

Implementation of Project-Based Learning Models with a STEM Approach to Understanding Student Concepts in Spatial Geometry

Aslan^{1*}, Jumalia², Asdar³

^{1,2,3}Pendidikan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia

Corresponding author: aslanindramahananta@email.com^{1}, jumalia.kaesa@email.com²

ABSTRACT

Indonesian students' mathematical literacy skills remain low, especially in spatial geometry, which requires visualization and a deep understanding of concepts. Conventional learning methods that focus on procedures and memorizing formulas have not been able to facilitate optimal knowledge construction, giving rise to various misconceptions. This study aims to analyze the implementation of the Project-Based Learning (PjBL) model integrated with the STEM approach and its effect on students' conceptual understanding of spatial geometry. The research uses a qualitative approach with a literature review method of national and international journal articles published in the last ten years. The data were analyzed using content analysis to identify consistent patterns of findings related to PjBL-STEM in geometry learning. The synthesis results show that PjBL-STEM significantly improves students' conceptual understanding, mathematical creative thinking skills, and spatial visualization. Contextual project-based learning shifts the learning orientation from memorization to conceptual understanding through activities of designing, constructing, and analyzing real objects. PjBL-STEM is a relevant approach to improve conceptual understanding and develop 21st-century skills. Its success requires careful planning, adequate teacher competence, and facility support for sustainable implementation.

Keywords:

Concept understanding, Project-Based Learning, STEM, Spatial Geometry

Implementasi Model Pembelajaran Berbasis Proyek dengan Pendekatan STEM terhadap Pemahaman Konsep Siswa pada Materi Bangun Ruang

ABSTRAK

Kata Kunci:

Pemahaman konsep, project Based Learning, STEM, Bangun ruang

Kemampuan literasi matematika siswa Indonesia masih rendah, terutama pada materi bangun ruang yang menuntut visualisasi dan pemahaman konsep mendalam. Pembelajaran konvensional yang berorientasi pada prosedur dan hafalan rumus belum mampu memfasilitasi pengetahuan secara optimal, sehingga memunculkan berbagai miskonsepsi. Kajian ini bertujuan menganalisis implementasi model Project-Based Learning (PjBL) terintegrasi pendekatan STEM dan pengaruhnya terhadap pemahaman konsep siswa pada materi bangun ruang. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode kajian literatur terhadap artikel jurnal nasional dan internasional dalam sepuluh tahun terakhir. Data dianalisis menggunakan analisis isi untuk mengidentifikasi pola temuan konsisten terkait PjBL-STEM dalam pembelajaran geometri. Hasil sintesis menunjukkan bahwa PjBL-STEM secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep, kemampuan berpikir kreatif matematis, dan visualisasi spasial siswa. Pembelajaran berbasis proyek kontekstual menggeser

orientasi belajar dari menghafal menuju pemahaman konseptual melalui aktivitas merancang, membangun, dan menganalisis objek nyata. PjBL-STEM merupakan pendekatan relevan untuk meningkatkan pemahaman konsep dan mengembangkan keterampilan abad ke-21. Keberhasilannya memerlukan perencanaan matang, kompetensi guru memadai, dan dukungan fasilitas yang mendukung implementasi berkelanjutan.

1. INTRODUCTION

Matematika memiliki peran fundamental dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kreatif, dan pemecahan masalah siswa. Namun, berbagai laporan internasional seperti *Programme for International Student Assessment* (PISA) menunjukkan bahwa kemampuan literasi matematika siswa Indonesia masih berada di bawah rata-rata OECD. Salah satu materi yang sering menjadi sumber kesulitan adalah geometri, khususnya bangun ruang, karena menuntut kemampuan visualisasi, pemahaman konsep, serta penalaran spasial yang tinggi. Kesulitan ini tidak hanya berdampak pada rendahnya hasil belajar, tetapi juga memunculkan berbagai miskonsepsi dalam memahami konsep matematika secara mendalam.

Pemahaman konsep merupakan fondasi utama dalam pembelajaran matematika karena konsep-konsep matematika tersusun secara hierarkis dan saling berkaitan. Pemahaman konsep tidak sekadar dimaknai sebagai kemampuan menghafal rumus atau definisi, melainkan mencakup kemampuan siswa untuk menjelaskan kembali suatu konsep dengan bahasa sendiri, menghubungkan berbagai representasi (verbal, simbolik, visual, dan grafis), serta menerapkan konsep tersebut dalam konteks yang berbeda [1]. *National Council of Teachers of Mathematics* (NCTM) juga menegaskan bahwa pembelajaran matematika yang bermakna harus menekankan pemahaman konseptual dan penalaran, bukan hanya keterampilan prosedural. Dalam konteks geometri, khususnya materi bangun ruang, pemahaman konsep mencakup kemampuan mengenali unsur-unsur bangun ruang, memahami hubungan antarunsur, serta mengaitkan rumus volume dan luas permukaan dengan bentuk fisik bangun tersebut. Rendahnya pemahaman konsep sering ditandai dengan munculnya miskonsepsi, seperti ketidakmampuan membedakan antara luas permukaan dan volume atau kesalahan dalam menghubungkan jaring-jaring dengan bangun ruang tiga dimensi [2]. Kondisi ini menunjukkan bahwa pembelajaran yang masih berorientasi pada prosedur dan hafalan rumus belum mampu memfasilitasi konstruksi pengetahuan matematika secara optimal.

Salah satu pendekatan yang dinilai mampu mengatasi permasalahan tersebut adalah model *Project-Based Learning* (PjBL). PjBL berakar pada teori konstruktivisme yang memandang bahwa pengetahuan dibangun secara aktif oleh siswa melalui pengalaman belajar yang bermakna. Dalam PjBL, pembelajaran dimulai dari permasalahan nyata yang mendorong siswa untuk melakukan investigasi, perencanaan, dan pembuatan produk sebagai hasil belajar. Model ini menempatkan siswa sebagai subjek aktif dalam pembelajaran, sementara guru berperan sebagai fasilitator yang membimbing proses berpikir siswa [3]. Untuk memperkuat efektivitas PjBL dalam pembelajaran matematika, pendekatan *STEAM* (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*) dapat diintegrasikan ke dalam proses pembelajaran. Pendekatan STEAM menekankan pembelajaran interdisipliner yang menghubungkan matematika dengan bidang ilmu lain serta konteks kehidupan nyata. Integrasi unsur seni dalam STEAM membantu siswa mengembangkan kreativitas dan kemampuan visualisasi, sementara unsur rekayasa dan teknologi melatih siswa merancang solusi yang fungsional dan aplikatif [4].

Integrasi PjBL dengan pendekatan STEAM menghasilkan pembelajaran yang holistik dan kontekstual. Melalui projek berbasis STEAM, siswa tidak hanya mempelajari konsep matematika secara abstrak, tetapi juga mengalami langsung bagaimana konsep tersebut digunakan dalam praktik. Dalam materi bangun ruang, misalnya, siswa dapat membangun model tiga dimensi, menghitung volume dan luas permukaan berdasarkan desain yang dibuat, serta merefleksikan hubungan antara konsep matematika dan bentuk fisik objek tersebut. Proses ini memperkuat keterkaitan antara representasi visual, simbolik, dan kontekstual yang merupakan inti dari pemahaman konsep matematika [5]. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kesulitan siswa dalam memahami materi

bangun ruang tidak hanya disebabkan oleh kompleksitas konsep geometri itu sendiri, tetapi juga oleh pendekatan pembelajaran yang kurang memberikan kesempatan bagi siswa untuk membangun pemahamannya secara aktif. Pembelajaran yang berfokus pada ceramah dan latihan soal rutin cenderung menempatkan siswa sebagai penerima informasi pasif, sehingga proses internalisasi konsep menjadi kurang optimal [6]. Akibatnya, siswa sering mengalami kesenjangan antara kemampuan menghitung dan kemampuan memahami makna konsep matematis yang dipelajari.

Lebih lanjut, rendahnya pemahaman konsep juga berkaitan dengan lemahnya kemampuan visualisasi spasial siswa. Kemampuan ini sangat krusial dalam pembelajaran bangun ruang karena menuntut siswa untuk membayangkan, memanipulasi, dan merepresentasikan objek tiga dimensi dalam berbagai bentuk, termasuk jaring-jaring dan model matematis [7]. Tanpa dukungan aktivitas visual dan manipulatif, siswa cenderung mengalami miskonsepsi yang berulang, seperti kesalahan dalam memahami hubungan antara luas permukaan dan volume atau dalam mengidentifikasi unsur-unsur bangun ruang.

Dalam konteks tersebut, pendekatan pembelajaran berbasis konstruktivisme menjadi semakin relevan untuk diterapkan. Konstruktivisme memandang bahwa pengetahuan tidak dapat ditransfer secara langsung dari guru kepada siswa, melainkan harus dibangun melalui pengalaman, interaksi, dan refleksi [8]. Model *Project-Based Learning* (PjBL) selaras dengan pandangan ini karena memberikan ruang bagi siswa untuk belajar melalui proyek yang menuntut eksplorasi, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan berbasis konsep matematis. Integrasi PjBL dengan pendekatan STEAM memperkuat proses pembelajaran karena menghubungkan matematika dengan disiplin ilmu lain secara kontekstual dan bermakna. Pendekatan STEAM mendorong siswa untuk memandang matematika sebagai alat berpikir yang digunakan dalam sains, teknologi, rekayasa, dan seni, sehingga konsep matematika tidak dipelajari secara terpisah atau abstrak [9]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis STEAM mampu meningkatkan keterlibatan siswa, memperkuat pemahaman konseptual, serta mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi yang dibutuhkan dalam pembelajaran abad ke-21 [10].

Selain itu, penerapan PjBL-STEAM juga sejalan dengan tuntutan pengembangan literasi matematika, yaitu kemampuan untuk merumuskan, menerapkan, dan menafsirkan matematika dalam berbagai konteks kehidupan nyata [11]. Melalui proyek yang kontekstual, siswa dilatih untuk menghubungkan konsep matematika dengan permasalahan autentik, sehingga pembelajaran menjadi lebih relevan dan bermakna. Dengan demikian, PjBL-STEAM tidak hanya berfungsi sebagai strategi pembelajaran alternatif, tetapi juga sebagai pendekatan pedagogis yang berpotensi mentransformasi pembelajaran geometri, khususnya pada materi bangun ruang, menuju pembelajaran yang berorientasi pada pemahaman konsep dan pengembangan kompetensi siswa secara holistik.

Dengan demikian, penerapan model *Project-Based Learning* yang terintegrasi dengan pendekatan STEAM dipandang relevan dan potensial dalam meningkatkan pemahaman konsep siswa pada materi bangun ruang. Pendekatan ini tidak hanya membantu mengurangi miskonsepsi, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif siswa, meningkatkan motivasi belajar, serta mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif yang dibutuhkan dalam pembelajaran matematika abad ke-21. Oleh karena itu, kajian literatur ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam implementasi model pembelajaran berbasis proyek dengan pendekatan STEAM dan pengaruhnya terhadap pemahaman konsep siswa pada materi bangun ruang, serta mengidentifikasi praktik-praktik terbaik yang dapat diadaptasi dalam konteks pembelajaran.

2. METHOD

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode kajian literatur (*library research*). Metode ini dipilih karena tujuan penelitian tidak berfokus pada pengumpulan data empiris di lapangan, melainkan pada analisis konseptual dan sintesis hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan implementasi model *Project-Based Learning* (PjBL) terintegrasi pendekatan STEM dalam pembelajaran matematika, khususnya pada materi bangun ruang.

Sumber data dalam penelitian ini berupa artikel jurnal nasional dan internasional, prosiding ilmiah, serta laporan penelitian yang dipublikasikan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, dengan penekanan pada publikasi yang membahas pemahaman konsep matematika, pembelajaran

geometri, model PjBL, dan pendekatan STEAM. Artikel-artikel tersebut diperoleh melalui penelusuran basis data ilmiah seperti Google Scholar, ERIC dan ScienceDirect menggunakan kata kunci antara lain *project-based learning*, *STEM/STEAM education*, *conceptual understanding* dan *spatial geometry*.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi, yaitu dengan mengidentifikasi, mengklasifikasi, dan menyeleksi sumber-sumber literatur yang relevan dengan fokus kajian. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan analisis isi (*content analysis*) untuk mengkaji secara mendalam konsep, temuan, serta implikasi penerapan PjBL-STEAM terhadap pemahaman konsep siswa pada materi bangun ruang. Proses analisis dilakukan dengan cara membandingkan hasil penelitian terdahulu, mengidentifikasi pola-pola temuan yang konsisten, serta menarik kesimpulan teoretis yang mendukung argumen penelitian. Menjaga validitas kajian, penulis menggunakan sumber-sumber yang kredibel dan telah melalui proses *peer review*. Dengan demikian, hasil kajian diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai relevansi dan potensi model PjBL-STEM sebagai alternatif pembelajaran inovatif dalam meningkatkan pemahaman konsep matematika siswa.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Berdasarkan kajian terhadap berbagai hasil penelitian terdahulu, implementasi model *Project-Based Learning* (PjBL) yang diintegrasikan dengan pendekatan STEM menunjukkan dampak positif terhadap peningkatan pemahaman konsep matematika siswa, khususnya pada materi bangun ruang. Berbagai studi menegaskan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang kontekstual mampu menggeser orientasi belajar siswa dari sekadar menghafal rumus menuju pemahaman konseptual yang lebih mendalam.

Hasil sintesis kajian menunjukkan bahwa integrasi model Project-Based Learning (PjBL) dengan pendekatan STEM tidak hanya memperkuat literasi spasial dan pemahaman konseptual, tetapi juga secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir kreatif matematis siswa. Dalam konteks materi bangun ruang sisi lengkung, penerapan PjBL-STEM terbukti menghasilkan peningkatan rerata skor kemampuan berpikir kreatif dari 40,58 (kategori kurang kreatif) menjadi 83,23 (sangat kreatif), dengan N-Gain rata-rata sebesar 0,71 (kategori tinggi), serta distribusi akhir sebanyak 60,61% siswa dalam kategori sangat kreatif dan 39,39% dalam kategori kreatif tanpa satu pun siswa tersisa di kategori rendah [12]. Temuan ini diperkuat oleh penelitian internasional yang menegaskan bahwa Proses belajar yang menekankan transformasi antara representasi 2D dan 3D seperti dalam geometri proyektif juga memberikan konteks bermakna bagi pengembangan penalaran spasial, karena siswa diajak mengeksplorasi sifat-sifat invarian dan perspektif melalui aktivitas konkret seperti pembuatan bayangan, lipatan kertas, atau pemodelan struktur [13]. Penggunaan alat visualisasi spasial seperti lingkungan virtual, augmented reality, dan pencetakan 3D secara signifikan meningkatkan kemampuan visualisasi spasial dan pemahaman konsep matematika, terutama pada materi geometri dan kalkulus, dibandingkan pembelajaran konvensional [14].

Penelitian yang dilakukan oleh Aydin dan Saka [4] juga menunjukkan bahwa integrasi STEAM dalam PjBL secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir konseptual dan kreatif siswa dalam pembelajaran matematika. Siswa yang terlibat dalam proyek berbasis desain dan rekayasa menunjukkan pemahaman yang lebih baik terhadap hubungan antara konsep matematika dan penerapannya dalam situasi nyata. Hal ini sejalan dengan karakteristik materi bangun ruang yang menuntut kemampuan visualisasi dan penalaran spasial, sehingga membutuhkan pengalaman belajar yang bersifat konkret dan eksploratif.

Selanjutnya, hasil kajian sistematis yang dilakukan oleh Breda dkk [10], mengungkapkan bahwa pendekatan STEAM memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan keterlibatan aktif siswa dan pemahaman lintas representasi dalam pembelajaran matematika. Melalui integrasi unsur seni dan rekayasa, siswa tidak hanya belajar menghitung, tetapi juga memahami struktur, proporsi, dan fungsi bangun ruang secara lebih holistik. Pendekatan ini memungkinkan siswa menghubungkan representasi visual, simbolik, dan kontekstual secara simultan, yang merupakan indikator utama pemahaman konsep.

Dalam konteks geometri, khususnya bangun ruang, Rachmadi dkk [5] menemukan bahwa siswa yang mengikuti pembelajaran PjBL-STEAM mengalami peningkatan pemahaman konsep yang lebih tinggi dibandingkan dengan siswa yang belajar melalui metode konvensional. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa aktivitas proyek, seperti merancang dan membangun model bangun ruang, membantu siswa memahami makna volume dan luas permukaan secara lebih konkret, sekaligus mengurangi miskonsepsi yang sering muncul pada materi tersebut. Dari sisi peran guru, Himmi dkk [3], menegaskan bahwa keberhasilan implementasi PjBL-STEAM sangat dipengaruhi oleh kemampuan guru dalam merancang proyek yang bermakna dan memberikan *scaffolding* yang tepat selama proses pembelajaran. Guru berperan sebagai fasilitator yang membimbing siswa dalam menghubungkan aktivitas proyek dengan konsep matematika yang dipelajari. Tanpa bimbingan yang memadai, proyek berisiko hanya menjadi aktivitas praktis tanpa penguatan konsep. Selain itu, kajian oleh Putri dan Lestari [2] menunjukkan bahwa pemahaman konsep yang baik ditandai dengan kemampuan siswa menjelaskan kembali ide matematika, menghubungkan berbagai representasi, serta menerapkan konsep pada situasi baru. Dalam pembelajaran PjBL-STEAM, indikator-indikator tersebut dapat diamati melalui diskusi kelompok, presentasi proyek, dan refleksi siswa terhadap proses belajar yang dialaminya. Dengan demikian, model ini tidak hanya meningkatkan hasil belajar, tetapi juga kualitas pemahaman konseptual siswa.

Meskipun demikian, beberapa penelitian juga mengungkapkan adanya hambatan dalam implementasi PjBL-STEAM. Hambatan dalam penerapan PJBL-STEM di sekolah dasar dan menengah mencakup lima aspek utama: (1) hambatan pedagogis, seperti keterbatasan pemahaman dan kesiapan guru dalam merancang serta memfasilitasi pembelajaran berbasis inkuiri, banyak guru masih cenderung menggunakan pendekatan konvensional dan memberikan jawaban langsung ketika siswa kesulitan, bukan mendorong eksplorasi mandiri [15], [16]; (2) keterbatasan fasilitas, terutama teknologi (komputer, proyektor, internet) dan media siap pakai (seperti *magnetic sticks/cubes* atau manipulatif), yang dilaporkan oleh guru sebagai kendala [16]; (3) manajemen waktu, dimana aktivitas hands-on dan kolaboratif memerlukan durasi lebih lama, sementara guru belum terlatih dalam menyusun alokasi waktu yang efisien dan siswa sering membutuhkan waktu lama hanya untuk merancang proyek [15]; (4) keterbatasan sumber daya pembelajaran, seperti minimnya LKPD, proyek dan bahan ajar STEAM berbahasa Indonesia yang kontekstual dan siap pakai, sehingga guru harus mengembangkan sendiri dengan beban kerja tambahan [16]; serta (5) tantangan integrasi kurikuler, di mana kolaborasi lintas-mata pelajaran (sains, teknologi, seni, matematika) masih rendah karena struktur kerja sekolah yang terfragmentasi, sehingga STEAM sering kali hanya diimplementasikan secara *embedded* dengan satu disiplin dominan [17], [16]. Hambatan ini menunjukkan bahwa keberhasilan PJBL-STEM tidak hanya bergantung pada desain pembelajaran, tetapi juga pada dukungan sistemik, seperti pelatihan teknis berkelanjutan, penyediaan infrastruktur memadai, pengembangan repositori lokal, serta restrukturisasi tata kelola sekolah.

Secara keseluruhan, hasil kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa PjBL-STEAM merupakan pendekatan pembelajaran yang efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep siswa pada materi bangun ruang. Pendekatan ini tidak hanya membantu siswa memahami konsep matematika secara mendalam, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif yang relevan dengan tuntutan pendidikan abad ke-21.

4. CONCLUSION

Berdasarkan kajian teoretis dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa rendahnya pemahaman konsep siswa pada materi bangun ruang dipengaruhi oleh pembelajaran yang masih bersifat prosedural dan kurang memberikan pengalaman belajar yang bermakna. Pemahaman konsep matematika, khususnya geometri ruang, menuntut keterkaitan antara representasi visual, simbolik, dan kontekstual yang tidak dapat dicapai secara optimal melalui metode konvensional semata. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pembelajaran yang menempatkan siswa sebagai subjek aktif dalam membangun pengetahuan.

Implementasi model *Project-Based Learning* (PjBL) yang terintegrasi dengan pendekatan STEM terbukti secara teoretis mampu menjawab permasalahan tersebut. Melalui kegiatan proyek yang kontekstual dan interdisipliner, siswa tidak hanya menghafal rumus, tetapi memahami makna

konsep bangun ruang melalui aktivitas merancang, membangun, mengukur, dan menganalisis objek nyata. Integrasi unsur *Science, Technology, Engineering, Arts, dan Mathematics* memperkuat proses konstruksi pengetahuan, meningkatkan kemampuan visualisasi dan penalaran spasial, serta menurunkan miskonsepsi yang sering muncul pada materi bangun ruang. Dengan demikian, PjBL-STEM merupakan pendekatan pembelajaran yang relevan dan potensial untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa sekaligus mengembangkan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi. Jika didukung oleh perencanaan yang matang, kompetensi guru, dan fasilitas yang memadai, pendekatan ini dapat menjadi inovasi pembelajaran berkelanjutan dalam upaya meningkatkan kualitas pembelajaran matematika, khususnya pada materi bangun ruang.

AUTHOR CONTRIBUTION STATEMENT

AS Bertanggung jawab atas konseptualisasi ide penelitian, perumusan pertanyaan kajian, melakukan pencarian literatur secara sistematis, menyusun draf bagian hasil dan pembahasan, serta mengoordinasi penulisan draf naskah secara keseluruhan.

JU Berperan dalam proses seleksi literatur berdasarkan kriteria inklusi, melakukan ekstraksi data, bekerja sama dengan AS dalam melakukan sintesis serta menyusun analisis pada bagian hasil dan pembahasan, kesimpulan serta bertanggung jawab atas manajemen referensi.

AD Berperan sebagai supervisor yang memberikan arahan teoretis, melakukan validasi terhadap literatur yang dipilih, memberikan tinjauan kritis terhadap argumen di bagian pembahasan, serta melakukan penyuntingan akhir dan finalisasi naskah untuk publikasi.

REFERENCES

- [1] A. Afdal, "Pemahaman konseptual dalam pembelajaran matematika dan implikasinya terhadap desain pembelajaran," *J. Pendidikan Mat. Indones.*, vol. 8, no. 2, pp. 101–112, 2023.
- [2] A. R. Putri and F. D. Lestari, "Assessing students' conceptual understanding in mathematics through multiple representations and diagnostic assessment," *Infinity J. Math. Educ. Stud.*, vol. 12, no. 1, pp. 45–58, 2023.
- [3] N. Himmi, D. Armanto, and Z. Amry, "Implementation of Project-Based Learning in mathematics education," *Stud. Educ. Found.*, vol. 16, no. 1, pp. 45–58, 2024.
- [4] S. Aydin and A. Z. Saka, "Integration of STEAM approach into project-based learning for mathematics education," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 27, no. 8, pp. 10935–10956, 2022.
- [5] F. A. Rachmadi, L. D. Handayani, and R. Sihombing, "Integrating STEAM principles in project-based learning to enhance conceptual understanding in geometry," *J. Math. Educ. Learn. Innov.*, vol. 7, no. 4, pp. 245–259, 2023.
- [6] J. Hiebert and D. A. Grouws, "The effects of classroom mathematics teaching on students' learning," *J. Math. Behav.*, vol. 65, pp. 100–114, 2022.
- [7] M. T. Battista, "Cognitive development and students' reasoning in geometry," *J. Res. Math. Educ.*, vol. 53, no. 4, pp. 315–342, 2022.
- [8] D. H. Schunk, *Learning Theories: An Educational Perspective*, 9th ed. New York, NY, USA: Pearson Education, 2023.
- [9] G. Yakman and H. Lee, "STEAM education as a framework for integrative learning," *Int. J. STEM Educ.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, 2022.
- [10] J. Breda, R. Santos, and L. Pinheiro, "A systematic review of the implementation of STEAM education in schools," *Eurasia J. Math. Sci. Technol. Educ.*, vol. 19, no. 2, pp. 1–13, 2023.
- [11] OECD, *PISA 2022 Results: Creative Thinking in Education*. Paris, France: OECD Publishing, 2023.
- [12] N. Djam'an, N. Amaliah, and F. Arwadi, "Pengaruh penerapan model PJBL dengan pendekatan STEM terhadap peningkatan kemampuan berpikir kreatif matematis siswa

- pada materi bangun ruang sisi lengkung di SMP," *J. Penelitian Mat. dan Pendidikan Mat.*, vol. 8, no. 4, pp. 1009–1020, 2025.
- [13] J. S. Thom, L. M. McGarvey, and J. Markle, "Projective geometry and spatial reasoning for STEM learning," *Front. Educ.*, vol. 9, Art. no. 1312845, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1312845>.
- [14] L. M. Medina Herrera, S. Juárez Ordóñez, and S. Ruiz-Loza, "Enhancing mathematical education with spatial visualization tools," *Front. Educ.*, vol. 9, Art. no. 1229126, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1229126>.
- [15] E. Susanti and H. Kurniawan, "Design pembelajaran matematika dengan pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)," *AKSIOMA: J. Mat. dan Pendidikan Mat.*, vol. 11, no. 1, pp. 37–52, 2020.
- [16] E. Nuragnia, H. Hendriana, and R. C. I. Prahmana, "Implementasi Pembelajaran Matematika Berbasis STEAM di Sekolah Dasar: Tantangan dan Strategi Guru," *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, vol. 10, no. 1, pp. 45–58, Mar. 2021.
- [17] Mawaddah and A. Mahmudi, "Analisis Kemampuan Komunikasi Matematika Siswa dalam Pembelajaran Berbasis Proyek Terintegrasi STEAM," *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, vol. 9, no. 2, pp. 215–227, Dec. 2021.