PENGGUNAAN PENDEKATAN STEM (SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING, AND MATHEMATICS) UNTUK MENGEMBANGKAN LITERASI SAINS PESERTA DIDIK: ANALISIS BIBLIOMETRIK

An Nisaa Al Mu'min Liu [1*], Oktaviariesta Habibatus Sholikhah [2], Fine Eirene Siahaan[3]
[123] Program Doktor Pendidikan IPA Universitas Sebelas Maret,
**Corresponding Author:* annisaaliu.almumin@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan memetakan perkembangan kajian terkait penerapan Pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) dalam meningkatkan Literasi Sains peserta didik melalui metode analisis bibliometrik. Kajian ini menginvestigasi publikasi yang terindeks dalam basis data Scopus selama periode 2016–2025 untuk menjawab pertanyaan penelitian mengenai dinamika performa publikasi, tema kajian utama, serta pola kolaborasi antarpeneliti. Temuan analisis performa menunjukkan adanya peningkatan jumlah publikasi yang konsisten dan signifikan dari tahun ke tahun, meningkat drastis dari 6 artikel pada 2019 menjadi 20 artikel pada 2025. Hal ini menegaskan bahwa topik ini semakin mendapat perhatian dalam komunitas akademik internasional. Amerika Serikat dan Kanada muncul sebagai negara dengan kontribusi terbesar sekaligus menjadi pusat utama dalam jaringan kolaborasi global. Melalui analisis struktur intelektual (Awan Kata Kunci dan Peta Tematik), teridentifikasi bahwa fokus penelitian terkini berpusat pada efektivitas pendekatan STEM dalam pendidikan formal untuk memperkuat Literasi Sains, khususnya dalam konteks penyelesaian Isu Sosiosaintifik. Studi ini juga menemukan bahwa masih terdapat ruang untuk memperdalam penelitian pada aspek metodologis tertentu, misalnya pendekatan inkuiri, serta untuk mengintegrasikan tema-tema strategis seperti kemampuan berpikir kritis dan isu keberlanjutan dalam kerangka STEM dan Literasi Sains. Keseluruhan hasil menunjukkan bahwa kajian mengenai STEM dan Literasi Sains telah berkembang menjadi bidang yang semakin mapan dan terhubung satu sama lain. Namun demikian, perluasan fokus menuju isu keberlanjutan serta penguatan penerapan keterampilan berpikir tingkat tinggi masih diperlukan. Temuan ini memberikan arahan bagi peneliti maupun pengembang kurikulum dalam menentukan tema yang sudah kuat serta area yang membutuhkan eksplorasi penelitian lanjutan.

Kata Kunci: STEM, Literasi Sains, Analisis Bibliometrik, Tren Penelitian

ABSTRACT

This study aims to map the development of studies related to the application of the STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) approach to improving students' scientific literacy through bibliometric analysis. This study investigated publications indexed in the Scopus database during the period 2016–2025 to answer research questions regarding the dynamics of publication performance, main research themes, and collaboration patterns among researchers. The findings of the performance analysis indicate a consistent and significant increase in the number of publications from year to year, rising dramatically from

6 articles in 2019 to 20 articles in 2025. This confirms that this topic is gaining increasing attention in the international academic community. The United States and Canada emerged as the countries with the largest contributions and are key hubs in the global collaboration network. Through an analysis of intellectual structure (Keyword Cloud and Thematic Map), it was identified that the current research focus centers on the effectiveness of the STEM approach in formal education to strengthen scientific literacy, particularly in the context of addressing socioscientific issues. This study also found that there is still room for further research on certain methodological aspects, such as inquiry approaches, and for integrating strategic themes such as critical thinking skills and sustainability issues within the STEM and Science Literacy framework. Overall, the results indicate that the study of STEM and Science Literacy has developed into a more established and interconnected field. However, expanding the focus to sustainability issues and strengthening the application of higher-order thinking skills is still needed. These findings provide guidance for researchers and curriculum developers in identifying established themes and areas requiring further research exploration.
Keywords: STEM, Scientific Literacy, Bibliometric Analysis, Research Trends

PENDAHULUAN

Abad ke-21 ditandai dengan kompleksitas isu-isu global, mulai dari perubahan iklim, kesehatan masyarakat, hingga inovasi teknologi yang pesat. Dalam konteks ini, Literasi Sains (Scientific Literacy) telah diakui secara global sebagai keterampilan mendasar, bukan hanya sebagai pengetahuan konten semata, melainkan sebagai kapasitas individu untuk menggunakan pengetahuan ilmiah, mengidentifikasi pertanyaan, dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti ilmiah dalam rangka memahami serta membuat keputusan tentang dunia alam dan perubahan yang ditimbulkan dari aktivitas manusia (OECD, 2019). Literasi Sains yang kuat memberdayakan peserta didik menjadi warga negara yang kritis, mampu mengevaluasi informasi, dan berpartisipasi aktif dalam diskursus sosial yang melibatkan sains dan teknologi (Holbrook et al., 2022).

Namun, sistem pendidikan tradisional seringkali menghadapi tantangan signifikan. Pengajaran sains cenderung terfragmentasi (*siloed*), memisahkan disiplin ilmu (Fisika, Kimia, Biologi) dan gagal menghubungkan konsep-konsep tersebut dengan konteks kehidupan nyata dan aplikasinya. Metode pembelajaran yang berpusat pada guru dan minimnya kesempatan bagi peserta didik untuk terlibat dalam proses inkuiri dan rekayasa otentik menghasilkan pemahaman konsep yang dangkal dan kurangnya kemampuan untuk menerapkan pengetahuan secara sistemik dalam pemecahan masalah (Tawil, 2013). Oleh karena itu, diperlukan pergeseran paradigma pedagogi yang mendorong integrasi ilmu dan relevansi konteks.

Untuk mengatasi disfungsi pembelajaran tersebut, Pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) telah muncul sebagai kerangka pedagogi yang transformatif di seluruh dunia (Bybee, 2013). STEM tidak sekadar mengajarkan keempat disiplin secara terpisah, melainkan mengintegrasikannya dalam proses pemecahan masalah dan desain rekayasa yang otentik. Dalam konteks STEM, peserta didik aktif terlibat dalam inkuiri ilmiah (Science) dan proses rekayasa (Engineering), menggunakan alat dan perangkat (Technology), serta menerapkan prinsip-prinsip kuantitatif (Mathematics) untuk merancang solusi inovatif terhadap masalah dunia nyata (Moore et al., 2014).

Pendekatan STEM secara kuat dihipotesiskan memiliki hubungan kausal dengan peningkatan komponen Literasi Sains peserta didik. Melalui praktik STEM, peserta didik mengembangkan pemahaman proses inkuiri saat mereka merumuskan pertanyaan dan mengumpulkan data; meningkatkan kemampuan interpretasi data dan pemikiran sistemik saat mereka menganalisis hasil dan mengoptimalkan desain; dan memperkuat sikap ilmiah seperti kerja sama, ketekunan, dan keterbukaan terhadap bukti (English, 2016). Dengan demikian, STEM bertindak sebagai jembatan yang menghubungkan pengetahuan teoretis ke ranah aplikasi praktis, yang merupakan esensi dari Literasi Sains.

Sejak munculnya inisiatif STEM global, telah terjadi lonjakan publikasi ilmiah yang luar biasa mengenai efektivitas dan implementasinya di berbagai jenjang pendidikan. Oleh karena itu, diperlukan tinjauan yang sistematis dan komprehensif untuk memetakan perkembangan literatur ini. Analisis Bibliometrik menawarkan metodologi kuantitatif yang ketat dan efektif untuk tujuan tersebut.

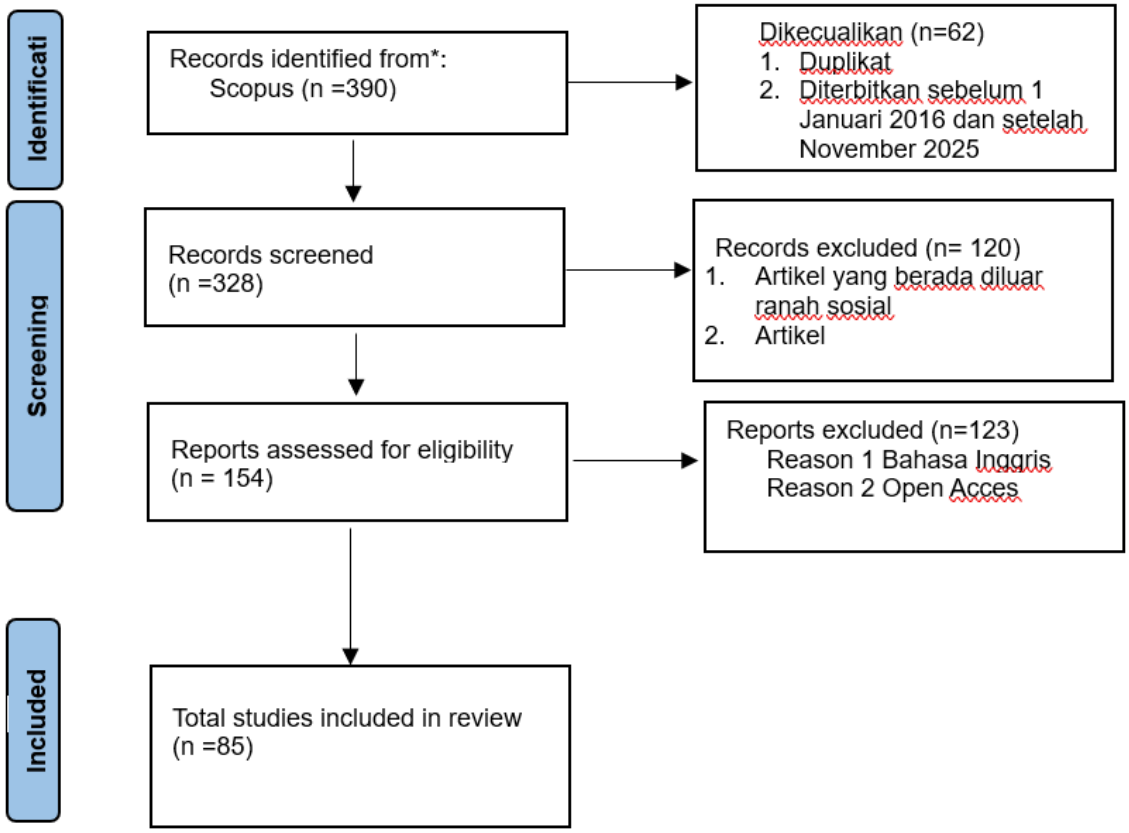
Berbeda dengan tinjauan literatur naratif atau *Systematic Literature Review* (SLR) kualitatif tradisional yang berfokus pada sintesis temuan, Analisis Bibliometrik bertujuan untuk meneliti struktur dan dinamika ilmu pengetahuan itu sendiri (Donthu et al., 2021). Metode ini memungkinkan peneliti untuk melacak tren evolusioner penelitian dari waktu ke waktu, secara objektif mengidentifikasi kontributor paling berpengaruh (penulis, institusi, jurnal), dan memvisualisasikan struktur intelektual bidang studi melalui pemetaan jaringan co-occurrence kata kunci. Hasil analisis ini sangat krusial dalam mengidentifikasi tema-tema penelitian yang dominan dan, yang lebih penting, menyoroti kesenjangan penelitian (research gap) yang belum dieksplorasi secara memadai.

Berdasarkan latar belakang dan justifikasi metodologis di atas, studi ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai penelitian terkait implementasi STEM untuk pengembangan Literasi Sains melalui analisis bibliometrik. Pendidikan STEM semakin dipandang sebagai pendekatan kunci untuk mengembangkan kompetensi abad ke-21, termasuk kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan literasi sains kompetensi yang sangat penting untuk partisipasi aktif warga dalam masyarakat berbasis ilmu dan teknologi (UNESCO; laporan revitalisasi STEM). Oleh karena itu, menilai efektivitas dan arah perkembangan penelitian tentang penggunaan pendekatan STEM untuk mengembangkan literasi sains menjadi penting. Selain bukti empiris yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis STEM dapat meningkatkan aspek-aspek literasi sains (mis. kemampuan menjelaskan fenomena, merancang penyelidikan, dan menilai bukti), belum ada peta sistematis yang menggambarkan tren ilmiah, aktor kunci, dan celah penelitian pada topik ini. Analisis bibliometrik menyediakan alat yang kuat untuk memetakan perkembangan ilmiah tersebut mengidentifikasi tema dominan, kolaborasi antar-peneliti, dan area yang masih kurang mendapat perhatian sehingga hasilnya dapat menjadi landasan bagi kebijakan pendidikan dan penelitian lanjutan. Oleh karenanya, penelitian ini bertujuan melakukan analisis bibliometrik untuk memahami bagaimana pendekatan STEM telah dipelajari dalam konteks pengembangan literasi sains dan untuk merekomendasikan arah riset dan praktik yang lebih fokus (Prasetyo et al., n.d.). Secara spesifik, penelitian ini akan fokus pada performa penelitian (tren publikasi dan kontributor), struktur intelektual (tema-tema terkemuka), dan pola kolaborasi antar peneliti dari tahun 2016 hingga 2025. Studi ini untuk mencari jawaban-jawaban atas pertanyaan berikut:

RQ1 Bagaimana tren dan performa publikasi ilmiah mengenai STEM dan Literasi Sains berkembang dari waktu ke waktu?
RQ2 Apa saja tema atau klaster topik utama yang telah mendominasi dan yang baru muncul?
RQ3 Bagaimana pola kolaborasi antar negara terbentuk dalam penelitian ini?

METODE

Penelitian ini menggunakan metode PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses). Pada Gambar 1 untuk mengidentifikasi, mengevaluasi dan mensintesis literatur terkait tren penelitian dalam penggunaan pendekatan STEM dalam meningkatkan Literasi Sains, menggunakan Langkah-langkah proses analisis bibliometric yang dijelaskan oleh (Pham-Duc et al., 2020).



Gambar 1: *Diagram Air Prisma*

Pengumpulan Data, Basis data yang digunakan yaitu Scopus, untuk menemukan studi yang berfokus pembelajaran berbasis kearifal lokal dalam konteks Pendidikan sians. Istilah pencarian yang digunakan yaitu Pencaria (TITLE-ABS-KEY ("STEM") OR TITLE-ABS-KEY ("Science Technology Engineering Mathematics") AND TITLE-ABS-KEY ("Scientific Literacy") OR TITLE-ABS-KEY ("Science Literacy")). Pencarian ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai penelitian yang mengeksplorasi pembelajaran STEM dalam peningkatan Literasi sains.

Ekstrkasi Data, Setelah mengidentifikasi sumber-sumber yang relevan, pemilihan dilakukan dengan menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan sebelumnya, seperti pada tabel 1. Kriteria ini mencakup aspek-aspek tertentu yang mendukung tujuan penelitian dan ruang lingkup yang telah ditetapkan. Proses pemilihan kemudian dilanjutkan dengan ekstraksi data dari artikel-artikel terpilih.

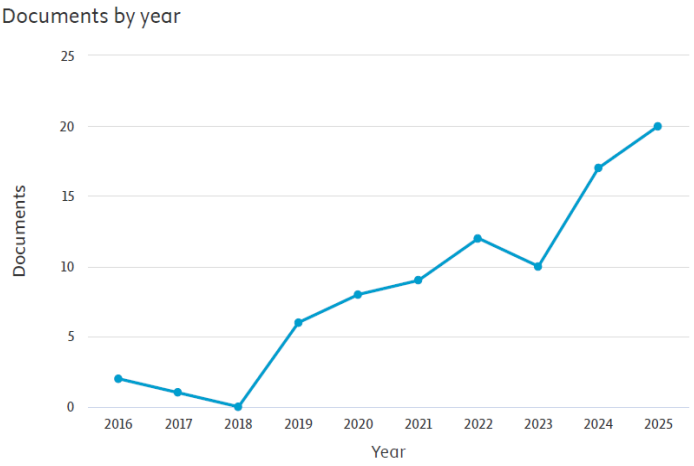
Tabel 1: *Kriteria Inklusi & Eksklusi*

Kategori	Kriteria Inklusi	Kriteria Pengecualian
Periode publikasi	Studi yang diterbitkan dari januari 2016 hingga 1 Desember 2025	Studi yang diterbitkan sebelum Januari 2016 dan setelah 1 Desember 2025
Bahasa Publikasi	Tersedia Bahasa inggris	teks lengkap dalam bahsa lain
Jenis dokumen	Artikel	Non artikel
Bidang studi	Ilmu Sosial	Studi diluar ilmu sosial

Analisis Data, Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui pendekatan bibliometrik, yaitu metode kuantitatif yang digunakan untuk mengidentifikasi pola publikasi, tren penelitian, kolaborasi ilmiah, serta struktur intelektual dalam suatu bidang studi. Bibliometrik merupakan teknik yang sistematis dan objektif untuk memetakan perkembangan pengetahuan melalui analisis terhadap metadata publikasi. Pendekatan ini memungkinkan peneliti menilai dinamika riset berdasarkan indikator kuantitatif seperti jumlah publikasi, kata kunci, dan jejaring kolaborasi (Donthu et al., 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tren penelitian dari tahun 2016 hingga 2025. Berikut kami tampilkann grafik 1.1 Grafik tren penelitian dari tahun 2016 hingga 2025.



Gambar 2: *Grafik Tren Penelitian dari Tahun 2016-2025*

Pada gambar 2 di atas menunjukkan tren publikasi ilmiah yang menggunakan pendekatan STEM untuk mengembangkan Literasi Sains peserta didik dalam periode sepuluh tahun, dari tahun 2016 hingga 2025. Secara umum, data mengindikasikan adanya tren

peningkatan yang signifikan dan substansial dalam minat penelitian di domain ini, terutama sejak tahun 2019.

Fase Awal (2016-2018): Pada awal periode pengamatan, penelitian terkait topik ini masih terbatas. Tahun 2016 mencatatkan hanya 2 dokumen dan mengalami penurunan hingga mencapai titik terendah pada tahun 2018 dengan hanya 0 atau 1 dokumen publikasi yang terekam. Fase ini menunjukkan bahwa topik integrasi STEM dan Literasi Sains belum menjadi fokus utama penelitian pada waktu tersebut.

Fase Pertumbuhan Eksponensial (2019-2022): Titik balik signifikan terjadi pada tahun 2019, di mana jumlah publikasi melonjak menjadi 6 dokumen. Pertumbuhan ini berlanjut secara stabil dan menunjukkan peningkatan yang jelas: Dimana tahun 2020: 8 dokumen, tahun 2021: 9 dokumen, dan tahun 2022: 12 dokumen. Peningkatan dari 6 dokumen pada 2019 menjadi 12 dokumen pada 2022 menunjukkan peningkatan volume publikasi sebesar 100% dalam waktu tiga tahun. Peningkatan ini mencerminkan pengakuan yang semakin besar dari komunitas ilmiah terhadap pentingnya STEM sebagai kerangka pedagogi untuk mencapai tujuan Literasi Sains.

Fluktuasi Singkat dan Puncak Tertinggi (2023-2025): Meskipun terjadi sedikit penurunan menjadi 10 dokumen pada tahun 2023, tren peningkatan dengan cepat kembali menguat dan mencapai puncaknya di akhir periode: tahun 2024: Publikasi melonjak drastis menjadi 17 dokumen dan tahun 2025: Jumlah publikasi mencapai titik tertinggi dalam periode ini dengan 20 dokumen yang dipublikasikan. Lonjakan tajam antara 2023 dan 2025, khususnya mencapai 20 dokumen, mengindikasikan bahwa penelitian mengenai STEM dan Literasi Sains berada pada puncak perhatian dalam komunitas akademik. Data pada tahun 2024 dan 2025 menunjukkan bahwa bidang ini telah mencapai tingkat kematangan dan kepopuleran yang tinggi, seringkali didorong oleh kebijakan pendidikan yang semakin memprioritaskan integrasi STEM.

Secara keseluruhan, grafik ini dengan jelas menunjukkan adanya pergeseran fokus penelitian dari topik yang terbatas di awal periode (2016-2018) menjadi bidang yang dominan dan berkembang pesat di akhir periode (2024-2025). Pertumbuhan yang substansial ini menegaskan bahwa integrasi STEM untuk meningkatkan Literasi Sains telah menjadi tema penelitian yang sangat relevan dan mendesak dalam dekade terakhir. Tema atau Topik yang mendominasi, dapat dilihat pada gambar di bawah ini yaitu:



Gambar 3: *Tema atau Topik yang Mendominasi*

Gambar 3 merupakan gambar yang memvisualisasikan tema-tema penelitian berdasarkan dua dimensi kunci: Relevance Degree (Centrality/Sentralitas): Seberapa kuat tema tersebut terhubung dengan tema-tema lain dalam jaringan penelitian. Tema di kanan (Centrality Tinggi) adalah tema yang mapan dan fundamental. Development Degree (Density/Kepadatan): Seberapa dalam dan terperinci tema tersebut dikembangkan dalam kelompok risetnya. Tema di atas (Density Tinggi) adalah tema yang intensif diteliti dan sangat terspesialisasi.

Berdasarkan posisi klaster tema pada empat kuadran peta, berikut adalah narasi untuk menjawab RQ 2 (Struktur Intelektual dan Klaster Tema): Peta Tematik membagi domain penelitian STEM dan Literasi Sains menjadi empat kuadran, yang mewakili status perkembangan dan relevansi tematik. Secara keseluruhan, struktur intelektual bidang ini menunjukkan fokus kuat pada integrasi STEM dengan isu-isu Sosiosaintifik, didukung oleh kerangka kerja teoretis yang matang.

Pada Kuadran I, Tema Dominan: Klaster ini sangat jelas berpusat pada 'STEM', 'scientific literacy', 'formal education', 'socioscientific issues', dan 'decision making'. Ini menegaskan bahwa tujuan utama penelitian adalah menguji implementasi STEM dalam konteks pendidikan formal untuk secara langsung mengembangkan kemampuan Literasi Sains, yang diukur melalui kapasitas peserta didik dalam menangani Isu Sosiosaintifik (SSI) dan pengambilan keputusan berbasis bukti. Tema ini adalah inti dari domain penelitian yang dianalisis.

Pada Kuadran II Tema Dominan: 'inquiry-based learning', 'nature of science', dan 'scaffolding'. Klaster ini mengindikasikan bahwa sementara peneliti sangat fokus dan berinvestasi dalam metode implementasi spesifik seperti pembelajaran berbasis inkuiri dan isu filosofis Hakikat Sains (NoS) sebagai bagian dari STEM, tema-tema ini belum terintegrasi secara luas dengan keseluruhan domain (misalnya, belum banyak dikaitkan dengan SSI atau keputusan). Ini menunjukkan adanya kelompok peneliti yang sangat terspesialisasi pada aspek metodologis dan filosofis STEM.

Pada Kuadran III Tema yang Muncul ini termasuk 'critical thinking', 'information literacy', 'instrument development', 'sustainability', dan 'literature review'. Adanya tema 'critical thinking' dan 'sustainability' di kuadran ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian (Research Gap) yang signifikan. Meskipun keduanya adalah tujuan penting dari STEM dan Literasi Sains, penelitian yang menghubungkannya secara eksplisit dan intensif masih minim atau baru mulai diinvestigasi. Klaster ini merupakan area yang paling menjanjikan untuk arah penelitian masa depan.

Pada Kuadran IV Tema yang menonjol adalah 'science education' dan klaster ikonik yang kemungkinan besar mewakili kata kunci 'STEM education' itu sendiri. Tema 'science education' dan 'STEM education' berfungsi sebagai fondasi teoretis dan kategori luas yang menghubungkan semua tema lainnya. Tema ini adalah dasar penelitian, sehingga tidak memerlukan elaborasi kedalaman (*density*) tinggi; mereka adalah kerangka kerja

Analisis tematik menegaskan bahwa fokus penelitian saat ini adalah pada efektivitas STEM dalam pendidikan formal untuk meningkatkan Literasi Sains, khususnya melalui penanganan Isu Sosiosaintifik. Terdapat peluang besar untuk memperkuat penelitian pada aspek metodologi spesifik seperti inkuiri dan mengintegrasikan tema penting seperti pemikiran kritis dan keberlanjutan ke dalam kerangka STEM dan Literasi Sains.



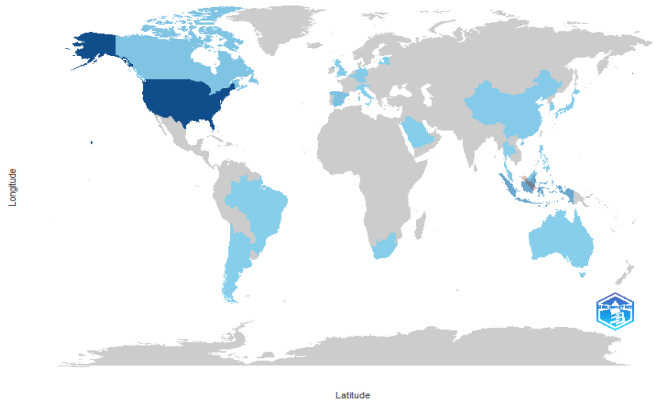
Gambar 4: *Kata Kunci (Word Cloud)*

Gambar 4 di atas menunjukkan awan Kata Kunci (Word Cloud) yang memvisualisasikan frekuensi dan dominasi tematik dari kata kunci penelitian yang muncul dalam literatur yang menghubungkan STEM dan Literasi Sains. Secara keseluruhan, visualisasi ini secara tegas menegaskan bahwa domain penelitian ini memiliki fokus yang sangat spesifik dan kuat pada tujuan akhir dan metode utama penelitian.

Tiga kata kunci dengan ukuran font terbesar menunjukkan inti dan fokus utama dari seluruh domain penelitian. Scientific Literacy (Literasi Ilmiah/Sains): Kata kunci ini memiliki ukuran font yang paling besar dan menempati posisi sentral..Hal ini menunjukkan bahwa Literasi Sains adalah variabel dependen utama atau tujuan akhir dari semua intervensi yang diteliti. Konsistensi dalam penggunaan kata kunci ini menunjukkan bahwa komunitas riset memiliki kesepakatan kuat bahwa peningkatan Literasi Sains adalah hasil yang paling relevan dan terukur dari pendekatan STEM.

STEM Education (Pendidikan STEM): Kata kunci ini menempati urutan kedua dalam dominasi ukuran font. Hal ini menunjukkan bahwa variabel independen utama atau metode pedagogi yang diteliti. Kata kunci ini menekankan bahwa penelitian berfokus pada implementasi dan studi sistematis terhadap Pendidikan STEM, bukan hanya studi sains atau matematika secara terpisah. STEM: Kata kunci ini juga memiliki ukuran yang sangat besar dan berada di pusat. Hal ini menunjukkan bahwa kata kunci 'STEM' yang besar dan terpisah dari 'STEM education' menunjukkan bahwa konsep inti STEM itu sendiri (integrasi S, T, E, M) adalah subjek kajian dan identifikasi kunci dalam penelitian.

Awan Kata ini mengkonfirmasi bahwa tujuan utama dari literatur yang dianalisis adalah peningkatan Scientific Literacy melalui penerapan STEM Education. Keterpaduan kata kunci menunjukkan bahwa komunitas riset memiliki fokus yang jelas dan terpusat pada bagaimana pendekatan interdisipliner dapat secara efektif melatih peserta didik untuk menjadi warga negara yang melek sains. Pola Kolaborasi antar negara, berikut gambar pola kolabarasi antar negara dalam melakukan penelitian penggunaan STEM dalam mengembangkan literasi sains, yaitu sebaga berikut:



Gambar 5: *Peta Kolaborasi antar Negara*

Gambar 5 di atas menunjukan pola kolaborasi dan kontribusi geografis yang memberikan gambaran jelas mengenai pusat-pusat penelitian STEM dan Literasi Sains, serta jaringan kolaborasi internasional yang terbentuk. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2: *Kolaborasi antar Negara*

Negara	Negara	Frekuensi
CANADA	BELGIUM	4,640651
CANADA	BRAZIL	-53,0978
INDONESIA	MALAYSIA	109,6976
INDONESIA	THAILAND	101,0029
SPAIN	ARGENTINA	-65,1798
USA	CANADA	-98,3078
USA	JAPAN	138,0309

Dari tabel di atas menunjukkan pola jaringan kolaborasi, dimana negara Canada & Elgium. Kolaborasi ini (ditunjukkan oleh nilai frekuensi 4,640651) menunjukkan adanya hubungan riset yang menghubungkan Amerika Utara dengan Eropa, yang kemungkinan besar berfokus pada perbandingan kerangka kerja kurikulum. Untuk negara Indonesia & Malaysia merupakan kolaborasi yang kuat di Asia Tenggara, didorong oleh kedekatan geografis, latar belakang budaya yang mirip, dan kesamaan tantangan dalam mengimplementasikan STEM di negara berkembang. Untuk negara Indonesia & Thailand Sama seperti di atas, ini menunjukkan jaringan regional yang kuat di Asia Tenggara (ASEAN), fokus pada pertukaran praktik terbaik implementasi STEM. Negara Spain & Argentina merupakan kolaborasi antara Eropa (Spanyol) dan Amerika Selatan (Argentina), didorong oleh ikatan bahasa dan budaya, yang menciptakan jaringan riset Ibero-Amerika. Untuk USA & Canada, ini adalah kolaborasi yang paling kuat secara geografis dan tematik (ditunjukkan oleh nilai frekuensi yang paling besar -98,3078 yang merupakan bobot koneksi), menegaskan dominasi Amerika Utara. Kolaborasi ini kemungkinan besar didorong oleh kesamaan sistem pendidikan dan kebijakan STEM. Untuk USA & Japan, ini merupakan jaringan yang menghubungkan Amerika Utara

dengan Asia Timur (Jepang), menunjukkan pertukaran pengetahuan antara dua kekuatan teknologi dan pendidikan global.

SIMPULAN

Secara keseluruhan, artikel ini dengan jelas menunjukkan adanya pergeseran fokus penelitian dari topik yang terbatas di awal periode (2016-2018) menjadi bidang yang dominan dan berkembang pesat di akhir periode (2024-2025). Pertumbuhan yang substansial ini menegaskan bahwa integrasi STEM untuk meningkatkan Literasi Sains telah menjadi tema penelitian yang sangat relevan dan mendesak dalam dekade terakhir. Dan fokus penelitian saat ini adalah pada efektivitas STEM dalam pendidikan formal untuk meningkatkan Literasi Sains, khususnya melalui penanganan Isu Sosiosaintifik. Terdapat peluang besar untuk memperkuat penelitian pada aspek metodologi spesifik seperti inkuiri dan mengintegrasikan tema penting seperti pemikiran kritis dan keberlanjutan ke dalam kerangka STEM dan Literasi Sains.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang tulus kami sampaikan kepada Lembaga Pengelolah Dana Pendidikan (LPDP) atas dukungan beasiswa yang memungkinkan kelanjutan studi ini. Dukungan dana dan bimbingan dari LPDP telah menjadi fondasi penting dalam mencapai keberhasilan akademik. Ucapan terima kasih yang tulus kami sampaikan kepada Yayasan Perguruan Tinggi Flores atas dukungan dan bimbingannya dalam keberhasilan akademik.

DAFTAR PUSTAKA

Acut, D. P. (2024). From classroom learning to real-world skills: an autoethnographic account of school field trips and STEM work immersion program management. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, *6*(1). https://doi.org/10.1186/s43031-024-00111-x

Aguilera, D., & Ortiz-Revilla, J. (2021). Stem vs. Steam education and student creativity: A systematic literature review. *Education Sciences*, *11*(7). https://doi.org/10.3390/educsci11070331

Alcaraz-Dominguez, S., & Barajas Frutos, M. (2021). Conceptualization of socioscientific issues in educational practice from a review of research in science education. *International Journal of Information and Education Technology*, *11*(6), 297–302. https://doi.org/10.18178/ijiet.2021.11.6.1526

Anuar, A. M. (2025). Instances of dis/juncture: STEM education and young people's aspirations for development in the Malaysian luar bandar. *Compare*, *55*(8), 1364–1381. https://doi.org/10.1080/03057925.2023.2254210

Asiyah, A., Febrini, D., Topano, A., Mustamin, A. A., & Hakim, M. A. R. (2024). Measuring the Impact of Islamic Values-Based Scientific Literacy on Scientific Competency of Madrasah Teachers. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, *23*(4), 476–496. https://doi.org/10.26803/ijlter.23.4.25

Badaruddin, A., Budi, A. S., & Sumantri, M. S. (2024). The effectiveness of science encyclopedia-assisted project-based learning integrated with the STEM approach in

enhancing pre-service elementary teachers' scientific literacy. *Journal of Education and E-Learning Research*, *11*(3), 597–605. https://doi.org/10.20448/jeelr.v11i3.5928

Bateman, K. M., Steele, D., & Sexton, C. M. (2021). Sustainability science education: our animalistic response-ability. *Cultural Studies of Science Education*, *16*(3), 841–855. https://doi.org/10.1007/s11422-021-10039-7

Berr, A. L., Ridge, K. M., & Hu, J. Y.-S. (2021). Pivoting to a Remote-Learning Summer Student Program during the COVID-19 Pandemic. *ATS Scholar*, *2*(4), 521–534. https://doi.org/10.34197/ats-scholar.2021-0047PS

Booth, A. E., Shavlik, M., & Haden, C. A. (2022). Exploring the Foundations of Early Scientific Literacy: Children's Causal Stance. *Developmental Psychology*, *58*(12), 2302–2309. https://doi.org/10.1037/dev0001433

Branscum, H., Sallee, J., Allen, K., Baker, M. A., & Blackwell, S. (2020). 4-H STEM curriculum challenges: A delphi study. *Journal of Youth Development*, *15*(5), 186–202. https://doi.org/10.5195/JYD.2020.823

Braund, M. (2021). Critical STEM Literacy and the COVID-19 Pandemic. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, *21*(2), 339–356. https://doi.org/10.1007/s42330-021-00150-w

Buljung, B., Vuletich, S., & Dunn, L. (2023). Aligning information literacy terminology to STEM disciplinary language used in the scientific method. *Education for Information*, *39*(3), 269–286. https://doi.org/10.3233/EFI-230036

Bybee, R. W. (2013). The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities. *NSTA Press*. (Ganti dengan sumber aktual)

Carroll, A. J., Borycz, J., Stephens, N. K., & Lowery, A. R. (2025). Scaffolded information literacy and data literacy instruction within undergraduate science and engineering laboratory courses: A longitudinal assessment. *Journal of Academic Librarianship*, *51*(5). https://doi.org/10.1016/j.acalib.2025.103124

Cencelj, Z., Aberšek, M. K., Aberšek, B., & Flogie, A. (2019). Role and meaning of functional science, technological and engineering literacy in problem-based learning. *Journal of Baltic Science Education*, *18*(1), 132–142. https://doi.org/10.33225/jbse/19.18.132

Chambers, B., Salter, A., & Muldrow, L. (2019). Getting past the gateway: An exploratory case on using utilitarian scientific literacy to support first-year students at-risk of leaving STEM. *Education Sciences*, *9*(4). https://doi.org/10.3390/educsci9040265

Cole, L. B. (2019). Green building literacy: a framework for advancing green building education. *International Journal of STEM Education*, *6*(1). https://doi.org/10.1186/s40594-019-0171-6

Crawford, A. J., Hays, C. L., Schlichte, S. L., Greer, S. E., Mallard, H. J., Singh, R. M., Clarke, M. A., & Schiller, A. M. (2021). Retrospective Analysis of a STEM Outreach Event Reveals Positive Influences on Student Attitudes Toward STEM Careers but not Scientific Methodology. *Advances in Physiology Education*, *45*(3), 427–436. https://doi.org/10.1152/ADVAN.00118.2020

Creameans, J. W., Pitts, M. G., White, O., Greenwell, K. M., Colón, K., Garneau-Tsodikova, S., & Venditto, V. J. (2020). Everything Is Science: A Free City-Wide Science Festival. *Frontiers in Communication*, *5*. https://doi.org/10.3389/fcomm.2020.00068

Daniela, L., & Zalite-Supe, Z. (2025). Searching for Scientific Culture in Professional Development Programs for In-Service Teachers: Case of Latvia. *Education Sciences*, *15*(6). https://doi.org/10.3390/educsci15060784

Dauer, J. M., Sorensen, A. E., & Wilson, J. (2021). Students' Civic Engagement Self-Efficacy Varies Across Socioscientific Issues Contexts. *Frontiers in Education*, *6*. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.628784

del Junco, C. (2024). Critical Pedagogies and Critical Information Literacy in STEM librarianship: A Literature Review. *Issues in Science and Technology Librarianship*, *2024*(105). https://doi.org/10.29173/istl2816

Dong, M. L., Feng, Z., McLamb, F., Griffin, L., Vazquez, A., Hirata, K. K., Bozinovic, L., Vasquez, M. F., & Bozinovic, G. (2023). Life Science Research Immersion Program Improves STEM-Specific Skills and Science Attitudes among Precollege Students. *Journal of Microbiology and Biology Education*, *24*(1). https://doi.org/10.1128/jmbe.00078-22

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *133*, 285–296.

English, L. D. (2016). Advancing elementary and middle school STEM education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *14*(Suppl 1), 5–24.

Fernandes, K., Moura, C. B., & Costa, M. S. R. (2025). Environmental Education and Science Teaching in the Context of a Waldorf School: The Use of a Collective Reading Activity to Reflect on Pesticides. *School Science and Mathematics*. https://doi.org/10.1111/ssm.18391

Fraser, J., Aviste, R., Harwell, M., & Liu, J. (2025). Under-Resourced Learning Programs Imperil Active Stewardship of Alaska's Marine Systems for Food Security. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(14). https://doi.org/10.3390/su17146436

García-Peralo, E., Rodríguez-Martín, M., & Rodríguez-Gonzálvez, P. (2025). Thermography and Lighting Systems Methodology to Promote Sustainability and Energy Efficiency Awareness. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(16). https://doi.org/10.3390/su17167196

Geuer, L., Erdmann, N., Kollmen, J., Otteny, A., Wastian, K., Wallrath, S., Engl, A., Risch, B., Ulber, R., & Strieth, D. (2025). Educational Approaches to Bioprocess Engineering Using DIY Bioreactors for Scientific Literacy. *Education Sciences*, *15*(3). https://doi.org/10.3390/educsci15030323

Hardiman, B., Reynolds, J., Pizzica, J., & Renshaw, A. (2022). Re-orientating experiences: Considerations for student development through virtual mobility in STEM. *Journal of Applied Learning and Teaching*, *5*(1), 52–59. https://doi.org/10.37074/jalt.2022.5.1.20

Herro, D., Adisa, I. O., & Abimbade, O. (2025). Teachers Co-Designing and Enacting Elementary Data Science Curriculum through Connected Learning. *Journal of Statistics and Data Science Education*. https://doi.org/10.1080/26939169.2025.2459217

Holbrook, J., Chowdhury, T. B. M., & Rannikmäe, M. (2022). A Future Trend for Science Education: A Constructivism-Humanism Approach to Trans-Contextualisation. *Education Sciences*, *12*(6). https://doi.org/10.3390/educsci12060413

Holbrook, J., & Rannikmae, M. (2009). The nature of science education for enhancing scientific literacy. *International Journal of Science Education*, *31*(10), 1347–1362.

Ibragimov, G. I., Zhdanov, S. P., Volosova, N. Y., Knyazeva, S. A., Efimushkina, S. v, & Kochneva, L. v. (2024). The competence, interest, and perceived self-efficacy of undergraduate students in science communication. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *20*(1), 1–11. https://doi.org/10.29333/EJMSTE/14118

Ilma, A. Z., Wilujeng, I., Widowati, A., 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 Egitim ve Ogretim Dergisi*, *13*(2), 134–146. https://doi.org/10.47750/pegegog.13.02.17

Ingram, E., & Keshwani, J. (2023). Prairie Protector: student development of systems thinking habits in the context of agroecosystems. *Frontiers in Education*, *8*. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1186270

Jimenez, P. C., Golick, D., Couch, B. A., & Dauer, J. M. (2022). Developing and evaluating a pollination systems knowledge assessment in a multidisciplinary course. *International Journal of STEM Education*, *9*(1). https://doi.org/10.1186/s40594-022-00368-6

Johnson, K. C. (2025). Maximizing science communication skills in a primary scientific literature-based cancer biology course: practical implementation methods. *Journal of Microbiology and Biology Education*, *26*(2). https://doi.org/10.1128/jmbe.00057-25

Kutluk, H., Jaworski, D., Zheng, H., Krajka, V., & Constantinou, I. (2025). Designed-to-Fail: Using Structured Failure in Laboratory Courses as a Tool for Nature of Science Education. *Education Sciences*, *15*(9). https://doi.org/10.3390/educsci15091115

Li, R.-Y., & Ma, Y.-Y. (2024). KNOWLEDGE AND ATTITUDES TOWARD BIOTECHNOLOGY IN STEM EDUCATION AS AN INDICATOR OF SCIENTIFIC LITERACY. *Journal of Baltic Science Education*, *23*(1), 76–89. https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.76

Lodge, W. (2017). Science learning and teaching in a Creole-speaking environment. *Cultural Studies of Science Education*, *12*(3), 661–675. https://doi.org/10.1007/s11422-016-9760-6

Lucas, K. L., & Vandergon, T. L. (2024). Science Identity in Undergraduates: A Comparison of First-Year Biology Majors, Senior Biology Majors, and Non-STEM Majors. *Education Sciences*, *14*(6). https://doi.org/10.3390/educsci14060624

Martínez-Martínez, V., Ortiz-Revilla, J., & Greca, I. M. (2025). Rethinking Nature of STEM: Theoretical Insights and the Development of EPISTEMIK-Fire as an Assessment Tool. *Science and Education*. https://doi.org/10.1007/s11191-025-00643-2

Mufit, F., Satria Dewi, W. S., Riyasni, S., & Dhanil, M. (2025). Augmented Reality with A Cognitive Conflict Model and STEM Integration on Newton's Universal Law of Gravitation: Does Practicing Practical Learning Support Scientific Literacy? *International Journal of Information and Education Technology*, *15*(2), 255–271. https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.2.2239

Moore, T. J., Stohlmann, M. S., Wang, H. H., Tank, K. M., Tanner, D. H., Roehrig, G. H., & Park, M. J. (2014). Implementation and assessment of an integrated STEM curriculum. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, *15*(1), 22–32.

Myer, P. R. (2025). Integrating bones and biomes: bringing biological science education to elementary school communities through a tangible learning tool. *Journal of Microbiology and Biology Education*, *26*(2). https://doi.org/10.1128/jmbe.00077-25

Myer, P. R., Blair, S., Mason, K. M., Shepherd, E. A., Downey, B. C., McLean, K. J., Rowan, T. N., Eckelkamp, E. A., Neal Schrick, F., & Zambito Ivey, J. L. (2024). Promoting public engagement in interdisciplinary biological systems education by leveraging American sports-inspired bracket contests on social media and web. *Journal of Microbiology and Biology Education*, *25*(2). https://doi.org/10.1128/jmbe.00078-24

Ngabekti, S., Prasetyo, A. P. B., Hardianti, R. D., & Teampanpong, J. (2019). The development of stem mobile learning package ecosystem. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, *8*(1), 81–88. https://doi.org/10.15294/jpii.v8i1.16905

OECD. (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. OECD Publishing. (Ganti dengan sumber aktual)

Ortiz-Guerrero, C., & Loizzo, J. (2024). Rocks Really Rock: electronic field trips via Web Google Earth can generate positive impacts in attitudes toward Earth sciences in middle- and high-school students. *Geoscience Communication*, *7*(2), 101–119. https://doi.org/10.5194/gc-7-101-2024

Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M., & Arriassecq, I. (2022). A Theoretical Framework for Integrated STEM Education. *Science and Education*, *31*(2), 383–404. https://doi.org/10.1007/s11191-021-00242-x

Owens, D. C., Petitt, D. N., Lally, D., & Forbes, C. T. (2020). Cultivating water literacy in stem education: Undergraduates' socio-scientific reasoning about socio-hydrologic issues. *Water (Switzerland)*, *12*(10). https://doi.org/10.3390/w12102857

Parno, n., Yuliati, L., Hermanto, F. M., & Ali, M. (2020). A case study on comparison of high school students' scientific literacy competencies domain in physics with different methods: PBL-stem education, PBL, and conventional learning. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, *9*(2), 159–168. https://doi.org/10.15294/jpii.v9i2.23894

Pilotti, M. A. E., el Alaoui, K., & Al-Zohbi, G. (2022). What Are Male and Female Students' Views of Science in a Society in Transition? A Self-Study of an Institution of Higher Education. *Education Sciences*, *12*(12). https://doi.org/10.3390/educsci12120920

Pohan, L. A., Suyanti, R. D., Nugraha, A. W., Pebrianti, D., Panjaitan, R., & Hasibuan, S. H. (2024). IMPLEMENTATION OF STEM-BASED INQUIRY IN LEARNING FUNDAMENTAL LAWS OF CHEMISTRY: STUDENTS' PERCEPTION AND RESPONSE. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, *13*(3), 447–458. https://doi.org/10.15294/87cp1c76

Prasetyo, D., Marianti, A., & Alimah, S. (n.d.). Improvement of Students' Science Literacy Skills Using STEM-Based E-Modules. *Journal of Innovative Science Education*, *10*(2), 216–221. http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jise

Prihatiningtyas, S., Shofiyah, N., Yunus, S. R., Ma'arif, I. B., & Putra, I. A. (2025). Enhancing science literacy through flipbook-based STEM Qur'an e-modules: a case study in Islamic boarding schools. *Humanities and Social Sciences Communications*, *12*(1). https://doi.org/10.1057/s41599-025-05054-w

Purzer, S., & Quintana-Cifuentes, J. P. (2019). Integrating engineering in K-12 science education: spelling out the pedagogical, epistemological, and methodological arguments. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, *1*(1). https://doi.org/10.1186/s43031-019-0010-0

Qiao, C., Chen, Y., Guo, Q., & Yu, Y. (2024). Understanding science data literacy: a conceptual framework and assessment tool for college students majoring in STEM. *International Journal of STEM Education*, *11*(1). https://doi.org/10.1186/s40594-024-00484-5

Radyk, M. D., Spatz, L. B., Adkins-Threats, M. L., Cates, K., & St Pierre, C. L. (2023). Evaluation of an 8-week high school science communication course designed to read, write, and present scientific research. *Advances in Physiology Education*, *47*(4), 910–918. https://doi.org/10.1152/ADVAN.00085.2022

Rain-Griffith, L., Sheghewi, S., Shusterman, G. P., Barbera, J., & Shortlidge, E. E. (2020). Deliberative Democracy: Investigating the Longitudinal Impacts of Democratic Activities in Introductory Biology Courses. *American Biology Teacher*, *82*(7), 453–462. https://doi.org/10.1525/abt.2020.82.7.453

Redman, C. M., Tomiya, S., Bitterman, K., Cain, K., & Meachen, J. A. (2021). Utilizing inquiry-driven science outreach to curate Natural Trap Cave fossils and inspire the pursuit of STEM careers. *Evolution: Education and Outreach*, *14*(1). https://doi.org/10.1186/s12052-021-00152-0

Roessger, K. M., & Greenleaf, A. T. (2025). Learning to support science: gender differences in how scientific literacy mediates formal education's effect on U.S. adults' public support for science. *Frontiers in Education*, *10*. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1556464

Rokhimawan, M. A., Yuliawati, F., & Kamala, I. (2022). PROSPECTIVE MADRASAH TEACHERS' SCIENTIFIC COMPETENCIES INTEGRATED WITH SCIENTIFIC LITERACY THROUGH THE STEM APPROACH. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, *11*(1), 91–103. https://doi.org/10.15294/jpii.v11i1.32983

Romine, W., van Garderen, D., Folk, W., Lannin, A., Juergensen, R., Smith, C., Abedelnaby, H., & Milarsky, T. (2024). Science Literacy: Using Multimodal STEM Text Sets to Help Students With Disabilities Engage in Argumentation. *Learning Disability Quarterly*, *47*(2), 84–96. https://doi.org/10.1177/07319487231209505

Ryu, M., & Daniel, S. M. (2020). How Did We Engage Resettled Chin Youth in Critical stem Literacy Practices? *Asia-Pacific Science Education*, *6*(2), 319–345. https://doi.org/10.1163/23641177-bja10008

Sapia, P., Napoli, F., & Bozzo, G. (2022). The Lawson's Test for Scientific Reasoning as a Predictor for University Formative Success: A Prospective Study. *Education Sciences*, *12*(11). https://doi.org/10.3390/educsci12110814

Septiadevana, R., & Abdullah, N. (2024). Developing STEM project-based learning module for primary school teachers: a need analysis. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, *13*(4), 2585–2593. https://doi.org/10.11591/ijere.v13i4.28894

Shaffer, J. F., Ferguson, J., & Denaro, K. (2019). Use of the test of scientific literacy skills reveals that fundamental literacy is an important contributor to scientific literacy. *CBE Life Sciences Education*, *18*(3). https://doi.org/10.1187/cbe.18-12-0238

Shtulman, A., & Harrington, K. (2016). Tensions Between Science and Intuition Across the Lifespan. *Topics in Cognitive Science*, *8*(1), 118–137. https://doi.org/10.1111/tops.12174

Smith, H. E., Cooper, C. B., Busch, K. C., Harper, S., Muslim, A., McKenna, K., & Cavalier, D. (2024). Facilitator organizations enhance learning and action through citizen science: a case study of Girl Scouts' Think Like a Citizen Scientist journey on SciStarter. *Environmental Education Research*, *30*(2), 190–213. https://doi.org/10.1080/13504622.2023.2237705

Snyder, A. L., Cingel, D. P., & Patterson Williams, A. (2024). U.S. parents' scientific literacy and efficacy: Associations with children's STEM media engagement. *Journal of Children and Media*, *18*(4), 543–554. https://doi.org/10.1080/17482798.2024.2383618

Son, M., & Ha, M. (2025). Development of a digital literacy measurement tool for middle and high school students in the context of scientific practice. *Education and Information Technologies*, *30*(4), 4583–4606. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12999-z

Sparks, R. A., Jimenez, P. C., Kirby, C. K., & Dauer, J. M. (2022). Using Critical Integrative Argumentation to Assess Socioscientific Argumentation across Decision-Making Contexts. *Education Sciences*, *12*(10). https://doi.org/10.3390/educsci12100644

Subali, B., Ellianawati, E., Faizah, Z., & Sidiq, M. (2023). Indonesian national assessment support: Can RE-STEM Android app improve students' scientific literacy skills? *International Journal of Evaluation and Research in Education*, *12*(3), 1399–1407. https://doi.org/10.11591/ijere.v12i3.24794

Sumarni, W., Faizah, Z., Subali, B., Wiyanto, W., & Ellianawati, E. (2020). The urgency of religious and cultural science in stem education: A meta data analysis. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, *9*(4), 1045–1054. https://doi.org/10.11591/ijere.v9i4.20462

Sun, Y.-K., Chan, M.-H., & Wong, W.-C. (2025). The impact of immersive design on the relations between students' motivational and science literacy awareness: a mixed methods study. *Cogent Education*, *12*(1). https://doi.org/10.1080/2331186X.2025.2467494

Tan, T. T. M., & Yew-Jin, Y.-J. (2022). Building Improvised Microbial Fuel Cells: A Model Integrated STEM Curriculum for Middle-School Learners in Singapore. *Education Sciences*, *12*(6). https://doi.org/10.3390/educsci12060417

Tawil, S. (2013). Education for science, technology, engineering and mathematics (STEM). *Education for All Global Monitoring Report* (GMR). (Ganti dengan sumber aktual)

Tenney, K., Stringer, B. P., LaTona-Tequida, T., & White, I. (2023). Conceptualizations and Limitations of STEM Literacy across Learning Theories. *Journal of Microbiology and Biology Education*, *24*(1). https://doi.org/10.1128/jmbe.00168-22

Torruellas, J. T., Lopez-Moreno, K., Cote, V., & Crump, K. (2022). Creating an Interdisciplinary Curriculum within the Undergraduate Arts and Sciences through Agar Art. *Journal of Microbiology and Biology Education*, *23*(1). https://doi.org/10.1128/jmbe.00160-21

van Hoe, A., Wiebe, J., Rotsaert, T., & Schellens, T. (2024). The implementation of peer assessment as a scaffold during computer-supported collaborative inquiry learning in secondary STEM education. *International Journal of STEM Education*, *11*(1). https://doi.org/10.1186/s40594-024-00465-8

Wahyu, Y., Suastra, I. W., Sadia, I. W., & Suarni, N. K. (2020). The effectiveness of mobile augmented reality assisted STEM-based learning on scientific literacy and students' achievement. *International Journal of Instruction*, *13*(3), 343–356. https://doi.org/10.29333/iji.2020.13324a

Washburn, M. E., Shanks, R. A., McCartney, M., Robertson, C. L., & Segura-Totten, M. (2023). Discussion of Annotated Research Articles Results in Increases in Scientific Literacy within a Cell Biology Course. *Journal of Microbiology and Biology Education*, *24*(1). https://doi.org/10.1128/jmbe.00154-22

Watson, E., Gares, S., & Rempel, B. (2025). Is the Course Working? An Account of Our Development of an Instrument to Measure the Science Attitudes and Skills of Undergraduate Students Outside of Science Disciplines. *Teaching and Learning Inquiry*, *13*. https://doi.org/10.20343/teachlearninqu.13.29

Widiyatmoko, A., Nugrahani, R., Yanitama, A., & Darmawan, M. S. (2023). THE EFFECT OF VIRTUAL REALITY GAME-BASED LEARNING TO ENHANCE STEM LITERACY IN ENERGY CONCEPTS. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, *12*(4), 648–657. https://doi.org/10.15294/jpii.v12i4.48265

Wilkins, M. R., Rapciak, S. E., Goller, C. C., Weintraub, J., & Mikaelyan, A. (2024). Scaling the wall: overcoming barriers to STEM knowledge mobilization. *Frontiers in Communication*, *9*. https://doi.org/10.3389/fcomm.2024.1366207

Witkow, M. R., Spiekerman, A., Ford-Roshon, C., Hershman, T., & Stevens, C. (2022). An Experimental Study of the Effects of Scaffolding and Context in Training Graphical Literacy Among 2- and 4-Year College Students. *Scholarship of Teaching and Learning in Psychology*, *11*(2), 214–230. https://doi.org/10.1037/stl0000344

Wong, S. S., Firestone, J. B., Ronduen, L. G., & Bang, E. (2016). Middle school science and mathematics teachers' conceptions of the nature of science: a one-year study on the effects of explicit and reflective online instruction. *International Journal of Research in Education and Science*, *2*(2), 469–482. https://doi.org/10.21890/ijres.56557

Worker, S. M., Neas, S., Espinoza, D. M., Kok, C. M., & Smith, M. H. (2023). Youth Science Learning as/for Community Participation: Examples from Youth Participatory Action Research. *Journal of Youth Development*, *18*(1), 3–18. https://doi.org/10.34068/JYD.18.01.03

Wu, X. B., Sandoval, C., Knight, S., Jaime, X., Macik, M., & Schielack, J. F. (2021). Web-based authentic inquiry experiences in large introductory classes consistently associated with significant learning gains for all students. *International Journal of STEM Education*, *8*(1). https://doi.org/10.1186/s40594-021-00290-3