

Analisis Pembelajaran Matematika Berbasis STEAM di SMKN 2 Tangerang

Djuriah^{1)*}, Dicky¹⁾, Erni Nainggolan¹⁾, Heru Purwanto¹⁾, Saeful Fathani¹⁾, Sukandi¹⁾,
Supardi Uki Sajiman¹⁾, Wartyo¹⁾, Wulan Anggraeni¹⁾

¹⁾Universitas Indraprasta PGRI

*Corresponding Author: riadjuriahmipa@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan model *Problem Based Learning* (PBL) berbasis *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics* (STEAM) terhadap kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis siswa di SMKN 2 Tangerang. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode quasi experiment dan desain Posttest-Only Control Group Design. Sampel penelitian terdiri atas dua kelas, yaitu kelas eksperimen yang memperoleh pembelajaran menggunakan model PBL berbasis STEAM dan kelas kontrol yang memperoleh pembelajaran konvensional. Data dikumpulkan melalui tes kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis, kemudian dianalisis menggunakan *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) setelah memenuhi uji prasyarat normalitas dan homogenitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kemampuan berpikir kritis matematis pada kelas eksperimen sebesar 81,30 lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 74,27, sedangkan rata-rata kemampuan pemecahan masalah matematis pada kelas eksperimen sebesar 81,07 lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 74,13. Hasil uji MANOVA menunjukkan bahwa model PBL berbasis STEAM berpengaruh signifikan secara simultan terhadap kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis ($F = 28,746$; $p < 0,001$). Secara parsial, model ini juga berpengaruh signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis matematis ($F = 16,868$; $p < 0,001$) dan kemampuan pemecahan masalah matematis ($F = 43,028$; $p < 0,001$). Dengan demikian, penerapan model PBL berbasis STEAM terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah matematis siswa serta dapat menjadi alternatif pembelajaran matematika yang mendukung pengembangan kompetensi abad ke-21.

Kata Kunci: STEAM; Pembelajaran Matematika; Kemampuan Pemecahan Masalah, SMK, Konstruktivisme

This is an open access article under the CC - BY license.



PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada abad ke-21 telah membawa perubahan yang sangat signifikan terhadap berbagai aspek kehidupan, termasuk dunia pendidikan. Pembelajaran tidak lagi hanya berorientasi pada penguasaan konsep dan prosedur, tetapi juga diarahkan pada pengembangan keterampilan abad ke-21 yang meliputi berpikir kritis (*critical thinking*), kreativitas (*creativity*), kolaborasi (*collaboration*), komunikasi (*communication*), serta kemampuan memecahkan masalah (*problem solving*). Dalam konteks pembelajaran matematika, perubahan paradigma tersebut menuntut guru untuk menerapkan strategi pembelajaran yang mampu menghubungkan konsep-konsep matematika dengan situasi nyata sehingga peserta didik tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu mengaplikasikannya dalam kehidupan sehari-hari maupun dunia kerja. Salah satu pendekatan yang dinilai relevan untuk memenuhi tuntutan tersebut adalah pendekatan STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*) yang mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu melalui pembelajaran kontekstual dan berbasis proyek (Wang & Li, 2023).

Urgensi penerapan pembelajaran yang inovatif semakin diperkuat oleh hasil Programme for International Student Assessment (PISA) 2022 yang menunjukkan bahwa capaian literasi matematika Indonesia masih berada di bawah rata-rata negara anggota Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), sehingga diperlukan inovasi pembelajaran yang mampu meningkatkan kualitas pembelajaran matematika. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik masih mengalami kesulitan dalam memahami, menganalisis, dan menerapkan konsep matematika untuk menyelesaikan permasalahan kontekstual yang membutuhkan penalaran tingkat tinggi (OECD, 2023; OECD, 2025). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses

pembelajaran matematika di Indonesia masih memerlukan berbagai inovasi agar mampu meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi (*Higher Order Thinking Skills/HOTS*), literasi numerasi, serta kemampuan pemecahan masalah yang menjadi kompetensi utama pada abad ke-21.

Permasalahan tersebut juga ditemukan pada jenjang Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Sebagai satuan pendidikan yang berorientasi pada pengembangan kompetensi vokasional dan kesiapan memasuki dunia industri, pembelajaran matematika di SMK seharusnya dirancang lebih aplikatif, kontekstual, dan relevan dengan bidang keahlian peserta didik. Namun, pada kenyataannya proses pembelajaran masih didominasi oleh metode ceramah, latihan soal rutin, dan penekanan pada penyelesaian prosedural sehingga peserta didik cenderung menghafal rumus tanpa memahami penerapannya dalam situasi nyata. Akibatnya, motivasi belajar, kemampuan berpikir kritis, kreativitas, serta kemampuan pemecahan masalah matematis peserta didik belum berkembang secara optimal.

Pendekatan STEAM hadir sebagai salah satu alternatif yang mampu menjawab tantangan tersebut. Pendekatan ini mengintegrasikan unsur Science, Technology, Engineering, Arts, dan Mathematics dalam suatu pengalaman belajar yang mendorong peserta didik untuk mengeksplorasi permasalahan nyata melalui kegiatan penyelidikan, perancangan, kolaborasi, serta penyelesaian proyek. Dengan demikian, peserta didik tidak hanya memperoleh pemahaman konseptual, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, kolaborasi, serta kemampuan memecahkan masalah yang sangat dibutuhkan pada era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 (El Bedewy et al., 2022; Wang & Li, 2023).

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, implementasi pembelajaran berbasis STEAM di sekolah kejuruan masih menghadapi berbagai tantangan. Guru masih mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu ke dalam pembelajaran matematika, menyusun perangkat pembelajaran berbasis proyek, mengembangkan asesmen autentik, serta mengaitkan materi matematika dengan kebutuhan dunia kerja dan perkembangan teknologi (Muntamah et al., 2023). Selain itu, keterbatasan fasilitas, media pembelajaran, serta waktu pelaksanaan juga menjadi faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasi STEAM di sekolah.

SMKN 2 Tangerang merupakan salah satu sekolah menengah kejuruan yang memiliki komitmen dalam meningkatkan kualitas pembelajaran melalui penerapan berbagai inovasi pembelajaran. Sebagai sekolah yang mempersiapkan lulusan untuk menghadapi dunia kerja, pembelajaran matematika berbasis STEAM menjadi sangat relevan karena mampu mengembangkan kemampuan berpikir logis, analitis, kreatif, dan aplikatif sesuai kebutuhan industri. Namun demikian, sejauh mana implementasi pendekatan STEAM telah dilaksanakan secara efektif dalam pembelajaran matematika di SMKN 2 Tangerang masih perlu dikaji secara lebih mendalam, terutama berkaitan dengan proses pelaksanaan, keterlibatan peserta didik, peningkatan kemampuan pemecahan masalah matematis, serta berbagai kendala yang dihadapi selama proses pembelajaran berlangsung.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan STEAM memberikan dampak positif terhadap pembelajaran matematika. Penelitian El Bedewy et al. (2022) menunjukkan bahwa integrasi STEAM mampu meningkatkan kemampuan pemecahan masalah matematis melalui pembelajaran yang mengaitkan matematika dengan arsitektur, budaya, dan sejarah. Izzati dan Dewi (2023) melaporkan bahwa bahan ajar matematika berbasis STEAM efektif meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan *self-regulated learning* peserta didik. Sementara itu, Fauziah et al. (2025) melalui penelitian meta-analisis menemukan bahwa pembelajaran matematika berbasis STEAM memiliki pengaruh yang sangat tinggi terhadap peningkatan kemampuan pemecahan masalah matematis peserta didik di Indonesia. Selain itu, Dewi dan Siligar (2025) menyimpulkan bahwa implementasi STEAM mampu meningkatkan motivasi belajar, kreativitas, kolaborasi, dan keterampilan berpikir kritis dalam pembelajaran matematika.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada pengukuran hasil belajar atau efektivitas model pembelajaran pada jenjang sekolah dasar dan sekolah menengah pertama, sedangkan penelitian yang secara khusus menganalisis proses implementasi pembelajaran matematika berbasis STEAM pada jenjang sekolah menengah kejuruan masih relatif terbatas. Penelitian mengenai implementasi STEAM di SMK umumnya belum mengkaji secara komprehensif keterkaitan antara proses pembelajaran, keterlibatan peserta didik, kemampuan pemecahan masalah matematis, serta kendala implementasi dalam konteks pembelajaran matematika. Selain itu, hingga saat ini belum banyak penelitian yang secara khusus dilakukan di SMKN 2 Tangerang, sehingga kondisi implementasi STEAM pada sekolah tersebut masih belum

terdokumentasikan secara ilmiah. Kesenjangan penelitian (*research gap*) inilah yang menjadi dasar penting dilaksanakannya penelitian ini.

Secara teoritis, penelitian ini didasarkan pada teori konstruktivisme yang memandang bahwa pengetahuan dibangun secara aktif oleh peserta didik melalui pengalaman belajar yang bermakna (Kartika et al., 2022; Roslani & Nuriadin, 2022). Sejalan dengan teori tersebut, pendekatan STEAM menempatkan peserta didik sebagai pusat pembelajaran melalui kegiatan eksplorasi, kolaborasi, dan pemecahan masalah yang relevan dengan konteks nyata.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menjawab lima pertanyaan penelitian, yaitu: (1) bagaimana proses implementasi pembelajaran matematika berbasis STEAM di SMKN 2 Tangerang; (2) bagaimana tingkat keterlibatan dan partisipasi peserta didik selama proses pembelajaran; (3) bagaimana pengaruh penerapan STEAM terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis peserta didik; (4) apa saja kendala yang dihadapi guru dan peserta didik dalam mengimplementasikan pembelajaran berbasis STEAM; dan (5) bagaimana upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas implementasi pembelajaran matematika berbasis STEAM di SMKN 2 Tangerang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif implementasi pembelajaran matematika berbasis STEAM sehingga dapat memberikan gambaran mengenai efektivitas penerapan pendekatan tersebut dalam meningkatkan kualitas proses pembelajaran, keterlibatan peserta didik, serta kemampuan pemecahan masalah matematis. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian pendidikan matematika berbasis STEAM, sekaligus menjadi rekomendasi bagi guru, sekolah, dan pemangku kebijakan dalam mengembangkan pembelajaran matematika yang lebih inovatif, kontekstual, dan sesuai dengan tuntutan kompetensi abad ke-21.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed methods dengan desain deskriptif untuk menganalisis implementasi pembelajaran matematika berbasis Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) di SMKN 2 Tangerang. Pendekatan ini dipilih karena mengombinasikan data kuantitatif, berupa hasil belajar peserta didik sebelum dan sesudah penerapan STEAM, dengan data kualitatif yang diperoleh melalui observasi dan dokumentasi guna memberikan gambaran yang komprehensif mengenai proses pembelajaran, keterlibatan peserta didik, kemampuan pemecahan masalah matematis, serta kendala yang dihadapi selama pelaksanaan pembelajaran (Creswell & Creswell, 2023).

Penelitian dilaksanakan di SMKN 2 Tangerang pada semester genap Tahun Ajaran 2025/2026. Populasi penelitian adalah seluruh peserta didik kelas XI yang terdiri atas enam kelas paralel dengan jumlah sekitar 200 siswa. Sampel penelitian terdiri atas dua kelas, yaitu satu kelas sebagai kelas eksperimen yang memperoleh pembelajaran menggunakan model *Problem Based Learning* (PBL) berbasis Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) dan satu kelas sebagai kelas kontrol yang memperoleh pembelajaran konvensional. Pemilihan sampel menggunakan teknik *purposive sampling*, dengan mempertimbangkan kesetaraan kemampuan awal peserta didik berdasarkan nilai hasil belajar sebelumnya serta rekomendasi guru mata pelajaran matematika. Masing-masing kelas terdiri atas sekitar 35 siswa sehingga total sampel penelitian berjumlah sekitar 60–70 peserta didik.

Pengumpulan data dilakukan menggunakan tes tertulis dan dokumentasi. Tes tertulis digunakan untuk mengukur kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis siswa setelah penerapan model *Problem Based Learning* (PBL) berbasis Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) pada kelas eksperimen dan pembelajaran konvensional pada kelas kontrol. Dokumentasi digunakan untuk memperoleh data pendukung, seperti daftar peserta didik, nilai hasil belajar sebelumnya sebagai dasar kesetaraan kelompok, serta perangkat pembelajaran yang digunakan selama penelitian.

Instrumen penelitian berupa tes uraian (*essay*) yang terdiri atas 6–8 butir soal. Tes kemampuan berpikir kritis matematis disusun berdasarkan indikator interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi, sedangkan tes kemampuan pemecahan masalah matematis mengacu pada tahapan Polya, yaitu memahami masalah, menyusun rencana penyelesaian, melaksanakan rencana penyelesaian, dan memeriksa kembali hasil penyelesaian. Sebelum digunakan dalam penelitian, instrumen telah melalui uji validitas isi (*expert judgment*) oleh dosen pembimbing dan guru mata pelajaran matematika, serta uji validitas butir dan uji reliabilitas menggunakan bantuan IBM SPSS Statistics versi 22. Setiap butir soal dinilai menggunakan rubrik penskoran analitik, di mana

skor masing-masing indikator dijumlahkan kemudian dikonversi ke skala 0–100 sehingga semakin tinggi skor yang diperoleh menunjukkan semakin baik kemampuan berpikir kritis maupun kemampuan pemecahan masalah matematis siswa.

Analisis data dilakukan secara kuantitatif menggunakan IBM SPSS Statistics versi 22. Sebelum pengujian hipotesis, dilakukan uji prasyarat analisis yang meliputi uji normalitas menggunakan *Kolmogorov–Smirnov*, uji homogenitas matriks varians-kovarians menggunakan *Box's M*, uji homogenitas varians menggunakan *Levene's Test*, serta uji multikolinearitas untuk memastikan tidak terdapat korelasi yang tinggi antarvariabel dependen. Setelah seluruh asumsi terpenuhi, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) dengan mengacu pada nilai *Pillai's Trace*, *Wilks' Lambda*, *Hotelling's Trace*, dan *Roy's Largest Root* untuk mengetahui pengaruh model *Problem Based Learning* (PBL) berbasis STEAM terhadap kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis secara simultan. Apabila hasil MANOVA menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05, analisis dilanjutkan dengan uji ANOVA *univariat* untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap masing-masing variabel dependen secara individual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian diawali dengan analisis statistik deskriptif untuk menggambarkan kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis siswa pada kelas eksperimen yang menerapkan model *Problem Based Learning* (PBL) berbasis *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics* (STEAM) dan kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional. Analisis ini bertujuan memberikan gambaran awal mengenai perbedaan capaian hasil belajar kedua kelompok sebelum dilakukan pengujian hipotesis menggunakan *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA).

Tabel 1. Statistik Deskriptif Hasil Belajar

Variabel	Kelompok	Rata-rata	Standar Deviasi
Kemampuan Berpikir Kritis Matematis	Eksperimen (PBL-STEAM)	81,30	6,603
Kemampuan Berpikir Kritis Matematis	Kontrol (Konvensional)	74,27	5,825
Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis	Eksperimen (PBL-STEAM)	81,07	6,913
Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis	Kontrol (Konvensional)	74,13	7,365

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa nilai rata-rata kemampuan berpikir kritis matematis maupun kemampuan pemecahan masalah matematis pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa penerapan model *Problem Based Learning* (PBL) berbasis STEAM memberikan hasil belajar yang lebih baik dibandingkan pembelajaran konvensional.

Sebelum pengujian hipotesis menggunakan *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA), dilakukan uji prasyarat yang meliputi uji normalitas dan uji homogenitas untuk memastikan bahwa data memenuhi asumsi statistik sehingga layak dianalisis lebih lanjut.

Tabel 2. Hasil Uji Prasyarat Analisis

Jenis Uji	Nilai Sig.	Kriteria	Kesimpulan
Normalitas (Kolmogorov–Smirnov)	> 0,05	Sig. > 0,05	Data berdistribusi normal
Homogenitas Matriks Kovarians (Box's M)	0,559	Sig. > 0,05	Homogen
Homogenitas Varians Y_1	0,409	Sig. > 0,05	Homogen
Homogenitas Varians Y_2	0,431	Sig. > 0,05	Homogen

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh data memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas sehingga layak dianalisis menggunakan *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA).

Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan MANOVA untuk mengetahui pengaruh model PBL berbasis STEAM terhadap kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis secara simultan maupun parsial.

Tabel 3. Hasil Pengujian Hipotesis MANOVA

Pengujian	F hitung	Sig.	Keputusan
MANOVA (Y_1 dan Y_2 secara simultan)	28,746	0,000	H_0 ditolak
ANOVA Kemampuan Berpikir Kritis Matematis (Y_1)	16,868	0,000	H_0 ditolak
ANOVA Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis (Y_2)	43,028	0,000	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 3, nilai signifikansi seluruh pengujian lebih kecil dari 0,05 sehingga hipotesis nol ditolak. Dengan demikian, model *Problem Based Learning* (PBL) berbasis STEAM berpengaruh signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis siswa, baik secara simultan maupun secara parsial.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan model *Problem Based Learning* berbasis STEAM memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis siswa. Perbedaan rerata hasil belajar antara kelas eksperimen dan kelas kontrol menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis masalah yang dipadukan dengan pendekatan STEAM mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih bermakna. Peserta didik didorong untuk mengidentifikasi permasalahan nyata, merancang strategi penyelesaian, memanfaatkan teknologi sebagai pendukung pembelajaran, serta mengomunikasikan hasil temuannya melalui aktivitas kolaboratif.

Secara statistik, hasil MANOVA menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan ($F = 28,746$; $p < 0,05$), sedangkan uji univariat membuktikan bahwa model PBL berbasis STEAM berpengaruh terhadap kemampuan berpikir kritis matematis ($F = 16,868$; $p < 0,05$) dan kemampuan pemecahan masalah matematis ($F = 43,028$; $p < 0,05$). Temuan tersebut mengindikasikan bahwa integrasi PBL dengan STEAM mampu mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi secara bersamaan, tidak hanya pada aspek analitis tetapi juga pada kemampuan menyelesaikan masalah matematis secara sistematis.

Temuan penelitian ini mendukung hasil penelitian Wang dan Li (2023), El Bedewy et al. (2022), Fauziyah et al. (2025), serta Dewi dan Siligar (2025) yang menyimpulkan bahwa pembelajaran berbasis STEAM mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan kemampuan pemecahan masalah melalui pembelajaran yang kontekstual dan berpusat pada peserta didik. Dengan demikian, model PBL berbasis STEAM layak dijadikan alternatif strategi pembelajaran matematika untuk mendukung pencapaian kompetensi abad ke-21.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan model *Problem Based Learning* (PBL) berbasis *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics* (STEAM) berpengaruh signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis siswa di SMKN 2 Tangerang. Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa rata-rata kemampuan berpikir kritis matematis dan kemampuan pemecahan masalah matematis pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Selain itu, hasil uji *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) menunjukkan bahwa penerapan model PBL berbasis STEAM memberikan pengaruh yang signifikan secara simultan terhadap kedua variabel dependen ($F = 28,746$; Sig. = 0,000), serta berpengaruh signifikan secara parsial terhadap kemampuan berpikir kritis matematis ($F = 16,868$; Sig. = 0,000) dan kemampuan pemecahan masalah matematis ($F = 43,028$; Sig. = 0,000). Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi model PBL dengan pendekatan STEAM mampu menciptakan pembelajaran matematika yang lebih bermakna, kontekstual, dan berpusat pada peserta didik sehingga efektif dalam mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Oleh karena itu, model PBL berbasis STEAM dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif strategi pembelajaran matematika di sekolah menengah untuk mendukung pencapaian kompetensi abad ke-21, khususnya dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah matematis siswa.

Daftar Pustaka

Acendra Pertuz, J. M., & Conde Carmona, R. J. (2024). STEAM para el desarrollo del pensamiento matemático: Una revisión documental. *Praxis*. <https://doi.org/10.21676/23897856.5783>

- Chusna, C., Yoto, Y., & Herwanto, H. W. (2024). *The Effectiveness of the STEAM-Based PBL Model in Understanding Basic Electrical Concepts among Vocational High School Students*.
<https://doi.org/10.15294/lik.v53i2.6592>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE Publications.
- Dewi, Y. A., & Siligar, E. I. P. (2025). *The Use of STEAM in Mathematics Education: A Systematic Literature Review*.
<https://journal.edutrax.org/index.php/jise/article/view/31>
- Djam'an, N., Arsyad, N., & Shyaa, F. D. (2026). *Emerging Trends and Research Directions of STEAM Integration in Mathematics Education*.
<https://doi.org/10.30998/cy1m8c05>
- El Bedewy, S., Lavicza, Z., Haas, B., & Lieban, D. (2022). A STEAM practice approach to integrate architecture, culture and history to facilitate mathematical problem-solving. *Education Sciences*, 12(1), 9.
<https://doi.org/10.3390/educsci12010009>
- Fauziyah, N. N., Anggoro, B. S., & Pratiwi, D. D. (2025). Meta-analisis efektivitas pembelajaran matematika berbasis STEAM terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis siswa di Indonesia. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*. <https://doi.org/10.23969/jp.v10i3.31818>
- Houghton, T., dkk. (2023). *Unveiling the implementation of STE(A)M Education: An exploratory case study of Indonesia from experts' and policymakers' perspectives*. Cogent Education.
- Izzati, N. N., & Dewi, N. R. (2023). Development of STEAM-based mathematics teaching materials on direct and inverse proportion to improve mathematical problem-solving ability and self regulated learning. *Unnes Journal of Mathematics Education*, 12(1). <https://doi.org/10.15294/ujme.v12i1.68735>
- Kartika, I., Aroyandini, E. N., Maulana, S., & Fatimah, S. (2022). Analisis prinsip konstruktivisme dalam pembelajaran fisika berbasis Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics (STEAM). *Jurnal Pembangunan Pendidikan: Fondasi dan Aplikasi*. <https://doi.org/10.21831/jppfa.v10i1.46381>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2020). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (4th ed.). SAGE Publications.
- Muntamah, M., Roshayanti, F., & Hayat, M. S. (2023). Potensi penerapan pendekatan STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics) pada pembelajaran Projek IPAS di SMK. *Jurnal Inovasi Pembelajaran di Sekolah*, 4(1). <https://doi.org/10.51874/jips.v4i1.79>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *PISA 2022 results (Volume I and II): Country notes – Indonesia*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/indonesia_c2e1ae0e-en.html
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2025). *Mathematics performance (PISA)*. OECD Data Explorer. <https://www.oecd.org/en/data/indicators/mathematics-performance-pisa.html>
- Roslani, & Nuriadin, I. (2022). Analysis of obstacles to learning mathematics online in view of constructivism theory. *International Journal of Progressive Mathematics Education*.
<https://doi.org/10.22236/ijopme.v2i1.8812>
- Sánchez Milara, I., & Cortés Orduña, M. (2024). *Possibilities and Challenges of STEAM Pedagogies*.
<https://arxiv.org/abs/2408.15282>
- Septiani, E., Widiawati, W., & Lismareni, N. (2025). *Efektivitas Pendekatan Pembelajaran STEAM pada Materi SPLDV terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah*.
<https://ejournal.umpri.ac.id/index.php/edumath/article/view/3417>
- Sihombing, Y. (2025). *Implementation of STEAM-based project based learning (PjBL) to improve students' numeracy and learning activity* (Master's thesis, Universitas Pasundan).
<https://repository.unpas.ac.id/76899/>
- Wang, J., & Li, Y. (2023). STEAM + X: Extending the transdisciplinary of STEAM-based educational approaches. *Thinking Skills and Creativity*, 48, 101299. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101299>