

Edukasi Engineering Berbasis STEM bagi Siswa SMA Sebagai Bekal Menghadapi Tantangan Masa Depan

Riska Iva Riana^{1*}, Nurul Ilmi², Syakia Muflihat³,
Siti Ruqaiyah Baharuddin⁴, Muh. Bhilal Halim⁵

¹⁻⁵ Universitas Negeri Makassar

* riska.iva.riana@unm.ac.id

Abstrak

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman siswa SMA terhadap konsep engineering melalui pendekatan berbasis STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*). Kegiatan dilaksanakan di SMA Negeri 10 Makassar dengan metode partisipatif yang meliputi sosialisasi, demonstrasi teknologi sederhana, serta pendampingan melalui *mini project* berbasis *problem solving*. Evaluasi dilakukan menggunakan instrumen pre-test dan post-test yang terdiri dari 13 indikator (P1–P13). Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan, di mana rata-rata skor siswa meningkat dari 2,7 pada pre-test menjadi 4,1 pada post-test dengan persentase peningkatan sebesar 52%. Peningkatan tertinggi terjadi pada indikator pemahaman karier teknik (64%), *Internet of Things* (63%), dan teknologi modern seperti *Artificial Intelligence* (60%). Selain itu, kegiatan ini juga mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan kolaborasi siswa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan STEM yang diterapkan secara interaktif dan aplikatif efektif dalam meningkatkan literasi *engineering* siswa serta kesiapan menghadapi tantangan teknologi masa depan. Kegiatan ini diharapkan dapat menjadi model edukasi yang dapat direplikasi di sekolah lain secara berkelanjutan.

Kata Kunci: STEM, engineering, literasi teknologi, siswa SMA, PKM

Pendahuluan

Perkembangan teknologi global pada era Industri 4.0 menuju 5.0 menuntut kesiapan sumber daya manusia yang adaptif, inovatif, dan memiliki kemampuan berpikir tingkat tinggi (Chiu et al., 2025; Terzieva et al., 2024). Sektor pendidikan menengah, khususnya SMA, memiliki peran strategis dalam membekali siswa dengan kompetensi abad ke-21 seperti *critical thinking*, *creativity*, *collaboration*, dan *communication* (Jordan et al., 2025). Namun, masih banyak siswa yang belum memiliki pemahaman memadai terkait konsep *engineering* dan penerapannya dalam kehidupan nyata, sehingga berdampak pada rendahnya kesiapan menghadapi perubahan teknologi (Kavak, 2023).

Data dari berbagai laporan pendidikan menunjukkan bahwa literasi sains dan teknologi siswa di Indonesia masih berada pada kategori sedang hingga rendah dibandingkan dengan negara lain. Berdasarkan hasil *Programme for International Student Assessment* (PISA) 2022, skor matematika siswa Indonesia sebesar 366 dan sains 383, masih berada di

bawah rata-rata OECD sekitar 500 poin (Ingram et al., 2023). Selain itu, lebih dari 60% siswa berada pada level kompetensi dasar yang menunjukkan keterbatasan dalam berpikir kritis dan pemecahan masalah (Patras et al., 2024). Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan antara kebutuhan kompetensi masa depan dengan kemampuan siswa saat ini (Hughson & Wood, 2022).

Pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) menjadi solusi yang relevan dalam menjawab tantangan tersebut karena mampu mengintegrasikan pengetahuan konseptual dan keterampilan praktis (Fauziah et al., 2025; Riana et al., 2025; Yang et al., 2025). STEM tidak hanya menekankan penguasaan teori, tetapi juga kemampuan analisis, desain, dan implementasi dalam menyelesaikan masalah nyata (Roy et al., 2025). Melalui pendekatan ini, siswa didorong untuk berpikir sistematis, kreatif, dan inovatif dalam menghasilkan solusi berbasis teknologi (Gorap et al., 2025; Siostrom et al., 2026). Oleh karena itu, penerapan STEM di tingkat SMA menjadi penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran yang kontekstual dan berorientasi pada masa depan.

SMA Negeri 10 Makassar sebagai salah satu institusi pendidikan menengah memiliki potensi dalam pengembangan kompetensi siswa di bidang sains dan teknologi. Namun, berdasarkan observasi awal, pembelajaran yang mengintegrasikan konsep *engineering* masih terbatas dan cenderung berfokus pada teori (Fole et al., 2026; Imanda et al., 2025). Minimnya praktik langsung serta kurangnya sosialisasi tren teknologi masa depan menyebabkan rendahnya pemahaman siswa terhadap peluang karier di bidang teknik (Saleh et al., 2025; Wulandari et al., 2023). Kondisi ini menunjukkan perlunya inovasi pembelajaran berbasis praktik dan teknologi.

Kegiatan PKM ini dirancang dalam bentuk edukasi dan sosialisasi berbasis STEM dengan pendekatan interaktif dan partisipatif. Metode yang digunakan meliputi penyampaian materi, diskusi, serta demonstrasi sederhana untuk memperkuat pemahaman konsep *engineering* (Hutabarat et al., 2024). Pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan keterlibatan siswa serta kemampuan berpikir kritis dan kolaboratif (Putra et al., 2025). Selain itu, kegiatan ini juga bertujuan untuk meningkatkan motivasi siswa dalam menghadapi tantangan teknologi masa depan.

Dengan dilaksanakannya kegiatan ini di SMA Negeri 10 Makassar, diharapkan terjadi peningkatan pemahaman siswa terhadap konsep *engineering* berbasis STEM serta kesiapan mereka menghadapi perkembangan teknologi. Program ini juga diharapkan dapat menjadi model implementasi edukasi STEM yang dapat direplikasi di sekolah lain secara berkelanjutan (Hapidin et al., 2025). Selain memberikan dampak langsung kepada siswa, kegiatan ini juga berkontribusi dalam mendukung peningkatan kualitas pendidikan yang relevan dengan kebutuhan industri dan transformasi digital global.

Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan PKM ini menggunakan pendekatan partisipatif dan aplikatif berbasis STEM yang bertujuan meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep *engineering* dan tren teknologi masa depan. Kegiatan dilaksanakan di SMA Negeri 10 Makassar dengan melibatkan siswa secara aktif melalui kombinasi metode ceramah interaktif, diskusi, dan praktik sederhana.

Pelaksanaan kegiatan diawali dengan pre-test untuk mengukur pemahaman awal siswa, dilanjutkan dengan penyampaian materi *engineering*, demonstrasi teknologi sederhana, serta *mini project* berbasis *problem solving* untuk melatih kemampuan berpikir kritis dan kolaboratif, kemudian diakhiri dengan post-test dan evaluasi. Adapun tahapan kegiatan meliputi:

- Persiapan, yaitu koordinasi dengan sekolah dan penyusunan materi serta instrumen evaluasi;
- Pelaksanaan, berupa pre-test, sosialisasi STEM dan *engineering*, serta demonstrasi;
- Pendampingan, melalui diskusi dan *mini project* berbasis solusi;
- Evaluasi, dengan membandingkan hasil *pre-test* dan *post-test*;
- Pelaporan, berupa penyusunan laporan dan publikasi hasil PKM.

Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil pelaksanaan kegiatan PKM serta pembahasan terkait efektivitas program edukasi berbasis STEM dalam meningkatkan pemahaman *engineering* siswa. Analisis dilakukan berdasarkan tahapan kegiatan yang telah dilaksanakan, meliputi persiapan, pelaksanaan, pendampingan, evaluasi, dan pelaporan. Data yang diperoleh disajikan secara deskriptif untuk menggambarkan dampak kegiatan terhadap peningkatan kompetensi siswa.

Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan, tim PKM berkoordinasi dengan pihak SMA Negeri 10 Makassar untuk menentukan jadwal, lokasi, dan peserta kegiatan. Selanjutnya, disusun materi sosialisasi berbasis STEM yang mencakup konsep *engineering* dan tren teknologi. Instrumen evaluasi berupa pre-test dan post-test juga disiapkan. Tahap ini penting untuk memastikan kegiatan berjalan terarah, efektif, dan sesuai kebutuhan peserta, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Kegiatan Tahap Persiapan

No.	Kegiatan	Uraian Kegiatan	Output yang Dihasilkan
1	Koordinasi dengan Sekolah	Diskusi dengan pihak sekolah terkait jadwal, lokasi, dan peserta kegiatan	Kesepakatan waktu dan teknis kegiatan
2	Identifikasi Kebutuhan Siswa	Menggali kebutuhan dan tingkat pemahaman awal siswa terhadap STEM	Data kebutuhan peserta
3	Penyusunan Materi	Menyusun materi sosialisasi <i>engineering</i> berbasis STEM	Modul/materi presentasi
4	Penyusunan Instrumen Evaluasi	Membuat soal pre-test dan post-test	Instrumen evaluasi
5	Persiapan Media dan Alat	Menyiapkan alat peraga/demonstrasi sederhana	Media pembelajaran

Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan diawali dengan pemberian pre-test untuk mengetahui pemahaman awal siswa terkait konsep STEM dan *engineering*. Hasil menunjukkan bahwa sebagian

besar siswa masih memiliki pemahaman terbatas, khususnya dalam mengaitkan sains dengan penerapan teknologi. Kegiatan dilaksanakan di kelas SMA Negeri 10 Makassar dengan jumlah peserta sesuai rencana. Instrumen pre-test terdiri dari 13 pernyataan berdasarkan indikator, yaitu P1 hingga P13 yang mencakup konsep STEM, *engineering*, teknologi, hingga minat siswa. Seluruh pernyataan diukur menggunakan skala Likert lima tingkat untuk memperoleh gambaran awal kemampuan siswa secara terukur dan sistematis.



Gambar 1. Penyampaian Materi STEM dan Engineering

Selanjutnya, dilakukan penyampaian materi secara interaktif yang membahas pentingnya *engineering* dalam kehidupan sehari-hari, peluang karier di bidang teknik, serta perkembangan teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI) dan *Internet of Things* (IoT). Penyampaian materi dilakukan menggunakan media presentasi dan diskusi interaktif untuk meningkatkan partisipasi siswa. Antusiasme siswa terlihat dari keaktifan dalam bertanya dan berdiskusi selama kegiatan berlangsung. Dokumentasi kegiatan ini disajikan pada gambar berikut ini.

Kegiatan dilanjutkan dengan demonstrasi teknologi sederhana untuk memberikan pemahaman praktis kepada siswa terkait penerapan konsep *engineering*. Demonstrasi yang dilakukan berupa simulasi sistem otomatisasi sederhana menggunakan alat peraga, sehingga siswa dapat melihat secara langsung proses kerja teknologi tersebut. Kegiatan ini bertujuan untuk memperkuat pemahaman konseptual melalui pengalaman langsung.

Tahap Pendampingan

Pada tahap pendampingan, siswa dibagi ke dalam beberapa kelompok untuk melakukan diskusi dan mini project berbasis *problem solving*. Setiap kelompok diminta mengidentifikasi permasalahan sederhana di lingkungan sekitar, kemudian merancang solusi berbasis konsep *engineering*. Proses ini bertujuan untuk melatih kemampuan analisis, kreativitas, serta penerapan konsep STEM secara langsung dalam konteks nyata.

Dokumentasi kegiatan pendampingan ditunjukkan pada Gambar 2 yang memperlihatkan keterlibatan aktif siswa dalam proses diskusi dan perancangan solusi.

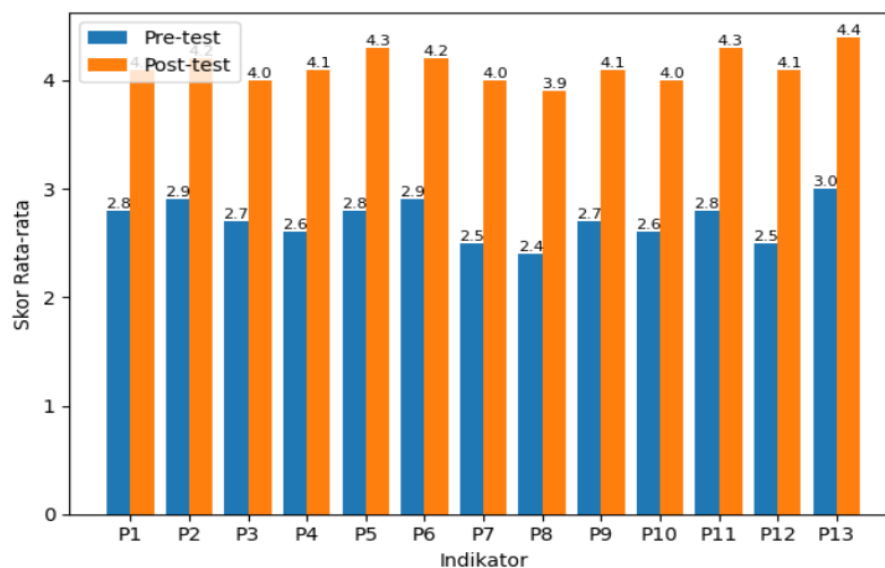


Gambar 2. Kegiatan Pendampingan dan Diskusi Kelompok Siswa

Pada tahap ini, hasil kegiatan menunjukkan bahwa siswa mampu mengembangkan ide-ide kreatif dan mulai memahami proses perancangan solusi secara sistematis. Selain itu, terjadi peningkatan interaksi dan kolaborasi antar siswa selama proses diskusi berlangsung. Hal ini mengindikasikan bahwa pendekatan berbasis STEM efektif dalam mendorong pembelajaran aktif serta meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kerja sama tim siswa.

Tahap Evaluasi

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil pre-test dan post-test untuk mengetahui peningkatan pemahaman siswa setelah mengikuti kegiatan. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan skor rata-rata siswa, yang mengindikasikan bahwa metode edukasi berbasis STEM efektif dalam meningkatkan literasi *engineering*. Data hasil evaluasi disajikan dalam bentuk Gambar 3 perbandingan untuk memperjelas capaian kegiatan.



Gambar 3. Hasil Evaluasi Pre-test dan Post-test Kegiatan PKM

Gambar 3 di atas menunjukkan hasil perbandingan yang jelas antara hasil pre-test dan post-test pada seluruh indikator (P1–P13), di mana seluruh nilai post-test mengalami peningkatan dibandingkan dengan pre-test. Rata-rata skor meningkat dari 2,7 menjadi 4,1 dengan persentase peningkatan sebesar 52%, yang mengindikasikan adanya peningkatan pemahaman yang signifikan. Peningkatan tertinggi terlihat pada indikator P12 (64%), P8 (63%), dan P7 (60%), yang menunjukkan peningkatan pemahaman siswa terkait karier teknik dan teknologi modern. Secara visual, grafik memperlihatkan tren kenaikan yang konsisten pada setiap indikator setelah pelaksanaan kegiatan.

Hasil tersebut sejalan dengan berbagai kegiatan PKM dan penelitian sebelumnya yang menggunakan pendekatan STEM berbasis *problem solving* dan *project-based learning* (Chiu et al., 2025; Imanda et al., 2025; Rabiudin et al., 2024; Roehrig et al., 2021). Studi terdahulu menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan pemahaman konsep teknologi melalui pembelajaran aktif (Ahmad et al., 2024; Hutabarat et al., 2024; Putra et al., 2025). Pendekatan yang mengintegrasikan teori dengan praktik, seperti demonstrasi dan *mini project* dalam kegiatan PKM ini, terbukti mampu memperkuat literasi *engineering* siswa (Imanda et al., 2025; Wulandari et al., 2023). Dengan demikian, peningkatan hasil yang diperoleh memperkuat temuan bahwa pendekatan STEM aplikatif relevan dan efektif diterapkan pada siswa sekolah menengah (Patras et al., 2024; Siostrom et al., 2026; Yang et al., 2025).

Tahap Pelaporan

Tahap pelaporan dilakukan dengan menyusun hasil kegiatan dalam bentuk laporan PKM dan artikel ilmiah. Data dianalisis secara deskriptif dan disajikan melalui tabel, grafik, serta dokumentasi untuk menggambarkan hasil kegiatan secara jelas dan sistematis.

Tabel 2. Kontribusi dan Luaran Kegiatan PKM

No.	Aspek Kontribusi	Uraian	Dampak yang Diharapkan
1	Referensi Program	Menjadi acuan pelaksanaan kegiatan serupa di sekolah lain	Replikasi program di berbagai institusi
2	Pengembangan Model Edukasi	Model edukasi berbasis STEM yang aplikatif	Peningkatan kualitas pembelajaran
3	Peningkatan Kompetensi Siswa	Meningkatkan pemahaman <i>engineering</i> dan teknologi	Siswa lebih siap menghadapi masa depan
4	Inovasi Pembelajaran	Integrasi teori dan praktik melalui pendekatan STEM	Pembelajaran lebih interaktif dan kontekstual
5	Keberlanjutan Program	Dasar pengembangan kegiatan lanjutan berbasis STEM	Program berkelanjutan di lingkungan sekolah

Tabel 2 menunjukkan bahwa kegiatan PKM ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan edukasi berbasis STEM di tingkat sekolah menengah. Aspek referensi program menegaskan bahwa kegiatan ini dapat dijadikan acuan untuk pelaksanaan program serupa di sekolah lain, sehingga memungkinkan adanya replikasi yang lebih luas. Selain itu, pengembangan model edukasi berbasis STEM yang aplikatif menjadi nilai penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran yang lebih kontekstual dan relevan dengan perkembangan teknologi. Peningkatan kompetensi siswa terlihat dari kemampuan mereka dalam memahami konsep *engineering* serta penerapannya dalam

kehidupan sehari-hari. Inovasi pembelajaran melalui integrasi teori dan praktik juga mendorong terciptanya proses belajar yang lebih interaktif dan menarik. Lebih lanjut, aspek keberlanjutan program menjadi dasar penting bagi pengembangan kegiatan lanjutan, sehingga dampak dari PKM ini tidak hanya bersifat sementara, tetapi juga dapat terus dikembangkan secara berkelanjutan di lingkungan sekolah.

Kesimpulan

Kegiatan PKM berupa edukasi *engineering* berbasis STEM di SMA Negeri 10 Makassar menunjukkan hasil yang positif dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep teknologi dan rekayasa. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan rata-rata skor dari 2,7 pada pre-test menjadi 4,1 pada post-test, dengan persentase peningkatan sebesar 52%. Peningkatan signifikan juga terlihat pada beberapa indikator utama, seperti pemahaman karier teknik (64%), konsep *Internet of Things* (63%), dan teknologi modern seperti AI (60%). Selain itu, kegiatan pendampingan melalui *mini project* berbasis *problem solving* terbukti mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, serta kolaborasi siswa. Dengan demikian, pendekatan STEM yang diterapkan secara interaktif dan aplikatif dinilai efektif dalam mendukung kesiapan siswa menghadapi tantangan teknologi masa depan. Berdasarkan hasil tersebut, direkomendasikan agar kegiatan serupa dapat dilaksanakan secara berkelanjutan dan diperluas ke sekolah lain dengan penyesuaian konteks lokal. Selain itu, perlu adanya integrasi pendekatan STEM dalam kurikulum pembelajaran secara lebih sistematis serta dukungan sarana dan pelatihan bagi guru. Pengembangan program lanjutan berbasis praktik dan teknologi sederhana juga disarankan untuk memperkuat pemahaman siswa secara berkesinambungan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada SMA Negeri 10 Makassar sebagai mitra kegiatan atas dukungan dan partisipasi dalam pelaksanaan PKM ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Industri Universitas Negeri Makassar. Penulis turut mengapresiasi semua pihak yang telah membantu, sehingga kegiatan ini dapat berjalan dengan baik dan memberikan manfaat bagi peningkatan literasi *engineering* siswa.

Referensi

- Ahmad, A., Herdianzah, Y., Safutra, N. I., & Malik, R. (2024). Implementasi keselamatan dan kesehatan kerja pada proses pemilahan sampah bagi pemulung di tempat pembuangan akhir Tamangapa Kota Makassar. *Idea Pengabdian Masyarakat*, 4(1), 37–44.
- Chiu, T. K. F., Li, Y., Ding, M., Hallström, J., & Koretsky, M. D. (2025). A decade of research contributions and emerging trends in the International Journal of STEM Education. *International Journal of STEM Education*, 12(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40594-025-00533-7>

- Fauziah, Riana, R. I., Ilmi, N., Hamris, H., & Anggita, S. A. (2025). Edukasi Ergonomi K3 bagi Kelompok Penjahit Rumahan Perumnas Sudiang. *Jannah: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 1(4).
- Fole, A., Safitri, N., & Aini, N. ' (2026). Peningkatan Kesadaran Keselamatan Dan Keamanan Teknologi Pada Siswa Sma Melalui Program Sosialisasi Berbasis Engineering. *Martabe: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 9(2), 702–710. <https://doi.org/10.31604/jpm.v9i2.702-710>
- Gorap, S. I., Surur, A. A. Z., Kartini, K., Riana, R. I., & Ilmi, N. (2025). Penguatan Literasi Kesehatan Masyarakat Melalui Kampanye Edukasi Digital dan Luring. *Pedamas (Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 3(6), 2170–2176.
- Hapidin, H., Gunarti, W., & Pujiarti, Y. (2025). Pelatihan Kompetensi Pedagogik Guru Dalam Pembelajaran Literasi Steam Pada Kurikulum Merdeka Di Kepulauan Seribu. *Jurnal AbdiMas Nusa Mandiri*, 7(1), 80–88. <https://doi.org/10.33480/abdimas.v7i1.5914>
- Hughson, T. A., & Wood, B. E. (2022). The OECD Learning Compass 2030 and the future of disciplinary learning: a Bernsteinian critique. *Journal of Education Policy*, 37(4), 634–654. <https://doi.org/10.1080/02680939.2020.1865573>
- Hutabarat, C. E. M., Wulanningtyas, M. E., Hapsara, S. A., & Yuliana, E. (2024). Pembelajaran Berbasis Proyek STEM “Water Level Sensor” Dalam Mendukung Penguatan Profil Pelajar Pancasila Pada Kurikulum Merdeka. *Subaktya: Unpar Community Service Journal*, 1(2), 40–47. <https://doi.org/10.26593/sucs.v1i2.7974.40-47>
- Imanda, R., Unaida, R., Fakhrah, F., & Rahmi, A. (2025). Pendampingan Pembelajaran Stem Berbasis Digital Untuk Meningkatkan Kreativitas Siswa SMA. *Jurnal Pengabdian Teknik Industri*, 4(2), 26–32. <https://doi.org/10.37905/jpti.v4i2.37238>
- Ingram, J., Stiff, J., Cadwallader, S., Lee, G., & Kayton, H. (2023). PISA 2022: National Report for England. Research Report. *UK Department for Education*.
- Jordan, A., Julianto, A., & Firmansyah, M. A. (2025). Integrating Digital Literacy into Curriculum Design a Framework for 21st Century Learning. *Journal of Technology, Education & Teaching (J-TECH)*, 1(2), 79–85. <https://doi.org/10.62734/jtech.v1i2.418>
- Kavak, Ş. (2023). The Evolution and Global Significance of STEM Education in The 21st Century. *The Journal of International Scientific Researches*, 8(3), 410–415. <https://doi.org/10.23834/isrjournal.1342255>
- Patras, Y. E., Yolanita, C., Wildan, D. A., & Fajrudin, L. (2024). Pembelajaran Berbasis STEM di Sekolah Dasar Guna Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dalam Rangka Menyongsong Pencapaian Kompetensi Siswa Abad 21. *Kalam Cendekia: Jurnal Ilmiah Kependidikan*, 12(2), 857–867. <https://doi.org/10.20961/jkc.v12i2.87662>
- Putra, D. P., Wahyuddin, W., Ulvah, U., & Murniati, M. (2025). Pemberdayaan Sekolah melalui Penggunaan Teknologi VirtuphyLab Berbasis STEM pada Pembelajaran Fisika di SMA Muhammadiyah Lempangan Kabupaten Gowa. *Abdimas Langkanae*, 5(2), 796–810. <https://doi.org/10.53769/jpm.v5i2.558>
- Rabiudin, Darmawan, A., & Widyastuti, T. (2024). Strengthening Students' Career Interest in STEM Fields through Career Seminars. *Al-Khidmah : Jurnal Pengabdian dan Pendampingan Masyarakat*, 4(1), 1–17. <https://doi.org/10.47945/al-khidmah.v4i1.1402>
- Riana, R. I., Ilmi, N., Muflihat, S., & Baharuddin, S. R. (2025). Pelatihan Penulisan Sitasi Menggunakan Aplikasi Mendeley Untuk Mahasiswa Tingkat Akhir. *Jurnal Hasil-Hasil*

- Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 4(1), 69–76.
<https://doi.org/10.35880/jhp2m.v4i1.8119>
- Roehrig, G. H., Dare, E. A., Ellis, J. A., & Ring-Whalen, E. (2021). Beyond the basics: a detailed conceptual framework of integrated STEM. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 3(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s43031-021-00041-y>
- Roy, G., Sikder, S., & Danaia, L. (2025). Adopting scientific literacy in early years from empirical studies on formal education: a systematic review of the literature. *International Journal of STEM Education*, 12(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40594-025-00547-1>
- Saleh, A., Herdianzah, Y., Riana, R. I., Fole, A., & Rauf, N. (2025). Pelatihan Manajemen Mutu Dan Efisiensi Biaya Untuk Optimalisasi Proses Produksi di UMKM Dapoer Sani. *KATALIS : Jurnal Inovasi Pengabdian Masyarakat*, 1(3), 86–94.
<https://doi.org/10.63288/jipm.v1i3.12>
- Siostrom, E., Strachan, A., Marshman, M., Scott, J. J., & McMaster, N. (2026). Australian teacher educators' perceptions of integrated STEM practices and barriers in primary initial teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 176, 105540.
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2026.105540>
- Terzieva, V., Paunova-Hubenova, E., & Slavcheva, S. (2024). Trends, Challenges, Opportunities, and Innovations in STEM Education. *IFAC-PapersOnLine*, 58(3), 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.134>
- Wulandari, R. Y., Muhlis, M., & Handayani, B. S. (2023). Model Pembelajaran Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Berbasis Proyek dalam Pemahaman Konsep Siswa SMAN 1 Empang Pada Materi Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 8(2), 1025–1034.
<https://doi.org/10.29303/jipp.v8i2.1105>
- Yang, Y., Sun, W., Sun, D., & Salas-Pilco, S. Z. (2025). Navigating the AI-Enhanced STEM education landscape: a decade of insights, trends, and opportunities. *Research in Science & Technological Education*, 43(3), 693–717.
<https://doi.org/10.1080/02635143.2024.2370764>