

Analisis Tren Penelitian Project Based Learning Berbasis STEM pada Pembelajaran IPA: Systematic Literature Review

Anggi Putri Simamora¹ Awy Silaban² Desi Mertina Br Sembiring³ Ibnu Firmansyah⁴
Ivan Fadila⁵ Mei Jelina Nadeak⁶ Tariza Fairuz⁷ Halim Simatupang⁸

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pendidikan IPA, Universitas Negeri Medan,
Indonesia^{1,2,3,4,5,6,7,8}

Email: simamoraanggiputri@gmail.com¹ awyslbn@gmail.com² desimertina@gmail.com³
ibnu4741@gmail.com⁴ fadilahivan937@gmail.com⁵ meinadeak13@gmail.com⁶
tarizafairuza@unimed.ac.id⁷

Abstrak

Model pembelajaran Project-Based Learning berbasis Science, Technology, Engineering, and Mathematics (PjBL-STEM) menjadi fokus utama dalam pendidikan IPA modern karena mampu mengintegrasikan konsep multidisiplin melalui penyelesaian masalah nyata. Penelitian ini bertujuan menganalisis tren PjBL-STEM dalam pembelajaran IPA melalui Systematic Literature Review (SLR) terhadap 25 artikel periode 2021–2026. Hasil menunjukkan bahwa PjBL-STEM efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif, namun masih terdapat kesenjangan dalam dokumentasi eksplisit Engineering Design Process (EDP) serta penggunaan asesmen yang didominasi tes kognitif tertulis. Penelitian ini juga menemukan tren baru berupa integrasi teknologi imersif seperti Augmented Reality (AR) dan laboratorium virtual (Algodoo/Javalab) untuk memperkuat tahap perancangan teknis. Selain itu, terdapat kebutuhan pengembangan pembelajaran berbasis konteks lokal (Ethno-STEM) dan Digital Scaffolding guna mendukung keterampilan proses sains siswa. Pemetaan tren ini diharapkan mendorong penelitian selanjutnya agar lebih fokus pada strategi metakognitif dan asesmen autentik untuk mengoptimalkan hasil belajar psikomotorik dan afektif secara menyeluruh.

Kata Kunci: PjBL-STEM, Pembelajaran IPA, Systematic Literature Review, Keterampilan Abad 21, Tren Penelitian

Abstract

The Project-Based Learning model based on Science, Technology, Engineering, and Mathematics (PjBL-STEM) has become a major focus in modern science education because it is able to integrate multidisciplinary concepts through solving real-life problems. This study aims to analyze the PjBL-STEM trend in science learning through a Systematic Literature Review (SLR) of 25 articles from 2021–2026. The results show that PjBL-STEM is effective in improving critical and creative thinking skills, but there are still gaps in the explicit documentation of the Engineering Design Process (EDP) and the use of assessments that are dominated by written cognitive tests. This study also found a new trend in the integration of immersive technologies such as Augmented Reality (AR) and virtual laboratories (Algodoo/Javalab) to strengthen the technical design stage. Furthermore, there is a need to develop local context-based learning (Ethno-STEM) and Digital Scaffolding to support students' science process skills. Mapping this trend is expected to encourage further research to focus more on metacognitive strategies and authentic assessments to optimize psychomotor and affective learning outcomes comprehensively.

Keywords: PjBL-STEM, Science Process Skills, Science Learning, Systematic Literature Review



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Perkembangan pendidikan abad ke-21 menuntut adanya transformasi mendasar dalam proses pembelajaran, khususnya dalam membekali peserta didik dengan keterampilan berpikir tingkat tinggi, kreativitas, kemampuan kolaborasi, serta pemecahan masalah kompleks. Pembelajaran tidak lagi berorientasi pada transfer pengetahuan semata, melainkan pada

proses konstruksi pengetahuan yang melibatkan pengalaman belajar yang autentik dan bermakna. Dalam konteks pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), kebutuhan ini menjadi semakin penting mengingat karakteristik IPA yang tidak hanya menekankan pada penguasaan konsep, tetapi juga pada proses ilmiah dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, diperlukan inovasi pembelajaran yang mampu mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu sekaligus mengembangkan keterampilan abad ke-21 secara simultan (Allanta & Puspita., 2021). Salah satu pendekatan yang dinilai relevan dalam menjawab tuntutan tersebut adalah integrasi *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) dalam model *Project Based Learning* (PjBL). Pendekatan ini menggabungkan pembelajaran berbasis proyek dengan integrasi lintas disiplin ilmu, sehingga peserta didik tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu mengaplikasikannya dalam penyelesaian masalah nyata. PjBL berbasis STEM memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi suatu produk atau solusi melalui proses investigasi yang sistematis. Dengan demikian, pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan berpusat pada peserta didik (*student-centered learning*) (Izzah & Mulyana., 2021).

Secara teoretis, PjBL berbasis STEM berakar pada teori konstruktivisme yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif oleh peserta didik melalui pengalaman belajar. Dalam pendekatan ini, guru berperan sebagai fasilitator yang membimbing peserta didik dalam proses eksplorasi dan penemuan. Selain itu, integrasi STEM juga sejalan dengan teori pembelajaran berbasis masalah (*problem-based learning*) dan pembelajaran kontekstual (*contextual learning*), di mana peserta didik dihadapkan pada permasalahan nyata yang membutuhkan pemecahan melalui pendekatan ilmiah dan rekayasa. Hal ini menjadikan pembelajaran IPA lebih relevan dengan kehidupan sehari-hari serta mampu meningkatkan motivasi belajar peserta didik (Chistyakov et al. 2023). Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan PjBL berbasis STEM memberikan dampak positif terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Kemampuan ini berkembang melalui proses analisis, evaluasi, serta pengambilan keputusan yang dilakukan selama pengerjaan proyek. Selain itu, pendekatan ini juga terbukti mampu meningkatkan literasi sains, yaitu kemampuan memahami konsep ilmiah dan mengaplikasikannya dalam konteks kehidupan nyata. Dengan demikian, PjBL berbasis STEM tidak hanya meningkatkan hasil belajar kognitif, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi yang esensial dalam pembelajaran IPA. (Herlita et al. 2023). Meskipun demikian, hasil penelitian yang ada masih menunjukkan variasi efektivitas penerapan PjBL berbasis STEM. Variasi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenjang pendidikan, karakteristik materi pembelajaran, serta desain penelitian yang digunakan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa efektivitas pendekatan ini lebih tinggi pada jenjang tertentu atau pada materi tertentu yang memungkinkan integrasi lintas disiplin secara optimal. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi PjBL berbasis STEM masih memerlukan kajian lebih mendalam untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilannya.

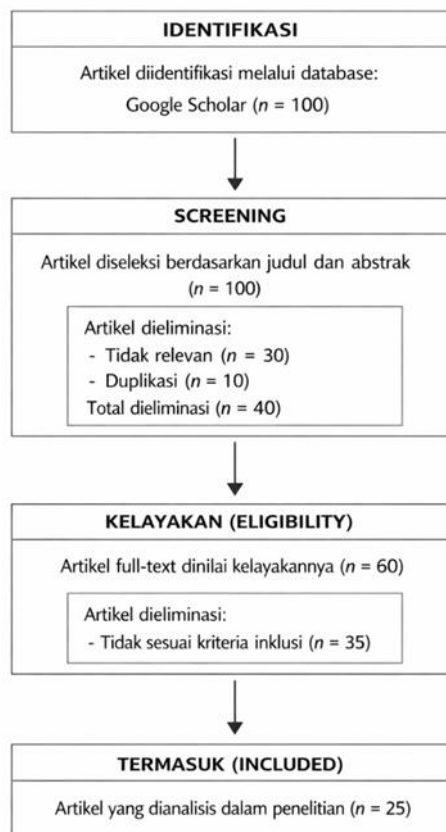
Selain itu, analisis terhadap penelitian terdahulu menunjukkan adanya sejumlah keterbatasan metodologis. Beberapa penelitian masih menggunakan desain eksperimen yang kurang kuat, seperti tidak adanya kelompok kontrol atau penggunaan sampel yang terbatas. Kondisi ini menyebabkan hasil penelitian kurang memiliki kekuatan generalisasi yang memadai. Di samping itu, terdapat kecenderungan bahwa penelitian lebih berfokus pada hasil akhir pembelajaran, seperti nilai tes, tanpa mengevaluasi secara komprehensif proses pembelajaran yang terjadi selama pengerjaan proyek (Rahardhian, 2022). Keterbatasan lainnya terletak pada aspek pengukuran variabel penelitian yang belum komprehensif. Sebagian besar penelitian hanya mengukur satu aspek, seperti kemampuan kognitif atau motivasi belajar, tanpa mengintegrasikan berbagai indikator keterampilan abad ke-21 secara

menyeluruh. Padahal, pendekatan STEM secara konseptual menuntut adanya integrasi antara aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap. Selain itu, implementasi komponen *engineering* dalam pembelajaran sering kali belum tergambar secara jelas, sehingga potensi pendekatan STEM belum dimanfaatkan secara optimal dalam pembelajaran IPA (Karlina et al. 2023). Lebih lanjut, perkembangan teknologi digital membuka peluang besar dalam pengembangan pembelajaran PjBL berbasis STEM. Pemanfaatan teknologi seperti *augmented reality*, simulasi virtual, maupun *e-module* interaktif dapat meningkatkan kualitas pembelajaran serta memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan mendalam. Namun demikian, integrasi teknologi dalam pembelajaran masih sering dilakukan secara parsial dan belum sepenuhnya terintegrasi dalam kerangka pembelajaran berbasis proyek. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam mengintegrasikan teknologi secara efektif dalam pembelajaran PjBL-STEM.

Selain aspek teknologi, peluang kebaruan (*novelty*) dalam penelitian juga dapat dikembangkan melalui integrasi strategi pembelajaran inovatif, seperti penerapan *engineering design process* (EDP), penggunaan *authentic assessment*, serta integrasi isu kontekstual seperti *socio-scientific issues*. Pendekatan ini memungkinkan peserta didik untuk tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu mengambil keputusan berbasis data dan mempertimbangkan aspek sosial serta lingkungan. Dengan demikian, pembelajaran menjadi lebih bermakna dan relevan dengan tantangan global (Ardiyansah et al. 2024) Berdasarkan berbagai uraian tersebut, terlihat bahwa penelitian terkait PjBL berbasis STEM dalam pembelajaran IPA masih memiliki ruang yang luas untuk dikaji secara lebih mendalam dan sistematis. Diperlukan suatu kajian komprehensif yang mampu mengidentifikasi tren penelitian, pola metodologi, serta celah penelitian yang masih terbuka. Pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) menjadi metode yang tepat untuk melakukan analisis tersebut secara sistematis dan terstruktur. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren penelitian *Project Based Learning* berbasis STEM dalam pembelajaran IPA melalui pendekatan *Systematic Literature Review*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan model pembelajaran inovatif, serta kontribusi praktis bagi pendidik dalam merancang pembelajaran IPA yang lebih efektif, kontekstual, dan berorientasi pada pengembangan keterampilan abad ke-21.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Proses kajian dilakukan melalui empat tahap, yaitu identifikasi artikel, seleksi artikel, evaluasi kualitas, dan sintesis temuan. Sumber data diperoleh dari database ilmiah bereputasi, yaitu Google Scholar melalui bantuan aplikasi *Publish or Perish 8*, dengan kata kunci pencarian seperti "*PjBL-STEM*", "*Project-Based Learning STEM*", "*science process skills*", "*literasi sains*", dan "*pembelajaran IPA SMP*". Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi: (1) artikel penelitian empiris, (2) dipublikasikan pada rentang tahun 2021–2026, (3) berfokus pada jenjang SMP, serta (4) relevan dengan implementasi PjBL-STEM dalam pembelajaran IPA. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup: (1) artikel duplikasi, (2) artikel non-penelitian seperti opini atau konseptual, dan (3) artikel yang tidak relevan dengan topik kajian. Proses seleksi dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahap, yaitu identifikasi awal sejumlah artikel dari database, dilanjutkan dengan tahap *screening* berdasarkan judul dan abstrak, kemudian penilaian kelayakan berdasarkan isi penuh artikel, dari 100 artikel hingga diperoleh 25 artikel terpilih yang dianalisis secara mendalam sesuai dengan fokus penelitian dan kebaruan (*novelty*) yang telah diidentifikasi dalam studi sebelumnya.



Gambar 1. Diagram PRISMA – Systematic Literature Review (SLR)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

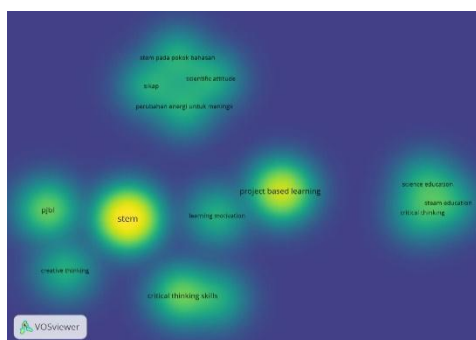
Berdasarkan hasil analisis terhadap 25 artikel yang telah diseleksi, penelitian mengenai Project-Based Learning berbasis STEM (PjBL-STEM) dalam pembelajaran IPA menunjukkan tren yang meningkat dalam rentang tahun 2021–2026. Puncak publikasi terjadi pada tahun 2023, yang mengindikasikan meningkatnya perhatian terhadap integrasi pembelajaran berbasis proyek dan pendekatan STEM dalam pengembangan keterampilan abad ke-21. Selain itu, terjadi pergeseran fokus penelitian dari penggunaan modul konvensional menuju integrasi teknologi digital seperti augmented reality, virtual laboratory, dan simulasi interaktif. Secara umum, seluruh artikel yang dianalisis menunjukkan bahwa PjBL-STEM memiliki pengaruh positif terhadap keterampilan proses sains peserta didik. Peningkatan terlihat pada kemampuan mengamati, merumuskan hipotesis, merancang percobaan, mengolah data, serta mengomunikasikan hasil. Hal ini disebabkan karena PjBL-STEM menempatkan siswa sebagai pusat pembelajaran melalui aktivitas proyek yang menuntut keterlibatan langsung dalam proses ilmiah. Selain itu, penerapan tahapan Engineering Design Process (EDP) dalam PjBL-STEM berperan penting dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif. Siswa tidak hanya memahami konsep, tetapi juga dituntut untuk merancang solusi, menguji, dan memperbaiki produk yang dihasilkan. Dengan demikian, pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan bermakna. Integrasi teknologi digital juga memperkuat efektivitas PjBL-STEM. Penggunaan media seperti augmented reality, virtual laboratory, dan simulasi memungkinkan siswa memvisualisasikan konsep abstrak serta melakukan eksperimen secara lebih interaktif. Hal ini berkontribusi terhadap peningkatan literasi sains dan keterampilan proses secara lebih optimal dibandingkan pembelajaran konvensional.

Tabel 1. Perkembangan Publikasi Ilmiah Dengan Tema Pjbl-STEM Pembelajaran IPA

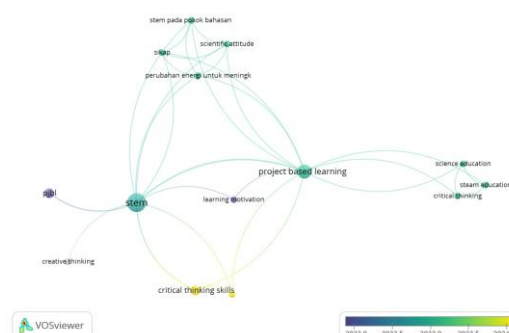
Tahun	Jumlah Publikasi	Persentase
2021	3	12%
2022	4	16%
2023	6	24%
2024	5	20%
2025	4	16%
2026	3	12%
Total	25	100%

Berdasarkan Tabel 1, tren publikasi penelitian PjBL-STEM pada pembelajaran IPA menunjukkan peningkatan dari tahun 2021 hingga mencapai puncak pada tahun 2023 dengan persentase sebesar 24%. Setelah itu, jumlah publikasi mengalami sedikit penurunan namun tetap stabil hingga tahun 2026. Pola ini menunjukkan bahwa minat penelitian terhadap PjBL-STEM mengalami perkembangan yang signifikan pada awal periode dan kemudian memasuki fase stabil. Peningkatan publikasi ini mengindikasikan bahwa PjBL-STEM semakin diakui sebagai pendekatan yang relevan dalam pembelajaran IPA, khususnya dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21. Meskipun demikian, peningkatan jumlah publikasi tidak selalu diikuti oleh kualitas metodologis yang kuat, karena sebagian besar penelitian masih menggunakan desain quasi-experimental dengan sampel terbatas. Dari segi fokus penelitian, sebagian besar studi masih menitikberatkan pada aspek kognitif seperti hasil belajar dan kemampuan berpikir kritis, sementara keterampilan proses sains sering kali hanya diukur secara terbatas. Instrumen yang digunakan juga didominasi oleh tes tertulis dan angket, yang berpotensi menghasilkan data subjektif. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun PjBL-STEM dinyatakan efektif, pendekatan penelitian yang digunakan masih memiliki keterbatasan dalam menggambarkan proses pembelajaran secara menyeluruh.

Peta Perkembangan Tren Penelitian Project Based Learning Berbasis STEM Pada Pembelajaran IPA



Gambar 2. Hubungan Pjbl-STEM Dan Istilah Yang Relevan



Gambar 3. Visualisasi Densitas

Analisis perkembangan publikasi ilmiah mengenai model pembelajaran PjBL-STEM dalam kurun waktu 2021 hingga 2026 menunjukkan tren yang dinamis dengan total 25 artikel yang terdata. Data kuantitatif mengungkapkan bahwa puncak publikasi terjadi pada tahun 2023 dengan kontribusi sebesar 24% dari total literatur, yang kemudian diikuti oleh pola publikasi yang stabil pada tahun-tahun berikutnya. Berdasarkan kajian bibliometrik melalui VOSviewer, kata kunci "STEM" dan "Project Based Learning" muncul sebagai node utama dengan intensitas kepadatan tertinggi, yang mengindikasikan bahwa kedua konsep ini merupakan pilar fundamental dalam riset pendidikan IPA saat ini. Secara kualitatif, terjadi transformasi signifikan dari fokus penelitian awal di tahun 2021 yang masih didominasi pengembangan modul cetak dan orientasi karakter, menuju pemanfaatan teknologi digital yang lebih kompleks seperti *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Laboratory* pada rentang 2024-2026. Visualisasi bibliometrik menggunakan VOSviewer memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai struktur dan perkembangan penelitian PjBL-STEM. Pada Gambar 1 (network visualization), terlihat bahwa kata kunci "STEM" dan "project based learning" menempati posisi sentral dalam jaringan, yang menunjukkan bahwa kedua konsep tersebut merupakan inti utama dalam kajian ini. Keterhubungan yang kuat antara kedua istilah tersebut dengan kata kunci seperti *critical thinking skills*, *learning motivation*, dan *science education* mengindikasikan bahwa penelitian PjBL-STEM secara dominan diarahkan pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi dan kompetensi abad ke-21.

Selain itu, keterkaitan antara STEM dengan *scientific attitude* dan konsep-konsep materi seperti perubahan energi menunjukkan bahwa implementasi PjBL-STEM banyak dilakukan pada konteks pembelajaran IPA yang bersifat aplikatif dan kontekstual. Hal ini sejalan dengan temuan Herlita et al. (2023) yang menyatakan bahwa PjBL-STEM lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis karena melibatkan proses rekayasa dan pemecahan masalah nyata. Pada Gambar 2 (overlay visualization), terlihat adanya perbedaan warna yang menunjukkan perkembangan temporal penelitian. Warna kuning hingga hijau merepresentasikan topik yang lebih baru, seperti *critical thinking skills* dan *learning motivation*, sedangkan warna biru menunjukkan topik yang lebih awal berkembang, seperti pjbl. Hal ini menunjukkan bahwa tren penelitian telah mengalami pergeseran dari sekadar implementasi model pembelajaran menuju kajian yang lebih spesifik pada dampak pembelajaran terhadap keterampilan siswa. Temuan ini juga didukung oleh Setyowati dan Aribowo (2024) yang menyatakan bahwa penelitian terbaru PjBL-STEM lebih banyak berfokus pada pengembangan keterampilan abad ke-21.

Meskipun seluruh studi melaporkan hasil positif, terdapat beberapa kelemahan metodologis yang perlu diperhatikan. Banyak penelitian tidak menggunakan kelompok kontrol, sehingga sulit memastikan bahwa peningkatan hasil belajar sepenuhnya disebabkan oleh penerapan PjBL-STEM. Selain itu, ukuran sampel yang kecil menyebabkan validitas eksternal penelitian menjadi rendah. Penggunaan instrumen penilaian yang bersifat subjektif, seperti angket, juga meningkatkan risiko bias dalam pengukuran. Kondisi ini berpotensi menyebabkan overclaim terhadap efektivitas PjBL-STEM, karena hasil penelitian cenderung menunjukkan peningkatan tanpa didukung oleh data yang kuat dan objektif. Selain itu, sebagian besar penelitian belum mengevaluasi proses pembelajaran secara mendalam, khususnya pada tahap engineering dalam STEM. Berdasarkan analisis tersebut, terdapat beberapa celah penelitian yang masih terbuka. Pertama, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan digital scaffolding dalam pembelajaran PjBL-STEM untuk membantu siswa dengan kemampuan awal yang beragam. Kedua, penggunaan authentic assessment dalam mengukur keterampilan proses sains masih sangat terbatas, sehingga penilaian cenderung berfokus pada hasil akhir, bukan proses. Selain itu, penelitian longitudinal yang mengkaji keberlanjutan (retention)

keterampilan proses sains setelah pembelajaran juga masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mengembangkan model PjBL-STEM yang tidak hanya efektif secara jangka pendek, tetapi juga mampu mempertahankan keterampilan siswa dalam jangka panjang.

KESIMPULAN

PjBL-STEM efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan keterampilan proses sains, terutama ketika diintegrasikan dengan teknologi digital dan konteks pembelajaran yang aplikatif. Namun, efektivitas tersebut belum optimal karena masih terdapat kesenjangan pada kurangnya eksplisitasi *Engineering Design Process (EDP)*, dominasi asesmen kognitif tertulis, serta keterbatasan desain penelitian dan ukuran sampel. Kontribusi utama artikel ini adalah memberikan pemetaan tren sekaligus mengungkap gap metodologis dan pedagogis dalam penelitian PjBL-STEM. Implikasinya, pengembangan pembelajaran ke depan perlu mengintegrasikan *digital scaffolding* dan *authentic assessment* agar mampu meningkatkan kualitas proses dan hasil belajar secara lebih komprehensif.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan model PjBL-STEM yang terintegrasi teknologi, menggunakan desain eksperimen yang lebih kuat, serta mengevaluasi proses kognitif dan keterampilan siswa secara lebih mendalam dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriana, J. (2022). Pengaruh PjBL STEM terhadap Literasi Sains dan Problem Solving Siswa SMP. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 6(2), 627-638.
- Agung, I. D. G., Suardana, I. N., & Rapi, N. K. (2021). E-Modul IPA dengan Model STEM-PjBL Berorientasi Pendidikan Karakter untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Ilmiah Pendidikan dan Pembelajaran*, 5(1), 120-133.
- Allanta, T. R., & Puspita, L. (2021). Analisis Keterampilan Berpikir Kritis dan Self Efficacy Peserta Didik: Dampak PjBL-STEM pada Materi Ekosistem. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 7(2), 158-170.
- Anggraynie, R. T., Qadar, R., & Zulkarnaen. (2023). The Effect of STEM-PjBL Learning on Temperature and Heat Material on Student Learning Outcomes at SMPN 2 Bontang. *Kasuari: Physics Education Journal (KPEJ)*, 6(2), 118-126.
- Ardiyansah, E., Rinto, R., & Fatnah, N. (2024). Pengaruh Model PjBL-STEM Menggunakan Algodoo terhadap Pembelajaran IPA dalam Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis dan Keterampilan Berpikir Kreatif. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 13(1), 160-167.
- Azizah, N., & Putra, P. D. A. (2026). Pengembangan LKPD Berbasis Project Based Learning Terintegrasi STEM untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMP. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 16(1), 222-231.
- Chistyakov, A. A., dkk. (2023). Exploring the Characteristics and Effectiveness of Project-Based Learning for Science and STEAM Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(5), em2256.
- Djam'an, N., Amaliah, N., & Arwadi, F. (2024). Pengaruh Penerapan Model PjBL dengan Pendekatan STEM terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kreatif Matematis Siswa. *Proximal: Jurnal Penelitian Matematika dan Pendidikan Matematika*, 7(1).
- Gunada, I. W., dkk. (2023). Validitas Perangkat Model Project Based Learning Berbasis STEM pada Pokok Bahasan Perubahan Energi untuk Meningkatkan Sikap Ilmiah. *Empiricism Journal*, 4(1), 134-144.

- Herlita, F., Yamtinah, S., & Wati, I. K. (2023). The Effectiveness of the PjBL-STEM Model on Students' Critical Thinking Ability in Science Learning. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 9(2), 192-202.
- Izzah, N., & Mulyana, V. (2021). Meta Analisis Pengaruh Integrasi Pendidikan STEM dalam Model Project Based Learning Terhadap Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 7(1), 65-76.
- Kade, A., Ningsih, P., dkk. (2023). Mengoptimalkan Literasi Sains melalui Implementasi STEM-Project Based Learning Model dalam Pembelajaran IPA. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara (JPkMN)*, 4(4), 3770-3776.
- Karlina, C. M., Susilowati, E., & Fakhrudin, I. A. (2023). Pengaruh Model Pembelajaran STEM-PJBL terhadap Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa SMP pada Materi Hidrosfer. *JagoMIPA: Jurnal Pendidikan Matematika dan IPA*, 3(1), 33-41.
- Ma'wa, A. J., Toto, & Kustiawan, A. (2022). Pengaruh Model PJBL-STEM dalam Pembelajaran IPA pada Materi Bioteknologi terhadap Motivasi Belajar Siswa. *J-KIP (Jurnal Keguruan dan Ilmu Pendidikan)*, 3(1), 307-314.
- Nazliyati, Danil, M., & Aldyza, N. (2025). Pengaruh Penggunaan Teknologi Augmented Reality terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa pada Materi Perkembangbiakan Makhluk Hidup. *Bestari: Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 6(1).
- Novitasari, A., Isnaini, L. A., & Supriyadi, S. (2024). The STEM-based Project-Based Learning Impact on Students' Critical Thinking Skills. *Inornatus: Biology Education Journal*, 4(2), 91-102.
- Padang, F. A. L., Ramlawati, & Yunus, S. R. (2022). Media Assemblr Edu Berbasis Augmented Reality Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Materi Sistem Organisasi Kehidupan Makhluk Hidup. *Diklabio: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Biologi*, 6(1), 38-46.
- Putri, S. D., & Yanto, F. (2025). Pengaruh Penerapan Model PJBL-STEM terhadap Hasil Belajar Peserta Didik di SMPN 4 Lubuk Alung. *JPK: Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 2(4).
- Rahardhian, A. (2022). Pengaruh Pembelajaran PJBL Berbasis STEM terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa pada Materi Listrik Dinamis. *Jurnal Inovasi Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 3(1).
- Rahma, F. A., & Nuha, U. (2026). Pengaruh Model Project Based Learning (PjBL) Berbasis STEM terhadap Keterampilan Proses Sains Siswa SMP dalam Pembelajaran IPA. *Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, 6(1), 66-74.
- Saban, M., Tolangara, A., & Hasan, S. (2023). Pengaruh Penggunaan Model Project Based Learning (PjBL) Berpendekatan STEAM terhadap Hasil Belajar Kognitif Siswa. *Jurnal Bioedukasi*, 6(1).
- Saputra, A., dkk. (2026). An Integrative PjBL-STEM and Virtual Laboratory Learning Model for Developing 21st Century Scientific Literacy in Junior High School Science. *IJIS Edu: Indonesian Journal of Integrated Science Education*, 8(1).
- Setyowati, Y., & Aribowo, L. A. (2024). Literature Review: Efektivitas PjBL-STEM Meningkatkan Keterampilan Abad 21 dalam Pembelajaran IPA di SMP. *Science Education and Development Journal Archives (SENDJA)*, 2(2), 61-67.
- Shodiq, D. E., Muzzazinah, & Setyono, P. (2025). The Development of Science Learning Modules Based on PjBL-STEM to Improve Creative Thinking Skills on Environmental Pollution Materials. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA)*, 11(4), 41-47.
- Zendrato, E. K., dkk. (2024). Efektivitas Model Project-Based Learning Terintegrasi STEM dalam Peningkatan Kemampuan Literasi Sains. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, 5(4).