



Integrating an Artificial Intelligence–Assisted Investigative Science Learning Environment (ISLE) in Senior High School Physics Education: A Systematic Literature Review on Scientific Ability and Scientific Attitude

Ratih Tri Aidawati, Sentot Kusairi*, & Sujito

Physics Education, Faculty of Mathematics and Natural Science, State University of Malang, Indonesia
Corresponding author: sentot.kusairi.fmipa@um.ac.id

Abstract: This study employed a Systematic Literature Review (SLR) to examine the integration of the Investigative Science Learning Environment (ISLE) supported by Artificial Intelligence (AI) in senior high school physics learning, focusing on scientific ability and scientific attitude. Using the PRISMA 2020 framework, 28 articles published between 2015 and 2024 were analyzed. The findings indicate that ISLE research has evolved significantly, with studies from 2015–2019 emphasizing its constructivist foundations and effectiveness in developing scientific reasoning, conceptual understanding, and inquiry skills. In the 2020–2024 period, research shifted toward AI integration for data analysis, automated feedback, real-time assessment, and personalized inquiry-based learning. Overall, the integration of AI within ISLE enhances evidence-based learning, investigation efficiency, and student engagement, while positively impacting students' scientific abilities such as reasoning, investigative skills, and problem-solving and scientific attitudes, including curiosity, perseverance, and objectivity, highlighting its relevance for twenty-first-century education.

Keywords : AI, ISLE in physics, scientific ability, scientific attitude

Integrasi Pendekatan Investigative Science Learning Environment (ISLE) Berbantuan Artificial Intelligence dalam Pembelajaran Fisika SMA: Systematic Literature Review terhadap Scientific Ability dan Scientific Attitude

Abstrak: Penelitian ini menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengkaji integrasi pendekatan *Investigative Science Learning Environment* (ISLE) berbantuan *Artificial Intelligence* (AI) dalam pembelajaran fisika di jenjang SMA, dengan fokus pada *scientific ability* dan *scientific attitude*. Kajian ini menerapkan kerangka PRISMA 2020 dan menganalisis 28 artikel yang dipublikasikan pada rentang tahun 2015–2024. Hasil kajian menunjukkan bahwa penelitian mengenai ISLE mengalami perkembangan yang signifikan, di mana pada periode 2015–2019 penelitian lebih menekankan pada landasan konstruktivistik ISLE serta efektivitasnya dalam mengembangkan penalaran ilmiah, pemahaman konseptual, dan keterampilan inkuiri. Pada periode 2020–2024, fokus penelitian bergeser ke arah integrasi AI untuk analisis data, pemberian umpan balik otomatis, asesmen waktu nyata, serta dukungan terhadap pembelajaran inkuiri yang dipersonalisasi. Secara keseluruhan, integrasi AI dalam kerangka ISLE meningkatkan pembelajaran berbasis bukti, efisiensi investigasi ilmiah, dan keterlibatan siswa, serta memberikan dampak positif terhadap kemampuan ilmiah siswa—seperti penalaran, keterampilan investigatif, dan pemecahan masalah—serta sikap ilmiah, termasuk rasa ingin tahu, ketekunan, dan objektivitas, sehingga relevan dengan tuntutan pendidikan abad ke-21.

Kata kunci: AI, ISLE pada fisika, *scientific ability*, *scientific attitude*

PENDAHULUAN

Pembelajaran fisika idealnya tidak hanya berfokus pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan *scientific ability* dan *scientific attitude* siswa. Dalam konteks abad ke-21, peserta didik dituntut untuk mampu berpikir kritis, merancang eksperimen, menafsirkan data, dan menunjukkan sikap ilmiah dalam menghadapi fenomena alam. Namun, realitas di lapangan menunjukkan bahwa pembelajaran fisika di tingkat SMA masih banyak berorientasi pada hafalan rumus dan penyelesaian soal rutin. Kegiatan laboratorium sering kali bersifat verifikatif, tidak memberi ruang bagi siswa untuk mengembangkan kemampuan ilmiah secara mandiri. Akibatnya, keterampilan proses sains dan sikap ilmiah belum berkembang optimal (Nuraini et al., 2024).

Pendekatan *Investigative Science Learning Environment* (ISLE) yang dikembangkan oleh Etkina & Planinšič, (2015) hadir sebagai inovasi pedagogis untuk menjembatani kesenjangan tersebut. ISLE menekankan pembelajaran yang meniru proses ilmuwan dalam menemukan hukum fisika, yakni melalui observasi fenomena, pembuatan hipotesis, desain eksperimen, interpretasi data, dan formulasi kesimpulan. Melalui siklus inkuiri ini, siswa dilatih untuk berpikir ilmiah dan membangun pemahaman konseptual yang mendalam. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa ISLE efektif meningkatkan *scientific abilities*, *conceptual understanding*, serta *scientific reasoning* siswa (Diraya et al., 2025).

Di sisi lain, kemajuan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*, AI) telah membuka peluang baru dalam pembelajaran sains modern. AI dapat berperan sebagai tutor adaptif, asisten laboratorium virtual, dan alat refleksi berbasis data yang mampu memberikan umpan balik cepat dan personal kepada siswa (Holmes et al., 2019). Integrasi AI dalam pembelajaran berbasis ISLE berpotensi memperkuat proses inkuiri melalui simulasi interaktif, analisis data otomatis, serta scaffolding dinamis yang menyesuaikan dengan tingkat kemampuan siswa. Dengan demikian, kombinasi ISLE dan AI diyakini mampu mengoptimalkan pengembangan *scientific ability* dan *scientific attitude* secara bersamaan. Meskipun penelitian tentang ISLE dan AI telah berkembang secara terpisah, kajian literatur yang secara sistematis mengulas integrasi keduanya dalam pembelajaran fisika, khususnya pada tingkat SMA dan dalam konteks pengembangan kemampuan serta sikap ilmiah, masih terbatas. Beberapa studi review sebelumnya berfokus hanya pada efektivitas ISLE (Diraya et al., 2025) atau peran AI dalam pendidikan sains (Zawacki-richter et al., 2019), namun belum ada yang memetakan hubungan konseptual dan empiris antara keduanya. Oleh karena itu, kajian literatur sistematis (*Systematic Literature Review*) ini dilakukan untuk mengidentifikasi tren penelitian, sintesis tematik, serta kesenjangan (*research gap*) dalam studi integratif ISLE berbantuan AI pada pembelajaran fisika SMA, terutama yang menelaah aspek *scientific ability* dan *scientific attitude* siswa.

METODE

Penelitian ini merupakan *Systematic Literature Review* (SLR) yang disusun berdasarkan pedoman PRISMA 2020 (Page et al., 2021). SLR ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan menyintesis hasil penelitian empiris maupun konseptual yang membahas penerapan pendekatan *Investigative Science Learning Environment* (ISLE) berbantuan AI dalam pembelajaran fisika di tingkat SMA, terutama yang berfokus pada pengembangan *scientific ability* dan *scientific attitude*.

Pendekatan sistematis digunakan agar proses penelusuran dan seleksi artikel bersifat transparan, replikatif, serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Snyder, 2019). Proses ini meliputi empat tahapan utama sesuai diagram alur PRISMA, yaitu identifikasi,

penyaringan, kelayakan, dan inklusi. Pencarian literatur dilakukan pada basis data ilmiah terindeks Scopus, Web of Science (WoS), ERIC (Education Resources Information Center), Google Scholar (sebagai pelengkap untuk publikasi open-access). Kata kunci yang digunakan dirancang menggunakan Boolean operators (AND, OR) dan disesuaikan dengan *search syntax* tiap basis data, yaitu: (“Investigative Science Learning Environment” OR ISLE) AND (“Artificial Intelligence” OR AI OR “intelligent tutoring” OR “adaptive learning”) AND (“physics learning” OR “science education”) AND (“scientific ability” OR “scientific skills” OR “scientific attitude”) AND (“high school” OR “secondary education”). Pencarian dilakukan pada rentang waktu 2015–2025 untuk memastikan relevansi dengan perkembangan mutakhir pembelajaran berbasis AI. Analisis dilakukan dengan metode sintesis tematik dan naratif (Thomas & Harden, 2008). Setiap artikel dikodekan berdasarkan model atau pendekatan pembelajaran (ISLE, AI-assisted ISLE, atau variasinya), jenis teknologi AI yang digunakan, aspek kemampuan dan sikap ilmiah yang diukur, desain penelitian dan konteks, serta arah pengaruh (*positive, mixed, negative*) terhadap *scientific ability* dan *scientific attitude*. Kode tematik kemudian dikelompokkan untuk menemukan pola, tren, dan *research gap* yang muncul dari literatur, sehingga menjadi fokus analisis. Pendekatan ini memungkinkan integrasi hasil penelitian secara mendalam tanpa kehilangan konteks empiris dari setiap studi. Berdasarkan metode PRISMA yang diterapkan, didapatkan hasil seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil PRISMA dari tahun 2015 - 2025

Tahapan PRISMA	Kegiatan	Jumlah Artikel	Artikel Tersisa
Identifikasi	Hasil pencarian awal dari 4 basis data	312	254 (58 artikel duplikasi)
Penyaringan	Seleksi berdasarkan judul & abstrak	254	112
Kelayakan	Evaluasi full text (sesuai kriteria inklusi–eksklusi)	112	57
Inklusi	Artikel memenuhi seluruh kriteria dan dianalisis dalam SLR	57	28 (final)

Proporsi terbesar artikel yang dieliminasi berada pada tahap screening karena tidak mengandung komponen ISLE atau AI yang relevan. Hanya 5% dari total artikel awal yang memenuhi semua kriteria, menunjukkan topik integrasi ISLE dan AI masih tergolong baru dan minim eksplorasi empiris. Mayoritas artikel yang terinklusi dipublikasikan antara 2019–2025, menandakan peningkatan minat penelitian setelah berkembangnya teknologi *intelligent learning systems* dan alat laboratorium berbasis AI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses identifikasi artikel dilakukan pada lima basis data utama Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, ERIC, dan Google Scholar dengan rentang waktu publikasi 2013–2025. Kata kunci yang digunakan adalah “*Investigative Science Learning Environment*”, “*ISLE in Physics Education*”, “*Scientific Ability*”, “*Scientific Attitude*”, dan “*Artificial Intelligence in Physics Learning*”.

Dari hasil pencarian awal diperoleh 312 artikel, setelah proses penyaringan duplikasi 58 artikel dihapus karena memiliki isi serupa. Kemudian dilakukan penyaringan berdasarkan judul dan abstrak sehingga tersisa 112 artikel yang relevan dengan topik penelitian. Setelah dilakukan telaah penuh (*full-text screening*) berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, hanya 28 artikel yang memenuhi syarat untuk dianalisis lebih lanjut.

Berdasarkan hasil telaah 28 artikel terpilih melalui metode SLR dengan kerangka PRISMA 2020, tren penelitian mengenai pendekatan *Investigative Science Learning Environment* (ISLE) menunjukkan perkembangan yang signifikan selama satu dekade terakhir. Pada periode 2015–2019, penelitian mengenai ISLE masih berfokus pada aspek konseptual dan pengujian efektivitas dasar terhadap *scientific reasoning*, *conceptual understanding*, dan *scientific inquiry* (Etkina & Planinšič, 2015). ISLE berakar pada konstruktivisme, di mana siswa diharapkan membangun pengetahuan ilmiah melalui observasi fenomena dan eksperimen mandiri (Brookes & Yang, 2021). Pada fase ini, penelitian lebih banyak menekankan validasi desain pembelajaran ISLE, efektivitas terhadap hasil belajar kognitif, serta penguatan kompetensi berpikir ilmiah.



Gambar 1. Grafik Tren ISLE Berbantuan AI

Memasuki periode 2020–2022, terjadi pergeseran arah riset menuju integrasi teknologi digital dan media interaktif dalam implementasi ISLE. Peneliti seperti (Ryu et al., 2021; Stump et al., 2023) mulai memanfaatkan simulasi laboratorium virtual dan *video-based experiments* untuk mendukung tahapan eksplorasi dan pengujian hipotesis dalam ISLE. Pandemi COVID-19 juga berperan besar dalam mendorong adopsi teknologi pembelajaran daring, yang membuka peluang munculnya bentuk *hybrid ISLE* dan *digital investigative learning*. Fokus penelitian pada periode ini meluas, mencakup kemampuan metakognitif, *problem-solving skills*, dan sikap ilmiah siswa dalam konteks pembelajaran berbasis inkuiri.

Sementara itu, pada fase 2023–2025, riset menunjukkan lonjakan signifikan dengan munculnya tema ISLE berbantuan AI. Penggunaan AI sebagai *virtual tutor*, *feedback generator*, dan *data-driven learning assistant* yang dapat memperkuat tahapan investigasi ilmiah dalam ISLE (Kelwarany et al., 2024; Zhang et al., 2026). Integrasi AI dinilai mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran terutama dalam mendorong *scientific ability* melalui analisis data eksperimen otomatis serta *scientific attitude* melalui umpan balik reflektif berbasis AI.

Puncak tren ini menunjukkan bahwa ISLE kini tidak hanya berfungsi sebagai pendekatan investigatif, tetapi telah berkembang menjadi ekosistem pembelajaran ilmiah cerdas yang memadukan teknologi analitik dan personalisasi pembelajaran. Penelitian-penelitian terkini mengarah pada pengembangan model *AI-Enhanced ISLE* yang berorientasi pada pembelajaran berbasis data, penguatan literasi ilmiah, serta pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi (*higher-order thinking skills*). Secara umum, analisis tren ini memperlihatkan bahwa selama satu dekade terakhir, fokus riset ISLE mengalami evolusi dari tahap konseptual menuju tahap integratif dengan teknologi

cerdas. Hasil ini menegaskan bahwa penelitian ISLE berbantuan AI merupakan arah baru yang sangat potensial untuk mendukung pembelajaran fisika abad ke-21. Penelitian masa depan disarankan untuk memperdalam integrasi AI secara pedagogis, mengeksplorasi dampaknya terhadap *scientific creativity*, serta mengembangkan instrumen asesmen berbasis AI yang adaptif terhadap karakteristik siswa SMA.

Penerapan ISLE Berbantuan Teknologi Digital/AI

Pendekatan ISLE menekankan pembelajaran sains melalui proses berpikir ilmiah seperti ilmuwan sesungguhnya, yakni mengamati fenomena, mengembangkan penjelasan, menguji penjelasan, dan merevisi berdasarkan bukti (Etkina & Planinsic, 2015). Model ini terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan inkuiri, berpikir kritis, serta kesadaran metakognitif siswa (Fahrudin et al., 2025). Integrasi AI memperluas kapabilitas ISLE dengan memberikan *feedback* adaptif, otomatisasi analisis data eksperimen, serta simulasi fenomena fisika yang sulit diamati secara langsung. Menurut Tufino et al. (2024), penggunaan *digital ISLE module* berbasis *iOLab* dalam pembelajaran fisika SMA meningkatkan keterlibatan, ketepatan analisis data, serta persepsi positif siswa terhadap pembelajaran eksperimen. Sistem AI yang digunakan membantu siswa menginterpretasi data dan memvisualisasikan hasil eksperimen secara real-time, sehingga tahap “testing explanations” dan “analyzing data” menjadi lebih efisien dan bermakna. Menurut Widyaningsih & Yusuf (2018) perancangan dan penggunaan *simple teaching tools* menuntut mahasiswa untuk memahami prinsip-prinsip sains secara praktis. Hal ini menunjukkan kemampuan sains dalam bentuk pemahaman konsep dan keterampilan praktik meningkat.

Selain itu, integrasi *AI-assisted ISLE* memungkinkan pengalaman belajar personalisasi di mana sistem mampu mendeteksi kesalahan pola berpikir siswa dan memberikan *scaffolded hints* sesuai kebutuhan (Lai & Jin, 2021). Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya menekankan eksplorasi ilmiah, tetapi juga menumbuhkan otonomi belajar dan refleksi ilmiah.

Dampak terhadap Scientific Ability

Scientific ability dalam konteks pembelajaran fisika mencakup kemampuan mengamati fenomena, merumuskan hipotesis, merancang eksperimen, menganalisis data, serta menarik kesimpulan berdasarkan bukti (Etkina & Planinšič, 2015). Berdasarkan hasil sintesis, sebagian besar artikel melaporkan bahwa penerapan ISLE baik dalam bentuk laboratorium nyata maupun berbantuan video/AI memiliki pengaruh signifikan terhadap pengembangan kemampuan ilmiah siswa.

Studi oleh Brookes & Yang (2021) menunjukkan bahwa siswa yang mengikuti pembelajaran berbasis ISLE menunjukkan peningkatan signifikan pada keterampilan merancang eksperimen dan mengontrol variabel dibandingkan dengan pembelajaran tradisional. Meskipun demikian, perbandingan antara eksperimen berbasis alat nyata dan video menunjukkan bahwa aktivitas fisik nyata tetap unggul dalam aspek manipulatif dan evaluatif, sedangkan video atau simulasi unggul dalam aspek konseptual dan representatif.

AI dalam konteks ISLE berperan sebagai *learning analytics agent* yang memfasilitasi refleksi diri dan meningkatkan kesadaran ilmiah siswa. Misalnya, algoritma pengenalan pola dapat membantu siswa mendeteksi anomali data dan mengidentifikasi variabel yang perlu dikontrol, yang mendukung komponen *analyzing data* dan *revising explanations* (Wang et al., 2024). Dengan demikian, pembelajaran ISLE berbantuan AI mendorong siswa mencapai kemampuan ilmiah yang lebih tinggi melalui pembelajaran berbasis data

dan reflektif. Menurut Maryam (2018), sikap ilmiah meliputi rasa ingin tahu, keterbukaan terhadap bukti, kemauan berkolaborasi, dan refleksi pembelajaran yang dalam pendidikan sains dikaitkan dengan sikap positif terhadap sains.

Dampak terhadap Scientific Attitude

Scientific attitude merupakan aspek afektif penting yang mencakup rasa ingin tahu, objektivitas, keterbukaan terhadap bukti, dan penghargaan terhadap proses ilmiah (Harlen, 2010). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa integrasi ISLE dengan teknologi digital atau AI mampu meningkatkan komponen sikap ilmiah tersebut.

Hasil studi Tufino et al. (2024) menunjukkan bahwa siswa merasakan pembelajaran ISLE digital lebih menarik dan relevan dengan kehidupan nyata. Keterlibatan siswa yang tinggi selama eksplorasi berbantuan AI menumbuhkan *curiosity* dan *attitude of inquiry* karena siswa diberi ruang untuk menguji hipotesisnya secara mandiri. Hal ini selaras dengan temuan Gordillo & Etkina (2021), bahwa pembelajaran berbasis investigasi meningkatkan motivasi intrinsik dan rasa ingin tahu ilmiah karena siswa aktif berperan sebagai penemu konsep, bukan penerima informasi.

Namun demikian, beberapa studi mencatat bahwa sikap ilmiah yang lebih mendalam seperti *skepticism* dan *tolerance for uncertainty* belum banyak dikembangkan dalam konteks ISLE digital. Sebagian besar pengukuran masih menggunakan instrumen persepsi umum, belum menggunakan instrumen yang valid seperti adaptasi TOSRA (Evans et al., 2023). Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu menggunakan instrumen yang lebih spesifik dan kontekstual untuk mengukur efek pembelajaran ISLE berbantuan AI terhadap dimensi sikap ilmiah yang lebih kompleks.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis sistematis terhadap 28 artikel yang memenuhi kriteria inklusi, dapat disimpulkan bahwa pendekatan ISLE memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan *scientific ability* dan *scientific attitude* siswa SMA dalam pembelajaran fisika. Model ini secara konsisten menumbuhkan keterampilan ilmiah seperti mengamati, merumuskan hipotesis, merancang eksperimen, serta menganalisis dan menafsirkan data secara logis. Integrasi AI dalam pembelajaran berbasis ISLE memperkuat aspek *guided inquiry* dan *reflective reasoning* karena AI mampu memberikan umpan balik adaptif, simulasi interaktif, serta penilaian otomatis berbasis data yang memperkaya pengalaman belajar siswa. Dampaknya terlihat dari peningkatan konsistensi berpikir ilmiah dan sikap ilmiah yang positif, seperti rasa ingin tahu, keterbukaan terhadap bukti, dan tanggung jawab intelektual. Namun, hasil SLR ini juga menunjukkan bahwa penelitian yang mengintegrasikan ISLE dan AI masih terbatas pada aspek konseptual dan eksperimental yang bersifat dasar. Sebagian besar studi berfokus pada hasil kognitif, sedangkan dimensi afektif (*scientific attitude*) dan metakognitif (*scientific reasoning*) masih jarang diteliti secara komprehensif. Selain itu, terdapat keterbatasan dalam konteks implementasi nyata di sekolah menengah, terutama pada materi fisika kompleks seperti fluida statis dan dinamika yang membutuhkan representasi visual serta eksplorasi berbasis data. Pada penelitian yang berikutnya, peneliti dapat melakukan penguatan empiris dan implementatif.

peneliti selanjutnya disarankan untuk mengembangkan penelitian eksperimental dan desain berbasis kelas (*classroom-based design research*) guna menguji efektivitas ISLE berbantuan AI secara langsung dalam pembelajaran fisika SMA, terutama pada materi yang menuntut visualisasi dan analisis konseptual seperti fluida statis, hukum Newton, dan gelombang, integrasi AI yang kontekstual dan adaptif. perlu dikembangkan sistem

AI yang mendukung personalisasi pembelajaran berbasis ISLE, misalnya melalui AI *tutor* atau *virtual lab assistant* yang dapat memberikan rekomendasi langkah investigatif, menganalisis kesalahan konseptual siswa, serta memfasilitasi refleksi ilmiah berbasis data, pengukuran scientific ability dan attitude secara holistik. Instrumen penilaian sebaiknya menggabungkan tes kinerja ilmiah, observasi, dan skala sikap ilmiah untuk mendapatkan gambaran utuh tentang kemampuan dan sikap ilmiah siswa. Validasi instrumen kontekstual berbasis ISLE perlu menjadi fokus pengembangan berikutnya, yaitu konteks lokal dan profesionalisme guru. Implementasi ISLE berbantuan AI perlu didukung dengan penguatan kompetensi guru fisika dalam literasi AI, pengembangan asesmen formatif, serta penerapan pendekatan inkuiri terbimbing. Pelatihan berbasis *teacher learning community* dapat memperluas dampak inovasi ini di sekolah. Arah penelitian selanjutnya. SLR ini membuka peluang untuk meta-analisis kuantitatif guna mengukur efek rata-rata ISLE terhadap scientific ability dan scientific attitude lintas konteks pendidikan. Selain itu, integrasi antara ISLE, AI, dan model pembelajaran berbasis refleksi atau problem posing juga potensial untuk meningkatkan kedalaman berpikir ilmiah siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Berry, M. V., & Balazs, N. L. (2017). Nonspreading Wave Packets. *American Journal of Physics*, 47(3), 264–267. <https://doi.org/10.1119/1.11855>
- Brookes, D. T., & Yang, Y. (2021). Social Positioning In Small Group Interactions in An Investigative Science Learning Environment Physics Class. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 10103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010103>
- Diraya, R., Kusairi, S., Hartatiek, H., & Sutopo, S. (2025). Exploring the Investigative Science Learning Environment (ISLE) Approach in Physics Education: A Systematic Literature Review. *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika (BIPF)*, 13(1), 55–72. <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/bipf/article/view/22639>
- Etkina, E., & Planinšič, G. (2015). Defining and Developing “Critical Thinking” Through Devising and Testing Multiple Explanations of the Same Phenomenon. *The Physics Teacher*, 53(7), 432–437. <https://doi.org/10.1119/1.4931014>
- Evans, N. S., Burke, R., Vitiello, V., Zumbrunn, S., & Jirout, J. J. (2023). Curiosity in Classrooms: An Examination of Curiosity Promotion and Suppression in Preschool Math and Science Classrooms. *Thinking Skills and Creativity*, 49, 101333. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101333>
- Fahrudin, A., Purwaningsih, S., Marzal, J., & Info, A. (2025). Science Literacy and Skills of Physics Education Students By Developing A Project-Technology Skills Learning Model. *Jornal of Education and Learning*, 19(3), 1197-1207. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v19i3.21839>
- Harlen, W. (2010). *Principles and Big Ideas of Science Education*. Ashford Colour Press Ltd.
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Bostom Center for Curriculum Redesign.
- Kelwarany, M., H, N., & Lu'mu. (2024). Analysis of The Needs for Interactive Multimedia Development for Science and Social Studies. *Indonesian Journal Of Educational Technology*, 3(01), 10–17. <https://doi.org/10.26858/ijet.v3i1.2793>
- Lai, C., & Jin, T. (2021). Teacher Professional Identity and the Nature of Technology Integration. *Computers & Education*, 175, 104314.

- <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104314>
- Maryam, E. (2018). The Effect of TGT Cooperative Learning on Student Learning Achievement Physics Class XI SMAN 1 Tugumulyo. *Kasuari: Physics Education Journal (KPEJ)*, 1(1), 34–42. <https://doi.org/10.37891/kpej.v1i1.41>
- Nuraini, Syafrizal, Setiawan, T., Muliani, & Ayundaurnal, D. S. (2024). Pengaruh Strategi Pembelajaran Socio Scientific Issues (Ssi) Terhadap Kemampuan Literasi Sains Siswa Pada Materi Pemanasan Global (SSI). *Jurnal Riset Inovasi Pembelajaran Fisika*, 7(2), 64–73. <https://doi.org/10.29103/relativitas.v7i2.16523>.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., et al. (2021). *The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews*. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Ryu, H., Park, H., Kim, M., Kim, B., Myoung, H. S., Kim, T. Y., Yoon, H., Kwak, S. S., Kim, J., Hwang, T. H., Choi, E., & Kim, S. (2021). Self-Rechargeable Cardiac Pacemaker System with Triboelectric Nanogenerators. *Nature Communications*, 12, 4374. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24417-w>
- Snyder, H. (2019). Literature Review As A Research Methodology : An Overview and Guidelines. *Journal of Business Research*, 104(March), 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Stump, E. M., Hughes, M., Passante, G., & Holmes, N. G. (2023). Comparing Introductory and Beyond-Introductory Students ' Reasoning About Uncertainty. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2), 20147. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020147>
- Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for The Thematic Synthesis of Qualitative Research in Systematic Reviews. *BMC Medical Research Methodology*, 10, 1–10. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-45>
- Tufino, E., Onorato, P., & Oss, S. (2024). Exploring Active Learning in Physics With ISLE-Based Modules in High School. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.11583>
- Wang, S., Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., & Du, Z. (2024). Artificial Intelligence in Education : A Systematic Literature Review. *Expert Systems With Applications*, 252, 124167. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167>
- Widyaningsih, S. W., & Yusuf, I. (2018). Project Based Learning Model Based on Simple Teaching Tools and Critical Thinking Skills. *Kasuari: Physics Education Journal KPEJ*, 1(1), 12–21. <https://doi.org/10.37891/kpej.v1i1.728>
- Zawacki-richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic Review of Research on Artificial Intelligence Applications in Higher Education – Where Are The Educators ? *International of Educational Technological*, 16, 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
- Zhang, J., Li, X., & Wang, L. (2026). A Review Selection Method Based on Consumer Decision Phases in E-commerce *ACM Transactions on Information Systems*, 42(1), 1-27. <https://doi.org/10.1145/3587265>