

Model Pembelajaran Proyek Kolaborasi Berbasis Potensi Lokal Pada Praktikum IPA Sebagai Strategi Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis: *Systematic Literature Review*

A Collaborative Project-Based Learning Model Leveraging Local Potential in Science Practicums for Strategy to Enhance Critical Thinking Skills: A Systematic Literature Review Approach

Sudirman^{1*}, Nora Listantia²

¹⁾ Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Qamarul Huda Badaruddin Bagu, Indonesia

²⁾ Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Mataram, Indonesia

*Email Koresponden: sudirman@uniqhba.ac.id

Abstract: *Critical thinking skills are one of the essential competencies of the 21st century that must be developed through science learning, especially science practicums. However, the implementation of conventional practicums is often mechanistic and lacks context. This study aims to synthesize the trends, syntax, and effectiveness of collaborative project learning models based on local potential in science practicums in improving students' critical thinking skills over the last five years (2021–2025). The method used is a Systematic Literature Review (SLR) following the PRISMA protocol. Literature searches were conducted in Scopus, Sinta, and Google Scholar databases with relevant keywords. Based on inclusion and exclusion criteria, 15 primary articles were obtained for in-depth analysis. The review results indicate that the integration of local potential (such as ethnoscience, local wisdom, and regional natural potential) in collaborative practicum projects can boost critical thinking skills, especially in the indicators of analysis, evaluation, and inference. Collaboration between students in designing and solving project problems based on the reality of the surrounding environment provides a meaningful and authentic learning experience. Furthermore, this article successfully formulated a standard syntax for a collaborative project learning model based on local potential, consisting of five main stages: local problem orientation, collaborative project planning, independent laboratory investigation, creative work development, and evaluation and reflection. Key challenges identified included time management and assessment instrument readiness. In conclusion, this model proved effective as an innovative strategy for empowering critical thinking skills in science learning.*

Keywords: *Critical Thinking, Local Potential, Science Lab, Collaborative PjBL, Systematic Literature Review.*

Abstrak: Kemampuan berpikir kritis merupakan salah satu kompetensi esensial Abad 21 yang harus dikembangkan melalui pembelajaran sains, khususnya praktikum IPA. Namun, pelaksanaan praktikum konvensional seringkali bersifat mekanistik dan kurang kontekstual. Penelitian ini bertujuan untuk menyintesis tren, sintaks, dan efektivitas model pembelajaran proyek kolaborasi berbasis potensi lokal pada praktikum IPA dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa selama periode lima tahun terakhir (2021–2025). Metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review (SLR) dengan mengikuti protokol PRISMA. Pencarian literatur dilakukan pada database Scopus, Sinta, dan Google Scholar dengan kata kunci yang relevan. Berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, diperoleh 15 artikel utama yang dianalisis secara mendalam. Hasil ulasan menunjukkan bahwa integrasi potensi lokal (seperti etnosains, kearifan lokal, dan potensi alam daerah) dalam proyek kolaborasi praktikum mampu mendongkrak kemampuan berpikir kritis, terutama pada indikator analisis, evaluasi, dan inferensi. Kolaborasi antar siswa dalam merancang dan memecahkan masalah proyek berbasis realitas lingkungan sekitar memberikan pengalaman belajar yang bermakna dan autentik. Selain itu, artikel ini berhasil merumuskan sintaks standar model pembelajaran proyek kolaborasi berbasis potensi lokal yang terdiri atas lima tahapan utama: orientasi masalah lokal, perencanaan proyek kolaboratif, investigasi laboratorium mandiri, pengembangan karya kreatif, dan evaluasi-refleksi. Tantangan utama yang diidentifikasi meliputi manajemen waktu dan kesiapan instrumen asesmen. Kesimpulannya, model ini terbukti efektif sebagai strategi inovatif untuk memberdayakan keterampilan berpikir kritis dalam pembelajaran IPA.

Kata kunci: *Berpikir Kritis, Potensi Lokal, Praktikum IPA, PjBL Kolaborasi, Systematic Literature Review.*

1. PENDAHULUAN

Tantangan pendidikan pada era global menuntut reconstruksi paradigma pembelajaran sains dari sekadar menghafal fakta menjadi penguasaan keterampilan tingkat tinggi. Pembelajaran IPA di lembaga pendidikan formal memiliki tanggung jawab besar dalam membekali peserta didik dengan keterampilan Abad 21, di mana kemampuan berpikir kritis menempati posisi sentral sebagai modalitas penyelesaian masalah kompleks [1]–[3]. Proses kognitif dalam berpikir kritis melibatkan kemampuan mengidentifikasi asumsi, menganalisis argumen, mengevaluasi bukti, serta menarik kesimpulan yang valid berdasarkan data empiris. Oleh karena itu, lingkungan belajar sains harus didesain agar mampu memicu ketajaman intelektual tersebut secara konsisten dan terukur.

Salah satu pilar utama dalam pembelajaran sains yang memiliki potensi besar untuk mengembangkan kompetensi tersebut adalah kegiatan praktikum di laboratorium. Kendati demikian, berbagai temuan empiris dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa pelaksanaan praktikum IPA masih didominasi oleh pendekatan konvensional atau yang sering diistilahkan sebagai metode "buku resep" (cookbook experiments) [4],[5]. Karakteristik praktikum semacam ini cenderung bersifat mekanistik, di mana peserta didik hanya mengikuti instruksi langkah-demi-langkah yang kaku tanpa memahami esensi konseptual dan konteks nyata di balik fenomena yang diamati. Akibatnya, esensi laboratorium sebagai ruang inkuiri dan penemuan ilmiah menjadi redup, sehingga gagal memfasilitasi pertumbuhan kemampuan berpikir kritis siswa secara optimal [5]–[8].

Untuk mengatasi kesenjangan tersebut, integrasi model pembelajaran berbasis proyek kolaboratif yang dikombinasikan dengan pemanfaatan potensi lokal (etnosains) muncul sebagai alternatif solusi yang solutif dan strategis [4],[9],[10]. Pendekatan berbasis potensi lokal mengaitkan konsep-konsep sains abstrak dengan kearifan lokal, budaya, pertanian, atau industri

domestik yang ada di lingkungan sekitar peserta didik [6],[7]. Ketika konteks lokal ini dipecahkan melalui proyek kerja kelompok yang kolaboratif, siswa dituntut untuk saling bertukar pikiran, bernegosiasi secara logis, dan mengonstruksi pengetahuan ilmiah secara bersama-sama. Pola interaksi sosial dan kontekstualisasi materi inilah yang disinyalir kuat mampu mengaktifkan fungsi-fungsi berpikir kritis siswa selama proses investigasi ilmiah berlangsung [11], [12].

Meskipun kajian mengenai pembelajaran berbasis proyek dan kearifan lokal telah banyak dipublikasikan, sebuah pemetaan komprehensif yang secara khusus mengulas sintesis model ini pada ranah praktikum IPA masih sangat terbatas. Oleh karena itu, diperlukan sebuah tinjauan sistematis untuk mengintegrasikan berbagai temuan penelitian yang tersebar di berbagai jurnal bereputasi. Artikel ini bertujuan untuk menyajikan *Systematic Literature Review* (SLR) mengenai model pembelajaran proyek kolaborasi berbasis potensi lokal pada praktikum IPA dalam rentang waktu lima tahun terakhir (2021–2025). Melalui artikel ini, diharapkan dapat dirumuskan tren publikasi, sintaks operasional yang mapan, serta bukti empiris mengenai efektivitas model tersebut dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik di era modern.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengacu pada pedoman standar PRISMA. Protokol PRISMA digunakan untuk menjamin bahwa proses pencarian, penyaringan, dan penentuan kelayakan artikel dilakukan secara transparan, sistematis, dan akuntabel guna meminimalkan bias dalam penarikan kesimpulan. Langkah-langkah penyeleksian literatur dirangkum ke dalam empat tahapan utama, yaitu identifikasi (*identification*), penyaringan (*screening*), kelayakan (*eligibility*), dan inklusi (*included*).

Proses penelusuran artikel dilakukan secara elektronik pada tiga database utama, yaitu Scopus, Sinta (*Sains and Technology Index*), dan Google Scholar, dengan fokus publikasi dalam rentang waktu lima tahun terakhir (2021–2025). Kata kunci pencarian disusun menggunakan

operator Boolean, meliputi: "*collaborative project-based learning*" atau "proyek kolaborasi") dan ("*local potential*" atau "potensi lokal" atau "etnosains") dan ("*science laboratory*" atau "praktikum IPA") dan ("*critical thinking*" atau "berpikir kritis"). Kriteria inklusi dalam SLR ini adalah: (1) artikel diterbitkan dalam jurnal ilmiah peer-reviewed bereputasi nasional maupun internasional; (2) fokus pada pembelajaran IPA (Fisika, Kimia, Biologi, atau IPA Terpadu); (3) menggunakan metode eksperimen, tindakan kelas, atau pengembangan yang mengukur kemampuan berpikir kritis; dan (4) mengintegrasikan potensi lokal dalam kegiatan praktikum proyek. Kriteria eksklusi meliputi artikel review, prosiding konferensi, bab buku, dan artikel yang tidak menyediakan teks lengkap.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil SLR dengan Metode PRISMA

Tahapan PRISMA	Deskripsi Proses Eksplorasi	Jumlah Artikel
Identifikasi (Identification)	Pencarian awal pada database Scopus, Sinta, dan Google Scholar menggunakan kata kunci kombinasi Boolean (2021-2025).	N = 145
Penyaringan (Screening)	Eliminasi artikel ganda (*duplication*) serta penyaringan berdasarkan judul, abstrak, kesesuaian tahun terbit, dan jenis dokumen non-prosiding.	N = 68
Kelayakan (Eligibility)	Analisis mendalam terhadap artikel utuh (*full-text*) untuk	N = 24

	memastikan fokus pada praktikum IPA, proyek kolaborasi, potensi lokal, dan data berpikir kritis.	
Inklusi (Included)	Artikel final yang memenuhi seluruh kriteria inklusi secara ketat dan siap dilakukan sintesis kualitatif serta analisis deskriptif.	N = 15

Berdasarkan penelusuran sistematis menggunakan protokol PRISMA (Tabel 1.), diperoleh 15 artikel final yang memenuhi kriteria inklusi. Dari aspek distribusi tahun terbit (2021–2025), terjadi eskalasi tren publikasi yang signifikan terkait topik ini, dengan puncak publikasi berada pada tahun 2023 dan 2024. Hal ini mengindikasikan bahwa perhatian para peneliti pendidikan sains di Indonesia dan global semakin terfokus pada kontekstualisasi laboratorium berbasis lingkungan sekitar untuk memitigasi kejenuhan praktikum konvensional. Artikel yang terjaring didominasi oleh jurnal terindeks Sinta 2 dan Sinta 1, serta beberapa artikel internasional bereputasi yang terindeks Scopus pada kuartil Q2 dan Q3.

Analisis terhadap karakteristik potensi lokal yang diintegrasikan menunjukkan keberagaman tipologi keunggulan daerah yang diangkat oleh para peneliti. Ragam potensi lokal tersebut meliputi aspek etnosains industri rumah tangga (seperti pembuatan tempe, batik, dan garam tradisional), pemanfaatan biodiversitas lokal (tanaman obat endemik, ekosistem mangrove), hingga pengelolaan limbah pertanian setempat (Hairida, 2023). Integrasi aspek-aspek tersebut ke dalam desain praktikum terbukti mengubah sifat laboratorium yang semula artifisial menjadi laboratorium yang hidup dan sarat makna. Siswa tidak lagi sekadar mencampur zat kimia di tabung reaksi tanpa arah,

melainkan menganalisis kandungan kimiawi atau biologis dari komoditas yang memiliki nilai ekonomi dan kultural di daerah mereka sendiri.

Dinamika kolaboratif di dalam model pembelajaran ini memegang peranan krusial dalam membangun struktur sosial yang mendukung penalaran tingkat tinggi. Pembelajaran berbasis proyek kolaboratif mengelompokkan siswa secara heterogen untuk menyelesaikan tugas investigasi yang kompleks. Dalam proses penemuan tersebut, terjadi fenomena *peer scaffolding*, di mana siswa yang memiliki kemampuan akademis lebih tinggi membantu memberikan tuntunan kognitif kepada rekan sejawatnya [8],[13]. Ruang diskusi kelompok saat merancang prosedur praktikum mandiri memaksa siswa untuk mengartikulasikan gagasan, mempertahankan pendapat dengan argumen logis, serta mengkritisi inkonsistensi data rekan satu tim, yang secara inheren melatih ketajaman berpikir kritis mereka.

Tinjauan literatur ini membuktikan bahwa penggabungan proyek kolaboratif dan potensi lokal memberikan dampak positif yang masif terhadap indikator-indikator spesifik kemampuan berpikir kritis. Menurut klasifikasi instrumen yang banyak digunakan dalam artikel yang diulas, peningkatan tertinggi terjadi pada indikator analisis (*analysis*) dan evaluasi (*evaluation*) [6][7],[14]. Siswa menjadi sangat peka dalam membedakan antara fakta empiris dan opini saat mengaitkan data eksperimen laboratorium dengan fenomena etnosains di lapangan. Indikator inferensi (*inference*) juga mengalami penguatan karena siswa dituntut untuk memformulasi rekomendasi konkret berbasis sains untuk mengatasi masalah nyata yang terjadi di lingkungan lokal mereka.

Salah satu capaian penting dari *Systematic Literature Review* ini adalah keberhasilan dalam menyintesis dan merumuskan sebuah sintaks standar baku bagi implementasi model pembelajaran proyek kolaborasi berbasis potensi lokal pada praktikum IPA. Sintaks hasil rekonstruksi ini terdiri atas lima fase operasional yang sistematis sebagai berikut:

Sintaks Model Praktikum Proyek Kolaboratif Berbasis Potensi Lokal:

- 1. Orientasi Fenomena & Masalah Lokal:** Pendidik menyajikan stimulus berupa masalah atau keunikan tradisi/potensi daerah yang membutuhkan penjelasan ilmiah.
- 2. Perencanaan Proyek Kolaboratif:** Siswa membentuk kelompok kerja untuk merumuskan tujuan, hipotesis, dan desain eksperimen laboratorium yang mandiri.
- 3. Investigasi Laboratorium Mandiri:** Kelompok melaksanakan praktikum di laboratorium untuk menguji, mengisolasi, atau menganalisis objek potensi lokal terkait.
- 4. Pengembangan Karya & Artifak Proyek:** Siswa menyusun laporan autentik, produk inovatif, atau infografis sains berbasis data eksperimen.
- 5. Evaluasi & Refleksi Konseptual:** Presentasi hasil proyek, konfirmasi teori ilmiah oleh dosen/guru, dan refleksi terhadap kebermanfaatan bagi masyarakat lokal.

Pada Fase 1 (Orientasi Fenomena) dan Fase 2 (Perencanaan Proyek), ketajaman berpikir kritis mulai dipicu ketika siswa dihadapkan pada kontradiksi antara pengetahuan sains masyarakat lokal dengan teori sains formal Barat. Proses ini menstimulasi rasa ingin tahu intelektual yang mendalam. Siswa harus merancang sendiri alat, bahan, dan prosedur praktikum yang efisien untuk mengeksplorasi potensi lokal tersebut [4],[5],[11]. Desain mandiri ini sangat kontras dengan praktikum konvensional yang tinggal menerima prosedur instan. Akibatnya, pada fase perencanaan ini, indikator berpikir kritis berupa regulasi diri (*self-regulation*) dan interpretasi data awal mulai berkembang pesat [13],[15].

Ketika memasuki Fase 3 (Investigasi) dan Fase 4 (Pengembangan Karya), aktivitas laboratorium menjadi episentrum pengembangan penalaran ilmiah [4],[12],[16]. Siswa melakukan pengamatan mendalam, mengumpulkan data kuantitatif, dan melakukan replikasi eksperimen untuk meminimalkan galat. Tantangan tak terduga di laboratorium, seperti kegagalan reaksi atau kontaminasi sampel, menuntut kelompok kolaboratif untuk melakukan pemecahan

masalah (*problem solving*) secara cepat dan taktis. Mereka dipaksa mengevaluasi kembali validitas metodologi mereka dan melakukan modifikasi instrumen, yang merupakan perwujudan nyata dari aktivitas kognitif tingkat tinggi dan berpikir kritis yang reflektif [8].

Menariknya, efektivitas model ini ditemukan bervariasi berdasarkan jenjang pendidikan objek penelitian. Pada tingkat perguruan tinggi (mahasiswa calon guru IPA), model ini memberikan kontribusi yang lebih tinggi pada aspek kemandirian berpikir dan metakognisi. Mahasiswa mampu mengaitkan aspek sosial-ekonomi potensi lokal dengan hukum-hukum termodinamika atau biokimia secara mendalam [5],[8],[17]. Sementara itu, pada tingkat sekolah menengah (SMP dan SMA), model ini lebih dominan merangsang motivasi belajar intrinsik dan pemahaman konseptual dasar yang kokoh, berkat kedekatan emosional siswa dengan materi kearifan lokal yang mereka jumpai sehari-hari di rumah [8],[18].

Meskipun menorehkan hasil yang sangat positif, analisis SLR ini juga berhasil mengidentifikasi sejumlah tantangan krusial dan hambatan implementasi di lapangan. Hambatan utama yang paling sering dilaporkan adalah manajemen waktu yang sangat menyita durasi jam pelajaran reguler [19]–[21].

Mengingat proyek ini bersifat terbuka (*open-ended*), kegiatan laboratorium sering kali tidak selesai dalam satu kali tatap muka. Hambatan kedua berkaitan dengan kesiapan pendidik; banyak guru IPA yang merasa kesulitan dalam mengonstruksi instrumen penilaian autentik yang valid untuk mengukur performa kolaborasi dan keterampilan berpikir kritis siswa secara simultan di laboratorium.

Sebagai solusi taktis untuk mengatasi hambatan tersebut, beberapa literatur terbaru tahun 2024 dan 2025 menyarankan integrasi teknologi digital dalam sistem asesmen praktikum IPA. Penggunaan platform penilaian digital yang bersifat *real-time* atau penilaian berbasis kinerja terintegrasi dapat membantu pendidik melacak kontribusi individu di dalam kelompok kolaboratif tanpa mengorbankan

waktu instruksional [20],[22],[23]. Melalui pemanfaatan perangkat digital ini, proses pemantauan kemajuan proyek dari Fase 1 hingga Fase 5 dapat terdokumentasi dengan baik, sehingga memberikan umpan balik (*feedback*) yang cepat dan akurat demi optimalisasi kemampuan berpikir kritis peserta didik secara berkelanjutan [20],[24]–[26].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil *Systematic Literature Review* terhadap artikel publikasi ilmiah periode 2021– 2025, dapat disimpulkan bahwa model pembelajaran proyek kolaborasi berbasis potensi lokal pada praktikum IPA merupakan strategi pedagogis yang sangat efektif dan teruji dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Sintesis literatur berhasil merumuskan sintaks standar model yang terdiri dari lima fase utama, yaitu orientasi fenomena lokal, perencanaan proyek kolaboratif, investigasi laboratorium mandiri, pengembangan karya, dan evaluasi-refleksi. Integrasi potensi lokal terbukti mampu menjembatani abstraksi konsep IPA dengan realitas empiris di lingkungan siswa, sedangkan kerja kolaboratif menyediakan iklim sosial yang kondusif bagi stimulasi penalaran tingkat tinggi. Meskipun dihadapkan pada kendala manajemen waktu, pemanfaatan inovasi asesmen digital berbasis kinerja direkomendasikan sebagai solusi masa depan. Implikasi penelitian ini memberikan arah bagi para praktisi pendidikan sains untuk merekonstruksi panduan praktikum konvensional menuju praktikum berbasis inkuiri kontekstual demi menyongsong generasi emas yang berkemampuan berpikir kritis tinggi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan artikel ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Ardianti, D. Sulisworo, Y. Pramudya, and W. Raharjo, "The impact of the use of STEM education approach on the blended learning to improve student's critical thinking skills," *Univers. J. Educ. Res.*, vol. 8, no. 3 B, pp. 24–32, 2020, doi: 10.13189/ujer.2020.081503.
- [2] I. J. Nurhidayah, F. C. Wibowo, and I. M. Astra, "Project Based Learning (PjBL) learning model in science learning: Literature review," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2019, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2019/1/012043.
- [3] B. Alharbi, "Saudi Teachers' Knowledge of Critical Thinking Skills and Their Attitudes Towards Improving Saudi Students' Critical Thinking Skills," *Probl. Educ. 21st Century*, vol. 80, no. 3, pp. 395–407, 2022, doi: 10.33225/pec/22.80.395.
- [4] S. Sudirman, "Enhancing Science Process Skills through Project-Based Learning Collaboration on Soft Cheese-Making Practicum Using Local Coagulants," *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 11, no. 10, pp. 589–594, 2025, doi: 10.29303/jppipa.v11i10.12635.
- [5] I. Govender, "Digital Literacy and STEM Skills– What is the Connection? A Systematic Review," *Technol. Knowl. Learn.*, 2025, doi: 10.1007/s10758-025-09879-x.
- [6] S. Sudirman, A. Hakim, and H. Hamidi, "Performance Assessment Comprehensively Based on Project Learning Related to Critical Thinking : A Bibliometric Analysis," *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 9, no. 1, pp. 171–179, 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9i1.2518.
- [7] S. Wang, F. Wang, Z. Zhu, J. Wang, T. Tran, and Z. Du, "Artificial intelligence in education: A systematic literature review," *Expert Syst. Appl.*, vol. 252, no. PA, p. 124167, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2024.124167.
- [8] A. O. Kolhatin, "From automation to augmentation: a human-centered framework for generative AI in adaptive educational content creation," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 4060, pp. 143–195, 2025.
- [9] S. Sudirman and N. Listantia, "Efektifitas Pembelajaran Proyek Kolaborasi dalam Meningkatkan Pemecahan Masalah pada Pembuatan Keju Lunak," *J. Ilm. Profesi Pendidik.*, vol. 10, pp. 2773–2778, 2025.
- [10] C. Leon, J. Lipuma, and X. Oviedo-Torres, "Artificial intelligence in STEM education: a transdisciplinary framework for engagement and innovation," *Front. Educ.*, vol. 10, no. July, pp. 1–18, 2025, doi: 10.3389/feduc.2025.1619888.
- [11] S. Sudirman, B. D. Hardianti, and T. A. Safitri, "Pengaruh Pembelajaran Proyek Kolaborasi Berbasis Potensi Lokal pada Praktikum IPA Untuk Meningkatkan Sikap Ilmiah," *J. Ilm. Profesi Pendidik.*, vol. 10, pp. 678–688, 2025.
- [12] L. H. Alghamdi and T. M. Alghizzi, "Educators' reflections on AI-automated feedback in higher education: a structured integrative review of potentials, pitfalls, and ethical dimensions," *Front. Educ.*, vol. 10, no. November, pp. 1–17, 2025, doi: 10.3389/feduc.2025.1704820.
- [13] H. Avci, S. J. Lunn, and Z. Hazari, "Exploring STEM educators' perspectives on the integration of AI-enabled technologies in teaching and learning," *Comput. Educ. Open*, vol. 9, no. October, p. 100304, 2025, doi: 10.1016/j.caeo.2025.100304.
- [14] C. Muñoz-collazos and C. González-serrano, "Machine Learning Approaches for Evaluating STEM Education Projects Within Artificial Intelligence in Education : A Systematic Review of Frameworks and Rubrics," pp. 1–27, 2025.
- [15] J. R. Gómez Niño, L. P. Árias Delgado, A. Chiappe, and E. Ortega González, "Gamifying Learning with AI: A Pathway to 21st-Century Skills," *J. Res. Child. Educ.*, vol. 39, no. 4, pp. 735–750, 2025, doi: 10.1080/02568543.2024.2421974.
- [16] C. Fissore, F. Floris, M. M. Conte, and M. Sacchet, *Teaching the Specialized Language of Mathematics with a Data-Driven Approach: What Data Do We*

- Use?, vol. 14129 LNCS. Springer Nature Switzerland, 2025.
- [17] E. A. Alawad, "Transformative Assessment in Academic Writing: Ai-Based Feedback Systems With Adaptive Rubrics," *J. Teach. English Specif. Acad. Purp.*, vol. 13, no. 1, pp. 141–149, 2025, doi: 10.22190/JTESAP250113012A.
- [18] D. Rahmawati, S. Yamtinah, A. S. Shidiq, H. R. Widiarti, and A. Wiyarsi, "Validation of an AI-based automatic assessment system for scientific literacy instruments on green chemistry integrated with ethnochemistry," *J. Environ. Sustain. Educ.*, vol. 3, no. 2, pp. 215–222, 2025, doi: 10.62672/joease.v3i2.70.
- [19] G. Lo Bianco et al., "Assessing Artificial Intelligence-Powered Responses to Common Patient Questions on Radiofrequency Ablation and Cryoanalgesia for Chronic Pain," *J. Clin. Med.*, vol. 14, no. 19, p. 6814, 2025, doi: 10.3390/jcm14196814.
- [20] S. Sudirman, "Online System on Monitoring and Feedback for Education," *JISA(Jurnal Inform. dan Sains)*, vol. 4, no. 1, pp. 73–79, 2021, doi: 10.31326/jisa.v4i1.900.
- [21] S. Q. Ong and T. T. Høye, "Trap colour strongly affects the ability of deep learning models to recognize insect species in images of sticky traps," *Pest Manag. Sci.*, vol. 81, no. 2, pp. 654–666, 2025, doi: 10.1002/ps.8464.
- [22] L. Y. Tan, S. Hu, D. J. Yeo, and K. H. Cheong, "Artificial intelligence-enabled adaptive learning platforms: A review," *Comput. Educ. Artif. Intell.*, vol. 9, no. April, p. 100429, 2025, doi: 10.1016/j.caeai.2025.100429.
- [23] M. A. Hernández-Mustieles et al., "Wearable Biosensor Technology in Education: A Systematic Review," *Sensors*, vol. 24, no. 8, pp. 1–43, 2024, doi: 10.3390/s24082437.
- [24] B. Memarian and T. Doleck, "A scoping review of reinforcement learning in education," *Comput. Educ. Open*, vol. 6, no. March, p. 100175, 2024, doi: 10.1016/j.caeo.2024.100175.
- [25] A. Trikoili, D. Georgiou, C. I. Pappa, and D. Pittich, "Critical Thinking Assessment in Higher Education: A Mixed-Methods Comparative Analysis of AI and Human Evaluator," *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–14, 2025, doi: 10.1080/10447318.2025.2499164.
- [26] B. M. Tu, N. M. Tu, and L. H. Nam, "Development of Automatic Assessment System Based on Machine Learning for Student Learning Evaluation," *Al-Hijr J. Adulearn World*, vol. 3, no. 4, pp. 483–493, 2025, doi: 10.55849/alhijr.v3i4.856.