi dengan keterbatasan, fleksibilitas rencana, respons umpan balik, inisiatif belajar mandiri). Selain itu, data disajikan dalam bentuk narasi deskriptif dan ditarik kesimpulan. Dengan membandingkan data dari observasi dan dokumentasi, triangulasi sumber dilakukan untuk memastikan data tersebut valid.

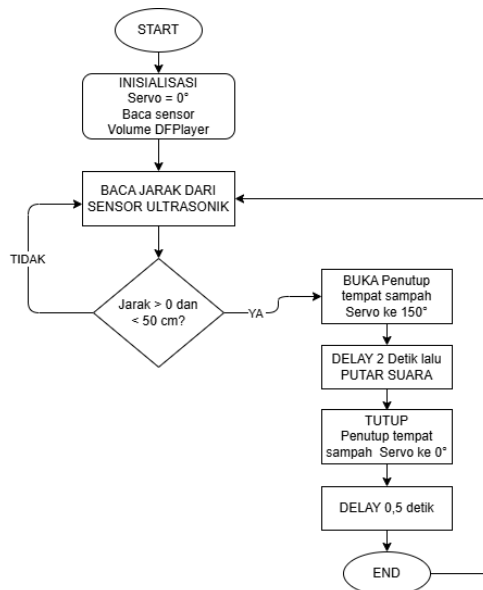
HASIL DAN PEMBAHASAN

Mulai 17 November 2025 sampai 1 Desember 2025, kelompok mahasiswa PTI 1A mengerjakan proyek tempat sampah otomatis tersebut. Selama proses perancangan dari 17 November 2025 sampai 19 November 2025, tim membuat skema rangkaian dan flowchart. Pada Sensor Ultrasonic HC-SR04 sambungkan VCC ke Arduino 5V, Trigger ke Arduino pin 8, Echo ke Arduino pin 9, dan GND ke Arduino GND. Pada DFPlayer Mini sambungkan VCC ke Arduino 5V, GND ke Arduino GND, RX ke Arduino pin 5, dan TX ke Arduino pin 6. Pada Servo sambungkan Signal ke Arduino pin 7, VCC ke Arduino 5V, dan GND ke Arduino GND. Skema rangkaian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema rangkaian tempat sampah otomatis berbasis Arduino Uno

Tahap perakitan dan pemrograman tanggal 24 November 2025 - 28 November 2025 tim menghadapi beberapa masalah. Sensor ultrasonik tidak stabil, tim mengatasi dengan membersihkan sensor dan memastikan koneksi kabel kuat. DFPlayer Mini tidak bersuara; setelah dicari permasalahannya tim menemukan bahwa file suara harus bernama 001.mp3 dan harus dalam folder /mp3 pada SD card. Motor servo tidak optimal; tim memastikan koneksi signal ke pin 7 dan mengatur posisi awal servo 0°. Setelah masalah terselesaikan, dilakukan uji coba. Cara kerja sistemnya yaitu sensor ultrasonik mengukur jarak terus-menerus. Jika ada objek pada jarak 0-50 cm, servo membuka tutup (posisi 150°), setelah 2 detik suara notifikasi diputar (001.mp3), setelah 5 detik terbuka, servo menutup tutup (posisi 0°), dan sistem kembali standby. Flowchart cara kerjanya dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Flowchart sistem kerja tempat sampah otomatis

Uji coba dilakukan sebanyak 20 kali dan hasil pengujian disajikan pada Tabel 1. Satu kali gagal mendeteksi sensor dikarenakan posisi tangan pengguna terlalu miring sehingga pantulan gelombang ultrasonik tidak sempurna. Suara tidak keluar sebanyak tiga kali, satu kali karena SD card longgar dari soket DFPlayer dan dua kali karena salah sambungan, setelah diperbaiki suara kembali normal. Secara keseluruhan, sistem berfungsi dengan baik, dengan rata-rata tingkat keberhasilan 92%.

TABEL 1. HASIL UJI COBA TEMPAT SAMPAH OTOMATIS (20 KALI PERCOBAAN)

Parameter Uji	Berhasil	Gagal	Keberhasilan
Deteksi sensor ultrasonik (jarak 0-40 cm)	19	1	95%
Servo membuka tutup	18	2	90%
Servo menutup tutup	18	2	90%
Suara notifikasi keluar dengan jelas	17	3	85%
Sistem kembali ke mode standby	20	0	100%

Proyek ini terbukti efektif untuk membantu mahasiswa menjadi lebih mandiri. Aspek pertama, perencanaan proyek secara mandiri: tim menyusun jadwal 14 hari berdasarkan kemampuan masing-masing, tim mencari komponen sendiri, dan berhasil menyelesaikan prototipe tepat pada waktunya. Ini sejalan dengan prinsip STEM, yang menyatakan bahwa proses desain harus berfokus pada masalah penting untuk kemandirian (Sujarwanto, 2023: 412). Dalam aspek kedua, tim mencari solusi teknis secara mandiri. Dalam kasus di mana DFPlayer tidak berfungsi, tim mencari solusi dari berbagai sumber tanpa bertanya kepada dosen, dan menemukan bahwa format file harus 001.mp3 dan harus ada dalam folder /mp3. Ini menunjukkan bahwa teknologi digital mendukung pembelajaran mandiri (Dewi & Lahizha, 2025: 10920). Dalam aspek ketiga yaitu tanggung jawab individu, setiap anggota hadir dalam sesi perakitan, menyelesaikan tugas masing-masing, dan mendokumentasikan dengan baik. Aspek keempat adalah ketekunan, ketika tim menghadapi berbagai masalah namun terus memperbaiki sampai sistem berfungsi. Ini sejalan dengan temuan Wijaya & Setiawan (2023: 99) bahwa kreativitas meningkat dengan pembelajaran berbasis proyek kolaboratif.

Selain kemandirian, Proyek ini berhasil membuat mahasiswa menjadi lebih adaptif. Kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan situasi baru, mengubah strategi saat menghadapi hambatan, dan fleksibel dalam menerima perubahan disebut sikap adaptif (Ilham, 2024: 198). Indikator pertama dari sikap adaptif adalah kemampuan untuk beradaptasi dengan keterbatasan komponen. Kelompok ini hanya memiliki dana sekitar Rp.200.000. Mereka awalnya ingin menggunakan motor servo yang lebih kuat, seperti MG995, yang harganya sekitar Rp.55.000 per unit, tetapi karena keterbatasan dana mereka memilih motor servo mini SG90 yang harganya hanya Rp.15.000. Mereka beradaptasi dengan menggunakan tempat sampah mini ukuran 5L untuk mengimbangi kekurangan torsi. Kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan keterbatasan sumber daya ini sangat penting di dunia nyata, di mana sumber daya seringkali tidak ideal. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Avri et al., (2024: 348) tentang betapa pentingnya membangun sumber daya manusia yang adaptif dan inovatif berbasis teknologi. Indikator kedua adalah fleksibilitas mengubah rencana. Tim awalnya bermaksud membuat tempat sampah otomatis yang dapat membedakan sampah organik dan anorganik dengan dua sensor ultrasonik dan dua servo. Namun, karena waktu yang singkat dan dana yang terbatas, mereka berfokus pada buka-tutup dan suara notifikasi. Indikator ketiga adalah inisiatif belajar hal baru. Untuk menyelesaikan proyek ini, mahasiswa harus belajar pemrograman Arduino, yang belum diajarkan secara formal selama semester pertama. Mereka menggunakan tutorial di youtube untuk mempelajari subjek secara mandiri. Inisiatif belajar mandiri ini menunjukkan bahwa proyek berbasis STEM memiliki kemampuan untuk mendorong pembelajaran secara mandiri, yang merupakan dasar pembelajaran sepanjang hayat. Hasil ini juga dikonfirmasi oleh penelitian Nurhamidah & Nurachadijat (2023: 42) bahwa pembelajaran berbasis proyek dapat meningkatkan karakter kemandirian mahasiswa.

Proyek tempat sampah otomatis ini menunjukkan bagaimana keempat pilar STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) dapat diintegrasikan secara bersamaan. Integrasi sains

(Science) tercermin dari mahasiswa memahami prinsip-prinsip fisika yang mendasari kerja sensor ultrasonik, seperti pemancaran gelombang suara pada frekuensi 40 kHz, pantulan gelombang saat mengenai objek, dan perhitungan jarak berdasarkan waktu tempuh gelombang, yang dirumuskan sebagai $\text{jarak} = (\text{waktu} \times \text{kecepatan suara di udara}) \text{ dibagi dua}$, di mana kecepatan suara di udara pada suhu kamar adalah sekitar 343 meter per detik. Selain itu, mahasiswa belajar tentang hukum Ohm, yang mengatur tegangan, arus, dan resistansi dalam rangkaian, dan bagaimana energi listrik dari baterai diubah menjadi energi gerak pada motor servo dan energi bunyi pada speaker. Tidak hanya dihafal sebagai teori, pengetahuan sains ini juga diterapkan dalam sistem yang berfungsi. Integrasi teknologi (Technology) terlihat dari penggunaan berbagai perangkat teknologi, seperti mikrokontroler Arduino Uno, yang merupakan platform embedded system yang paling populer di dunia, sensor ultrasonik HC-SR04 yang bekerja dengan prinsip sonar, motor servo mini dengan kontrol umpan balik, modul pemutar audio digital DFPlayer mini, dan lingkungan pemrograman Arduino IDE yang memungkinkan penulisan dan pengunggahan kode. Mahasiswa tidak hanya menjadi pengguna teknologi, mereka juga pengembang yang mampu memprogram dan mengintegrasikan komponen-komponen tersebut menjadi sebuah sistem yang utuh. Proses rekayasa yang dilakukan oleh tim, mulai dari identifikasi kebutuhan dan spesifikasi, perancangan konsep, pembuatan prototipe, pengujian, evaluasi, dan perbaikan, adalah contoh integrasi teknik (Engineering). Mereka menggunakan prinsip-prinsip mekanika (engsel, tuas, beban) dan elektronika (koneksi pin, resistansi pull-up, grounding) dalam desain tutup dan pengaturan logika buka-tutup. Selain itu, Kemampuan troubleshooting yang mereka tunjukkan ketika menghadapi berbagai kendala juga merupakan inti dari keahlian teknik. Beberapa bentuk integrasi matematika (Mathematics) adalah sebagai berikut: menggunakan rumus linear untuk mengubah waktu tempuh gelombang menjadi nilai jarak; menggunakan operasi aritmetika untuk memfilter rata-rata; membuat nilai ambang batas dalam logika pemrograman; mengatur waktu dengan fungsi delay yang menggunakan satuan milidetik; dan algoritma logika kondisional if-else yang membantu dalam pengambilan keputusan program. Penelitian Asshagab et al., (2024: 81), menunjukkan bahwa kreativitas, pemecahan masalah, dan berpikir kritis mahasiswa dapat ditingkatkan dengan pendekatan STEM. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Davidi et al., (2021: 20), pendekatan STEM juga terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis mahasiswa. Durasi yang hanya 2 minggu justru meningkatkan ketekunan dan efisiensi karena mahasiswa harus mengerjakan tugas dengan cepat di bawah tekanan waktu yang singkat.

SIMPULAN

Kelompok mahasiswa PTI 1A IKIP PGRI Bojonegoro melakukan proyek tempat sampah otomatis berbasis mikrokontroler yang menggunakan komponen Arduino Uno, sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo mini SG90, DFPlayer mini, speaker mini, dan baterai holder. Proyek ini terbukti efektif dalam meningkatkan kemandirian dan sikap adaptif mahasiswa. Kemandirian keempat mahasiswa ditunjukkan dalam kemampuan mereka untuk merencanakan proyek secara mandiri, menemukan solusi teknis tanpa bergantung pada dosen, bertanggung jawab penuh atas peran masing-masing dalam tim, dan tekun dan pantang menyerah saat terjadi kegagalan teknis. Selain itu, sikap adaptif juga yang ditunjukkan oleh kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan keterbatasan dalam hal komponen dan anggaran, kemampuan untuk mengubah rencana ketika ada hambatan, dan inisiatif belajar secara mandiri. Integrasi keempat pilar STEM terjadi secara nyata dalam setiap tahap pengerjaan, dapat dilihat melalui konsep gelombang ultrasonik (science), penggunaan mikrokontroler dan pemutar audio (technology), rekayasa mekanik dan elektronik (engineering), dan logika pemrograman dan perhitungan jarak (mathematics). Hasil uji coba sebanyak 20 kali menunjukkan tingkat keberhasilan rata-rata 92%. Proyek ini juga membantu mahasiswa memahami mata kuliah Dasar-Dasar Sains, yang sebelumnya lebih abstrak menjadi lebih konkret dan aplikatif. Ini akan membangun karakter mahasiswa yang mandiri, adaptif, dan siap menghadapi tantangan dunia kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, P. N., & Salamah, U. (2021). Meta Analisis Pengaruh Integrasi Pendekatan STEM Dalam Pembelajaran IPA Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 7(1), 54–64.
- Ardiansyah, A. S., & Asikin, M. (2019). STEM Context: Alternatif Implementasi STEM Education pada Pembelajaran Matematika. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 6, 111–119.
- Asshagab, S. M., La Maronta Galib, Ledang, I., Halmuniati, & Jamdin, Z. (2024). Menggali Potensi Mahasiswa Melalui Pendekatan Stem Untuk Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Dan Kreativitas Dalam Pembelajaran Mekanika. *CAHAYA Journal of Research on Science Education*, (pp. 78–89).
- Avri, A. A., Camelia, Ismail, I., & Ismail, I. (2024). Membangun Sumber Daya Manusia Yang Adaptif Berbasis Teknologi Di Perpustakaan UTM. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 9(3), 384–394.
- Davidi, E. I. N., Sennen, E., & Supardi, K. (2021). Intgrasi Pendekatan STEM untuk meningkatkan berpikir kritis Siswa Sekolah Dasar. *Scholaria: Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 11(1), 11–22.
- Dewi, L. K., & Lahizha, N. I. (2025). Integrasi Artificial Intelligence (AI) dalam Sistem Pembelajaran Adaptif untuk Meningkatkan Belajar Mandiri Mahasiswa. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 8(9), 10916–10921.
- Harahap, A. C. P., Harahap, D. P., & Simarmata, S. W. (2021). Belajar Dari Rumah (Daring): Kemandirian Belajar Mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling*, 85–92.
- Ilham, I. (2024). Dampak Rendahnya Sikap / Perilaku Harmonis, Adaptif dan Kolaboratif terhadap Kerja Berkelanjutan Pegawai Publik. *Mutiara: Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah*, 2(3), 190–200.
- Nurhamidah, S., & Nurachadijat, K. (2023). Project Based Learning dalam Meningkatkan Kemandirian Belajar Siswa. *Jurnal Inovasi, Evaluasi Dan Pengembangan Pembelajaran (JIEPP)*, 3(2), 42–50.
- Perdana, J. P., & Wellem, T. (2023). Perancangan Dan Implementasi Sistem Kontrol Untuk Tempat Sampah Otomatis Menggunakan Arduino Dan Sensor Ultrasonik. *Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 02, 104–117.
- Saputri, V., & Herman, T. (2022). Integrasi STEM dalam pembelajaran matematika: dampak terhadap kompetensi matematika abad 21. *Jurnal Pembelajaran Matematika Inovatif*, 5(1), 247–260.
- Sujarwanto, E. (2023). Prinsip Pendidikan STEM dalam Pembelajaran Sains. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 8(2), 408.
- Wijaya, E. M. S., & Setiawan, R. (2023). Rancangan Project Based E-Learning Berbasis Internet Of Things Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kreatif Mahasiswa. *Prismatika: Jurnal Pendidikan dan Riset Matematika*, 6(1), 99–110.