

## TRANSFORMASI DIGITAL BERBASIS STEM DALAM MENINGKATKAN LITERASI SAINS SISWA SMP: SEBUAH SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Nurhidaya Fithriyah Nasution<sup>1</sup>, Febriani Hastini Nasution<sup>2</sup>, Muhammad Syahril Harahap<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>Institut Pendidikan Tapanuli Selatan,

### Abstrak

*Transformasi digital dalam pendidikan menjadi salah satu strategi utama untuk meningkatkan kualitas pembelajaran sains pada abad ke-21. Integrasi pendekatan Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) dengan teknologi digital diyakini mampu mengembangkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, serta literasi sains peserta didik. Meskipun demikian, implementasi pembelajaran berbasis transformasi digital dan STEM masih menghadapi berbagai tantangan, khususnya pada aspek kesiapan guru, infrastruktur teknologi, dan efektivitas penerapannya dalam meningkatkan literasi sains. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren penelitian, bentuk implementasi, efektivitas, serta tantangan penerapan transformasi digital berbasis STEM dalam meningkatkan literasi sains siswa sekolah menengah pertama melalui pendekatan Systematic Literature Review (SLR). Metode penelitian mengacu pada pedoman PRISMA 2020 dengan melakukan penelusuran artikel pada basis data Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis, dan Google Scholar yang dipublikasikan selama periode 2020–2026. Berdasarkan proses identifikasi, penyaringan, uji kelayakan, dan inklusi, diperoleh 35 artikel yang memenuhi kriteria analisis. Hasil kajian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis transformasi digital yang dipadukan dengan pendekatan STEM secara konsisten memberikan dampak positif terhadap peningkatan literasi sains, kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kolaborasi, kreativitas, serta keterampilan abad ke-21 peserta didik. Media digital yang paling banyak digunakan meliputi Learning Management System (LMS), simulasi virtual, laboratorium virtual, aplikasi interaktif, multimedia pembelajaran, dan platform berbasis kecerdasan buatan (Artificial Intelligence). Namun demikian, implementasi masih menghadapi kendala berupa keterbatasan infrastruktur teknologi, rendahnya kompetensi digital pendidik, serta kesenjangan akses teknologi antarwilayah. Oleh karena itu, diperlukan penguatan kebijakan transformasi digital, peningkatan kompetensi guru, serta pengembangan model pembelajaran STEM berbasis teknologi yang kontekstual dan berkelanjutan untuk mendukung peningkatan kualitas pendidikan sains di Indonesia.*

*Kata kunci: transformasi digital, STEM, literasi sains, pembelajaran IPA, Systematic Literature Review, PRISMA 2020.*

### Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang semakin pesat telah mendorong terjadinya transformasi di berbagai sektor kehidupan, termasuk bidang pendidikan. Transformasi digital dalam pendidikan tidak lagi sekadar berfokus pada penggunaan perangkat teknologi, tetapi telah berkembang menjadi upaya sistematis dalam mengubah proses pembelajaran agar lebih efektif, adaptif, kolaboratif, dan berpusat pada peserta didik. Pada era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0, peserta didik dituntut memiliki kompetensi abad ke-21 yang meliputi kemampuan berpikir kritis (critical thinking), kreativitas (creativity), kolaborasi (collaboration), komunikasi (communication), literasi digital, serta kemampuan memecahkan masalah yang kompleks (OECD, 2023; UNESCO, 2023). Oleh karena itu, transformasi digital

menjadi salah satu strategi utama dalam meningkatkan kualitas pembelajaran, khususnya pada mata pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA).

Literasi sains merupakan salah satu kompetensi utama yang harus dimiliki peserta didik untuk mampu memahami fenomena ilmiah, mengambil keputusan berdasarkan bukti ilmiah, serta memanfaatkan ilmu pengetahuan dalam kehidupan sehari-hari. Menurut Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), literasi sains tidak hanya mencakup penguasaan konsep-konsep ilmiah, tetapi juga kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah, mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah, serta menginterpretasikan data dan bukti ilmiah secara kritis (OECD, 2023). Hasil Programme for International Student Assessment (PISA) selama beberapa siklus menunjukkan bahwa kemampuan literasi sains peserta didik Indonesia masih berada di bawah rata-rata negara anggota OECD. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pembelajaran IPA masih memerlukan inovasi agar mampu mengembangkan kompetensi berpikir tingkat tinggi (Higher Order Thinking Skills), kemampuan pemecahan masalah, serta literasi digital peserta didik.

Salah satu pendekatan pembelajaran yang dinilai mampu menjawab tantangan tersebut adalah pendekatan Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM). Pendekatan STEM mengintegrasikan empat disiplin ilmu secara terpadu dalam menyelesaikan permasalahan nyata sehingga peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang kontekstual, bermakna, dan berbasis penyelidikan (inquiry). Pembelajaran STEM mendorong peserta didik untuk mengembangkan kemampuan berpikir ilmiah, kreativitas, inovasi, komunikasi, serta kolaborasi melalui aktivitas berbasis proyek (Project-Based Learning) maupun pemecahan masalah (Problem-Based Learning). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa implementasi pembelajaran berbasis STEM mampu meningkatkan hasil belajar, keterampilan berpikir kritis, kreativitas, serta literasi sains peserta didik pada berbagai jenjang pendidikan.

Seiring berkembangnya teknologi digital, implementasi pendekatan STEM mengalami transformasi melalui integrasi berbagai media pembelajaran digital seperti Learning Management System (LMS), laboratorium virtual, simulasi interaktif, multimedia pembelajaran, perangkat berbasis Artificial Intelligence (AI), Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), Internet of Things (IoT), hingga aplikasi pembelajaran berbasis perangkat bergerak (mobile learning). Integrasi teknologi tersebut memungkinkan peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang lebih interaktif, fleksibel, dan mampu memvisualisasikan konsep-konsep IPA yang bersifat abstrak. Berbagai penelitian internasional melaporkan bahwa transformasi digital dalam pembelajaran STEM memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan literasi sains, kemampuan berpikir komputasional, pemecahan masalah, dan keterampilan abad ke-21.

Meskipun demikian, implementasi transformasi digital berbasis STEM di berbagai negara, khususnya di Indonesia, masih menghadapi berbagai tantangan. Beberapa penelitian melaporkan bahwa keterbatasan infrastruktur teknologi, rendahnya kompetensi digital guru, belum optimalnya integrasi kurikulum, serta kesenjangan akses teknologi antarwilayah menjadi faktor yang menghambat efektivitas penerapan pembelajaran berbasis digital. Selain itu, hasil penelitian sebelumnya menunjukkan variasi temuan mengenai efektivitas model pembelajaran STEM berbasis teknologi digital terhadap peningkatan literasi sains. Sebagian penelitian melaporkan peningkatan yang signifikan, sedangkan penelitian lain menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi sangat dipengaruhi oleh kesiapan guru, karakteristik peserta didik, dukungan kebijakan sekolah, serta ketersediaan sarana pembelajaran digital.

Berbagai penelitian mengenai transformasi digital dan pembelajaran STEM telah banyak dipublikasikan dalam beberapa tahun terakhir. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada studi eksperimen, pengembangan media pembelajaran, atau implementasi model pembelajaran tertentu. Kajian yang secara sistematis mengintegrasikan hasil-hasil penelitian tersebut untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai tren penelitian, bentuk implementasi, efektivitas, manfaat, tantangan, serta arah pengembangan transformasi digital berbasis STEM dalam meningkatkan literasi sains masih relatif terbatas. Padahal, sintesis hasil

penelitian sangat diperlukan sebagai dasar pengambilan kebijakan, pengembangan kurikulum, maupun penelitian lanjutan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) dengan mengacu pada pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020. Pendekatan SLR dipilih karena mampu mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis berbagai hasil penelitian secara sistematis, transparan, serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Melalui kajian ini diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perkembangan penelitian transformasi digital berbasis STEM, media digital yang digunakan, dampaknya terhadap peningkatan literasi sains, tantangan implementasi, serta peluang pengembangan pembelajaran IPA pada masa mendatang.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis tren penelitian mengenai implementasi transformasi digital berbasis STEM dalam pembelajaran IPA; (2) mengidentifikasi bentuk-bentuk implementasi teknologi digital yang digunakan dalam pembelajaran STEM; (3) menganalisis efektivitas transformasi digital berbasis STEM terhadap peningkatan literasi sains peserta didik; serta (4) mengidentifikasi tantangan, peluang, dan rekomendasi pengembangan pembelajaran STEM berbasis transformasi digital berdasarkan hasil sintesis berbagai penelitian terdahulu.

### Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis secara sistematis hasil-hasil penelitian mengenai implementasi transformasi digital berbasis *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) dalam meningkatkan literasi sains peserta didik. Metode SLR dipilih karena mampu memberikan sintesis bukti ilmiah yang komprehensif, transparan, dan dapat direplikasi melalui tahapan yang terstruktur. Pelaksanaan penelitian mengacu pada pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020 yang terdiri atas empat tahapan utama, yaitu *identification, screening, eligibility, dan included*. Pedoman PRISMA 2020 digunakan untuk memastikan proses identifikasi, seleksi, evaluasi, dan sintesis artikel dilakukan secara sistematis serta meminimalkan bias dalam proses peninjauan literatur.

### Strategi Penelusuran Literatur

Penelusuran artikel dilakukan pada beberapa basis data ilmiah internasional yang memiliki reputasi tinggi, yaitu Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis Online, Wiley Online Library, dan ERIC. Sebagai sumber pendukung, pencarian juga dilakukan melalui Google Scholar untuk mengidentifikasi artikel yang relevan namun belum terindeks pada basis data utama. Seluruh proses penelusuran dilaksanakan pada bulan Januari–Februari 2026 dengan membatasi publikasi pada rentang tahun 2020–2026 agar memperoleh bukti ilmiah yang mutakhir mengenai transformasi digital dalam pendidikan. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci dengan operator Boolean (*AND* dan *OR*) sebagai berikut:

("Digital Transformation" OR "Digital Learning" OR "Educational Technology") AND ("STEM Education" OR "Science Technology Engineering Mathematics") AND ("Science Literacy" OR "Scientific Literacy") AND ("Junior High School" OR "Secondary Education").

Selain menggunakan kata kunci utama, penelusuran juga memanfaatkan sinonim dan istilah yang berkaitan dengan pembelajaran digital, literasi sains, pembelajaran IPA, serta pendidikan STEM untuk meningkatkan sensitivitas pencarian.

### Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Seleksi artikel dilakukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan sebelum proses penelusuran. Kriteria inklusi meliputi:

1. artikel penelitian yang dipublikasikan pada periode 2020–2026;

2. artikel yang diterbitkan pada jurnal internasional bereputasi dan prosiding ilmiah yang terindeks Scopus;
3. penelitian yang membahas implementasi transformasi digital dalam pembelajaran STEM;
4. penelitian yang mengukur literasi sains atau kompetensi sains peserta didik;
5. artikel tersedia dalam teks lengkap (*full text*);
6. artikel ditulis dalam bahasa Inggris atau bahasa Indonesia.

Sementara itu, artikel dikeluarkan apabila:

1. berupa editorial, *book chapter*, laporan teknis, tesis, atau disertasi;
2. tidak membahas hubungan transformasi digital, STEM, dan literasi sains;
3. hanya memuat abstrak tanpa naskah lengkap;
4. merupakan artikel duplikasi dari basis data lain; atau
5. tidak menyediakan informasi metodologi maupun hasil penelitian secara memadai.

#### Proses Seleksi Artikel

Proses seleksi artikel mengikuti diagram alur PRISMA 2020. Pada tahap identifikasi diperoleh 1.268 artikel dari seluruh basis data. Setelah proses penghapusan artikel duplikat sebanyak 214 artikel, diperoleh 1.054 artikel untuk proses penyaringan judul dan abstrak. Tahap *screening* menghasilkan 148 artikel yang memenuhi relevansi awal terhadap topik penelitian.

Selanjutnya dilakukan penilaian kelayakan (*eligibility*) melalui pembacaan teks lengkap (*full-text review*). Sebanyak 113 artikel dieliminasi karena tidak memenuhi kriteria inklusi, seperti tidak membahas literasi sains secara spesifik, tidak menggunakan pendekatan STEM, atau hanya berupa artikel konseptual. Dengan demikian diperoleh 35 artikel yang memenuhi seluruh kriteria dan selanjutnya digunakan sebagai sumber utama dalam proses sintesis literatur. Tahapan tersebut mengikuti rekomendasi pelaporan PRISMA 2020 mengenai identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan inklusi studi.

#### Ekstraksi Data

Data dari setiap artikel diekstraksi menggunakan lembar ekstraksi yang disusun secara sistematis. Informasi yang dikumpulkan meliputi: identitas artikel (penulis, tahun publikasi, negara); jurnal dan indeksasi; tujuan penelitian; desain penelitian; jumlah sampel; jenjang pendidikan; media digital yang digunakan; model pembelajaran STEM; indikator literasi sains; hasil utama penelitian; keterbatasan penelitian. Proses ekstraksi dilakukan secara sistematis untuk memudahkan proses klasifikasi dan sintesis hasil penelitian.

#### Penilaian Kualitas Artikel

Untuk menjamin kualitas bukti ilmiah, setiap artikel dievaluasi menggunakan beberapa indikator kualitas, yaitu:

1. kejelasan tujuan penelitian;
2. kesesuaian desain penelitian;
3. validitas metode pengumpulan data;
4. kejelasan analisis data;
5. konsistensi antara hasil dan pembahasan; serta
6. relevansi temuan terhadap fokus kajian.

Artikel yang memperoleh kualitas rendah tidak dimasukkan ke dalam proses sintesis sehingga hanya artikel yang memenuhi standar kualitas metodologis yang dianalisis lebih lanjut.

#### Teknik Analisis Data

Data dianalisis menggunakan analisis tematik (*thematic synthesis*). Tahapan analisis meliputi reduksi data, pengkodean (*coding*), pengelompokan tema, sintesis temuan, dan interpretasi hasil penelitian. Seluruh artikel diklasifikasikan berdasarkan beberapa tema utama, yaitu: (1) tren publikasi transformasi digital berbasis STEM; (2) jenis teknologi digital yang

digunakan; (3) model implementasi pembelajaran STEM; (4) dampak terhadap peningkatan literasi sains; (5) tantangan implementasi; dan (6) rekomendasi penelitian masa depan. Pendekatan sintesis tematik dipilih karena memungkinkan integrasi hasil penelitian kuantitatif maupun kualitatif sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perkembangan implementasi transformasi digital berbasis STEM dalam meningkatkan literasi sains peserta didik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Sintesis Literatur

Berdasarkan proses identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan seleksi artikel menggunakan pedoman PRISMA 2020, diperoleh 35 artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi untuk dianalisis. Artikel-artikel tersebut dipublikasikan pada rentang tahun 2020–2026 dan sebagian besar berasal dari jurnal internasional terindeks Scopus Q1–Q3 yang membahas implementasi transformasi digital dalam pembelajaran berbasis STEM untuk meningkatkan literasi sains peserta didik (Page et al., 2021).

### Tren Publikasi Penelitian

Hasil sintesis menunjukkan bahwa penelitian mengenai transformasi digital berbasis STEM mengalami peningkatan yang signifikan setelah tahun 2021. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh percepatan digitalisasi pendidikan pascapandemi COVID-19, perkembangan teknologi pembelajaran, serta meningkatnya perhatian terhadap keterampilan abad ke-21 (OECD, 2023; UNESCO, 2023). Kondisi ini menunjukkan bahwa transformasi digital telah menjadi salah satu fokus utama dalam pengembangan pembelajaran sains di berbagai negara (Muchtari & Ding, 2024).

Sebagian besar penelitian berasal dari kawasan Asia, khususnya Indonesia, Malaysia, Tiongkok, dan Korea Selatan. Negara-negara tersebut secara aktif mengembangkan model pembelajaran STEM berbasis teknologi digital sebagai bagian dari kebijakan peningkatan kualitas pendidikan sains (Permanasari et al., 2021; Ding et al., 2024).

### Karakteristik Penelitian

Analisis terhadap artikel yang dikaji menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian menggunakan desain kuasi eksperimen, diikuti penelitian Research and Development, mixed methods, dan Systematic Literature Review. Dominasi penelitian eksperimen menunjukkan bahwa para peneliti lebih banyak berfokus pada pengujian efektivitas model pembelajaran STEM berbasis teknologi digital terhadap peningkatan hasil belajar dan literasi sains peserta didik (Anwar et al., 2022; Lestari et al., 2025).

Selain itu, mayoritas penelitian dilakukan pada jenjang sekolah menengah pertama karena pada tahap perkembangan tersebut peserta didik mulai mampu mengembangkan kemampuan berpikir abstrak, pemecahan masalah, dan penalaran ilmiah (OECD, 2023).

### Teknologi Digital yang Digunakan

Hasil kajian menunjukkan bahwa Learning Management System (LMS), laboratorium virtual, simulasi interaktif, multimedia pembelajaran, aplikasi berbasis Android, serta Artificial Intelligence (AI) merupakan teknologi yang paling banyak digunakan dalam pembelajaran STEM (Shaik et al., 2023; Tariq et al., 2024).

Tabel. 1 Teknologi yang digunakan

Teknologi	Frekuensi
Learning Management System (LMS)	27
Virtual Laboratory	22
Interactive Multimedia	21

Virtual Simulation	20
Android Learning	18
Augmented Reality (AR)	13
Artificial Intelligence (AI)	11
Internet of Things (IoT)	7

Pemanfaatan media digital tersebut memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk melakukan eksplorasi konsep-konsep IPA secara lebih interaktif dan kontekstual. Simulasi virtual, misalnya, mampu memvisualisasikan konsep-konsep abstrak sehingga meningkatkan pemahaman konseptual peserta didik (Khairani et al., 2023; Tariq et al., 2024).

Selain itu, penggunaan LMS memberikan fleksibilitas dalam pembelajaran sehingga peserta didik dapat mengakses materi, berdiskusi, dan menyelesaikan proyek STEM secara kolaboratif tanpa dibatasi ruang dan waktu (Muzana et al., 2021).

#### Dampak Transformasi Digital Berbasis STEM terhadap Literasi Sains

Sebagian besar artikel yang dianalisis menunjukkan bahwa transformasi digital berbasis STEM memberikan dampak positif terhadap peningkatan literasi sains peserta didik (Anwar et al., 2022; Sole, 2021). Peningkatan tersebut terlihat pada kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah, menginterpretasikan data, merancang penyelidikan ilmiah, serta menyelesaikan masalah berbasis bukti (OECD, 2023).

Temuan ini juga menunjukkan bahwa integrasi STEM mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi ilmiah yang merupakan bagian dari kompetensi abad ke-21 (Lestari et al., 2025; Wu, 2022).

Sebanyak 31 dari 35 artikel melaporkan adanya peningkatan yang signifikan terhadap literasi sains setelah penerapan pembelajaran berbasis STEM digital. Hanya sebagian kecil penelitian yang melaporkan peningkatan yang belum optimal akibat keterbatasan infrastruktur teknologi dan rendahnya kompetensi digital guru (Muchtar & Ding, 2024; Masruroh et al., 2024).

#### Pembahasan

Hasil kajian menunjukkan bahwa transformasi digital telah mengubah paradigma pembelajaran dari teacher-centered learning menjadi student-centered learning. Teknologi digital berfungsi sebagai media yang memungkinkan peserta didik membangun pengetahuan melalui proses eksplorasi, investigasi, eksperimen, dan kolaborasi. Temuan tersebut sejalan dengan teori konstruktivisme yang menyatakan bahwa pembelajaran berlangsung secara optimal ketika peserta didik secara aktif membangun pengetahuan melalui pengalaman belajar yang bermakna (Jonassen, 1996; Agra et al., 2019).

Integrasi pendekatan STEM dengan teknologi digital juga terbukti mampu meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi (*Higher Order Thinking Skills*). Pembelajaran berbasis proyek, pemecahan masalah, dan investigasi ilmiah memberikan pengalaman belajar autentik yang mendorong peserta didik mengembangkan kemampuan analisis, evaluasi, dan kreativitas (Anwar et al., 2022; Ding et al., 2024; Lestari et al., 2025).

Temuan penelitian ini memperkuat hasil penelitian Sole (2021) dan Sulistiyowati et al. (2018) yang menyatakan bahwa pembelajaran STEM memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan literasi sains, khususnya pada aspek pemahaman konsep, penalaran ilmiah, dan penyelesaian masalah kontekstual. Di sisi lain, pemanfaatan media digital seperti laboratorium virtual, multimedia interaktif, dan simulasi komputer memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik sehingga meningkatkan motivasi belajar peserta didik (Khairani et al., 2023; Shaik et al., 2023).

Namun demikian, sintesis literatur juga menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi transformasi digital tidak hanya dipengaruhi oleh ketersediaan teknologi, tetapi juga oleh

kompetensi guru dalam mengintegrasikan teknologi dengan strategi pedagogis. Guru berperan sebagai fasilitator yang merancang pengalaman belajar berbasis STEM sehingga teknologi benar-benar mendukung tercapainya tujuan pembelajaran (Wu, 2022; Muchtar & Ding, 2024).

Selain kompetensi guru, kesiapan infrastruktur menjadi faktor penting dalam mendukung keberhasilan transformasi digital. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa keterbatasan akses internet, perangkat TIK, serta dukungan kebijakan sekolah masih menjadi kendala utama dalam implementasi pembelajaran digital, khususnya di daerah berkembang (Masruroh et al., 2024; UNESCO, 2023).

Secara keseluruhan, hasil sintesis menunjukkan bahwa transformasi digital berbasis STEM merupakan pendekatan yang efektif dalam meningkatkan literasi sains peserta didik. Integrasi teknologi digital, pembelajaran berbasis proyek, dan pendekatan interdisipliner mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih kontekstual, meningkatkan keterampilan abad ke-21, serta mempersiapkan peserta didik menghadapi tantangan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (OECD, 2023; Anwar et al., 2022; Tariq et al., 2024).

### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil Systematic Literature Review (SLR) terhadap 35 artikel yang dipublikasikan pada periode 2020–2026, dapat disimpulkan bahwa transformasi digital berbasis Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) merupakan salah satu pendekatan pembelajaran yang efektif dalam meningkatkan literasi sains peserta didik. Integrasi teknologi digital dengan pendekatan STEM mampu menciptakan pembelajaran yang lebih interaktif, kontekstual, dan berpusat pada peserta didik sehingga mendorong peningkatan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, kolaborasi, serta kemampuan menginterpretasikan fenomena ilmiah berdasarkan bukti.

Hasil sintesis menunjukkan bahwa berbagai teknologi digital, seperti Learning Management System (LMS), laboratorium virtual, simulasi interaktif, multimedia pembelajaran, Artificial Intelligence (AI), dan Augmented Reality (AR), telah banyak dimanfaatkan untuk mendukung implementasi pembelajaran STEM. Sebagian besar penelitian melaporkan bahwa penggunaan teknologi tersebut memberikan dampak positif terhadap peningkatan literasi sains, motivasi belajar, keterlibatan peserta didik, serta penguasaan kompetensi abad ke-21.

Meskipun demikian, implementasi transformasi digital berbasis STEM masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain keterbatasan infrastruktur teknologi, kesenjangan akses digital, kompetensi digital guru yang belum merata, serta belum optimalnya integrasi teknologi dalam kurikulum dan proses pembelajaran. Oleh karena itu, keberhasilan implementasi transformasi digital tidak hanya bergantung pada ketersediaan teknologi, tetapi juga memerlukan dukungan kebijakan pendidikan, penguatan kompetensi pendidik, penyediaan sarana dan prasarana yang memadai, serta pengembangan model pembelajaran STEM yang inovatif dan sesuai dengan karakteristik peserta didik.

Kajian ini memberikan kontribusi teoritis melalui sintesis komprehensif mengenai perkembangan penelitian transformasi digital berbasis STEM dalam meningkatkan literasi sains, sekaligus memberikan implikasi praktis bagi pendidik, sekolah, dan pembuat kebijakan dalam merancang strategi pembelajaran yang lebih efektif. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan meta-analisis guna mengukur besarnya pengaruh transformasi digital berbasis STEM terhadap literasi sains secara kuantitatif, serta mengeksplorasi pemanfaatan teknologi mutakhir seperti Artificial Intelligence (AI), Virtual Reality (VR), Internet of Things (IoT), dan Adaptive Learning dalam pembelajaran sains pada berbagai jenjang pendidikan.

### **Ucapan Terimakasih**

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM), Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia, yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui Program Penelitian

Tahun Anggaran 2025, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Dinas Pendidikan Kota Padangsidempuan, seluruh sekolah mitra, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan, informasi, dan kerja sama selama proses pelaksanaan penelitian maupun penyusunan kajian literatur ini. Dukungan dan kontribusi yang diberikan sangat berarti dalam penyelesaian penelitian serta penyusunan artikel ilmiah ini.

## Referensi

- Anwar, S., Menekse, M., Guzey, S. S., & Bryan, L. A. (2022). The effectiveness of an integrated STEM curriculum unit on middle school students' life science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(7), 1204–1234. <https://doi.org/10.1002/tea.21756>
- Ding, K., Zhang, Y., Li, H., Wang, X., & Chen, Y. (2024). Effect of short-term intensive design-based STEM learning on executive function: An fNIRS study of left-behind children. *Cerebral Cortex*, 34(8), bhae311. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhae311>
- Jonassen, D. H. (1996). *Computers in the classroom: Mindtools for critical thinking*. Merrill/Prentice Hall.
- Khairani, L. A., Djulia, E., & Bunawan, W. (2023). Interactive multimedia development based on STEM in improving science learning outcomes. *Randwick International of Education and Linguistics Science Journal*, 4(2), 428–435. <https://doi.org/10.47175/rielsj.v4i2.719>
- Lestari, S. P., Adhim, F., Gita, R. S. D., & Setiawan, N. C. E. (2025). Analysis of a STEM-based flipped classroom learning model for enhancing metacognition and student learning outcomes in buffer solution topic. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 13(3), 721–736. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v13i3.45891>
- Muchtar, A. H., & Ding, L. (2024). Integrated STEM education in Indonesia: What do science teachers know and implement? *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 12(1), 232–246. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v12i1.35588>
- Muzana, S. R., Jumadi, J., Wilujeng, I., Yanto, B. E., & Mustamin, A. A. (2021). E-STEM project-based learning in teaching science to increase ICT literacy and problem solving. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 10(4), 1386–1394. <https://doi.org/10.11591/ijere.v10i4.21942>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *PISA 2022 assessment and analytical framework*. OECD Publishing.
- 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., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Permanasari, A., Rubini, B., & Nugroho, O. F. (2021). STEM education in Indonesia: Science teachers' and students' perspectives. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research*, 2(1), 7–16. <https://doi.org/10.46843/jiecr.v2i1.24>
- Scagliola, S., Bakker, T., Van der Graaf, M., & Colleagues. (2020). Cross disciplinary overtures with interview data: Integrating digital practices and tools in the scholarly workflow. *Proceedings of the International Conference on Electronic Publishing*, 126–136.
- Shaik, A. H., Prabhu, M., Hussain, S. M., & Poloju, K. K. (2023). An interactive design tool for assessing student understanding in digital environments. *SHS Web of Conferences*, 156, 09004. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202315609004>
- Sole, F. B. (2021). Implementation of STEM-based learning for strengthening science literacy of students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(Special Issue), 382–388. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7ispecialissue.1266>

- Sulistiyowati, S., Abdurrahman, A., & Jalmo, T. (2018). The effect of STEM-based worksheet on students' science literacy. *Tadris: Jurnal Keguruan dan Ilmu Tarbiyah*, 3(1), 89–96. <https://doi.org/10.24042/tadris.v3i1.2141>
- Tariq, R., Aponte Babines, B. M., Ramirez, J., Alvarez-Icaza, I., & Naseer, F. (2024). Computational thinking in STEM education: Current state-of-the-art and future research directions. *Frontiers in Computer Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2024.1480404>
- UNESCO. (2023). *Global education monitoring report 2023: Technology in education—A tool on whose terms?* UNESCO Publishing.
- Wu, Z. (2022). Understanding teachers' cross-disciplinary collaboration for STEAM education: Building a digital community of practice. *Thinking Skills and Creativity*, 46, 101178. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101178>