



## Strategi Pendidikan STEM dalam Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah di Sekolah Menengah

Greget Widhiati<sup>1\*</sup>, Widya Aryani<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup> Prodi Pendidikan, Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Indonesia

\*Penulis Korespondensi: [greget.stekom@gmail.com](mailto:greget.stekom@gmail.com)

**Abstract.** *This study examines the effectiveness of STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) education in enhancing problem-solving skills among high school students. With the increasing demand for critical thinking and problem-solving abilities in the workforce, STEM education has become a crucial approach to preparing students for future challenges. The study aims to evaluate how project-based STEM curricula impact students' creativity, analytical skills, and overall problem-solving capabilities. Using a quasi-experimental design with a control group, the research was conducted with high school students who participated in STEM-based lessons involving the 5E instructional model. Data collection involved pre- and post-tests, classroom observations, and semi-structured interviews to measure changes in student skills. The findings indicate that students exposed to STEM education demonstrated significant improvements in problem-solving, creativity, and analytical thinking compared to their peers in traditional lecture-based classes. The study highlights the advantages of project-based learning in promoting active student engagement and fostering skills necessary for addressing real-world problems. These results suggest that STEM education can be more effective than traditional methods in cultivating essential 21st-century skills. The study recommends the broader implementation of STEM strategies in secondary education and further exploration of the long-term impact of STEM learning on various skills required in the professional world.*

**Keywords:** *Creativity; Problem-solving skills; Project-based learning; Secondary education; STEM education.*

**Abstrak.** Penelitian ini mengkaji efektivitas pendidikan STEM (Sains, Teknologi, Rekayasa, dan Matematika) dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah pada siswa sekolah menengah. Dengan meningkatnya kebutuhan akan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah di dunia kerja, pendidikan STEM menjadi pendekatan penting untuk mempersiapkan siswa menghadapi tantangan di masa depan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana kurikulum berbasis proyek STEM mempengaruhi kreativitas, keterampilan analitis, dan kemampuan pemecahan masalah siswa. Menggunakan desain eksperimen kuasi dengan kelompok kontrol, penelitian ini dilakukan pada siswa sekolah menengah yang mengikuti pembelajaran berbasis STEM yang melibatkan model instruksional 5E. Pengumpulan data dilakukan melalui tes pra dan pasca, observasi kelas, dan wawancara semi-terstruktur untuk mengukur perubahan keterampilan siswa. Temuan penelitian menunjukkan bahwa siswa yang terlibat dalam pendidikan STEM mengalami peningkatan signifikan dalam keterampilan pemecahan masalah, kreativitas, dan berpikir analitis dibandingkan dengan siswa yang mengikuti pembelajaran ceramah tradisional. Penelitian ini menyoroti keunggulan pembelajaran berbasis proyek dalam mendorong keterlibatan aktif siswa dan mengembangkan keterampilan yang diperlukan untuk menghadapi masalah dunia nyata. Hasil ini menunjukkan bahwa pendidikan STEM lebih efektif daripada metode tradisional dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21 yang penting. Penelitian ini menyarankan penerapan lebih luas strategi pendidikan STEM di sekolah menengah dan perluasan penelitian untuk mengeksplorasi dampak jangka panjang pendidikan STEM terhadap keterampilan lain yang relevan di dunia profesional.

**Kata kunci:** Keterampilan pemecahan masalah; Kreativitas; Pembelajaran berbasis proyek; Pendidikan menengah; Pendidikan STEM.

### 1. LATAR BELAKANG

Pendidikan STEM (Sains, Teknologi, Engineering, dan Matematika) merupakan pendekatan pendidikan yang mengintegrasikan empat disiplin ilmu ini untuk mengembangkan keterampilan yang diperlukan dalam dunia modern (Belland, 2013). Dalam konteks pendidikan abad ke-21, pendidikan STEM bertujuan untuk mempersiapkan siswa dengan keterampilan kritis, kreativitas, dan kemampuan pemecahan masalah yang sangat penting bagi keberhasilan

dalam dunia kerja (Xu & Zhou, 2022). Dengan mendorong pembelajaran berbasis proyek dan pemecahan masalah yang relevan dengan kehidupan sehari-hari, pendidikan STEM memberikan kesempatan bagi siswa untuk mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam dan aplikatif terhadap materi pelajaran (Gou & Hu, 2023).

Pendidikan STEM memainkan peran yang sangat penting dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21, yang mencakup kemampuan untuk berpikir kritis, berkolaborasi, dan berinovasi (Ilma, Wilujeng, Widowati, Nurtanto, & Kholifah, 2023). Keterampilan ini menjadi dasar penting dalam menghadapi tantangan global dan mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (Badshah, Nasralla, Jalal, & Farman, 2023). Dengan memadukan konsep-konsep dari berbagai disiplin ilmu, pendidikan STEM memungkinkan siswa untuk melihat hubungan antar disiplin tersebut dan mempersiapkan mereka untuk tantangan kompleks yang akan mereka hadapi di masa depan (Madahae, Pisapak, & Thanyasirikul, 2021).

Namun, pendidikan konvensional sering kali memiliki kekurangan dalam mempersiapkan siswa dengan keterampilan yang relevan dengan dunia kerja saat ini. Kurikulum tradisional cenderung lebih fokus pada penghafalan dan penerapan prosedur yang sudah ada, yang sering kali tidak cukup untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah yang dibutuhkan di dunia nyata (Engberg & Wolniak, 2013). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada relevansi penerapan pendidikan STEM di sekolah menengah, yang merupakan tahap penting dalam membekali siswa dengan keterampilan yang dibutuhkan untuk pendidikan tinggi dan dunia kerja (Ilma et al., 2023).

Penerapan pendidikan STEM di sekolah menengah dapat membantu siswa mengembangkan keterampilan teknis dan non-teknis yang diperlukan untuk sukses di masa depan, sekaligus meningkatkan minat mereka dalam karir di bidang sains, teknologi, dan rekayasa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas pendidikan STEM dalam mengembangkan keterampilan pemecahan masalah di sekolah menengah, serta bagaimana penerapannya dapat mengatasi tantangan yang ada dalam pendidikan konvensional (Xu et al., 2023).

Pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) memiliki peran krusial dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah yang diperlukan dalam dunia kerja dan kehidupan sehari-hari. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas strategi pendidikan STEM dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah di sekolah menengah. Berbagai model pengajaran seperti model 5E, STEMEN, dan pembelajaran berbasis proyek (PBL) telah terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan tersebut. Model 5E (Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate) memberikan pendekatan

terstruktur yang membantu siswa mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah (Mustafa, Ismail, Tasir, & Mohamad Said, 2016). Model STEMEN, yang menggabungkan STEM dengan prinsip-prinsip neurosains pendidikan, juga meningkatkan keterampilan matematika dan pemecahan masalah (Mustafa et al., 2016). Selain itu, PBL memungkinkan siswa untuk mengerjakan proyek nyata yang kompleks, yang pada gilirannya mengembangkan keterampilan kolaborasi dan komunikasi yang esensial dalam pemecahan masalah (Turner, Logan, & Wilks, 2022).

Penelitian ini menggunakan desain kuasi-eksperimental dengan kelompok kontrol dan eksperimen untuk mengukur perkembangan keterampilan melalui tes, observasi, dan wawancara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi model 5E dan STEMEN secara signifikan meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa, sementara PBL berperan dalam meningkatkan keterampilan kolaborasi dan komunikasi (Turner et al., 2022).

## **2. KAJIAN TEORITIS**

### **Teori Pendidikan STEM**

Pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) adalah pendekatan multidisiplin yang mengintegrasikan pengetahuan dan keterampilan dari berbagai bidang untuk memecahkan masalah kompleks dan mendorong inovasi (Murphy, MacDonald, & Danaia, 2020). Konsep utama dari pendidikan STEM meliputi pengetahuan, keterampilan, dan keterlibatan. Pengetahuan dalam pendidikan STEM fokus pada pemahaman yang mendalam mengenai sains, teknologi, teknik, dan matematika, serta kemampuan untuk menghadapi ketidakpastian dalam pengetahuan tersebut (Metpattarahiran, 2021). Keterampilan yang dikembangkan melalui pendidikan STEM termasuk pemecahan masalah, kreativitas, dan berpikir kritis, yang melampaui disiplin STEM individu (Oon, Wan, & Lin, 2023). Keterlibatan dalam pendidikan STEM mencakup dimensi afektif, termasuk motivasi dan emosi akademik siswa (Murphy et al., 2020).

Komponen penting lainnya dalam pendidikan STEM mencakup integrasi disiplin, penggunaan representasi ganda, serta keterlibatan dengan masalah yang relevan dan realistis. Proses desain teknik dan kolaborasi aktif juga memainkan peran penting dalam memfasilitasi pembelajaran yang efektif dalam konteks STEM (Metpattarahiran, 2021). Pembelajaran yang berpusat pada siswa menjadi pendekatan yang mendukung pengembangan keterampilan transdisipliner ini.

Pendidikan STEM memainkan peran krusial dalam mengembangkan keterampilan pemecahan masalah dan berpikir kritis. Model instruksional seperti model 5E (Engage,

Explore, Explain, Elaborate, Evaluate) telah terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan siswa dalam kedua keterampilan ini melalui pengalaman berbasis proyek (Oon et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa siswa yang terlibat dalam kegiatan STEM berbasis model 5E menunjukkan peningkatan signifikan dalam keterampilan pemecahan masalah dan berpikir kritis (Gagandeep & Verma, 2023).

Selain itu, tugas berbasis desain dalam pendidikan STEM, seperti proyek desain untuk bencana yang dilakukan di National Taiwan Normal University, juga mendorong kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Pendekatan berbasis masalah (Problem-Based Learning) dalam pendidikan STEM telah terbukti meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dengan memberikan pengalaman yang lebih nyata dan relevan (Chan & Nagatomo, 2023). Dengan demikian, pendidikan STEM yang mengintegrasikan pembelajaran interdisipliner memberikan pengalaman belajar yang autentik yang membantu siswa mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah yang diperlukan untuk menghadapi tantangan global dan berkontribusi pada masyarakat (Murphy et al., 2020).

### **Penelitian Terkait**

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) memiliki dampak signifikan dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan pemecahan masalah siswa. Misalnya, model instruksional 5E yang diterapkan dalam pendidikan STEM di sekolah menengah telah terbukti efektif dalam mengembangkan keterampilan pemecahan masalah dan berpikir kritis (Ridley, Ngnepieba, & de Silva, 2021). Selain itu, integrasi pendidikan STEM secara umum juga menunjukkan peningkatan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, serta hasil belajar siswa secara keseluruhan (Khalil, Tairab, Qablan, Alarabi, & Mansour, 2023). Penelitian lainnya menunjukkan bahwa pengajaran biologi yang berorientasi STEM dapat meningkatkan kompetensi pemecahan masalah dan kreativitas siswa (Karamustafaoğlu & Pektaş, 2023).

Beberapa studi telah membandingkan efektivitas metode pembelajaran STEM dengan metode tradisional seperti ceramah. Misalnya, dalam sebuah studi yang membandingkan metode pembelajaran aktif dengan ceramah tradisional dalam pengajaran kalkulus, ditemukan bahwa metode pembelajaran aktif menghasilkan skor rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan ceramah (Marshall, Nykamp, & Momary, 2014). Studi lain menunjukkan bahwa metode pembelajaran berbasis kasus interaktif lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman langsung siswa dibandingkan dengan metode ceramah tradisional (Ridley et al., 2021). Namun,

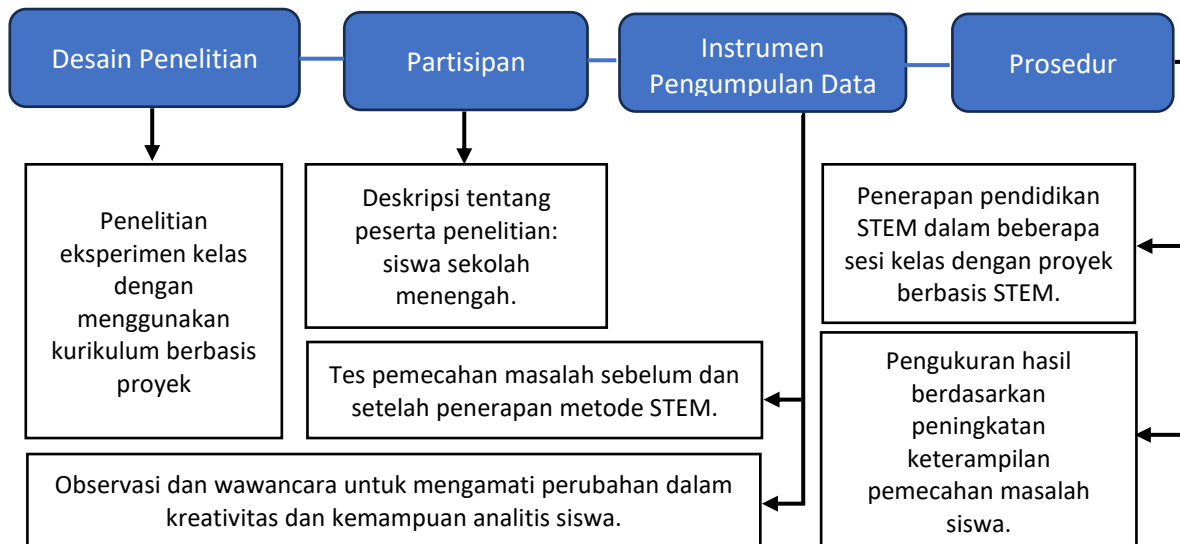
ada juga penelitian yang menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam hasil belajar antara metode pembelajaran aktif dan ceramah tradisional.

Pendidikan STEM memiliki dampak positif yang signifikan terhadap berbagai keterampilan siswa, termasuk kreativitas, pemecahan masalah, dan analisis. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pendidikan STEM dapat meningkatkan kreativitas siswa, terutama dalam aspek kelancaran, fleksibilitas, dan orisinalitas berpikir (Karamustafaoğlu & Pektaş, 2023). Selain itu, pendidikan STEM juga terbukti meningkatkan keterampilan pemecahan masalah dan analisis siswa. Misalnya, kegiatan STEM berbasis penyelidikan di luar lingkungan sekolah dapat meningkatkan keterampilan pemecahan masalah kreatif dan kesadaran STEM siswa (Karamustafaoğlu & Pektaş, 2023). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pendidikan STEM dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan analitis siswa, yang penting untuk kesiapan profesional mereka (Khalil et al., 2023).

### **3. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen kelas dengan kurikulum berbasis proyek untuk mengevaluasi efektivitas pendidikan STEM dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa di sekolah menengah. Pendekatan ini memungkinkan siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan pemecahan masalah melalui proyek nyata. Partisipan dalam penelitian ini adalah siswa sekolah menengah yang dibagi menjadi dua kelompok: kelompok eksperimen yang mengikuti kurikulum berbasis proyek STEM dan kelompok kontrol yang mengikuti kurikulum tradisional. Tujuan pemilihan ini adalah untuk membandingkan keterampilan pemecahan masalah, kreativitas, dan analisis antara kedua kelompok.

Data dikumpulkan melalui tes pemecahan masalah yang dilakukan sebelum dan setelah penerapan metode STEM. Selain tes, observasi dan wawancara juga digunakan untuk memantau perubahan dalam kreativitas dan kemampuan analitis siswa selama proses pembelajaran. Pendidikan STEM diterapkan dalam beberapa sesi kelas dengan proyek berbasis STEM, yang mengedepankan pemecahan masalah yang relevan dengan kehidupan nyata. Hasil penelitian akan diukur dengan membandingkan peningkatan keterampilan pemecahan masalah siswa, baik sebelum maupun setelah penerapan metode STEM.



**Gambar 1.** Struktur diagram Alur Metodologi Penelitian.

### **Desain Penelitian**

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen kelas dengan pendekatan kurikulum berbasis proyek. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas implementasi pendidikan STEM dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa di sekolah menengah. Kurikulum berbasis proyek dipilih karena memungkinkan siswa untuk bekerja dalam konteks nyata yang mendorong keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan pemecahan masalah, yang merupakan keterampilan utama dalam pendidikan STEM. Model instruksional seperti 5E (Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate) yang terintegrasi dalam pendidikan STEM telah terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah dan berpikir kritis siswa.

### **Partisipan**

Partisipan dalam penelitian ini adalah siswa sekolah menengah yang terdaftar dalam program pendidikan STEM. Siswa ini dipilih secara acak untuk mengikuti eksperimen dalam kelompok eksperimen dan kontrol. Kelompok eksperimen akan menerima kurikulum berbasis proyek STEM, sementara kelompok kontrol akan mengikuti kurikulum tradisional. Penelitian ini dirancang untuk mengukur perbedaan dalam keterampilan pemecahan masalah, kreativitas, dan kemampuan analitis antara kedua kelompok. Penentuan partisipan diharapkan memberikan representasi yang seimbang tentang populasi siswa sekolah menengah dalam konteks pendidikan STEM.

### **Instrumen Pengumpulan Data**

Instrumen utama untuk mengumpulkan data adalah tes pemecahan masalah yang dilakukan sebelum dan setelah penerapan metode STEM. Tes ini dirancang untuk mengukur peningkatan keterampilan pemecahan masalah siswa, yang menjadi fokus utama dalam pendidikan STEM. Selain tes, observasi kelas dan wawancara juga digunakan untuk mengamati perubahan dalam kreativitas dan kemampuan analitis siswa. Observasi ini memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi secara langsung bagaimana siswa terlibat dalam pembelajaran berbasis proyek STEM dan bagaimana mereka menerapkan keterampilan berpikir kritis dalam menyelesaikan masalah.

### **Prosedur**

Prosedur penelitian ini melibatkan penerapan pendidikan STEM dalam beberapa sesi kelas yang menggunakan proyek berbasis STEM. Setiap sesi kelas akan mencakup aktivitas yang melibatkan pemecahan masalah yang relevan dengan kehidupan sehari-hari, dengan pendekatan pembelajaran aktif yang berfokus pada kolaborasi dan aplikasi praktis dari konsep-konsep STEM. Pengukuran hasil akan dilakukan dengan membandingkan hasil tes pemecahan masalah sebelum dan setelah penerapan metode STEM, untuk menilai peningkatan keterampilan pemecahan masalah siswa. Prosedur ini diharapkan dapat menunjukkan dampak positif dari pendekatan pendidikan STEM terhadap keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah siswa.

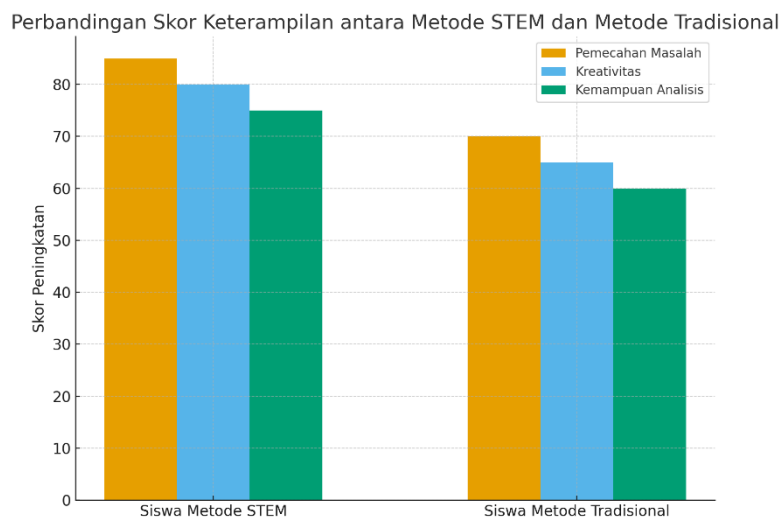
## **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil**

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan dalam kemampuan pemecahan masalah siswa setelah mengikuti pembelajaran berbasis STEM. Siswa yang terlibat dalam kurikulum STEM berbasis proyek menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan menyelesaikan masalah kompleks. Selain itu, ada peningkatan yang jelas dalam kreativitas siswa, yang tercermin dalam cara mereka mengajukan solusi inovatif terhadap masalah yang diberikan. Kemampuan analisis siswa juga menunjukkan kemajuan, di mana mereka mampu mendekati masalah dengan pendekatan yang lebih sistematis dan berbasis data. Hal ini mengindikasikan bahwa pembelajaran berbasis STEM berhasil mengembangkan keterampilan yang relevan dengan tuntutan dunia kerja masa depan.

## Pembahasan

Jika dibandingkan dengan metode ceramah tradisional, pembelajaran berbasis STEM terbukti lebih efektif dalam mengembangkan keterampilan pemecahan masalah siswa. Siswa yang mengikuti pembelajaran STEM berbasis proyek memperoleh hasil yang lebih baik dalam tes pemecahan masalah dibandingkan dengan mereka yang mengikuti metode ceramah. Hal ini dapat dijelaskan karena metode STEM mengedepankan pendekatan pembelajaran aktif yang memungkinkan siswa untuk terlibat langsung dalam proses pembelajaran melalui proyek nyata, sementara metode ceramah cenderung lebih pasif dan fokus pada penyampaian informasi dari guru ke siswa. Pendidikan STEM memotivasi siswa untuk berpikir kritis dan kreatif karena mereka dihadapkan pada masalah yang relevan dan menantang, yang memerlukan solusi inovatif dan pemikiran mendalam, berbeda dengan pendekatan yang lebih bersifat menghafal atau menerapkan prosedur yang sudah ada. Dengan memberikan siswa kesempatan untuk bekerja dalam tim dan memecahkan masalah yang kompleks, pendidikan STEM tidak hanya meningkatkan keterampilan akademik mereka, tetapi juga mempersiapkan mereka untuk menghadapi tantangan nyata di dunia profesional.



**Gambar 2.** Diagram Perbandingan Skor Keterampilan Antara Metode STEM Dan Metode Tradisional.

Berikut adalah grafik yang menunjukkan perbandingan peningkatan skor keterampilan antara siswa yang mengikuti pembelajaran berbasis STEM dan siswa yang mengikuti metode tradisional. Grafik ini menggambarkan peningkatan yang lebih signifikan dalam keterampilan pemecahan masalah, kreativitas, dan kemampuan analisis pada kelompok yang mengikuti pembelajaran STEM berbasis proyek, dibandingkan dengan kelompok yang mengikuti metode ceramah tradisional.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendidikan STEM terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa di sekolah menengah. Siswa yang terlibat dalam kurikulum berbasis proyek STEM menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam keterampilan pemecahan masalah, kreativitas, dan kemampuan analitis mereka. Implementasi kurikulum berbasis proyek juga lebih efektif dalam mendorong kreativitas dan kemampuan analitis siswa jika dibandingkan dengan metode pembelajaran tradisional, seperti ceramah. Pendekatan ini memungkinkan siswa untuk bekerja dalam konteks nyata yang mendorong keterampilan berpikir kritis, kolaborasi, dan pemecahan masalah yang lebih sistematis.

### Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini, disarankan agar penerapan strategi pendidikan STEM diperluas ke lebih banyak sekolah menengah untuk meningkatkan keterampilan penting bagi siswa yang dibutuhkan di masa depan. Selain itu, perluasan penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi dampak jangka panjang pendidikan STEM terhadap keterampilan lain yang relevan dengan dunia kerja, seperti keterampilan teknologi, komunikasi, dan kewirausahaan. Penerapan pendidikan STEM yang lebih luas dapat memberikan manfaat yang lebih besar dalam mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan profesional dan global.

## DAFTAR REFERENSI

- Badshah, A., Nasralla, M. M., Jalal, A., & Farman, H. (2023). Smart education in smart cities: Challenges and solution. *Proceedings of 2023 IEEE International Smart Cities Conference, ISC2 2023*. <https://doi.org/10.1109/ISC257844.2023.10293615>
- Belland, B. R. (2013). Mindtools for argumentation, and their role in promoting ill-structured problem solving. In *Learning, problem solving, and mindtools: Essays in honor of David H. Jonassen* (pp. 229–246). <https://doi.org/10.4324/9780203111062-20>
- Chan, M.-N., & Nagatomo, D. (2023). Research of problem-solving ability development through STEM education with design for disaster projects. *AIP Conference Proceedings, 2685*, 020010. <https://doi.org/10.1063/5.0111726>
- Dedmon, S. (2019). Going beyond conventional problem solving for two railroad wheel defects. *2019 Joint Rail Conference, JRC 2019*. <https://doi.org/10.1115/JRC2019-1312>
- Engberg, M. E., & Wolniak, G. C. (2013). College student pathways to the STEM disciplines. *Teachers College Record, 115*(1), 010304. <https://doi.org/10.1177/016146811311500102>
- Gagandeep, & Verma, J. (2023). Analyzing meta-cognitive and critical thinking to develop

- skills and re-skills for STEM literacy. In *STEM: A Multi-Disciplinary Approach to Integrate Pedagogies, Inculcate Innovations and Connections* (pp. 79–92). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85183501470&partnerID=40&md5=943c24c5457251e030ef8d838d9c56a6>
- Gou, P., & Hu, X. (2023). Current status and hotspots of STEM education research revealed in open vision. *ACM International Conference Proceeding Series*, 1041–1045. <https://doi.org/10.1145/3660043.3660228>
- Ilma, A. Z., Wilujeng, I., Widowati, A., Nurtanto, M., & Kholifah, N. (2023). A systematic literature review of STEM education in Indonesia (2016-2021): Contribution to improving skills in 21st century learning. *Pegem Egitim ve Ogretim Dergisi*, 13(2), 134–146. <https://doi.org/10.47750/pegegog.13.02.17>
- Jindal, P., Singh, A., & Aggarwal, R. (2023). STEM: A multi-disciplinary approach to integrate pedagogies, inculcate innovations and connections. In *STEM: A Multi-Disciplinary Approach to Integrate Pedagogies, Inculcate Innovations and Connections* (pp. 1–266). <https://doi.org/10.52305/UxLT2425>
- Karamustafaoglu, O., & Pektaş, H. M. (2023). Developing students' creative problem solving skills with inquiry-based STEM activity in an out-of-school learning environment. *Education and Information Technologies*, 28(6), 7651–7669. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11496-5>
- Khalil, R. Y., Tairab, H., Qablan, A., Alarabi, K., & Mansour, Y. (2023). STEM-based curriculum and creative thinking in high school students. *Education Sciences*, 13(12), 1195. <https://doi.org/10.3390/educsci13121195>
- Madahae, S., Pisapak, P., & Thanyasirikul, C. (2021). Learning design of STEM education through workshop training for Thai teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1835(1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012062>
- Marshall, L. L., Nykamp, D. L., & Momary, K. M. (2014). Impact of abbreviated lecture with interactive mini-cases vs traditional lecture on student performance in the large classroom. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 78(10), 189. <https://doi.org/10.5688/ajpe7810189>
- Metpattarahiran, C. (2021). STEM Education for Developing Undergraduates' 21st Century Skills. *Journal of Multidisciplinary in Social Sciences*, 17(3), 82–87. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85170682257&partnerID=40&md5=18cabfd497c1bbeb022f47864dd1a99b>
- Murphy, S., MacDonald, A., & Danaia, L. (2020). Sustaining STEM: A framework for effective STEM education across the learning continuum. In *STEM Education Across the Learning Continuum: Early Childhood to Senior Secondary* (pp. 9–28). [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2821-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2821-7_2)
- Mustafa, N., Ismail, Z., Tasir, Z., & Mohamad Said, M. N. H. (2016). A meta-analysis on effective strategies for integrated STEM education. *Advanced Science Letters*, 22(12), 4225–4288. <https://doi.org/10.1166/asl.2016.8111>
- Oon, P. T. E., Wan, C. F., & Lin, Y. L. (2023). The 5E pedagogical approach in integrated STEM learning. In *Cross-disciplinary STEM Learning for Asian Primary Students: Design, Practices, and Outcomes* (pp. 47–66). <https://doi.org/10.4324/9781003262237-4>

- Ridley, D., Ngnepieba, P., & de Silva, A. (2021). The doctrine of normal tendency in active learning teaching methodology: Investigations into probability distributions and averages. *SN Social Sciences*, 1(6), 144. <https://doi.org/10.1007/s43545-021-00154-1>
- Turner, A., Logan, M., & Wilks, J. (2022). Planting food sustainability thinking and practice through STEM in the garden. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(3), 1413–1439. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09655-9>
- Xu, L., Fang, S.-C., & Hobbs, L. (2023). The relevance of STEM: A case study of an Australian secondary school as an arena of STEM curriculum innovation and enactment. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21(2), 667–689. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10267-5>
- Xu, S.-R., & Zhou, S.-N. (2022). The effect of students' attitude towards science, technology, engineering, and mathematics on 21st century learning skills: A structural equation model. *Journal of Baltic Science Education*, 21(4), 706–719. <https://doi.org/10.33225/jbse/22.21.706>