

## INTEGRASI STEM DAN TEKNOLOGI DIGITAL DALAM PENDIDIKAN FISIKA UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS SISWA: *SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW* DAN *BIBLIOMETRIC ANALYSIS*

Elvaretta Amanda Havvani<sup>1\*</sup>, Tsania Nur Diyana<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia.

Correspondence e-mail: [elvarettaamanda.2022@student.uny.ac.id](mailto:elvarettaamanda.2022@student.uny.ac.id)<sup>1\*</sup>

| Article History   | ABSTRAK   |
|---|---|
| <p>Accepted: June 13<sup>th</sup> 2025<br/>Approved: July 28<sup>th</sup> 2025<br/>Published: July 30<sup>th</sup> 2025</p> | <p>Pendidikan fisika abad ke-21 menuntut pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa melalui pembelajaran yang inovatif dan terintegrasi dengan teknologi digital. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan sistematis terhadap literatur yang membahas integrasi STEM dan teknologi digital dalam pendidikan fisika serta melakukan analisis bibliometrik untuk memetakan topik dan arah perkembangan penelitian pembelajaran fisika berbasis STEM. Metode penelitian menggunakan pendekatan <i>Systematic Literature Review</i> (SLR) dan analisis bibliometrik dengan menganalisis 12 artikel yang diperoleh dari database Scopus menggunakan kata kunci <i>physics</i>, <i>education</i>, <i>critical thinking</i>, dan <i>STEM</i> dalam rentang lima tahun terakhir. Proses seleksi artikel menggunakan pendekatan PRISMA dengan bantuan Rayyan AI, sedangkan analisis bibliometrik dilakukan menggunakan VOSviewer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi STEM dan teknologi digital terbukti efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui pembelajaran kontekstual dan berbasis pemecahan masalah. <i>Project-Based Learning</i> (PjBL) menjadi model pembelajaran dominan yang mengintegrasikan teknologi digital untuk menciptakan lingkungan belajar interaktif. Analisis bibliometrik mengidentifikasi empat kluster utama dengan fokus pada peran siswa sebagai pusat pembelajaran dan guru sebagai fasilitator inovasi pembelajaran digital. Temuan ini mengonfirmasi bahwa integrasi STEM dan teknologi digital mendukung transformasi pedagogi menuju pembelajaran yang lebih modern dan adaptif, memberikan landasan bagi pendidik untuk mengimplementasikan pendekatan pembelajaran yang efektif dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21.</p> <p><b>Kata Kunci:</b> STEM; Pendidikan fisika; berpikir kritis; <i>systematic literature review</i>; analisis bibliometric</p> |
| <p>DOI: <a href="https://doi.org/10.30822/magneton.v3i2.4511">doi.org/10.30822/magneton.v3i2.4511</a></p>                   | <h3 data-bbox="927 1659 1094 1691">ABSTRACT</h3> <p>21st-century physics education requires the development of students' critical thinking skills through innovative learning that is integrated with digital technology. This study aims to conduct a systematic review of the literature discussing the integration of STEM and digital technology in physics education and to perform a bibliometric analysis to map the topics and directions of research development in STEM-based physics learning. The research method employs a Systematic Literature Review (SLR) approach and bibliometric analysis by analyzing 12 articles obtained from the Scopus database</p>  |



using the keywords physics, education, critical thinking, and STEM over the past five years. Article selection was conducted using the PRISMA approach with the assistance of Rayyan AI, while bibliometric analysis was performed using VOSviewer. The research results indicate that the integration of STEM and digital technology has proven effective in enhancing students' critical thinking skills through contextual and problem-solving-based learning. Project-Based Learning (PjBL) emerged as the dominant learning model integrating digital technology to create an interactive learning environment. Bibliometric analysis identified four main clusters focused on the role of students as the center of learning and teachers as facilitators of digital learning innovation. These findings confirm that the integration of STEM and digital technology supports pedagogical transformation toward more modern and adaptive learning, providing a foundation for educators to implement effective learning approaches in developing 21st-century skills.

**Keywords:** STEM; physics education; critical thinking; systematic literature review; bibliometric analysis

## PENDAHULUAN

Pendidikan fisika pada abad ke-21 tidak hanya menekankan pada penguasaan konsep, tetapi juga menuntut peserta didik untuk mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi seperti *critical thinking* (Darwati & Purana, 2021). Keterampilan ini menjadi sangat penting dalam menghadapi kompleksitas persoalan ilmiah dan sosial di era Revolusi Industri 4.0 dan masyarakat 5.0. Integrasi pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) telah menjadi strategi yang menonjol dalam menjawab kebutuhan tersebut. STEM tidak hanya menyatukan berbagai disiplin ilmu, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang otentik, kontekstual, dan menantang secara intelektual (Beers, 2011). Pendekatan ini terbukti mampu merangsang siswa untuk berpikir logis, sistematis, dan reflektif dalam menyelesaikan masalah nyata (Muttaqin, 2023).

Namun, terdapat sejumlah permasalahan mendasar dalam implementasi STEM dan pengembangan *critical thinking* dalam pendidikan fisika. Penelitian yang dilakukan oleh Hizhar dan Ramli (2020) menunjukkan bahwa guru fisika di beberapa sekolah masih menggunakan metode ceramah dan buku teks konvensional, sehingga siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep-konsep fisika dan tidak mendapatkan pembelajaran yang mengarahkan pada pengembangan keterampilan berpikir kritis (Hizhar & Ramli, 2020). Begitu pula dalam studi oleh Handayani et al. (2021), ditemukan bahwa media pembelajaran yang tersedia belum melatih siswa secara langsung dalam keterampilan berpikir kritis karena masih berada pada tahap desain dan belum divalidasi secara luas (Handayani et al., 2021). Hasil serupa juga ditunjukkan oleh Zahara et al. (2021) dalam hasil penelitiannya yang menyatakan bahwa guru belum sepenuhnya mengintegrasikan media berbasis teknologi seperti Augmented Reality ke dalam pembelajaran fisika berbasis STEM (Zahara et al., 2021).

Permasalahan tersebut sejalan dengan temuan dalam penelitian oleh Pratiwi et al. (2021), yang menekankan bahwa pembelajaran fisika masih minim dalam menstimulasi eksplorasi dan pemecahan masalah yang kompleks, akibat dari metode konvensional yang mendominasi dan kurangnya integrasi teknologi digital dalam konteks STEM (Pratiwi et al., 2021). Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk merancang dan menerapkan pembelajaran fisika berbasis STEM yang benar-benar terintegrasi dengan teknologi digital serta diarahkan untuk mengembangkan *critical thinking* siswa secara terukur dan terencana.

Seiring berkembangnya pendekatan STEM, sejumlah penelitian mengangkat berbagai model pembelajaran inovatif seperti *Project-Based Learning (PBL)* berbasis STEM, *blended learning*, hingga pembelajaran berbantuan media sosial. Studi oleh Janaah & Atmojo (2023)

pengembangan media pembelajaran yang diinovasikan dengan media digital dapat memberdayakan kemampuan berpikir kritis (Jannah & Atmojo, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa guru dan siswa sangat membutuhkan media digital yang relevan dan interaktif untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis. Dalam konteks lain, blended learning berbasis STEM di Indonesia juga menunjukkan efektivitas yang signifikan terhadap peningkatan *critical thinking* siswa, meskipun ditemukan kendala dalam literasi digital dan keterbatasan akses (Ardianti et al., 2020).

Meskipun banyak penelitian telah menunjukkan keberhasilan integrasi STEM dan teknologi digital dalam pendidikan fisika, terdapat celah (*research gap*) yang cukup signifikan. Pertama, sebagian besar penelitian masih terbatas pada studi kasus dengan subjek yang homogen (misalnya mahasiswa atau siswa tertentu di sekolah tertentu), belum banyak yang melakukan analisis menyeluruh secara sistematis dan bibliometrik untuk memetakan tren, metode, instrumen, dan hasil penelitian yang telah ada. Kedua, sebagian besar penelitian belum menggunakan kerangka teoretis yang mapan dalam mendefinisikan dan mengukur keterampilan berpikir kritis, sehingga validitas hasil penelitian masih perlu dikaji ulang. Artikel seperti oleh Setya et al. (2022) menggarisbawahi pentingnya pendekatan *assessment-based* seperti Halpern atau Ennis untuk mengukur *critical thinking* dengan lebih objektif dan terstruktur (Setya et al., 2021).

Berdasarkan temuan dari studi-studi yang telah dianalisis menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital dalam pendidikan fisika berbasis STEM tidak hanya menjadi pelengkap, tetapi telah menjadi elemen kunci dalam transformasi pembelajaran abad 21. Penelitian yang menggunakan *augmented reality*, *e-learning platform*, dan pemrograman visual (seperti *Scratch*) menunjukkan evolusi dari pembelajaran fisika yang sebelumnya hanya berpusat pada guru menuju pendekatan yang lebih kolaboratif, berbasis proyek, dan kontekstual. Namun, keberagaman pendekatan ini juga menunjukkan belum adanya kesepakatan tentang model terbaik yang dapat digunakan secara luas. Maka dari itu, penelitian sistematis dan analisis bibliometrik sangat diperlukan untuk menyusun peta ilmiah yang menyeluruh.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk, siswa melakukan analisis bibliometrik untuk memetakan topik penelitian dalam pembelajaran fisika berbasis STEM serta melakukan tinjauan sistematis terhadap literatur yang membahas integrasi STEM dan teknologi digital dalam pendidikan fisika, khususnya dalam konteks pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam pengembangan kurikulum, pengembangan media pembelajaran, dan kebijakan pendidikan berbasis STEM di masa depan.

## METODE

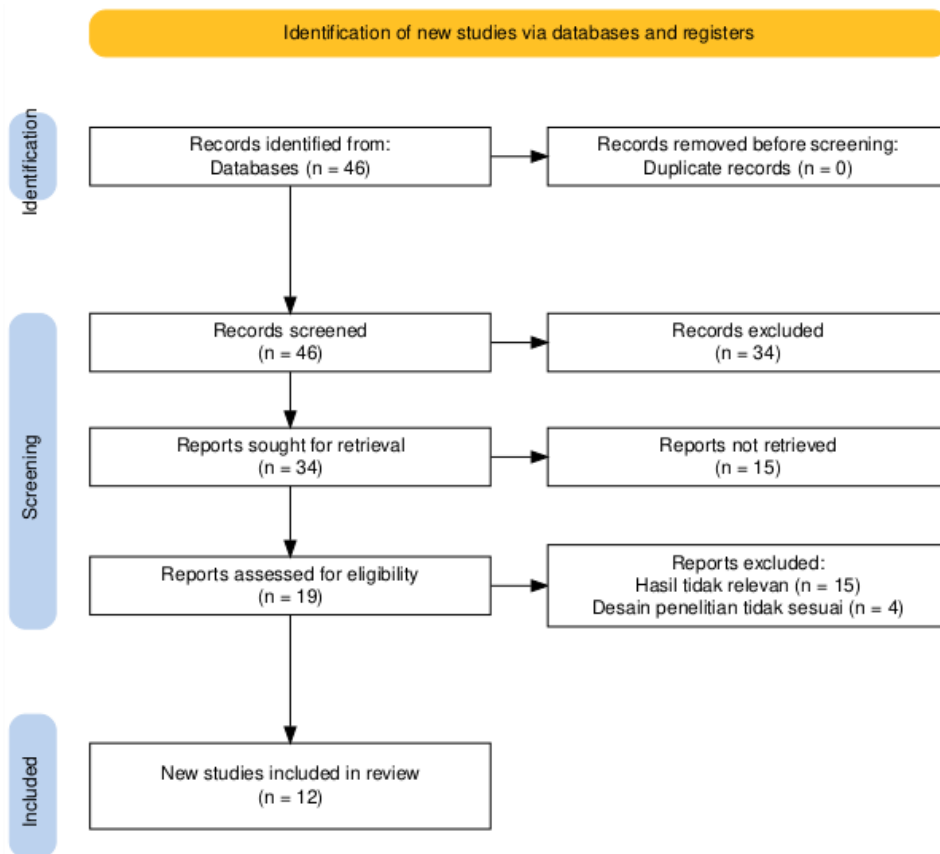
Studi ini menggunakan dua pendekatan dalam kajian literatur yaitu analisis bibliometrik dan Systematic Literature Review (SLR). Pendekatan analisis bibliometrik diimplementasikan untuk memetakan penelitian-penelitian terdahulu dan mengeksplorasi peluang riset ke depan (Putra et al., 2024). Analisis bibliometrik merupakan suatu metodologi atau alat yang diterapkan untuk mengukur serta menganalisis publikasi-publikasi ilmiah dalam rangka mendukung kemajuan ilmu pengetahuan, dengan sasaran untuk mengidentifikasi celah penelitian (*research gap*) dan menemukan unsur kebaruan sebagai fondasi bagi penelitian-penelitian selanjutnya. Di sisi lain, pendekatan SLR diaplikasikan untuk mengkaji secara komprehensif terhadap isi artikel yang diteliti (Triandini et al., 2019).

Tahapan pengumpulan data dilakukan dengan mengoleksi sejumlah artikel menggunakan kerangka PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta Analyses*) (Rofiah, 2022). Dalam proses pencarian dan pengolahan data, peneliti memanfaatkan Web Scopus, Mendeley, VOSviewer, dan Rayyan AI. Tahap awal yang peneliti kerjakan adalah menetapkan kata kunci yang relevan dengan judul penelitian yang telah ditetapkan. Kata kunci yang diaplikasikan meliputi *physics*, *education*, *critical thinking* dan *STEM*. Eksplorasi artikel dijalankan melalui basis data Scopus dengan menerapkan kombinasi kata kunci tersebut.

Pencarian menghasilkan 46 artikel yang selanjutnya dibatasi berdasarkan tahun publikasi, yakni dalam kurun waktu 5 tahun terakhir untuk menjamin relevansi dan keaktualan informasi yang didapat. Selanjutnya, peneliti melakukan ekspor data hasil pencarian yang diperoleh dari

basis data Scopus dalam format RIS untuk kepentingan proses *screening* dan *bibliometric analysis*. Tahap selanjutnya adalah pelaksanaan ekstraksi data dengan menggunakan Rayyan AI. Implementasi Rayyan AI dimaksudkan untuk mengekstraksi data yang didapat dan memudahkan proses *screening* artikel-artikel secara sistematis (Yu et al., 2022).

Dari keseluruhan artikel jurnal yang berhasil ditemukan, artikel-artikel tersebut diseleksi berdasarkan tema yang telah ditentukan peneliti melalui proses *screening* dengan Rayyan AI. Tahap seleksi ini dilaksanakan untuk menentukan artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Diperoleh 12 artikel yang masuk dalam kriteria inklusi.



Gambar 1. Matriks PRISMA

Gambar 1 menggambarkan alur seleksi artikel berdasarkan kerangka kerja PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yang digunakan dalam studi ini. Proses diawali dengan identifikasi 46 artikel dari database Scopus menggunakan kata kunci yang relevan dengan topik penelitian. Setelah proses penyaringan awal berdasarkan tahun terbit dan duplikasi, artikel yang tersisa kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi dengan bantuan Rayyan AI. Kriteria inklusi meliputi relevansi topik, fokus pada pembelajaran fisika berbasis STEM, serta publikasi lima tahun terakhir, sedangkan artikel yang hanya berupa tinjauan pustaka atau tidak berkaitan langsung dengan pengembangan *critical thinking* dikeluarkan. Hasil akhirnya, sebanyak 12 artikel memenuhi kriteria dan dianalisis lebih lanjut dalam *systematic literature review* dan *bibliometric analysis*. Diagram ini memberikan visualisasi yang sistematis dan transparan mengenai tahapan pemilihan artikel, menjamin kredibilitas dan replikasi studi.

Tabel 1 merangkum tiga pertanyaan penelitian utama yang menjadi dasar dalam studi ini. Pertanyaan pertama (RQ1) berfokus pada analisis pola-pola penelitian selama lima tahun terakhir yang berkaitan dengan integrasi STEM dan teknologi digital dalam pendidikan fisika, yang ditelusuri melalui pendekatan bibliometrik. Pertanyaan kedua (RQ2) mengeksplorasi keterkaitan antara pendekatan STEM, pemanfaatan teknologi digital, dan pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa, guna mengetahui bagaimana ketiganya saling mendukung

dalam pembelajaran fisika. Sementara itu, pertanyaan ketiga (RQ3) bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan model-model pembelajaran yang paling umum digunakan dalam konteks pendidikan fisika berbasis STEM. Ketiga pertanyaan ini dirancang untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai tren, pendekatan, serta efektivitas strategi pembelajaran dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21 pada siswa.

Tabel 1. Pertanyaan penelitian

| ID  | Pertanyaan Penelitian  | Tujuan  |
|-----|--|---|
| RQ1 | Bagaimana pola penelitian terkait integrasi STEM dan teknologi digital dalam pendidikan fisika selama lima tahun terakhir ?  | Menganalisis pola-pola penelitian melalui pendekatan bibliometrik terkait integrasi STEM dan teknologi digital dalam pendidikan fisika selama lima tahun terakhir                           |
| RQ2 | Bagaimana keterkaitan antara pendekatan STEM, teknologi digital, dan pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa ditinjau dari hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan ? | Menganalisis keterkaitan antara pendekatan STEM, pemanfaatan teknologi digital, dan pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan |
| RQ3 | Apa saja model pembelajaran paling umum digunakan dalam penelitian pendidikan fisika berbasis STEM untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa?                        | Mengklasifikasikan model-model pembelajaran yang paling umum digunakan dalam penelitian pendidikan fisika berbasis STEM   |

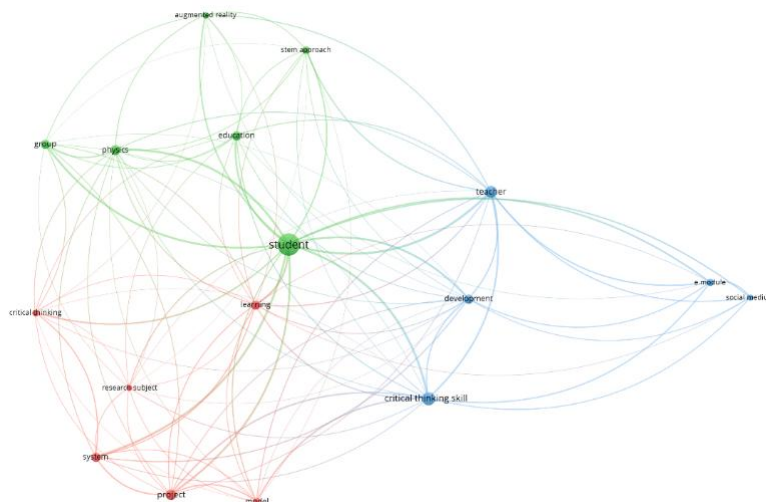
Kriteria inklusi mencakup publikasi dalam kurun 5 tahun terakhir, judul yang sejalan dengan kata kunci penelitian dengan fokus penelitian yang akan dilakukan. Sedangkan kriteria eksklusi meliputi desain studi berupa tinjauan pustaka, dan temuan yang tidak relevan dengan fokus penelitian ini. Artikel-artikel yang terpilih dan memenuhi kriteria inklusi selanjutnya dianalisis secara bibliometrik dengan menggunakan VOSviewer. Implementasi VOSviewer bertujuan untuk memvisualisasikan data yang telah diinklusi dalam bentuk grafik visual yang mampu memberikan gambaran menyeluruh tentang peta penelitian yang telah dilakukan sebelumnya serta mengidentifikasi peluang penelitian di masa depan (Arruda et al., 2022).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil visualisasi bibliometrik menggunakan VOSviewer menghasilkan empat kluster utama yang merepresentasikan tema-tema dominan dalam penelitian mengenai integrasi STEM dan teknologi digital dalam pendidikan fisika. Kluster pertama (hijau) berfokus pada kata kunci seperti *student*, *STEM approach*, *augmented reality*, *group*, dan *education*, yang mencerminkan fokus penelitian pada pendekatan pembelajaran berbasis siswa dan teknologi digital. Kluster kedua (biru) memuat kata kunci seperti *teacher*, *e-module*, *social medium*, *development*, dan *critical thinking skill*, menyoroti peran guru dan pengembangan media pembelajaran digital dalam mendukung keterampilan abad ke-21. Kluster ketiga (merah) mengangkat aspek konseptual seperti *learning*, *critical thinking*, *project*, *model*, dan *system*, yang berkaitan dengan integrasi model pembelajaran aktif berbasis STEM. Sementara itu, kluster keempat (kuning muda, tidak terlalu dominan) meliputi konsep-konsep tambahan seperti *research subject* dan *physics*, yang memperkuat konteks implementasi dalam pendidikan fisika.

Fokus utama penelitian lima tahun terakhir terkait integrasi STEM dan teknologi digital dalam pendidikan fisika bertumpu pada peran siswa sebagai pusat pembelajaran. Kata kunci "student" menduduki posisi paling dominan dan terhubung luas dengan istilah-istilah seperti *learning*, *group*, dan *critical thinking*. Hal ini mencerminkan orientasi penelitian yang menekankan pada keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran berbasis pemecahan masalah dan kerja kelompok. Pendidikan fisika yang terintegrasi dengan pendekatan STEM secara umum

diarahkan untuk meningkatkan partisipasi siswa melalui aktivitas-aktivitas eksploratif, investigatif, dan kolaboratif yang berorientasi pada pengembangan keterampilan abad ke-21.



Gambar 2. Pola Tema Penelitian

Penggunaan teknologi digital dalam pembelajaran fisika menjadi aspek penting yang banyak dibahas, terlihat dari kemunculan kata kunci seperti *augmented reality*, *e-module*, dan *social medium*. Augmented reality muncul sebagai inovasi teknologi yang mendukung pembelajaran kontekstual dalam fisika, terutama untuk konsep-konsep abstrak dan sulit divisualisasikan. Sementara itu, *e-module* dan *social medium* menandai pergeseran praktik pengajaran menuju pemanfaatan platform digital sebagai alat bantu yang interaktif dan mudah diakses oleh siswa. Keterkaitan antara teknologi digital dan kata kunci seperti “*teacher*” dan “*development*” juga menandakan peran guru dalam mengembangkan media pembelajaran yang sesuai dengan pendekatan STEM dan berbasis teknologi. Studi oleh Ali et al., (2023) juga mendukung efektivitas AR dalam memfasilitasi pemahaman konsep abstrak seperti elektromagnetisme.

Pendekatan STEM tidak berdiri sendiri, melainkan terintegrasi dalam model pembelajaran seperti *project-based learning*, *problem-based learning*, dan *discovery learning*. Hal ini tercermin dari kata kunci seperti *model*, *project*, dan *system* yang terhubung erat dengan *critical thinking*. Model-model ini digunakan sebagai kerangka implementasi STEM untuk membangun pengalaman belajar yang menekankan proses ilmiah, eksplorasi, dan evaluasi kritis. Keterampilan berpikir kritis menjadi hasil yang ditargetkan dalam pembelajaran semacam ini, dengan harapan siswa dapat menganalisis, mengevaluasi, dan menyelesaikan masalah secara rasional berbasis data dan observasi ilmiah.

Meskipun siswa menjadi fokus utama, peran guru tetap signifikan dalam merancang dan memfasilitasi pembelajaran. Guru tidak hanya sebagai pengarah kegiatan belajar, tetapi juga sebagai inovator pembelajaran yang mengembangkan media digital, seperti modul elektronik dan penggunaan media sosial secara edukatif. Keterkaitan yang kuat antara kata kunci “*teacher*”, “*development*”, dan “*critical thinking skill*” memperlihatkan pentingnya peningkatan kapasitas guru dalam menciptakan pembelajaran yang terintegrasi dengan teknologi serta responsif terhadap kebutuhan pengembangan keterampilan berpikir siswa. Dengan demikian, kolaborasi antara pendekatan STEM dan teknologi digital tidak hanya meningkatkan kualitas pembelajaran fisika, tetapi juga mendukung transformasi pedagogi yang lebih modern, adaptif, dan transdisipliner. Integrasi ini bukan sekadar penggabungan, tetapi sinergi strategis yang mendorong transisi pedagogi dari pasif ke aktif, dan dari statis ke dinamis.

Integrasi pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) dan teknologi digital dalam pendidikan fisika telah terbukti menjadi strategi efektif dalam mendorong pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa. Hasil dari 12 artikel yang dianalisis menunjukkan bahwa sinergi antara pemanfaatan teknologi dan pembelajaran kontekstual

berbasis STEM mampu menciptakan lingkungan belajar yang menantang dan merangsang pemikiran tingkat tinggi. Seperti pada penelitian oleh Faridi et al., (2021) menyatakan bahwa teknologi *augmented reality* (AR) membantu siswa memahami konsep abstrak elektromagnetisme secara visual, yang secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir kritis mereka melalui pemodelan spasial dan eksplorasi mandiri. Hal ini memperkuat argumen bahwa teknologi digital dapat membentuk keterampilan berpikir visual dan spasial sebagai bagian dari *critical thinking*

Dalam penelitian lain, penerapan pembelajaran berbasis proyek (Project-Based Learning) dalam konteks STEM juga memperlihatkan kontribusi signifikan terhadap pengembangan keterampilan berpikir kritis. Penelitian oleh Oyewo et al., (2022) memperlihatkan bahwa keterlibatan siswa dalam pemecahan masalah riil (seperti pengolahan air dan pemanfaatan eceng gondok) memperkuat kemampuan mereka dalam menganalisis masalah, membuat keputusan berbasis data, dan mengembangkan solusi kreatif. Ini menunjukkan bahwa pendekatan STEM yang dikontekstualisasikan dalam kehidupan nyata siswa memberikan pengalaman belajar yang bermakna dan mendalam. Penerapan PjBL-STEM memberikan dampak positif terhadap aspek afektif dan kognitif siswa secara simultan.

Kemudian, teknologi digital memainkan peran penting sebagai penguat efektivitas pendekatan STEM. Studi yang dilakukan oleh Kartini et al., dan Kurniati et al., memperlihatkan bagaimana platform digital, e-module, dan aplikasi pemrograman dapat digunakan untuk memperluas akses siswa terhadap pembelajaran berbasis STEM, bahkan dalam situasi pembelajaran jarak jauh atau pandemic (Kurniati et al., 2021). Teknologi digital tidak hanya menyediakan akses terhadap konten, tetapi juga meningkatkan interaktivitas dan memberikan ruang untuk eksplorasi serta refleksi yang mendalam (Kartini et al., 2023).

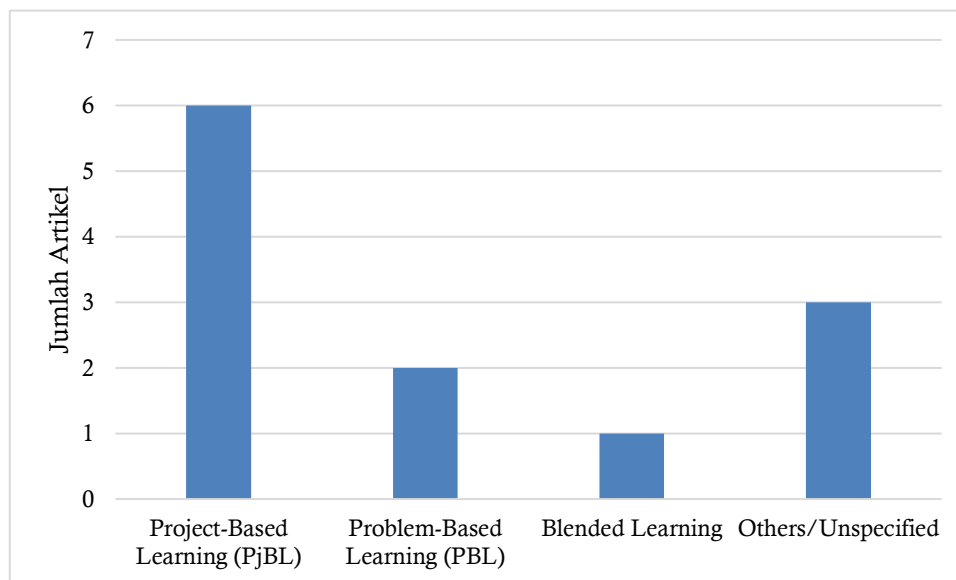
Selain itu, pendekatan *blended learning* berbasis STEM juga terbukti efektif, terutama dalam konteks daerah dengan keterbatasan infrastruktur digital. Penelitian oleh Ardianti et al. (2020) menunjukkan bahwa integrasi STEM dalam *blended learning* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode konvensional, meskipun tetap diperlukan pendampingan awal untuk siswa dengan literasi digital rendah (Ardianti et al., 2020). Ini mempertegas bahwa keberhasilan integrasi STEM dan teknologi digital juga sangat dipengaruhi oleh kesiapan dan literasi digital baik guru maupun siswa. Ardianti et al. (2020) juga mencatat pentingnya kesiapan guru sebagai faktor determinan dalam keberhasilan *blended STEM*.

Dari keseluruhan studi, tampak bahwa integrasi STEM dan teknologi digital dalam pendidikan fisika berkontribusi secara sinergis terhadap pengembangan keterampilan berpikir kritis. STEM menyediakan kerangka kerja interdisipliner yang mendorong eksplorasi dan pemecahan masalah, sementara teknologi digital memperluas kapasitas siswa dalam mengakses, memvisualisasi, dan membangun pengetahuan secara mandiri. Temuan dari penelitian oleh Nehru et al. (2024) menegaskan bahwa setelah melalui proses STEM-PjBL, terjadi peningkatan sistem berpikir reflektif siswa, yang merupakan bagian penting dari *critical thinking* (Nehru et al., 2024). Proses STEM-PjBL tidak hanya meningkatkan keterampilan berpikir kritis, tetapi juga membentuk metakognisi siswa dalam merefleksi hasil belajar.

Hasil telaah terhadap dua belas artikel menunjukkan bahwa model Project-Based Learning (PjBL) merupakan pendekatan paling dominan yang digunakan dalam pembelajaran fisika berbasis STEM untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. PjBL muncul dalam berbagai konteks, mulai dari pengolahan air menggunakan limbah pertanian (*Harnessing Project-Based Learning*), pemanfaatan sumber daya lokal seperti eceng gondok (*Effectiveness of Ethnoecological-STEM Project-Based Learning*), hingga pengembangan media digital seperti e-learning berbasis Microsoft Sway. PjBL mendorong siswa untuk terlibat aktif dalam pemecahan masalah nyata, mengintegrasikan sains, teknologi, teknik, dan matematika secara terpadu. Proyek-proyek ini membentuk pengalaman belajar yang kontekstual, kolaboratif, dan menuntun pemikiran tingkat tinggi yang sangat relevan dengan pengembangan *critical thinking*. Ini menandakan bahwa PjBL-STEM memiliki fleksibilitas tinggi untuk disesuaikan dengan berbagai platform digital.

Selain PjBL, terdapat beberapa model pembelajaran lain yang juga muncul meskipun tidak seumum PjBL. Model Problem-Based Learning (PBL) digunakan dalam pengembangan e-module dinamis berbasis STEM seperti pada artikel *E-module development based on PBL integrated*

*STEM assisted by social media*, yang menekankan penyelesaian masalah terstruktur melalui modul digital. Di sisi lain, model Blended Learning dengan pendekatan STEM juga diterapkan dalam konteks sekolah di daerah rural (terpencil), menunjukkan efektivitasnya dalam meningkatkan critical thinking siswa dibandingkan pembelajaran konvensional. Secara keseluruhan, meskipun ada variasi model, Project-Based Learning tetap menjadi pendekatan utama dalam pendidikan fisika berbasis STEM karena fleksibilitas dan potensinya dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis secara menyeluruh. Berikut diagram sebaran model pembelajaran untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis yang digunakan dalam artikel-artikel yang dikaji. Dominasi PjBL mengindikasikan urgensi pendidikan fisika yang aplikatif, kontekstual, dan berpusat pada siswa.



Gambar 3. Distribusi Model Pembelajaran

Gambar 3 menyajikan distribusi model pembelajaran yang digunakan dalam artikel-artikel yang dianalisis, dengan fokus pada pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa dalam konteks pendidikan fisika berbasis STEM. Visualisasi menunjukkan bahwa Project-Based Learning (PjBL) merupakan model yang paling dominan, mencerminkan kecenderungan penelitian untuk mengadopsi pendekatan kontekstual, kolaboratif, dan berbasis pemecahan masalah nyata. Selain PjBL, model lain yang juga muncul adalah Problem-Based Learning (PBL) dan Blended Learning, meskipun frekuensinya lebih rendah. Distribusi ini menegaskan bahwa PjBL menjadi pilihan utama karena fleksibilitasnya dan kemampuannya dalam mengintegrasikan berbagai unsur STEM serta teknologi digital untuk mendukung pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi secara efektif.

## KESIMPULAN

Berdasarkan systematic literature review dan analisis bibliometrik terhadap 12 artikel, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi STEM dan teknologi digital dalam pendidikan fisika terbukti efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui pembelajaran kontekstual dan berbasis pemecahan masalah. *Project-Based Learning* (PjBL) menjadi model pembelajaran dominan yang mengintegrasikan teknologi digital seperti *augmented reality* dan *e-modul* untuk menciptakan lingkungan belajar interaktif. Analisis bibliometrik mengidentifikasi empat kluster utama dengan fokus pada peran siswa sebagai pusat pembelajaran dan guru sebagai fasilitator inovasi pembelajaran digital. Temuan ini mengonfirmasi bahwa integrasi STEM dan teknologi digital mendukung transformasi pedagogi menuju pembelajaran yang lebih modern dan adaptif, memberikan landasan bagi pendidik untuk mengimplementasikan pendekatan pembelajaran yang efektif dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. R. M., Putri, N. E., & Kuswanto, H. (2023). Tinjauan Literatur Sistematis: Perkembangan Penggunaan Teknologi Augmented Reality (AR) Pada Pembelajaran Fisika. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 13(4), 1045–1055. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i4.1277>
- Ardianti, S., Sulisworo, D., Pramudya, Y., & Raharjo, W. (2020). The Impact of the Use of STEM Education Approach on the Blended Learning to Improve Student's Critical Thinking Skills. *Universal Journal of Educational Research*, 8(3B), 24–32. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081503>
- Arruda, H., Silva, E. R., Lessa, M., Proença Jr., D., & Bartholo, R. (2022). VOSviewer and Bibliometrix. *Journal of the Medical Library Association*, 110(3), 392–395. <https://doi.org/10.5195/jmla.2022.1434>
- Beers, S. Z. (2011). *21st century skills: Preparing students for their future*. <https://www.yinghuaacademy.org/wp-content/uploads/2014/10/21st-century-skills.pdf>
- Darwati, I. M., & Purana, I. M. (2021). Problem Based Learning (PBL): Suatu Model Pembelajaran Untuk Mengembangkan Cara Berpikir Kritis Peserta Didik. *Widya Accarya*, 12(1), 61–69. <https://doi.org/10.46650/wa.12.1.1056.61-69>
- Faridi, H., Tuli, N., Mantri, A., Singh, G., & Gargrish, S. (2021). A framework utilizing augmented reality to improve critical thinking ability and learning gain of the students in Physics. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 258–273. <https://doi.org/10.1002/cae.22342>
- Handayani, E. S., Yuberti, Saregar, A., & Wildaniati, Y. (2021). Development of STEM-integrated physics e-module to train critical thinking skills: The perspective of preservice teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796(1), 012100. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012100>
- Hizhar, D., & Ramli, R. (2020). Need analysis in development of student books based on STEM approach. *Journal of Physics: Conference Series*, 1481(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1481/1/012058>
- Indah Pratiwi, A., Sunarno, W., & Sugiyarto, , Sugiyarto. (2021). Application of The PjBL-STEM Model to Natural Science Learning Devices to Increase The Creativity of Junior High School Students in Environmental Pollution Material. *International Journal of Educational Research Review*, 6(2), 115–123. <https://doi.org/10.24331/ijere.850004>
- 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>
- Kartini, K., Astra, I. M., & Fahdiran, R. (2023). *Project Based Learning (Pjbl) Terintegrasi Stem Menggunakan Microsoft Sway Pada Materi Gerak Parabola SMA Kelas X*. <https://doi.org/10.21009/03.1102.PF40>
- Kurniati, R. D., Andra, D., & Wayan Distrik, I. (2021). E-module development based on PBL integrated STEM assisted by social media to improve critical thinking skill: A preliminary study. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796(1), 012077. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012077>

- 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://doi.org/10.37630/jpm.v13i1.819>
- Nehru, N., Purwaningsih, S., Riantoni, C., Ropawandi, D., & Novallyan, D. (2024). Mapping Students' Thinking Systems In Critical Thinking Based On Stem Project-Based Learning Experiences. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 8(1), 136–144. <https://doi.org/10.22437/jiituj.v8i1.32027>
- Oyewo, O. A., Ramaila, S., & Mavuru, L. (2022). Harnessing Project-Based Learning to Enhance STEM Students' Critical Thinking Skills Using Water Treatment Activity. *Education Sciences*, 12(11), 780. <https://doi.org/10.3390/educsci12110780>
- Putra, R. D. S., Naufal, A., Handayani, T. D., Hariran, M. A., Riyadi, S., & Pandin, M. Y. R. (2024). Pemetaan Bibliometrik terhadap Perkembangan Penelitian dengan Topik Balanced Scorecard pada Google Scholar Menggunakan Vosviewer. *JiIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 7(11), 12987–12995. <https://doi.org/10.54371/jiip.v7i11.6230>
- Rofiah, C. (2022). Analisis Data Kualitatif: Manual Atau Dengan Aplikasi? *Develop*, 6(1), 33–46. <https://doi.org/10.25139/dev.v6i2.4389>
- Setya, W., Agustina, R. D., Putra, R. P., Prihatini, S., Hidayatulloh, R., Isnaeni, P. S., & Malik, A. (2021). Implementation of higher order thinking laboratory (HOTLAB) on magnetic field with real blended virtual laboratory to improve students critical thinking skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 2098(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2098/1/012019>
- Triandini, E., Jayanatha, S., Indrawan, A., Werla Putra, G., & Iswara, B. (2019). Metode Systematic Literature Review untuk Identifikasi Platform dan Metode Pengembangan Sistem Informasi di Indonesia. *Indonesian Journal of Information Systems*, 1(2), 63. <https://doi.org/10.24002/ijis.v1i2.1916>
- Yu, F., Liu, C., & Sharmin, S. (2022). Performance, Usability, and User Experience of Rayyan for Systematic Reviews. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 59(1), 843–844. <https://doi.org/10.1002/pr2.745>
- Zahara, M., Abdurrahman, A., Herlina, K., Widyanti, R., & Agustiana, L. (2021). Teachers' perceptions of 3D technology-integrated student worksheet on magnetic field material: A preliminary research on augmented reality in STEM learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796(1), 012083. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012083>