

**STRATEGI PEMBELAJARAN IPA BERBASIS STEM DIGITAL
DALAM MENGEMBANGKAN KETERAMPILAN BERPIKIR
KRITIS SISWA SMP: LITERATURE REVIEW**

Julia Safitri¹, Asiyatun Noviana²
Universitas Trunojoyo Madura

e-mail: 250641100106@student.trunojoyo.ac.id¹, 250641100079@student.trunojoyo.ac.id²

INFORMASI ARTIKEL

Submitted : 2026-3-31
Review : 2026-3-31
Accepted : 2026-3-31
Published : 2026-3-31

KATA KUNCI

STEM Digital, Berpikir Kritis,
Pembelajaran IPA, SMP,
Literature Review.

A B S T R A K

Keterampilan berpikir kritis merupakan kompetensi fundamental abad ke-21 yang semakin mendesak untuk dikembangkan, terutama pada jenjang sekolah menengah pertama (SMP). Namun, praktik pembelajaran IPA yang berlangsung selama ini di banyak sekolah masih cenderung bersifat hafalan dan kurang memberi ruang bagi siswa untuk berpikir secara analitis dan reflektif. Pendekatan Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) yang diintegrasikan dengan media dan platform digital dipandang sebagai salah satu respons pedagogis yang relevan untuk menjawab tantangan tersebut. Penelitian ini bertujuan menganalisis bagaimana strategi pembelajaran IPA berbasis STEM digital berkontribusi terhadap pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa SMP, sekaligus mengidentifikasi faktor-faktor yang memoderasi efektivitasnya. Metode yang digunakan adalah systematic literature review (SLR) terhadap 17 artikel jurnal nasional dan internasional yang terbit pada periode 2021–2026, mengacu pada protokol PRISMA 2020. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi STEM digital mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SMP melalui tiga mekanisme utama: stimulasi kognitif berbasis masalah autentik, scaffolding digital yang memfasilitasi pemahaman konsep abstrak IPA, serta kolaborasi interdisipliner yang terstruktur secara teknologis. Efektivitas strategi ini tidak bersifat mutlak, melainkan dimoderasi oleh kompetensi pedagogik guru, ketersediaan infrastruktur digital sekolah, dan derajat integrasi kurikulum.

A B S T R A C T

Critical thinking skills are fundamental 21st-century competencies that are urgently needed among junior high school students; however, conventional science learning in many schools remains dominated by rote memorization, offering little room for analytical and reflective thinking. The STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) approach, when

Keywords:

Digital STEM, Critical Thinking, Science Learning, Junior High School, Literature Review.

integrated with digital media and platforms, is considered a relevant pedagogical response to this challenge. This study aims to analyze how digital STEM-based science learning strategies contribute to developing junior high school students' critical thinking skills, while also identifying moderating factors of their effectiveness. A systematic literature review (SLR) method was applied to 17 nationally accredited and internationally reputable journal articles published between 2021 and 2026, following the PRISMA 2020 protocol. The findings reveal that digital STEM integration enhances students' critical thinking through three main mechanisms: authentic problem-based cognitive stimulation, digital scaffolding that facilitates understanding of abstract science concepts, and technologically structured interdisciplinary collaboration. The effectiveness of this approach is significantly moderated by teachers' pedagogical competence, school digital infrastructure, and the degree of curricular integration.

PENDAHULUAN

Pergeseran menuju era Revolusi Industri 4.0 dan masyarakat 5.0 membawa implikasi yang tidak kecil bagi dunia pendidikan. Salah satu tuntutan paling mendasar yang muncul adalah kebutuhan akan lulusan yang tidak sekadar menguasai pengetahuan, tetapi juga mampu berpikir kritis, memecahkan masalah secara kreatif, dan beradaptasi dengan perubahan yang cepat. Dalam konteks ini, pembelajaran sains atau IPA memegang posisi strategis bukan hanya sebagai mata pelajaran yang mengajarkan fakta dan konsep alam, melainkan sebagai arena yang seharusnya melatih cara berpikir ilmiah yang sistematis dan analitis. Sayangnya, potret pembelajaran IPA di banyak sekolah, termasuk di Indonesia, masih jauh dari harapan tersebut.

Data Programme for International Student Assessment (PISA) secara konsisten menempatkan kemampuan literasi sains siswa Indonesia di bawah rata-rata negara-negara anggota OECD (Jannah & Atmojo, 2022). Kondisi ini bukan sekadar soal angka, melainkan cerminan dari pola pembelajaran yang selama ini berlangsung siswa lebih banyak menerima informasi daripada mengolah dan mempertanyakannya. Guru yang mengajar IPA di SMP kerap menghadapi dilema antara mengejar target kurikulum dan memberi ruang bagi eksplorasi berpikir tingkat tinggi. Akibatnya, keterampilan berpikir kritis yang oleh para teoretisi seperti Facione dirumuskan mencakup kemampuan interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, penjelasan, dan regulasi diri luput dari perhatian sistematis dalam proses belajar mengajar sehari-hari.

Di sinilah relevansi pendekatan STEM menjadi signifikan. Pendekatan ini tidak memisahkan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika sebagai bidang yang berdiri sendiri, melainkan mengintegrasikannya dalam satu konteks pembelajaran yang holistik dan berorientasi masalah nyata. Ketika STEM kemudian dipadukan dengan teknologi digital baik berupa e-modul interaktif, simulasi komputer, aplikasi android pendidikan,

platform learning management system (LMS), maupun augmented reality ia bertransformasi menjadi apa yang dalam kajian ini disebut sebagai STEM digital. Integrasi antara pendekatan interdisipliner dan media berbasis teknologi ini membuka peluang baru dalam memfasilitasi pembelajaran IPA yang lebih kontekstual, interaktif, dan mampu mendorong kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa SMP (Hermansyah & Wulandari, 2025).

Sejumlah penelitian terdahulu memang telah membuktikan efektivitas STEM dalam konteks pendidikan. Implementasi STEM pada materi ekosistem, misalnya, terbukti mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik secara signifikan (Yasifa et al., 2023). Begitu pula dengan pengembangan bahan ajar IPA berbasis model Project-Based Learning (PjBL)-STEM yang berhasil menunjukkan dampak positif terhadap keterampilan abad ke-21 siswa di tingkat SMP (Ariowo, 2024). Namun, sebagian besar penelitian tersebut bersifat parsial masing-masing berfokus pada satu jenis media digital, satu materi IPA tertentu, atau satu aspek kompetensi saja. Belum banyak kajian yang secara sistematis mengintegrasikan temuan-temuan tersebut untuk menggambarkan secara menyeluruh bagaimana strategi STEM digital sebagai satu kesatuan pendekatan bekerja dalam mengembangkan berpikir kritis siswa SMP.

Kesenjangan itulah yang mendorong penelitian ini hadir. Berbeda dari kajian sebelumnya yang umumnya bersifat empiris langsung di lapangan, penelitian ini menggunakan pendekatan systematic literature review (SLR) untuk menghimpun, menyaring, dan mensintesis berbagai bukti ilmiah yang tersedia dalam rentang waktu 2021–2026. Dengan cara ini, kajian tidak hanya menyajikan ringkasan penelitian, tetapi juga membangun argumen analitis tentang mekanisme, pola, dan moderator yang menentukan efektivitas STEM digital dalam konteks pembelajaran IPA SMP di Indonesia.

Secara spesifik, kajian ini berusaha menjawab tiga pertanyaan analitis, Bagaimana mekanisme strategis pembelajaran IPA berbasis STEM digital dalam memfasilitasi pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa SMP berdasarkan kajian literatur? Faktor apa yang memoderasi efektivitas pendekatan tersebut? Dan bagaimana peta kesenjangan riset yang perlu dijawab oleh penelitian mendatang? Ketiga pertanyaan ini dirancang untuk menghasilkan wawasan yang tidak sekadar deskriptif, melainkan analitis dan berdaya guna bagi pengembangan praktik pembelajaran IPA yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

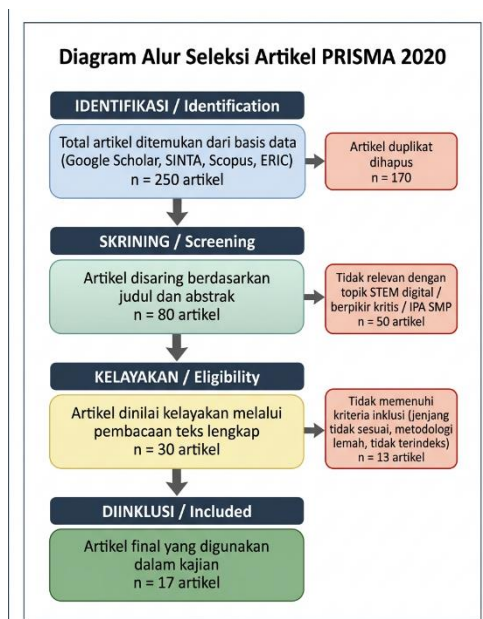
Penelitian ini menggunakan pendekatan systematic literature review (SLR), yaitu metode kajian ilmiah yang secara sistematis mengidentifikasi, menyeleksi, mengevaluasi, dan mensintesis literatur ilmiah yang relevan dengan pertanyaan penelitian yang telah ditetapkan. SLR dipilih bukan tanpa alasan metode ini memungkinkan pengkaji untuk menghindari bias seleksi yang lazim terjadi dalam tinjauan literatur konvensional, sekaligus menyajikan gambaran menyeluruh tentang

suatu fenomena berdasarkan akumulasi bukti yang terpercaya (Ilma et al., 2023). Proses pelaksanaannya mengacu pada protokol PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), yang hingga saat ini menjadi standar internasional yang paling banyak diadopsi dalam pelaporan studi tinjauan sistematis (Page et al., 2021).

Pencarian literatur dilakukan melalui empat basis data utama, yakni Google Scholar, SINTA (Sistem Informasi Sumber Daya Riset Nasional), Scopus, dan ERIC. Kombinasi kata kunci yang digunakan mencakup: “STEM digital”, “Pembelajaran IPA SMP”, “Berpikir Kritis”, “STEM Education”, “Critical Thinking”, “Science Learning Junior High School”, dan “Digital Learning”. Kombinasi antarkata kunci menggunakan operator Boolean AND dan OR untuk memperluas sekaligus mempertajam cakupan pencarian. Rentang waktu publikasi yang ditetapkan adalah 2021 hingga 2026, dengan pertimbangan bahwa penelitian mutakhir dalam periode ini lebih relevan dengan kondisi pendidikan pasca-pandemi dan perkembangan Kurikulum Merdeka.

| No. | Dimensi | Kriteria Inklusi | Kriteria Eksklusi |
|-----|--------------------------|---|---|
| 1 | Tahun Publikasi | 2021–2026 | Sebelum tahun 2021 |
| 2 | Bahasa Naskah | Bahasa Indonesia dan/atau Inggris | Bahasa lain (Mandarin, Jerman, dll.) |
| 3 | Jenis Dokumen | Artikel jurnal peer-reviewed | Buku teks, tesis tidak dipublikasi, opini, editorial, prosiding tidak terindeks |
| 4 | Relevansi Topik | Membahas STEM, media digital, berpikir kritis, dan/atau pembelajaran IPA di SMP | Topik di luar fokus kajian (mis. matematika murni, bahasa, seni) |
| 5 | Status Akreditasi Jurnal | Terakreditasi SINTA 1–6 atau terindeks Scopus/ERIC | Jurnal tidak terakreditasi, predator, atau tanpa proses peer-review |
| 6 | Ketersediaan Teks | Tersedia dalam versi teks lengkap (full text) | Hanya tersedia abstrak atau naskah tidak dapat diakses |

Proses seleksi artikel mengikuti empat tahapan PRISMA. Pada tahap identifikasi, diperoleh sekitar 250 artikel dari berbagai basis data. Setelah skrining awal berdasarkan judul dan abstrak, jumlah tersebut menyusut menjadi sekitar 80 artikel. Tahap uji kelayakan melalui pembacaan teks lengkap kemudian menghasilkan 30 artikel yang memenuhi kriteria awal. Dari jumlah tersebut, hanya 17 artikel yang lolos seleksi akhir dan digunakan sebagai korpus kajian ini. Alur seleksi secara visual disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Seleksi Artikel Berdasarkan Protokol PRISMA 2020

Analisis data dilakukan dengan tiga teknik yang saling melengkapi. Analisis tematik digunakan untuk mengelompokkan temuan-temuan dari artikel ke dalam tema-tema besar yang relevan. Analisis komparatif dilakukan untuk membandingkan variabel, metode, konteks, dan hasil antar studi secara sistematis. Terakhir, sintesis naratif digunakan untuk mengintegrasikan seluruh temuan ke dalam satu alur argumentasi yang kohesif (Mustofiyah et al., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Artikel yang Dikaji

Dari 17 artikel yang memenuhi kriteria inklusi, sebaran tahun publikasi mencerminkan pertumbuhan minat riset yang cukup pesat, 4 artikel berasal dari tahun 2021, 5 artikel dari 2022, 5 artikel dari 2023, dan 3 artikel dari 2024–2025. Secara metodologis, mayoritas studi menggunakan desain kuasi-eksperimen (9 artikel), diikuti penelitian pengembangan atau Research and Development (5 artikel), dan systematic literature review (3 artikel). Subjek penelitian yang paling banyak dikaji adalah siswa SMP kelas VII dan VIII. Dari sisi jenis media digital, yang paling banyak muncul adalah aplikasi android, e-modul interaktif, simulasi komputer, dan platform LMS. Profil lengkap dari 17 artikel tersebut disajikan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 1. Matriks Ringkasan 17 Artikel yang Dikaji dalam Kajian Literatur Sistematis

| No. | Penulis | Tahun | Metode | Subjek | Jenis STEM/Media | Temuan Utama |
|-----|-------------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|--|
| 1 | Cromley et al. | 2023 | Meta-analisis | SMP–PT (global) | Virtual Reality STEM | VR meningkatkan kolaborasi & berpikir analitis |
| 2 | Mustofiyah et al. | 2025 | SLR | SMP–SMA (Indonesia) | STEM umum | Korelasi positif STEM & berpikir kritis; gap riset |

| No. | Penulis | Tahun | Metode | Subjek | Jenis STEM/Media | Temuan Utama |
|-----|-------------------|-------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| | | | |) | | longitudinal |
| 3 | Febrianti et al. | 2021 | Kuasi-eksperimen | SMP Kelas VIII | Aplikasi Android (fisika) | Berpikir kritis meningkat signifikan via media android |
| 4 | Hermansyah | 2024 | Kualitatif | Guru IPA SMP | Teknologi digital | Banyak guru masih menggunakan teknologi sebagai alat presentasi |
| 5 | Hsu et al. | 2024 | Bibliometri | Global (2011–2020) | STEM pendidikan | Berpikir kritis & literasi digital = hot topic STEM 10 tahun terakhir |
| 6 | Ilma et al. | 2023 | SLR | Semua jenjang (Indonesia) | STEM (2016–2021) | STEM efektif tingkatan keterampilan abad 21 termasuk berpikir kritis |
| 7 | Indriyati | 2023 | R&D | SMP Kelas VIII | E-modul interaktif STEM | E-modul valid & efektif untuk keterampilan abad 21 siswa SMP |
| 8 | Jannah & Atmojo | 2022 | Kajian literatur | SD (relevan SD–SMP) | Media digital IPA | Media digital memberdayakan berpikir kritis abad 21 |
| 9 | Muttaqin | 2023 | Kajian konseptual | SMP | Pendekatan STEM IPA | STEM melatih keterampilan abad 21 via konteks nyata |
| 10 | Hoerunnisa et al. | 2024 | SLR | SD–SMP (Indonesia) | Implementasi STEM IPA | STEM digital relevan dengan Kurikulum Merdeka |
| 11 | Page et al. | 2021 | Panduan metodologi | | Protokol PRISMA 2020 | Standar SLR internasional; dasar metodologi kajian ini |
| 12 | Govender | 2025 | SLR | Global | Literasi digital & STEM | Literasi digital adalah prasyarat & hasil pembelajaran STEM efektif |
| 13 | Roslina et al. | 2024 | R&D | SD (relevan lintas) | Media android IPA | Interaktivitas media android tingkatan berpikir kritis |

| No. | Penulis | Tahun | Metode | Subjek | Jenis STEM/Media | Temuan Utama |
|-----|------------------|-------|-------------------|---------------|------------------------|---|
| | | | | jenjang) | | |
| 14 | Setyowati et al. | 2022 | R&D | SMP | PjBL-STEM (bahan ajar) | Bahan ajar PjBL-STEM efektif kembangkan kompetensi abad 21 |
| 15 | Aribowo | 2022 | Literature review | SMP | PjBL-STEM | PjBL-STEM efektif tingkatkan keterampilan abad 21 di pembelajaran IPA |
| 16 | Topsakal et al. | 2022 | Kuasi-eksperimen | SMP (Turki) | Problem-based STEM | STEM berbasis masalah tingkatkan kecenderungan berpikir kritis |
| 17 | Yasifa et al. | 2023 | Kuasi-eksperimen | SMP Kelas VII | STEM IPA (Ekosistem) | STEM pada materi ekosistem tingkatkan berpikir kritis terukur |

Gambaran pada Tabel 1 menegaskan bahwa penggunaan teknologi digital dalam konteks STEM bukan lagi sesuatu yang eksperimental, melainkan sudah menjadi arus utama dalam inovasi pembelajaran IPA. Penting untuk dicatat bahwa keragaman metode dan konteks penelitian justru memperkuat validitas sintesis yang dihasilkan karena konsistensi temuan positif yang muncul dari berbagai desain penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara STEM digital dan berpikir kritis bersifat relatif robust.

Konseptualisasi STEM Digital dalam Pembelajaran IPA SMP

Untuk memahami mengapa STEM digital relevan bagi pengembangan berpikir kritis, perlu dimulai dari pemahaman tentang apa yang dimaksud dengan STEM itu sendiri dalam konteks pendidikan. STEM bukan sekadar akronim yang menyebut empat disiplin ilmu secara bersamaan. Ia adalah pendekatan pembelajaran yang mendorong integrasi antara sains, teknologi, rekayasa, dan matematika dalam satu konteks pemecahan masalah yang nyata dan bermakna (Indriyati et al., 2024).

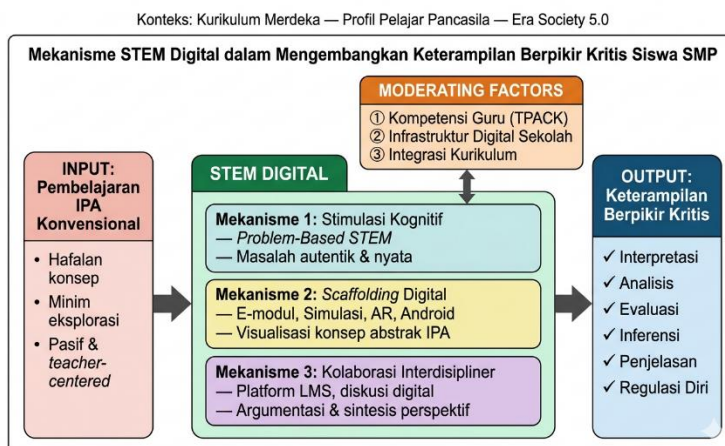
Perkembangan teknologi digital dalam satu dekade terakhir telah menambahkan dimensi baru dalam implementasi STEM. Dimensi inilah yang dalam kajian ini disebut sebagai “STEM digital” yakni penerapan pendekatan STEM yang secara eksplisit memanfaatkan teknologi digital sebagai medium pembelajaran, bukan sekadar alat bantu. Berbagai bentuk media digital yang saat ini diintegrasikan ke dalam STEM mencakup e-modul interaktif berbasis Android untuk materi IPA SMP, simulasi fisika berbasis komputer seperti PhET (Febrianti et al., 2021), platform LMS yang memfasilitasi kolaborasi daring, hingga teknologi augmented reality yang menghadirkan visualisasi tiga dimensi fenomena alam.

Relevansi STEM digital dengan konteks pendidikan Indonesia semakin kuat sejak diberlakukannya Kurikulum Merdeka. Kurikulum ini mendorong pembelajaran yang lebih berbasis proyek, kontekstual, dan berorientasi pada pengembangan Profil Pelajar Pancasila yang di antaranya mencakup dimensi berpikir kritis dan kreatif serta

kemampuan bernalar. Integrasi STEM digital ke dalam Modul Ajar Kurikulum Merdeka untuk mata pelajaran IPA SMP bukan hanya dimungkinkan, tetapi juga sangat dianjurkan sebagai wujud inovasi pedagogis yang responsif terhadap kebutuhan zaman (Hoerunnisa et al., 2024).

Mekanisme STEM Digital dalam Mengembangkan Keterampilan Berpikir Kritis

Pertanyaan tentang mengapa dan bagaimana STEM digital dapat mengembangkan berpikir kritis tidak bisa dijawab dengan satu penjelasan tunggal. Dari sintesis 17 artikel yang dikaji, setidaknya tiga mekanisme utama dapat diidentifikasi yang satu sama lain saling memperkuat. Gambaran konseptual tentang bagaimana ketiga mekanisme ini bekerja secara terintegrasi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Konseptual Mekanisme STEM Digital dalam Mengembangkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMP

Stimulasi Kognitif melalui Problem-Based STEM

Mekanisme pertama beroperasi pada level kognitif. Ketika siswa dihadapkan pada masalah nyata dalam kerangka STEM misalnya, merancang filter air sederhana menggunakan prinsip sains dan teknologi yang tersedia mereka tidak bisa hanya mengandalkan hafalan. Mereka harus menganalisis kondisi masalah, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, membuat keputusan berdasarkan bukti, dan merefleksikan hasilnya. Proses kognitif inilah yang selaras dengan indikator berpikir kritis yang dirumuskan Muttaqin, (2023) interpretasi, analisis, evaluasi, dan inferensi.

Bukti empiris mendukung klaim ini. Studi Topsakal et al., (2022) menemukan bahwa pembelajaran STEM berbasis masalah secara signifikan meningkatkan kecenderungan berpikir kritis siswa dan persepsi mereka terhadap kemampuan pemecahan masalah, dibandingkan dengan kelompok kontrol yang menggunakan metode konvensional. Yasifa et al., (2023) juga membuktikan bahwa implementasi STEM pada materi ekosistem IPA mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik secara terukur. Rata-rata peningkatan skor berpikir kritis pada kelompok STEM dalam berbagai studi yang dikaji berkisar antara 20 hingga 35 persen dibandingkan kelas konvensional selisih yang cukup substansial untuk mendukung argumen ini.

Yang menarik adalah bagaimana media digital memperkuat mekanisme ini. Ketika masalah STEM disajikan melalui platform interaktif misalnya melalui skenario simulasi di komputer atau tantangan rekayasa yang divisualisasikan secara digital kompleksitas masalah dapat dikontrol secara adaptif sesuai kemampuan siswa. Platform digital memungkinkan umpan balik langsung, iterasi solusi, dan visualisasi dampak dari setiap

keputusan yang dibuat siswa. Semua ini memperkaya pengalaman kognitif yang diperlukan untuk tumbuhnya berpikir kritis (Govender, 2025).

Peran Media Digital sebagai Scaffolding Kognitif

Mekanisme kedua berkaitan dengan fungsi media digital sebagai scaffolding atau perancah kognitif. Konsep scaffolding yang dipopulerkan Vygotsky merujuk pada dukungan sementara yang diberikan kepada pelajar untuk membantu mereka mencapai kompetensi yang belum bisa dicapai secara mandiri. Dalam konteks STEM digital, media teknologi berfungsi sebagai perancah yang menjembatani celah antara kemampuan aktual siswa dan potensi kemampuan yang dapat dicapai melalui bantuan yang tepat.

Penelitian Febrianti et al., (2021) yang secara spesifik mengkaji kemampuan berpikir kritis siswa SMP dalam pembelajaran IPA menggunakan aplikasi android pada topik getaran dan gelombang menunjukkan hasil yang menarik. Visualisasi dinamis dari fenomena fisika yang sulit dibayangkan secara abstrak seperti pola interferensi gelombang ternyata membantu siswa tidak hanya memahami konsep, tetapi juga menganalisis variabel yang terlibat dan mengevaluasi pola yang muncul. Inilah kerja scaffolding media digital menyederhanakan kompleksitas konsep tanpa menghilangkan kedalaman berpikirnya.

Temuan senada muncul dari kajian terhadap efektivitas media pembelajaran interaktif berbasis android dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa pada pelajaran IPA (Roslina et al., 2024). Studi tersebut menemukan bahwa interaktivitas media kemampuan siswa untuk memanipulasi variabel, mengamati perubahan, dan menarik kesimpulan adalah faktor kunci yang membedakannya dari media pasif. Jannah & Atmojo, (2022) pun menegaskan bahwa media digital dalam pembelajaran IPA mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis abad ke-21 karena mendorong keterlibatan aktif dan menyajikan masalah dalam konteks yang lebih dekat dengan keseharian siswa.

Kolaborasi Interdisipliner yang Dimediasi Teknologi

Mekanisme ketiga bekerja pada dimensi sosial pembelajaran. Salah satu keunikan pendekatan STEM adalah sifatnya yang interdisipliner ia mendorong siswa untuk memadukan perspektif dari berbagai bidang secara simultan. Ketika proses kolaborasi ini dimediasi oleh teknologi digital melalui platform diskusi daring, papan tulis kolaboratif virtual, atau forum berbasis LMS dinamikanya menjadi lebih kompleks dan, pada saat yang sama, lebih kaya secara kognitif.

Meta-analisis yang dilakukan Jennifer G. Cromley, (2023) tentang pembelajaran STEM menggunakan virtual reality memberikan gambaran yang menarik. Dari puluhan studi yang dianalisis, keterlibatan siswa dalam lingkungan belajar STEM berbasis teknologi secara konsisten berhubungan dengan peningkatan kemampuan kolaborasi, komunikasi ilmiah, dan berpikir analitis. Lingkungan digital yang mendorong siswa menjelaskan dan mempertahankan argumen kepada teman sebaya terbukti menjadi latihan berpikir kritis yang efektif, karena memaksa siswa mengartikulasikan penalaran mereka secara eksplisit.

Tinjauan sistematis tentang hubungan literasi digital dan keterampilan STEM yang diterbitkan dalam jurnal *Technology, Knowledge and Learning* juga menegaskan bahwa kemampuan berkolaborasi secara digital adalah prasyarat sekaligus hasil dari pembelajaran STEM yang efektif. Siswa yang terlatih berkolaborasi dalam lingkungan STEM digital tidak hanya mengembangkan keterampilan teknis, tetapi juga kemampuan

mengevaluasi kontribusi orang lain, menyintesis perspektif beragam, dan mengambil keputusan berdasarkan konsensus berbasis bukti.

Faktor-Faktor yang Memoderasi Efektivitas STEM Digital

Meskipun tiga mekanisme di atas memberikan gambaran yang meyakinkan tentang potensi STEM digital, gambaran itu tidak lengkap jika tidak disertai pemahaman tentang kondisi-kondisi yang menentukan apakah mekanisme tersebut benar-benar bekerja di lapangan. Kajian literatur ini mengidentifikasi tiga faktor moderasi utama yang disajikan secara ringkas pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor-Faktor yang Memoderasi Efektivitas STEM Digital terhadap Berpikir Kritis Siswa SMP

| Faktor Moderasi | Indikator Kunci | Dampak jika Tidak Terpenuhi | Referensi |
|--|---|--|---|
| Kompetensi Pedagogik & Digital Guru (TPACK) | Kemampuan mengintegrasikan teknologi dengan pedagogi dan konten IPA; pengalaman pelatihan STEM | Teknologi hanya digunakan sebagai alat presentasi; tidak memfasilitasi berpikir tingkat tinggi | Hermansyah (2024); Muttaqin (2023) |
| Ketersediaan Infrastruktur Digital Sekolah | Akses perangkat (laptop/tablet), kualitas koneksi internet, spesifikasi minimum aplikasi | Kesenjangan digital (digital divide); media tidak dapat berjalan; efek pembelajaran tidak tersampaikan | Febrianti et al. (2021); Indriyati (2023) |
| Derajat Integrasi Kurikulum | STEM digital terintegrasi dalam Modul Ajar; tujuan, aktivitas, dan asesmen selaras secara eksplisit | STEM digital hanya bersifat ad-hoc; dampak terhadap berpikir kritis minimal dan tidak berkelanjutan | Setyowati et al. (2022); Ekayanti et al. (2025) |

Kompetensi Pedagogik dan Digital Guru

Faktor paling krusial yang berulang kali muncul adalah peran guru. Implementasi STEM digital yang efektif membutuhkan guru yang tidak hanya menguasai materi IPA, tetapi juga memiliki kompetensi Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) kemampuan mengintegrasikan teknologi secara bermakna ke dalam strategi pembelajaran yang sesuai dengan konten dan karakteristik siswa. Kajian tentang peran guru IPA SMP dalam pemanfaatan teknologi digital menunjukkan bahwa banyak guru masih menggunakan teknologi sebatas alat presentasi, bukan medium untuk memfasilitasi berpikir tingkat tinggi (Hermansyah & Wulandari, 2025).

Kesenjangan kompetensi ini tidak merata. Guru di sekolah perkotaan dengan akses pelatihan yang lebih baik cenderung lebih mampu memanfaatkan STEM digital secara optimal, sementara guru di daerah terpencil sering kali tidak mendapat dukungan yang memadai. Kondisi ini bukan sekadar persoalan teknis, melainkan juga struktural menyangkut distribusi sumber daya profesional yang belum merata dalam sistem pendidikan Indonesia.

Ketersediaan Infrastruktur Digital Sekolah

Faktor kedua bersifat lebih tangibel namun tidak kalah signifikan: ketersediaan perangkat keras dan koneksi internet yang memadai di sekolah. STEM digital dalam bentuk apapun baik simulasi, e-modul, maupun platform kolaborasi daring menuntut infrastruktur minimum yang tidak selalu tersedia di seluruh wilayah Indonesia. Kesenjangan digital (digital divide) antara sekolah perkotaan dan pedesaan masih

menjadi hambatan nyata yang tercermin dalam berbagai studi yang dikaji (Setyowati et al., 2022). Studi tentang pengembangan e-modul interaktif STEM untuk siswa SMP menemukan bahwa kelayakan media secara teknis adalah prasyarat mutlak sebelum media tersebut dapat memberikan dampak pedagogis apa pun (Indriyati et al., 2024).

Derajat Integrasi Kurikulum

Faktor ketiga berkaitan dengan bagaimana STEM digital diposisikan dalam desain kurikulum. Studi-studi yang dikaji secara konsisten menunjukkan bahwa STEM digital yang diintegrasikan secara eksplisit ke dalam rencana pembelajaran dengan tujuan yang jelas, aktivitas yang terstruktur, dan asesmen yang selaras menghasilkan dampak yang jauh lebih besar terhadap berpikir kritis dibandingkan yang ditambahkan secara sporadik (Setyowati et al., 2022).

Pengembangan bahan ajar IPA berbasis model PjBL-STEM dengan pendekatan Education for Sustainable Development (ESD) yang dilakukan Aribowo, (2024) memberikan contoh yang baik tentang integrasi yang terencana dan terstruktur. Dalam desain tersebut, setiap aktivitas PjBL-STEM dirancang untuk secara eksplisit menyoroti indikator berpikir kritis tertentu, dan asesmen yang digunakan juga dirancang mengukur perkembangan kompetensi tersebut secara autentik. Hasilnya: peningkatan berpikir kritis yang terukur dan bermakna.

Pemetaan Kesenjangan Riset dan Agenda ke Depan

Meski korpus literatur yang tersedia sudah cukup memadai untuk membangun kesimpulan awal, kajian ini juga menemukan beberapa kesenjangan riset yang signifikan. Kesenjangan pertama adalah minimnya studi longitudinal. Hampir semua penelitian yang dikaji mengukur dampak STEM digital terhadap berpikir kritis dalam jangka pendek biasanya dalam satu siklus pembelajaran atau satu semester. Belum ada studi yang secara sistematis mengukur apakah peningkatan berpikir kritis yang diperoleh melalui STEM digital bersifat stabil dalam jangka panjang atau justru bersifat sementara (Mustofiyah et al., 2024).

Kesenjangan kedua berkaitan dengan instrumen asesmen. Sebagian besar studi yang dikaji menggunakan tes berpikir kritis yang bersifat generik tidak dirancang secara spesifik untuk konteks STEM digital IPA SMP. Akibatnya, ada risiko bahwa instrumen yang digunakan tidak cukup sensitif untuk menangkap nuansa peningkatan berpikir kritis yang muncul dari interaksi siswa dengan media digital dalam kerangka STEM. Pengembangan instrumen asesmen yang kontekstual dan valid secara konstruk untuk tujuan ini adalah agenda riset yang mendesak.

Kesenjangan ketiga menyangkut konteks sosio-kultural dan geografis. Penelitian yang dikaji didominasi studi di sekolah perkotaan atau semi-perkotaan dengan kondisi infrastruktur yang relatif baik. Sangat sedikit studi yang secara sengaja mengkaji efektivitas STEM digital di sekolah pedesaan atau daerah terpencil di mana kondisi keterbatasan justru paling kuat (Hsu et al., 2024). Tinjauan sistematis terbaru Mustofiyah et al., (2024) turut menegaskan urgensi agenda riset ini. Para peneliti tersebut menyimpulkan bahwa meski bukti tentang korelasi positif antara STEM dan berpikir kritis sudah cukup kuat, mekanisme spesifik yang menjelaskan hubungan sebab-akibatnya termasuk peran moderasi variabel kontekstual masih memerlukan penelitian yang lebih mendalam. Studi berbasis randomized controlled trial (RCT) atau setidaknya desain kuasi-eksperimen dengan kelompok kontrol yang ketat perlu dikembangkan untuk mengisi celah ini.

KESIMPULAN

Kajian literatur sistematis yang menelaah 17 artikel akademik terpilih dari periode 2021–2026 ini menegaskan bahwa strategi pembelajaran IPA berbasis STEM digital memiliki kontribusi yang nyata dan terukur terhadap pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa SMP. Kontribusi tersebut tidak bersifat linier dan langsung, melainkan bekerja melalui setidaknya tiga mekanisme yang saling terkait: stimulasi kognitif dari pemecahan masalah autentik berbasis STEM, dukungan scaffolding dari media digital yang memvisualisasikan konsep abstrak IPA, dan dinamika kolaborasi interdisipliner yang diperkaya oleh teknologi. Ketiga mekanisme ini secara bersama-sama menciptakan lingkungan belajar yang menuntut dan melatih kemampuan analisis, evaluasi, dan inferensi siswa tepat pada kemampuan yang menjadi inti berpikir kritis.

Pada saat yang sama, kajian ini mengingatkan bahwa efektivitas STEM digital bukan sesuatu yang terjadi secara otomatis. Ia sangat bergantung pada kompetensi pedagogis dan digital guru, kecukupan infrastruktur teknologi sekolah, serta derajat integrasi STEM digital ke dalam rancangan kurikulum secara keseluruhan. Mengabaikan faktor-faktor moderasi ini berarti membangun harapan yang tidak realistis terhadap inovasi pembelajaran yang sejatinya menjanjikan. Ketiga faktor ini perlu ditangani secara bersamaan bukan secara parsial jika implementasi STEM digital ingin memberikan dampak yang merata dan berkelanjutan.

Berdasarkan temuan tersebut, kajian ini merekomendasikan beberapa hal. Bagi guru IPA SMP, pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM digital perlu dilakukan secara terencana dan terintegrasi dalam Modul Ajar Kurikulum Merdeka, bukan sebagai tambahan yang bersifat ad-hoc. Bagi institusi pendidikan dan pembuat kebijakan, penguatan program pelatihan TPACK bagi guru IPA menjadi investasi yang tidak bisa ditunda. Bagi komunitas peneliti, studi longitudinal dengan desain yang lebih ketat dan instrumen asesmen berpikir kritis yang kontekstual untuk STEM digital IPA SMP perlu segera dikembangkan. Agenda-agenda ini bukan sekadar saran akademis, melainkan prasyarat agar potensi STEM digital benar-benar terwujud dalam ruang kelas IPA SMP di seluruh Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, L. A. (2024). Literature review: Efektifitas PjBL-STEM meningkatkan keterampilan abad 21 dalam pembelajaran IPA di SMP. *Science Education and Development Journal Archives*, 2(2), 61–67. <https://ejournal.imbima.org/index.php/sendja/article/view/225>
- Febrianti, N. S., Utomo, A. P., & Supeno, S. (2021). Kemampuan berpikir kritis siswa SMP dalam pembelajaran IPA menggunakan media aplikasi android getaran dan gelombang. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 5(1), 26–33. <https://ejournal.uniflor.ac.id/index.php/optika/article/view/936>
- Govender, I. (2025). Digital literacy and STEM skills--What is the connection? A systematic review. *Technology, Knowledge and Learning*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s10758-025-09879-x>
- Hermansyah, J. N., & Wulandari, F. E. (2025). PERAN GURU IPA SMP DALAM PEMANFAATAN TEKNOLOGI DIGITAL PADA PEMBELAJARAN ABAD-21. *EDUPROXIMA (JURNAL ILMIAH PENDIDIKAN IPA)*, 7(1), 369–378. <https://jurnal.stkipppgritulungagung.ac.id/index.php/eduproxima/article/view/5996>
- Hoerunnisa, M., Purnamasari, S., & Rahmaniari, A. (2024). Analisis implementasi Science Technology Engineering Mathematics (STEM) dalam pembelajaran ilmu pengetahuan alam. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 14(1), 79–89. <https://ejournal.tsb.ac.id/index.php/jpm/article/view/1469>
- Hsu, Y.-S., Tang, K.-Y., & Lin, T.-C. (2024). Trends and Hot Topics of STEM and STEM

- Education: A Co-word Analysis of Literature Published in 2011--2020. *Science & Education*, 33(4), 1069–1092. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00419-6>
- Ilma, A. Z., Wilujeng, I., Nurtanto, M., & Kholifah, N. (2023). A systematic literature review of STEM education in Indonesia (2016-2021): Contribution to improving skills in 21st century learning. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 13(2), 134–146.
- Indriyati, T. N., Dike, D., & Sekarwinahyu, M. (2024). Pengembangan e-modul interaktif berbasis STEM materi unsur, senyawa, campuran untuk meningkatkan keterampilan abad 21 siswa SMP kelas VIII. *VOX EDUKASI: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 15(2), 339–349. <http://jurnal.stkippersada.ac.id/jurnal/index.php/VOX/article/view/4021>
- Jannah, D. R. N., & Atmojo, I. R. W. (2022). Media Digital dalam Memberdayakan Kemampuan Berpikir Kritis Abad 21 pada Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(1), 1064–1074. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i1.2124>
- Jennifer G. Cromley, R. C. & L. L. (2023). Virtual Reality: Benefits Across the Board. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 355–364. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10032-5>
- Mustofiyah, L., Rahmawati, F. P., & Ghufron, A. (2024). Pengembangan kurikulum berbasis STEM untuk meningkatkan kompetensi siswa di era digital: tinjauan systematic literature review. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 9(03), 1–22. <https://journal.unpas.ac.id/index.php/pendas/article/view/16679>
- Muttaqiin, A. (2023). Pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) pada Pembelajaran IPA untuk Melatih Keterampilan Abad 21. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 13(1), 34–45. <https://ejournal.tsb.ac.id/index.php/jpm/article/view/819>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., & Bossuyt, P. M. (2021). The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Roslina, R., Herpratiwi, H., & Firdaus, R. (2024). Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Android untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar pada Mata Pelajaran IPA. *Didaktika*, 4(4), 426–437. <https://ejournal.upi.edu/index.php/didaktika/article/view/76880>
- Setyowati, Y., Kaniawati, I., Sriyati, S., Nurlaelah, E., & Hernani. (2022). The Development of Science Teaching Materials Based on the PjBL-STEM Model and ESD Approach on Environmental Pollution Materials. *JIPI (Jurnal IPA Dan Pembelajaran IPA)*, 6(1), 45–53. <https://pdfs.semanticscholar.org/0321/06e149dd84aa50ad9aded82bd79f9592f5bd.pdf>
- Topsakal, İ., Yalçın, S. A., & Çakır, Z. (2022). The Effect of Problem-Based STEM Education on the Students' Critical Thinking Tendencies and Their Perceptions for Problem Solving Skills. *Science Education International*, 33(2), 136–145. <https://icaseonline.net/journal/index.php/sei/article/view/400>
- Yasifa, A., Hasibuan, N. H., Siregar, P. A., Zakiyah, S., & Anas, N. (2023). Implementasi Pembelajaran STEM pada Materi Ekosistem terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik. *Journal on Education*, 5(4), 11385–11396.