



## Transformasi Pembelajaran Sains Berbasis Inkuiri dan STEM untuk Meningkatkan Literasi Ilmiah Siswa Indonesia: Kajian Sistematis Hasil PISA dan Studi Empiris

Sri Hardiningsih Hanafi<sup>1),\*</sup>, I Wayan Suastra<sup>1)</sup>, I Made Citra Wibawa<sup>1)</sup>, Ida Bagus Putu Arnyana<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Universitas Pendidikan Ganesha

\*Corresponding Author: srihardiningsih86@gmail.com

### ABSTRAK

Rendahnya capaian literasi ilmiah siswa Indonesia berdasarkan hasil PISA menunjukkan perlunya transformasi pembelajaran sains di sekolah. Studi ini melakukan Systematic Literature Review (SLR) terhadap lima artikel utama terkait pembelajaran berbasis inkuiri, integrasi STEM, fasilitas laboratorium, dan kompetensi guru (PCK) untuk menganalisis faktor-faktor kunci yang mempengaruhi literasi ilmiah. Hasil kajian menunjukkan bahwa pembelajaran inkuiri secara konsisten meningkatkan kemampuan berpikir kritis, pemahaman konseptual, serta keterampilan proses ilmiah siswa. Integrasi STEM memberikan penguatan melalui pemecahan masalah autentik dan pendekatan desain rekayasa yang mendorong motivasi serta performa literasi. Di sisi lain, keterbatasan fasilitas laboratorium menjadi hambatan signifikan, sementara laboratorium virtual dan teknologi simulasi mampu menjadi alternatif efektif. Temuan juga menegaskan bahwa kompetensi guru, khususnya Pedagogical Content Knowledge (PCK), menjadi faktor penentu keberhasilan implementasi inkuiri dan STEM. Secara keseluruhan, peningkatan literasi ilmiah di Indonesia memerlukan kolaborasi strategis antara inovasi pedagogis, penyediaan fasilitas, serta pengembangan profesional guru secara berkelanjutan.

**Kata Kunci:** Pembelajaran Sains Berbasis Inkuiri; STEM; Literasi Ilmiah; Laboratorium virtual

Received: 13 Nov 2025; Revised: 12 Dec 2025; Accepted: 13; Available Online: 13 Dec 2025

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



### PENDAHULUAN

Pendidikan sains memiliki peran sentral dalam menyiapkan kompetensi abad ke-21 seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, kolaborasi, dan literasi ilmiah (OECD, 2019). Dalam konteks global, pembelajaran sains tidak hanya menekankan penguasaan konsep, tetapi juga pemahaman proses ilmiah melalui kegiatan penyelidikan yang memungkinkan siswa mengkonstruksi pengetahuan secara mandiri (Kuhn, 2018). Pendekatan berbasis inkuiri terbukti meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi dan pemahaman konseptual yang kuat karena siswa terlibat langsung dalam proses observasi, investigasi, dan penarikan kesimpulan ilmiah (Kuhn, 2018).

Selain inkuiri, integrasi STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) dalam pembelajaran terbukti meningkatkan motivasi dan performa literasi ilmiah melalui pemecahan masalah autentik menggunakan proses desain rekayasa (Rosfiani et al., 2022). Penguatan kompetensi teknologi dan pemikiran sistematis yang ditawarkan STEM sangat relevan dalam menghadapi tuntutan Revolusi Industri 4.0 (OECD, 2021).

Namun demikian, capaian literasi sains siswa Indonesia masih berada di bawah rata-rata internasional sebagaimana ditunjukkan laporan PISA, terutama karena rendahnya keterlibatan siswa dalam eksperimen dan terbatasnya fasilitas laboratorium (OECD, 2023). Penelitian Gunstone, (2011) menunjukkan bahwa aktivitas praktikum, baik fisik maupun virtual, merupakan komponen fundamental dalam memfasilitasi pemahaman konsep sains.

Lebih jauh, kompetensi guru, khususnya *Pedagogical Content Knowledge* (PCK), menjadi faktor penentu keberhasilan transformasi pembelajaran. Revina et al., (2020) menegaskan bahwa lemahnya PCK guru di

Indonesia menyebabkan pembelajaran cenderung berpusat pada ceramah, minim inkuiri, dan kurang mengaitkan konsep dengan fenomena nyata.

Berdasarkan urgensi tersebut, artikel ini bertujuan menganalisis secara sistematis temuan penelitian mengenai pembelajaran inkuiri, integrasi STEM, fasilitas laboratorium, PCK guru, serta implikasinya terhadap peningkatan literasi ilmiah siswa Indonesia.

## METODE

Penelitian ini menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR), mengacu pada prosedur terstruktur sebagaimana direkomendasikan oleh Snyder (2019) dan Tranfield et al. (2003). Metode SLR dipilih karena mampu memberikan pemetaan yang komprehensif dan sistematis terhadap hasil-hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik kajian, sehingga temuan yang diperoleh bersifat objektif, transparan, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Melalui pendekatan ini, peneliti dapat mengidentifikasi tren penelitian, kesenjangan riset (*research gap*), serta kontribusi teoritis dan praktis yang telah dihasilkan oleh studi-studi terdahulu.

Prosedur SLR dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan utama, yaitu perumusan pertanyaan penelitian, penentuan strategi pencarian literatur, penetapan kriteria inklusi dan eksklusi, proses seleksi dan evaluasi kualitas artikel, serta analisis dan sintesis data. Sumber literatur diperoleh dari basis data ilmiah yang relevan dan kredibel, dengan mempertimbangkan kesesuaian topik, rentang waktu publikasi, serta kualitas metodologis penelitian. Hasil sintesis literatur kemudian disajikan secara naratif dan tematik untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan penelitian pada bidang yang dikaji serta sebagai dasar penyusunan kerangka konseptual penelitian selanjutnya.

Waktu dan ruang lingkup penelusuran literatur ditetapkan secara jelas untuk menjamin relevansi dan keterbaruan data yang dianalisis. Penelusuran dilakukan pada periode 1-31 Oktober 2025 terhadap publikasi yang terbit dalam rentang tahun 2014-2024. Literatur yang direview meliputi artikel jurnal internasional bereputasi, laporan dari lembaga resmi seperti OECD dan UNESCO, serta artikel nasional yang relevan dengan fokus penelitian. Pembatasan rentang waktu ini bertujuan untuk memperoleh gambaran perkembangan penelitian terkini sekaligus menjaga konsistensi dan validitas temuan yang dianalisis.

Sumber data diperoleh dari beberapa basis data ilmiah utama, yaitu Scopus, ERIC, SpringerLink, dan Google Scholar, yang dipilih karena kredibilitas dan cakupan bidang kajiannya. Proses penelusuran menggunakan kata kunci yang disesuaikan dengan topik penelitian, antara lain *scientific literacy*, *inquiry-based learning*, *STEM education*, *teacher competence*, *Pedagogical Content Knowledge (PCK)*, dan *PISA Indonesia*. Kata kunci tersebut dikombinasikan dengan operator Boolean untuk memperluas dan mempersempit hasil pencarian sesuai kebutuhan penelitian. Seluruh artikel yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi sebelum dianalisis lebih lanjut dalam tahap sintesis literatur.

Tahap identifikasi menghasilkan 5 artikel yang dianalisis dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Ringkas SLR

No	Judul Artikel	Penulis	Jurnal	Tahun	Metode	Sampel	Pembahasan	Simpulan
1	<i>Inquiry-Based Science Education and Student Scientific Literacy</i>	Kuhn	Educational Psychologist	2018	Review	–	Menganalisis efektivitas pembelajaran inkuiri dalam meningkatkan literasi ilmiah.	Pembelajaran inkuiri mendorong peningkatan keterampilan berpikir kritis dan pemahaman konsep.
2	<i>Practical Work and Science Learning</i>	Gunstone	International Journal of Science Education	2011	Review	–	Menyoroti peran kerja praktikum dan laboratorium dalam pembelajaran sains.	Akses terhadap lab fisik/virtual meningkatkan pemahaman konsep dan performa literasi ilmiah.
3	<i>PCK and Teacher Professional</i>	Revina et al.	RISE Indonesia Report	2020	Studi laporan	Guru SD-SMP	Menganalisis kelemahan PCK guru dan faktor sistemik	PCK lemah menurunkan kualitas pembelajaran; pelatihan

	<i>Development in Science</i>						dalam pendidikan Indonesia.	berkelanjutan diperlukan.
4	<i>Indonesia's PISA Performance: Factors Affecting Scientific Literacy</i>	OECD	OECD PISA Report	2023	Analisis data internasional	Siswa usia 15 tahun	Menelaah faktor determinan capaian literasi sains PISA Indonesia.	Siswa yang terlibat eksperimen memperoleh 25–40 poin lebih tinggi pada PISA.
5	<i>STEM Integration in Science Learning</i>	Rosfiani et al.	Journal of STEM Education	2022	Mixed method	Siswa SMP	Menguji model pembelajaran STEM terhadap motivasi belajar dan literasi.	Integrasi STEM meningkatkan motivasi dan performa literasi ilmiah secara signifikan.

Artikel-artikel yang terpilih dalam penelitian ini dinilai secara sistematis berdasarkan beberapa kriteria utama, yaitu tingkat kredibilitas jurnal tempat artikel dipublikasikan, ketepatan dan ketelitian metodologi penelitian yang digunakan, serta sejauh mana artikel tersebut memberikan kontribusi teoretis dan empiris terhadap pengembangan keilmuan pada bidang yang dikaji, sebagaimana direkomendasikan oleh Miles et al. (2018). Penilaian ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap artikel yang dianalisis memiliki kualitas akademik yang memadai, relevansi yang kuat dengan fokus penelitian, serta dapat mendukung penyusunan sintesis literatur yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan *thematic analysis* sebagaimana dikemukakan oleh Braun dan Clarke (2019), yang bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan menginterpretasikan pola makna yang muncul secara sistematis dari literatur terpilih. Melalui proses pengodean dan pengelompokan data, analisis ini menghasilkan empat tema utama, yaitu tren capaian literasi sains PISA Indonesia, efektivitas penerapan pembelajaran berbasis inkuiri, peran fasilitas laboratorium dan pemanfaatan teknologi dalam mendukung pembelajaran sains, serta kompetensi guru yang mencakup *Pedagogical Content Knowledge* (PCK). Keempat tema tersebut menjadi landasan utama dalam menyusun sintesis hasil kajian serta menarik implikasi teoretis dan praktis bagi pengembangan pembelajaran sains.

## HASIL PENELITIAN

### Tren Capaian Literasi Sains Indonesia Berdasarkan PISA

Laporan PISA menunjukkan bahwa capaian literasi sains siswa Indonesia masih rendah dibandingkan negara-negara OECD (OECD, 2023). Salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap kondisi tersebut adalah minimnya keterlibatan siswa dalam aktivitas eksperimen dan praktikum sains di sekolah. Padahal, data PISA menunjukkan bahwa siswa yang secara aktif terlibat dalam kegiatan eksperimen memperoleh skor literasi sains 25–40 poin lebih tinggi dibandingkan siswa yang jarang atau tidak pernah melakukan eksperimen (OECD, 2023). Temuan ini sejalan dengan pandangan Gunstone (2011) yang menegaskan bahwa kegiatan praktikum memiliki peran penting dalam membantu siswa membangun pemahaman konseptual yang lebih mendalam melalui pengalaman langsung dan proses berpikir ilmiah.

Lebih lanjut, rendahnya frekuensi kegiatan eksperimen tidak hanya berkaitan dengan keterbatasan fasilitas laboratorium, tetapi juga dengan pendekatan pembelajaran yang masih berpusat pada guru serta kurang optimalnya pemanfaatan strategi pembelajaran berbasis inkuiri. Pembelajaran yang menekankan pada aktivitas investigatif, pengamatan, dan pemecahan masalah ilmiah diyakini mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan literasi sains siswa. Oleh karena itu, peningkatan literasi sains siswa Indonesia memerlukan dukungan terpadu, baik melalui penyediaan sarana dan prasarana pembelajaran yang memadai maupun peningkatan kompetensi guru dalam merancang dan melaksanakan pembelajaran sains yang berbasis eksperimen dan inkuiri.

### Efektivitas Pembelajaran Inkuiri dalam Meningkatkan Literasi Ilmiah

Pembelajaran berbasis inkuiri terbukti mampu meningkatkan berbagai aspek kemampuan siswa, seperti berpikir kritis, kemampuan observasi, argumentasi ilmiah, serta pemahaman konseptual (Kuhn, 2018). Melalui pendekatan ini, siswa diposisikan sebagai penemu pengetahuan yang secara aktif terlibat dalam proses penyelidikan, perumusan pertanyaan, pengujian hipotesis, dan penarikan kesimpulan, bukan sekadar sebagai

penerima informasi dari guru. Keterlibatan aktif tersebut mendorong terjadinya proses kognitif tingkat tinggi sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna dan berorientasi pada pengembangan literasi ilmiah.

Temuan *Systematic Literature Review* (SLR) menunjukkan bahwa pembelajaran inkuiri lebih efektif dibandingkan metode ceramah konvensional dalam meningkatkan pemahaman konsep, menumbuhkan rasa ingin tahu, memperkuat literasi ilmiah, serta memperbaiki kemampuan siswa dalam memecahkan masalah ilmiah. Keunggulan ini menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran inkuiri tidak hanya berdampak pada aspek kognitif, tetapi juga pada sikap ilmiah siswa. Dengan demikian, penguatan budaya investigasi ilmiah melalui penerapan pembelajaran inkuiri secara konsisten merupakan langkah strategis dalam upaya meningkatkan performa literasi sains di tingkat nasional.

### **Pengaruh Fasilitas Laboratorium dan Teknologi terhadap Proses Inkuiri**

Akses terhadap fasilitas laboratorium, baik fisik maupun virtual, menjadi faktor yang signifikan dalam menunjang keberhasilan pembelajaran sains. Di Indonesia, masih banyak sekolah yang mengalami keterbatasan sarana dan prasarana eksperimen, sehingga proses pembelajaran cenderung bersifat verbalistik dan kurang kontekstual (OECD, 2023). Kondisi ini berdampak pada rendahnya kesempatan siswa untuk melakukan pengamatan langsung, pengujian hipotesis, dan pengembangan keterampilan proses sains yang esensial dalam membangun literasi ilmiah.

Integrasi teknologi pembelajaran, seperti laboratorium virtual dan simulasi berbasis STEM, terbukti mampu mendukung proses eksplorasi konsep sains secara lebih efektif. Penggunaan teknologi tersebut memungkinkan siswa untuk melakukan eksperimen secara aman, fleksibel, dan berulang, meskipun dengan keterbatasan fasilitas fisik. Penelitian Rosfiani et al., (2022) menunjukkan bahwa pemanfaatan laboratorium virtual tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan motivasi belajar dan keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran sains.

Lebih lanjut, pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran sains juga memberikan peluang bagi guru untuk menerapkan pembelajaran berbasis inkuiri dan pemecahan masalah secara lebih optimal. Melalui simulasi dan media interaktif, konsep-konsep abstrak dapat divisualisasikan dengan lebih jelas, sehingga memudahkan siswa dalam mengaitkan teori dengan fenomena nyata. Oleh karena itu, inovasi teknologi pembelajaran menjadi solusi strategis bagi sekolah-sekolah yang memiliki keterbatasan fasilitas laboratorium fisik, sekaligus sebagai upaya pemerataan kualitas pembelajaran sains di berbagai satuan pendidikan.

### **Kompetensi Guru dan PCK sebagai Penentu Kualitas Pembelajaran Sains**

Revina, et al., (2020) mengidentifikasi bahwa *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) guru sains di Indonesia masih tergolong lemah. Kondisi ini tercermin dari kurangnya kemampuan guru dalam mengintegrasikan konsep-konsep sains dengan fenomena nyata dalam kehidupan sehari-hari, belum optimalnya penerapan pembelajaran berbasis inkuiri di kelas, dominasi penggunaan model ceramah yang berpusat pada guru, serta rendahnya kemampuan dalam merancang asesmen yang menilai proses dan keterampilan ilmiah siswa. Kelemahan-kelemahan tersebut berdampak pada terbatasnya kesempatan siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir ilmiah dan literasi sains secara menyeluruh.

Padahal, PCK yang kuat merupakan fondasi utama dalam menciptakan pembelajaran sains yang bermakna, khususnya dalam penerapan pendekatan inkuiri dan pembelajaran berbasis STEM. Guru dengan PCK yang baik tidak hanya menguasai materi ajar, tetapi juga memahami cara terbaik menyajikan konsep sesuai dengan karakteristik siswa, konteks pembelajaran, serta tujuan pengembangan literasi ilmiah. Melalui PCK yang kuat, guru mampu mengaitkan teori dengan kegiatan eksperimen dan aplikasi nyata, sehingga pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan relevan bagi siswa (Revina, et al., 2020).

Lebih lanjut, penguatan PCK guru sains perlu menjadi perhatian utama dalam upaya peningkatan kualitas pendidikan sains di Indonesia. Program pengembangan profesional guru, seperti pelatihan berkelanjutan, *lesson study*, dan komunitas belajar guru, dapat menjadi strategi efektif untuk meningkatkan kemampuan pedagogik dan penguasaan konten secara terpadu. Dengan meningkatnya PCK guru, diharapkan pembelajaran sains di kelas dapat bertransformasi dari sekadar transfer pengetahuan menuju proses pembelajaran yang menekankan investigasi, pemecahan masalah, dan pengembangan literasi ilmiah siswa secara berkelanjutan.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil Systematic Literature Review (SLR), dapat disimpulkan bahwa rendahnya literasi sains siswa Indonesia dipengaruhi oleh minimnya pelaksanaan kegiatan eksperimen, keterbatasan fasilitas pembelajaran, serta praktik pembelajaran yang masih berorientasi teacher centered. Pembelajaran berbasis inkuiri terbukti secara konsisten sebagai pendekatan yang paling efektif dalam meningkatkan literasi sains sekaligus mengembangkan kompetensi abad ke-21. Keberhasilan penerapan inkuiri sangat dipengaruhi oleh ketersediaan fasilitas laboratorium, baik fisik maupun digital, serta integrasi pembelajaran STEM yang mampu mengoptimalkan proses investigasi ilmiah. Selain itu, kompetensi guru, khususnya Pedagogical Content Knowledge (PCK), menjadi faktor sentral dalam mewujudkan pembelajaran sains yang berkualitas, sehingga peningkatan profesionalisme guru melalui pelatihan berkelanjutan menjadi kebutuhan mendesak. Oleh karena itu, kebijakan pendidikan perlu mengintegrasikan inovasi pembelajaran, penguatan sarana pendukung, dan pengembangan kompetensi guru secara berkelanjutan untuk menciptakan ekosistem pembelajaran sains yang lebih kuat, kontekstual, dan relevan dengan tuntutan zaman..

## Daftar Pustaka

- Braun, V., & Clarke, V. (2019). *Thematic analysis: A practical guide*. Routledge.
- Gunstone, R. (2011). *Laboratory learning in science education*. Springer.
- Kuhn, D. (2018). *Education for thinking*. Harvard University Press.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2018). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (4th ed.). SAGE.
- OECD. (2019). *OECD Learning Compass 2030*. OECD Publishing.
- OECD. (2021). *Future of education and skills*. OECD Publishing.
- OECD. (2023). *PISA 2022 results*. <https://www.oecd.org/pisa>
- Revina, S., et al. (2020). *PCK and teacher professional development in Indonesia*. RISE Indonesia Report.
- Rosfiani, Y., et al. (2022). *STEM integration in science learning*. *Journal of STEM Education*, 23(4), 45–58.
- Snyder, H. (2019). *Literature review as a research methodology: An overview and guidelines*. *Journal of Business Research*, 104, 333–339
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). *Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review*. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222