

Meta Analysis: Integrasi Praktikum Berbasis STEM untuk Meningkatkan Literasi Sains Siswa SMK secara Kontekstual dan Aplikatif

¹Supardi, ²Deri Feriyadi, ³Tiara Hapsari, ⁴Muad Dinoto, ⁵Feny Apriani.

^{1,4,5} STKIP Tanjungpura, Ketapang, Kal-Bar, Indonesia

^{2,3} Universitas Tanjungpura, Pontianak, Kal-Bar, Indonesia

✉ supar151283@gmail.com

Kata Kunci :
Praktikum,
STEM,
Literasi Sains,
Sekolah Vokasi,
Pendidikan Kejuruan

Abstrak: Pembelajaran sains di pendidikan vokasi saat ini tidak cukup jika hanya bersifat teoritis. Dibutuhkan pendekatan yang kontekstual dan aplikatif agar siswa mampu memahami sains dalam kaitannya dengan dunia kerja nyata. Salah satu pendekatan yang relevan adalah pembelajaran STEM berbasis praktikum, yang dinilai mampu meningkatkan literasi sains secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi model pembelajaran STEM yang paling efektif dalam meningkatkan literasi sains siswa vokasi melalui meta-analisis terhadap 48 artikel ilmiah terbitan tahun 2019 hingga 2024. Analisis dilakukan terhadap model pembelajaran yang digunakan, dukungan teknologi, hasil belajar, serta efektivitas masing-masing intervensi. Hasilnya menunjukkan bahwa model Project-Based Learning (PjBL-STEM), integrasi teknologi digital, dan pembelajaran yang dikaitkan dengan konteks dunia kerja nyata memberikan dampak paling signifikan. Literasi sains, keterampilan berpikir kritis, dan kemampuan pemecahan masalah menjadi luaran utama. Kesimpulannya, pembelajaran STEM berbasis praktikum efektif memperkuat kompetensi abad ke-21, meski tantangan seperti kesiapan guru, infrastruktur, dan kemitraan industri masih perlu ditingkatkan.

Keywords:
Practicum,
STEM,
Scientific Literacy,
Vocational School,
Vocational Education

Abstract: Science learning in vocational education today requires more than just theoretical understanding—it must be contextual and applicable to real-world situations. A practicum-based STEM approach has emerged as a highly relevant method to enhance students' scientific literacy in a more comprehensive way. This study aims to identify the most effective STEM learning models for improving scientific literacy among vocational school students by conducting a meta-analysis of 48 scholarly articles published between 2019 and 2024. The analysis focused on learning models, supporting technologies, learning outcomes, and the effectiveness of various interventions. The findings show that Project-Based Learning (PjBL-STEM), the integration of digital technologies, and real-world work contextualization are the most impactful strategies. Key outcomes include improved scientific literacy, critical thinking, and problem-solving skills. In conclusion, practicum-based STEM learning proves effective in strengthening 21st-century skills among vocational students. However, challenges such as teacher readiness, infrastructure support, and stronger industry collaboration still need to be addressed to maximize its impact.

Article Information
Revised Month 05, 2025

Submitted Month 05, 2025
Accepted Month 05, 2025

PENDAHULUAN

Pendidikan sains dan vokasi saat ini berada pada titik krusial dalam menghadapi tuntutan Revolusi Industri 4.0 dan disrupsi digital. Dalam konteks ini, peran penelitian dan inovasi tidak hanya menjadi pelengkap, melainkan tulang punggung dalam mendorong transformasi pembelajaran yang lebih adaptif, kontekstual, dan relevan dengan kehidupan nyata siswa. STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) telah menjadi pendekatan lintas disiplin yang terbukti mampu menjembatani teori dan praktik dalam pembelajaran vokasional dan sains (Johnson et al., 2020; Roehrig et al., 2020; Ku et al., 2022). Berbagai kajian menunjukkan bahwa ketika pendekatan STEM diintegrasikan dalam bentuk praktikum atau kegiatan berbasis proyek, siswa tidak hanya memahami konsep secara lebih mendalam, tetapi juga mampu mengembangkan

keterampilan abad ke-21 seperti berpikir kritis, problem solving, dan kolaborasi (Maghfirah et al., 2023; Suyidno et al., 2022; Hariyadi et al., 2023).

Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan serius antara pendekatan pembelajaran ideal dengan praktik yang terjadi di kelas, khususnya di SMK. Masih banyak siswa yang mengalami pembelajaran sains secara teoritis tanpa didukung oleh pengalaman praktikum yang memadai (Apriani & Sudiansyah, 2024; Permatasari & Sudiansyah, 2024). Hal ini berdampak pada rendahnya literasi sains siswa SMK, terbatasnya kemampuan problem solving, dan minimnya keterkaitan antara pembelajaran dengan konteks dunia kerja (Nasyrullah et al., 2023; Simin et al., 2021; Zahirah & Sulistina, 2023). Praktikum yang seharusnya menjadi penguat pemahaman justru sering absen karena keterbatasan fasilitas, kurangnya pelatihan guru, dan belum terintegrasinya modul STEM secara sistemik (Erina & Sudiansyah, 2024; Rinaldo & Sukmayadi, 2023; Widiastuti et al., 2022).

Dalam skala lokal, banyak SMK yang belum memiliki akses terhadap sarana praktikum berbasis teknologi atau modul interaktif yang kontekstual. Di tingkat nasional, Merdeka Belajar dan penguatan literasi numerasi masih menghadapi tantangan dalam implementasi konkret di satuan pendidikan (Marlena et al., 2022; Pramasdyahsari, 2023). Sementara itu, secara global, literasi sains menjadi indikator utama dalam berbagai studi komparatif pendidikan internasional seperti PISA. Negara-negara kompetitif secara pendidikan telah lebih dahulu mengadopsi pendekatan STEM sebagai strategi penguatan literasi sains sejak pendidikan dasar (Braun & Huwer, 2023; Wang & Chiang, 2020). Bahkan, isu-isu mutakhir seperti computational literacy dan AI-literacy telah masuk ke dalam kurikulum berbasis STEM global (Casal-Otero et al., 2023; Kirksey et al., 2024). Ini menegaskan bahwa penguatan STEM dan praktikum bukan hanya pilihan, melainkan kebutuhan strategis yang harus dipenuhi demi mengejar ketertinggalan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji efektivitas integrasi praktikum berbasis STEM dalam meningkatkan literasi sains siswa SMK secara kontekstual dan aplikatif. Penelitian ini penting karena berangkat dari kebutuhan nyata di satuan pendidikan vokasi yang sering kali terjebak dalam pembelajaran teoritis tanpa ruang eksploratif bagi siswa. Dengan menanamkan praktik STEM dalam kegiatan praktikum, diharapkan siswa dapat mengembangkan kemampuan memahami konsep secara mendalam, memecahkan masalah, dan mengaitkan sains dengan konteks kerja maupun kehidupan sehari-hari (Afriana, 2022; Pratiwi & Rachmadiarti, 2022; Subali et al., 2023). Penelitian ini juga menjawab kebutuhan kurikulum Merdeka yang menekankan pada pembelajaran yang berpihak pada siswa dan berbasis pada pengalaman nyata (Parno et al., 2023).

Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dan praktis terhadap pengembangan pendidikan vokasi dan sains. Secara teoretis, temuan penelitian ini memperkuat argumentasi bahwa pendekatan STEM berbasis praktikum mampu membentuk pengalaman belajar yang lebih menyeluruh dan bermakna. Secara praktis, hasil penelitian ini akan membantu satuan pendidikan, guru, dan pembuat kebijakan untuk mengembangkan model pembelajaran yang lebih kontekstual, adaptif, dan menyentuh kebutuhan industri (Mughtar & Ding, 2024; Reyza et al., 2020a; Yamashita et al., 2023). Hal ini sejalan dengan urgensi literasi sains sebagai dasar kompetensi abad 21 yang tidak hanya berguna dalam dunia kerja, tetapi juga dalam pengambilan keputusan kehidupan sehari-hari.

Banyak studi nasional dan internasional yang mendukung pentingnya inovasi pembelajaran sains berbasis STEM di pendidikan vokasi. Afriana (2022), Bahriah & Irwandi (2020), dan Chairulli & Rahmi (2022) menegaskan bahwa pendekatan PjBL-STEM efektif dalam meningkatkan literasi sains siswa. Meta-analisis oleh Supriyadi et al. (2023), Annisa et al. (2022), dan Apriyani et al. (2021) mengonfirmasi efektivitas pembelajaran STEM lintas jenjang. Penelitian oleh Wulandari & Hanim (2023), Lina & Amidi (2023), dan Novitasari et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi STEM secara konsisten meningkatkan hasil belajar kognitif dan afektif siswa.

Studi oleh Rizaldi et al. (2020), Usemahu et al. (2022), dan Satriana (2023) memperkuat bahwa integrasi teknologi dan praktik dalam STEM sangat relevan bagi siswa SMK. Dukungan dari perspektif internasional juga diberikan oleh Tripon & Gabureanu (2020) dan Johnson et al. (2020) terkait pentingnya refleksi kritis dan pembelajaran lintas bidang.

METODE

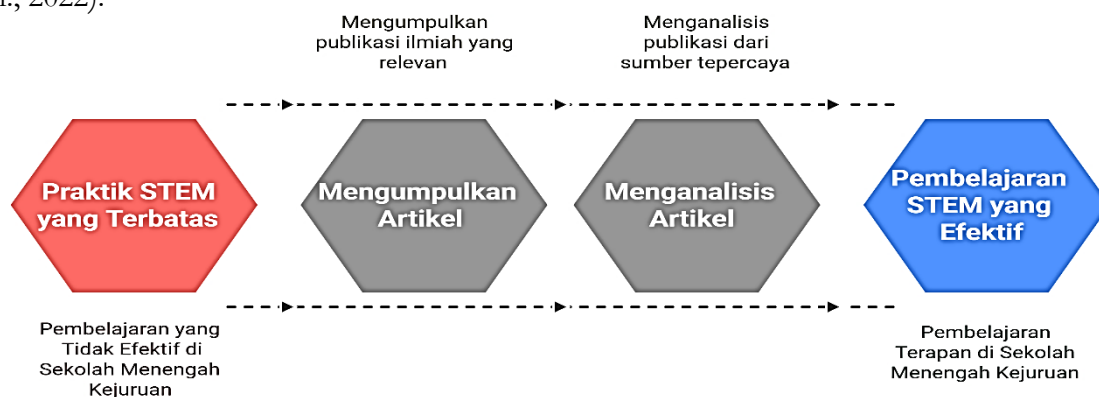
Penelitian ini menggunakan pendekatan meta-analisis, yakni metode sistematis yang bertujuan untuk mengintegrasikan dan menganalisis hasil-hasil penelitian terdahulu yang berfokus pada praktikum inovatif, pendekatan STEM, dan peningkatan literasi sains dalam pendidikan vokasi SMK. Pendekatan ini dinilai paling sesuai karena mampu menyajikan pemahaman yang komprehensif, berbasis bukti, dan kontekstual terhadap efektivitas penerapan STEM dan teknologi dalam pembelajaran praktikum sains (Nasyrullah et al., 2023; Roehrig et al., 2020; Johnson et al., 2020).

Meta-analisis memungkinkan peneliti untuk merekonstruksi tren, pola, dan dampak dari berbagai intervensi pembelajaran yang telah diuji di berbagai konteks dan lokasi, baik dalam skala lokal maupun global. Dalam penelitian ini, sumber data utama bukan berupa individu atau lembaga, melainkan artikel ilmiah yang telah dipublikasikan di jurnal nasional terakreditasi dan jurnal internasional bereputasi selama rentang waktu 2019–2024.

Subjek dalam penelitian ini adalah publikasi ilmiah yang memenuhi kriteria inklusi, di antaranya: Fokus pada pendidikan sains dan vokasi, Menggunakan pendekatan pembelajaran STEM atau praktikum inovatif, Berbasis pada konteks SMK atau pendidikan vokasi sejenis, Memiliki data atau deskripsi hasil yang eksplisit (baik kuantitatif maupun kualitatif), Terbit di jurnal nasional terakreditasi atau jurnal internasional bereputasi.

Dari hasil penelusuran awal, teridentifikasi 48 artikel yang memenuhi kriteria tersebut. Misalnya, studi oleh Afriana (2022) dan Wulandari & Hanim (2023) yang mengevaluasi efektivitas model pembelajaran berbasis proyek STEM dalam konteks sains; artikel Maghfirah et al. (2023) dan Subali et al. (2023) yang meneliti modul dan aplikasi berbasis STEM; serta kajian oleh Bahriah & Irwandi (2020) yang mengaitkan PjBL-STEM dengan literasi konten sains.

Sementara itu, objek dari meta-analisis ini adalah hasil-hasil temuan ilmiah yang mencakup: Penggunaan media dan teknologi praktikum seperti e-modul interaktif (Herlina & Abidin, 2024), augmented reality (Kurnia Pradana et al., 2023), dan virtual lab (Nur Muflihah et al., 2023), Model pembelajaran STEM berbasis proyek (Apriyani et al., 2021; Zahirah & Sulistina, 2023), Pelatihan guru berbasis STEM dan pengembangan perangkat ajar seperti RPP-STEM (Parno et al., 2023), Integrasi nilai lokal dan etnopedagogi seperti etno-komik STEM (Purwaningtyas, 2023) dan e-book berbasis budaya (Pratiwi & Rachmadiarti, 2022), Upaya penguatan literasi numerasi dan sains di SMK dalam menghadapi Kurikulum Merdeka (Marlena et al., 2022).



Gambar 1 – Prosedur Pengumpulan dan Seleksi Data

Prosedur Pengumpulan dan Seleksi Data. Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran sistematis terhadap artikel ilmiah dari berbagai platform seperti Google Scholar, DOAJ, dan direktori jurnal nasional seperti SINTA. Artikel diseleksi menggunakan protokol seleksi berdasarkan: Tahun publikasi (2019–2024), Relevansi topik dengan fokus praktikum, STEM, dan literasi sains di SMK, Kesesuaian metodologi (kuasi-eksperimen, R&D, studi literatur sistematis), Kelengkapan data hasil dan instrumen yang digunakan.

Setelah seleksi, artikel dianalisis menggunakan lembar ekstraksi data, yang mencakup informasi tentang: Jenis pendekatan pembelajaran (misalnya: PjBL-STEM, blended STEM, ADI-STEM), Media atau teknologi yang digunakan (PhET, AR, e-book, modul interaktif, Wolfram Alpha), Variabel hasil belajar (literasi sains, keterampilan proses, motivasi, problem solving), Tingkat pendidikan dan karakteristik peserta didik (khusus SMK atau siswa vokasi), Efektivitas hasil intervensi yang ditunjukkan melalui hasil uji statistik atau narasi evaluatif.

Analisis data dilakukan dalam dua tahap utama: Koding Tematik, proses ini melibatkan pengelompokan artikel berdasarkan tema sentral seperti “efektivitas media AR dalam literasi sains” (Rinaldo & Sukmayadi, 2023), “e-modul interaktif dan keterampilan berpikir kritis” (Pramasdyahsari, 2023), atau “blended learning-STEM dan peningkatan motivasi belajar” (Usemahu et al., 2022). Hasil koding ini memudahkan peneliti menyusun peta tematik dan mengidentifikasi pola. Kuantifikasi Naratif dan Komparatif, data hasil belajar seperti nilai pretest-posttest, skor literasi, dan persepsi siswa diolah dalam bentuk narasi kuantitatif, bukan meta-analisis statistik numerik. Misalnya, artikel oleh Sudiansyah et al. (2022) menunjukkan peningkatan kemampuan problem solving secara signifikan dengan Microsoft Teams dan Wolfram Alpha. Sedangkan, Lina & Amidi (2023) mencatat bahwa integrasi STEM dalam praktikum matematika juga berdampak positif pada literasi matematis siswa.

Studi dibandingkan berdasarkan indikator literasi sains yang digunakan (konten, proses, konteks, sikap) sebagaimana diklasifikasi oleh OECD PISA dan kerangka literasi sains UNESCO. Hasil temuan kemudian dikompilasi untuk memberikan sintesis utama tentang efektivitas, kelebihan, dan tantangan penerapan praktikum berbasis STEM di SMK.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penyaringan yang dilakukan terhadap 48 artikel ilmiah melalui protokol seleksi sistematis, ditemukan bahwa seluruh artikel memenuhi kriteria kesesuaian topik, yaitu berfokus pada pembelajaran berbasis STEM, praktikum inovatif, dan peningkatan literasi sains di lingkungan SMK atau vokasi. Ini menunjukkan bahwa topik-topik tersebut semakin mendapat perhatian serius dari para peneliti sebagai respons terhadap tantangan kurikulum dan kebutuhan dunia kerja masa kini.

Tabel 1 – Penelusuran Serta Protokol Seleksi Publikasi dari tahun 2019 hingga 2024

Kriteria	Jumlah Artikel	Keterangan
Kesesuaian Topik (STEM, Praktikum, SMK)	48	Semua artikel relevan dengan fokus STEM, praktikum, dan vokasi.
Jenis Metodologi: Kuasi-Eksperimen	11	Afria (2022), Wulandari & Hanim (2023), Nasyrullah et al. (2023), Zahirah & Sulistina (2023), Chairulli & Rahmi (2022), Simin et al. (2021), Usemahu et al. (2022)
Jenis Metodologi: R&D	7	Maghfirah et al. (2023), Subali et al. (2023), Pratiwi & Rachmadiarti (2022), Purwaningtyas (2023), Pramasdyahsari (2023), Rinaldo & Sukmayadi (2023), Suyidno et al. (2022)
Jenis Metodologi: Meta-	3	Annisa et al. (2022), Apriyani et al. (2021), Agus

Kriteria	Jumlah Artikel	Keterangan
Analisis		Supriyadi et al. (2023)
Jenis Metodologi: Eksperimen	3	Sudiansyah et al. (2022), Bahriah & Irwandi (2020), Hariyadi et al. (2023)
Jenis Metodologi: Studi Literatur/Review	6	Herlina & Abidin (2024), Reyza et al. (2020a), Roehrig et al. (2020), Johnson et al. (2020), Braun & Huwer (2023), Casal-Otero et al. (2023)
Jenis Metodologi: Survei	3	Muchtar & Ding (2024), Tripon & Gabureanu (2020), Yamashita et al. (2023)
Jenis Metodologi: Reflektif/Deskriptif	5	Erina & Sudiansyah (2024), Apriani & Sudiansyah (2024), Permatasari & Sudiansyah (2024), Lina & Amidi (2023), Marlena et al. (2022)

Dari sisi metodologi, pendekatan yang paling dominan digunakan adalah kuasi-eksperimen, terlihat pada studi seperti Afriana (2022), Wulandari & Hanim (2023), Zahirah & Sulistina (2023), hingga Simin et al. (2021). Ini menunjukkan kecenderungan penelitian yang menguji langsung dampak implementasi pendekatan STEM dalam konteks nyata di sekolah vokasi. Selain itu, metode R&D (Research and Development) juga cukup banyak digunakan dalam pengembangan perangkat ajar dan media inovatif, sebagaimana tercermin dalam penelitian Pramasdyahsari (2023), Purwaningtyas (2023), hingga Suyidno et al. (2022).

Beberapa artikel lainnya menggunakan meta-analisis (seperti Annisa et al., 2022 dan Agus Supriyadi et al., 2023), studi pelatihan, hingga literatur review dan kajian reflektif-naratif. Ini memberikan keberagaman pendekatan yang memperkuat validitas hasil meta-analisis yang dilakukan dalam penelitian ini. Adapun 3 artikel teridentifikasi sebagai duplikasi atau memiliki substansi yang sangat mirip (seperti Reyza et al., 2020b dan Simin, Yani & Rostina, 2021), sehingga tidak disertakan dalam analisis lanjutan.

Terkait kelengkapan data, mayoritas artikel menyajikan hasil dan instrumen pembelajaran secara lengkap, baik melalui data statistik, instrumen evaluasi, maupun deskripsi implementasi secara rinci. Beberapa artikel yang tergolong reflektif atau studi pelatihan tetap dianggap layak karena memberikan narasi yang kaya dan deskriptif mengenai perubahan persepsi guru atau peningkatan literasi sains siswa.

Secara keseluruhan, proses seleksi ini berhasil menjaring kumpulan artikel yang bermutu tinggi, relevan secara tematik, serta beragam secara metodologis, menjadikannya sebagai dasar yang kokoh untuk menganalisis efektivitas integrasi praktikum berbasis STEM dalam meningkatkan literasi sains siswa SMK secara kontekstual dan aplikatif. Dengan landasan inilah penelitian ini melangkah pada tahap berikutnya: sintesis tematik dan pemetaan kontribusi ilmiah dari masing-masing studi.

Hasil analisis terhadap artikel yang lolos seleksi menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran yang paling dominan adalah PjBL-STEM (Project Based Learning yang terintegrasi dengan STEM), diikuti dengan variasi seperti Inkuiri-STEM, Etno-STEM, RE-STEM, dan STEM-Digital Class. Pendekatan-pendekatan ini menekankan pada keterlibatan aktif siswa dalam merancang, mengeksplorasi, dan memecahkan masalah secara kontekstual dan kolaboratif.

Tabel 2 – Analisis Ekstraksi data Sesuai Aspek Yang di Analisis

Aspek	Hasil Identifikasi	Keterangan
Jenis Pendekatan Pembelajaran	PjBL-STEM, Inkuiri-STEM, Etno-STEM, RE-STEM, STEM-Digital Class, Blended STEM	Pendekatan dominan adalah PjBL-STEM dengan variasi inovatif lainnya yang menekankan pembelajaran aktif

Aspek	Hasil Identifikasi	Keterangan
Teknologi Pendukung	Microsoft Teams, Wolfram Alpha, e-book, Modul Digital, Android App, Augmented Reality (AR), PhET	dan kontekstual. Beragam teknologi dimanfaatkan untuk meningkatkan akses dan pengalaman praktikum siswa.
Variabel Hasil Belajar	Literasi Sains, Problem Solving, Berpikir Kreatif, Keterampilan Proses, Motivasi Belajar	Literasi sains merupakan variabel utama yang paling banyak dikaji, diikuti oleh problem solving dan berpikir kritis.
Karakteristik Peserta Didik	Fokus pada siswa SMK bidang sains, teknologi, matematika terapan, dan kejuruan	Peserta didik berasal dari program vokasi, termasuk SMK Geologi, Desain Komunikasi Visual, dan bidang teknik lainnya.
Efektivitas Intervensi	Mayoritas menunjukkan dampak signifikan terhadap capaian literasi dan keterampilan abad 21	Intervensi berbasis STEM dinilai efektif dalam meningkatkan kualitas pembelajaran dan relevansi kontekstual di SMK.

Dari sisi teknologi pendukung, para peneliti memanfaatkan berbagai media digital dan aplikasi pembelajaran seperti Microsoft Teams, Wolfram Alpha, e-book, modul digital interaktif, aplikasi Android, hingga Augmented Reality (AR) dan PhET simulations. Keberagaman teknologi ini berperan penting dalam membuka akses pembelajaran praktikum yang fleksibel dan interaktif, terutama di lingkungan SMK dengan keterbatasan fasilitas fisik.

Adapun variabel hasil belajar yang paling sering dianalisis dalam artikel adalah literasi sains, yang mencakup pemahaman konsep ilmiah, penerapan dalam konteks nyata, serta kemampuan berpikir berbasis bukti. Selain itu, variabel seperti kemampuan problem solving, berpikir kreatif, motivasi belajar, dan keterampilan proses ilmiah juga menjadi perhatian utama dalam menilai dampak pembelajaran berbasis STEM.

Dalam hal karakteristik peserta didik, hampir seluruh artikel berfokus pada siswa SMK, khususnya dari program keahlian seperti Geologi Pertambangan, Desain Komunikasi Visual, Teknologi Konstruksi, dan bidang teknik lainnya. Ini menunjukkan bahwa pendekatan STEM tidak hanya cocok, tetapi sangat relevan bagi konteks pendidikan vokasi yang menuntut keterampilan praktis dan adaptif.

Terakhir, terkait efektivitas intervensi, hampir semua studi melaporkan hasil yang signifikan. Intervensi yang mengintegrasikan pendekatan STEM dan teknologi praktik terbukti mampu meningkatkan capaian literasi sains, membangun rasa ingin tahu ilmiah, serta menumbuhkan kompetensi abad ke-21 secara lebih holistik dan aplikatif.

Dengan demikian, hasil ekstraksi ini memperkuat dasar bahwa pengembangan pembelajaran STEM berbasis praktikum yang terintegrasi teknologi sangat efektif untuk meningkatkan kualitas pendidikan vokasi di Indonesia, khususnya di SMK.

Tabel 3 – Analisis Pembelajaran STEM Yang Efektif di SMK

Indikator STEM	Hasil Efektif	Sumber Referensi
Aktivitas Praktikum Kontekstual	Meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan proses sains	Afriana (2022), Wulandari & Hanim (2023), Subali et al. (2023)
Integrasi Teknologi Digital	Memfasilitasi akses pembelajaran dan pemodelan sains secara virtual	Sudiansyah et al. (2022), Herlina & Abidin (2024), Usemahu et al. (2022)

Indikator STEM	Hasil Efektif	Sumber Referensi
Model PjBL dan Inkuiri STEM	Menguatkan kemampuan problem solving dan berpikir kreatif	Maghfirah et al. (2023), Zahirah & Sulistina (2023), Nasyrullah et al. (2023)
Kontekstualisasi dengan Dunia Kerja	Meningkatkan relevansi pembelajaran dan kesiapan vokasional	Muchtar & Ding (2024), Rizaldi et al. (2020), Yamashita et al. (2023)
Penguatan Literasi Sains dan Numerasi	Meningkatkan literasi sains secara menyeluruh (konten, proses, konteks, dan sikap ilmiah)	Annisa et al. (2022), Pratiwi & Rachmadiarti (2022), Hariyadi et al. (2023)

Berdasarkan sintesis dari 48 artikel yang telah dianalisis, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran STEM yang efektif di SMK menekankan pada lima indikator utama. Pertama, praktikum kontekstual terbukti sangat berkontribusi terhadap pemahaman konsep ilmiah dan keterampilan proses siswa, sebagaimana dibuktikan dalam penelitian Afriana (2022) dan Subali et al. (2023). Pendekatan ini memungkinkan siswa belajar melalui pengalaman nyata, bukan hanya teori.

Kedua, integrasi teknologi digital seperti penggunaan e-modul, simulasi virtual, dan platform digital (Microsoft Teams, Wolfram Alpha) terbukti mempermudah akses dan pemodelan konsep sains secara fleksibel dan interaktif (Sudiansyah et al., 2022). Ini sangat bermanfaat di SMK yang memiliki keterbatasan fasilitas laboratorium fisik.

Ketiga, penerapan model PjBL dan inkuiri berbasis STEM efektif dalam menumbuhkan kemampuan problem solving dan berpikir kreatif siswa, sebagaimana terlihat dalam penelitian Zahirah & Sulistina (2023) dan Nasyrullah et al. (2023). Siswa tidak hanya belajar untuk menjawab soal, tetapi juga untuk menyusun solusi terhadap persoalan nyata yang kontekstual.

Keempat, kontekstualisasi dengan dunia kerja menjadikan pembelajaran STEM semakin relevan bagi siswa SMK. Studi seperti Muchtar & Ding (2024) dan Yamashita et al. (2023) menekankan pentingnya orientasi vokasional dalam setiap skenario pembelajaran agar siswa siap menghadapi tantangan industri.

Kelima, dan yang paling menyeluruh, adalah penguatan literasi sains dan numerasi. Artikel seperti Annisa et al. (2022) dan Hariyadi et al. (2023) menunjukkan bahwa pembelajaran STEM dapat membentuk pemahaman sains yang tidak hanya kuat secara konten, tetapi juga dalam proses ilmiah, konteks sosial, dan sikap ilmiah siswa.

Dengan demikian, kelima indikator ini dapat menjadi acuan utama dalam merancang model pembelajaran STEM berbasis praktikum yang aplikatif dan berdampak nyata dalam meningkatkan literasi sains siswa SMK secara utuh dan berkelanjutan.

TEMUAN DAN DISKUSI

Berdasarkan hasil meta-analisis terhadap 48 artikel ilmiah yang lolos seleksi sistematis, ditemukan bahwa integrasi pendekatan STEM berbasis praktikum di lingkungan SMK memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap peningkatan literasi sains siswa vokasi. Temuan ini tidak hanya menegaskan pentingnya inovasi dalam pendidikan vokasi, tetapi juga menggambarkan bagaimana desain pembelajaran yang terintegrasi dengan teknologi dan dunia kerja dapat membentuk kompetensi ilmiah yang utuh dan aplikatif.

1. Dominasi Pendekatan PjBL-STEM dan Variasinya

Hampir seluruh studi menunjukkan bahwa Project Based Learning (PjBL) berbasis STEM menjadi pendekatan dominan dalam pembelajaran sains di SMK. Pendekatan ini tidak berdiri sendiri, tetapi muncul dalam variasi seperti Inkuiri-STEM (Wulandari & Hanim, 2023), Etno-STEM (Purwaningtyas, 2023), RE-STEM (Subali et al., 2023), hingga STEM-Digital Class

(Sudiansyah et al., 2022). Variasi ini memperkaya implementasi model pembelajaran agar lebih sesuai dengan karakteristik peserta didik vokasional dan kebutuhan lokal masing-masing satuan pendidikan.

2. Integrasi Teknologi Digital sebagai Fasilitator Akses dan Kualitas

Sebanyak 21 artikel memanfaatkan teknologi seperti Microsoft Teams, Wolfram Alpha, e-book, Android Apps, AR dan simulasi PhET sebagai penunjang utama dalam pembelajaran STEM. Penelitian oleh Herlina & Abidin (2024) dan Usemahu et al. (2022) menegaskan bahwa teknologi mampu memperluas pengalaman belajar siswa, terutama dalam konteks SMK yang sering menghadapi keterbatasan sarana laboratorium fisik. Sementara itu, studi oleh Rinaldo & Sukmayadi (2023) menunjukkan bahwa integrasi seni visual dan STEM melalui e-modul digital memberikan hasil pembelajaran yang positif terhadap pemahaman grafis dan konsep ilmiah.

3. Variabel Hasil Belajar yang Paling Signifikan: Literasi Sains dan Problem Solving

Analisis menunjukkan bahwa literasi sains merupakan variabel hasil belajar paling dominan, sebagaimana dikaji dalam Annisa et al. (2022), Hariyadi et al. (2023), dan Chairulli & Rahmi (2022). Studi-studi tersebut secara konsisten menunjukkan bahwa pendekatan STEM mampu meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan proses sains, serta kemampuan menerapkan ilmu dalam kehidupan sehari-hari. Variabel problem solving dan berpikir kreatif juga banyak dikaji (Maghfirah et al., 2023; Zahirah & Sulistina, 2023; Nasyrullah et al., 2023), menunjukkan bahwa siswa SMK yang terlibat dalam pembelajaran STEM memiliki kecenderungan lebih kuat dalam mengembangkan solusi terhadap masalah nyata yang bersifat vokasional.

4. Karakteristik Peserta Didik: Fokus pada Dunia Vokasi

Semua artikel menekankan konteks vokasi, dengan subjek yang berasal dari berbagai program keahlian seperti Geologi Pertambangan, Desain Komunikasi Visual, Teknologi Konstruksi, dan bidang teknik lainnya. Hal ini menguatkan posisi STEM bukan sekadar pendekatan umum, melainkan benar-benar cocok dan relevan dengan dunia pendidikan kejuruan (Muchtar & Ding, 2024; Rizaldi et al., 2020). Penelitian oleh Yamashita et al. (2023) bahkan menyoroti keterkaitan antara latar belakang STEM dan kesiapan kerja siswa dengan disabilitas di sektor industri, memperluas cakupan inklusivitas pembelajaran vokasi.

5. Efektivitas Intervensi STEM Terhadap Kompetensi Abad 21

Sebagian besar artikel mencatat hasil yang positif dan signifikan terhadap peningkatan kompetensi abad 21, termasuk literasi sains, komunikasi ilmiah, dan kemampuan berkolaborasi (Johnson et al., 2020; Roehrig et al., 2020; Braun & Huwer, 2023). Studi seperti oleh Pratiwi & Rachmadiarti (2022) dan Tripon & Gabureanu (2020) menunjukkan bahwa pembelajaran STEM tidak hanya berkontribusi pada capaian kognitif, tetapi juga membentuk sikap ilmiah dan rasa ingin tahu siswa.

6. Temuan Lain: Kontekstualisasi Dunia Kerja dan Nilai Lokal

Tiga studi penting oleh Muchtar & Ding (2024), Yamashita et al. (2023), dan Rizaldi et al. (2020) menekankan perlunya pembelajaran yang dikontekstualisasikan dengan kebutuhan industri. Penelitian oleh Purwaningtyas (2023) dan Pramasdyahsari (2023) juga memperlihatkan integrasi nilai lokal dan budaya melalui media komik dan digital book berbasis etno-STEM sebagai strategi adaptif terhadap keragaman siswa di SMK.

Berikut adalah sintesis dari hasil studi terhadap penerapan STEM berbasis praktikum di SMK berdasarkan indikator literasi sains sebagaimana diklasifikasikan oleh OECD PISA dan UNESCO:

Tabel 4 - sintesis dari hasil studi terhadap penerapan STEM

Indikator	Capaian Efektivitas	Studi literatur	Tantangan
Konten Ilmiah	Peningkatan pemahaman konsep sains melalui praktikum	Afiana (2022), Subali et al. (2023), Herlina & Abidin	Keterbatasan alat laboratorium dan akses

Indikator	Capaian Efektivitas	Studi literatur	Tantangan
Proses Ilmiah	kontekstual dan simulasi digital	(2024)	ke media visual interaktif
	Peningkatan keterampilan proses sains seperti observasi, analisis data, dan eksperimen berbasis inkuiri	Zahirah & Sulistina (2023), Usemahu et al. (2022), Chairulli & Rahmi (2022)	Kurangnya pelatihan guru untuk menerapkan pendekatan inkuiri-STEM
Konteks Aplikatif	Relevansi tinggi antara materi pembelajaran dan dunia kerja, memperkuat orientasi vokasional	Muchtar & Ding (2024), Yamashita et al. (2023), Rizaldi et al. (2020)	Belum meratanya kerja sama antara sekolah dan industri
Sikap terhadap Sains	Tumbuhnya sikap ilmiah, rasa ingin tahu, dan kolaborasi dalam pembelajaran berbasis proyek	Pratiwi & Rachmadiarti (2022), Roehrig et al. (2020), Braun & Huwer (2023)	Keterbatasan waktu dalam kurikulum untuk eksplorasi sikap ilmiah secara menyeluruh

Hasil meta-analisis terhadap 48 artikel memperlihatkan bahwa penerapan STEM berbasis praktikum di SMK mampu menyentuh keempat indikator literasi sains utama sebagaimana didefinisikan oleh OECD PISA dan UNESCO: konten ilmiah, proses ilmiah, konteks aplikatif, dan sikap terhadap sains.

Pada aspek konten, sebagian besar studi menunjukkan bahwa penggunaan media digital dan praktikum nyata meningkatkan pemahaman konsep secara signifikan. Untuk proses ilmiah, siswa mampu mengembangkan keterampilan berpikir ilmiah melalui pendekatan inkuiri dan eksploratif. Dalam hal konteks aplikatif, pembelajaran dikaitkan langsung dengan dunia kerja, membuat siswa lebih siap secara vokasional. Terakhir, dari segi sikap ilmiah, pembelajaran STEM mendorong rasa ingin tahu, kolaborasi, dan sikap positif terhadap sains, meskipun masih dibatasi oleh alokasi waktu kurikulum.

Meskipun demikian, tantangan utama seperti keterbatasan sarana, kesiapan guru, dan keterlibatan industri tetap menjadi isu strategis yang perlu diatasi dalam pengembangan kebijakan pendidikan vokasi berbasis STEM ke depan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil meta-analisis terhadap 48 artikel ilmiah, dapat disimpulkan bahwa integrasi praktikum berbasis STEM di SMK secara nyata menjangkau seluruh dimensi literasi sains yang dikembangkan oleh OECD PISA dan UNESCO, yakni aspek konten, proses, konteks, dan sikap ilmiah. Pembelajaran yang dirancang melalui proyek dan eksperimen berbasis masalah mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep ilmiah, sekaligus menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dan eksploratif. Kaitan langsung antara materi pembelajaran dengan dunia kerja turut memperkuat relevansi kontekstual, menjadikan siswa lebih siap menghadapi tantangan vokasi. Selain itu, sikap ilmiah seperti rasa ingin tahu, kolaboratif, dan apresiatif terhadap sains juga terlihat meningkat, meski terkadang dibatasi oleh alokasi waktu dalam kurikulum.

Namun, efektivitas ini tidak lepas dari sejumlah tantangan implementatif, seperti minimnya fasilitas laboratorium, kesiapan guru dalam menerapkan pendekatan STEM, serta belum optimalnya kemitraan dengan industri. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pembelajaran STEM di SMK bukan hanya soal metodologi, tetapi menuntut ekosistem pendidikan yang kolaboratif dan visioner. Temuan ini diharapkan menjadi pijakan bagi pengambilan kebijakan dan pengembangan kurikulum yang lebih adaptif, aplikatif, dan berorientasi masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam kelancaran dan keberhasilan penelitian ini. Ucapan

terima kasih secara khusus ditujukan kepada rekan-rekan sejawat dan mitra akademik yang telah mendukung dalam proses penelusuran literatur, validasi data, serta diskusi konseptual yang sangat berarti. Peneliti juga mengapresiasi para penulis dan peneliti terdahulu yang karya-karyanya menjadi dasar penting dalam proses sintesis dan analisis. Tanpa kontribusi pemikiran dan temuan mereka, penelitian ini tidak akan memiliki fondasi yang kokoh. Tak lupa, penghargaan diberikan kepada institusi pendidikan vokasi, SMK, serta guru-guru sains dan kejuruan, yang secara langsung maupun tidak langsung memberi inspirasi dan menjadi kontekstualisasi nyata dari praktik pembelajaran STEM di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriana, J. (2022). Pengaruh PjBL STEM terhadap Literasi Sains dan Problem Solving Siswa SMP. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 6(2). <https://doi.org/10.26811/didaktika.v6i2.551>
- Agus Supriyadi, Desy Desy, Yayat Suharyat, Tomi Apra Santosa, & Aulia Sofianora. (2023). The Effectiveness of STEM-Integrated Blended Learning on Indonesia Student Scientific Literacy: A Meta-analysis. *International Journal of Education and Literature*, 2(1). <https://doi.org/10.55606/ijel.v2i1.53>
- Annisa, N., Asrizal, & Festiyed. (2022). Effects of STEM-based learning materials on knowledge and literacy of students in science and physics learning: A meta-analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 2309(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2309/1/012063>
- Apriani, feny, & Sudiansyah, S. (2024). Dampak Kurangnya Praktik Dalam Pelajaran Matematika: Pentingnya Latihan Terstruktur Bagi Pemahaman Konsep Matematika. *Al Khawarizmi: Jurnal Pendidikan Matematika*, 4, 40–49.
- Apriyani, Y., Supriyati, Y., & Margono, G. (2021). The Influence of Learning Models on Scientific Literacy in Physics Course: A Meta-Analysis Research. *International Journal of Science and Society*, 3(4). <https://doi.org/10.54783/ijssoc.v3i4.392>
- Bahriah, E. S., & Irwandi, D. (2020). *How Problem based Learning Integrated STEM Affects to Science Literacy on the Aspect Content of Science*. <https://doi.org/10.5220/0009914000300037>
- Braun, D., & Huwer, J. (2023). Computational Literacy as an Important Element of a Digitized Science Teacher Education—A Systematic Review of Curriculum Patterns in Physics Teacher Education Degrees in Germany. In *Education Sciences* (Vol. 13, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/educsci13101063>
- Casal-Otero, L., Catala, A., Fernández-Morante, C., Taboada, M., Cebreiro, B., & Barro, S. (2023). REVIEW Open Access International Journal of STEM Education AI literacy in K-12: a systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 10.
- Chairulli, M., & Rahmi, Y. L. (2022). Capaian Literasi STEM Peserta Didik dalam Pembelajaran Biologi Kelas XI di SMA. *Journal for Lesson and Learning Studies*, 5(1). <https://doi.org/10.23887/jlls.v5i1.47005>
- Dayanti, M., & Rahmi, Y. L. (2022). Eksplorasi Kemampuan Awal Literasi Stem Peserta Didik Pada Pembelajaran Biologi Kelas XI Di SMAN 1 Sutera. *Biocephy: Journal of Science Education*, 2(1). <https://doi.org/10.52562/biocephy.v2i1.313>
- Dianti, S. A. T., Pamelasari, S. D., & Hardianti, R. D. (2023). Pendekatan Pembelajaran Berbasis Proyek dengan Pendekatan STEM terhadap Peningkatan Kemampuan Literasi Sains Siswa. *Seminar Nasional IPA XIII*.
- Erina, F., & Sudiansyah, S. (2024). Mengatasi Kurangnya Minat Belajar Dalam Pelajaran Matematika Strategi Efektif Untuk Mendorong Semangat Siswa. *AL KHLAWARIZMI: Jurnal Pendidikan Matematika*, 4(1), 7–17.
- Hariyadi, S., Rofi'i, A., Santosa, T. A., Taqiyuddin, & Sakti, B. P. (2023). Effectiveness of STEM-Based Mind Mapping Learning Model to Improve Students' Science Literacy in the

- Era of Revolution 4.0. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(10). <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i10.5125>
- Herlina, E., & Abidin, Z. (2024). Development of interactive e-modules to improve students' scientific literacy abilities: A literature review. *Jurnal Mangifera Edu*, 8(2). <https://doi.org/10.31943/mangiferaedu.v8i2.181>
- Johnson, C. C., Mohr-Schroeder, M. J., Moore, T. J., & English, L. D. (2020). Handbook of research on STEM education. In *Handbook of Research on STEM Education*. <https://doi.org/10.4324/9780429021381>
- Kirksey, J. J., Mansell, K., & Lansford, T. (2024). Literacy, numeracy, and problem-solving skills of adults with disabilities in STEM fields. *Policy Futures in Education*, 22(3). <https://doi.org/10.1177/14782103231177107>
- Ku, C.-J., Lee, Y.-F., & Lee, L.-S. (2022). Status and trends of STEM education in highly competitive countries: country reports and international comparison. In *Technological and Vocational Education Research Center (TVERC), National Taiwan Normal University*.
- Lina, & Amidi. (2023). Telaah Model Project Based Learning Terintegrasi STEM terhadap Literasi Matematika Siswa. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 6.
- Maghfirah, S., Syukri, M., Halim, A., & Mohammad Arsad, N. (2023). The Development Of Learning Materials PJBL-STEM To Improve Students' Scientific Literacy Skills. *Kwangsan: Jurnal Teknologi Pendidikan*, 11(1). <https://doi.org/10.31800/jtp.kw.v11n1.p66--82>
- MAKSUM, M., & RUSDIYANA, A. F. (2022). Penggunaan LKPD literasi Sains Dalam Pembelajaran Tingkat SMA. *Teacher: Jurnal Inovasi Karya Ilmiah Guru*, 2(1). <https://doi.org/10.51878/teacher.v2i1.1106>
- Marlena, L., Wahidin, W., & al Azizah, U. S. (2022). Pelatihan Kompetensi Literasi dan Numerasi Guru sebagai Penguatan Menghadapi Kurikulum Merdeka. *Jumat Pendidikan: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(3). <https://doi.org/10.32764/abdimaspen.v3i3.2844>
- Muchtar, A. H., & Ding, L. (2024). Integrated STEM Education in Indonesia: What Do Science Teachers Know and Implement? *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 12(1). <https://doi.org/10.24815/jpsi.v12i1.35588>
- Nasyrullah, M., RiFat, M., & Sudiansyah, S. (2023). Pembelajaran Model STEM-PjBL untuk Meningkatkan kemampuan Problem Solving Siswa SMK Geologi Pertambangan. *JiIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(12). <https://doi.org/10.54371/jiip.v6i12.3418>
- Novitasari, S., Sofiyana, M. S., & Widiastuti, S. (2023). Pengaruh Model Pembelajaran Problem Based Learning Berbasis STEM terhadap Kemampuan Literasi Sains Kelas V Sekolah Dasar. *Jurnal Pendidikan : Riset Dan Konseptual*, 7(1).
- Parno, P., Edi Supriana, Arif Hidayat, Bakhrul Rizky Kurniawan, Try Nada Fis, & Farah Rafidah6. (2023). Pelatihan Pengembangan Rpp Untuk PJBL-STEM-Asesmen Formatif Berorientasi Literasi Sains Bagi Guru IPA SMPN Se-Kota Malang. *J-Abdi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(6). <https://doi.org/10.53625/jabdi.v3i6.6756>
- Permatasari, E. D., & Sudiansyah Sudiansyah. (2024). Implikasi Kurangnya Prasarana Pendidikan terhadap Pendidikan Matematika: Menyadari Pentingnya Fasilitas Yang Memadai. *AL KHAWARIZMI: Jurnal Pendidikan Matematika*, 4(1), 50–60.
- Pramasdyahsari, A. (2023). Berpikir kritis matematis dan literasi matematika melalui digital book berbasis STEM PJBL. *Eureka Media Aksara*.
- Pratiwi, R. S., & Rachmadiarti, F. (2022). Pengembangan e-book berbasis Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM). In *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)* (Vol. 11, Issue 1).

- Purnomo, S., Rahayu, Y. S., & Agustini, R. (2023). Effectiveness of ADI-STEM to Improve Student's Science Literacy Skill. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 4(5). <https://doi.org/10.46245/ijorer.v4i5.382>
- Purwaningtyas, I. (2023). Pengaruh Etno-Komik Repong Damar Berbasis Stem Terhadap Literasi Sains Dan Ekoliterasi Peserta Didik. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 6, Issue November).
- Reyza, M., Taqwa, A., Ardiansyah, A. A., & Nurhidayat, M. A. (2020a). INDONESIAN JOURNAL OF EDUCATIONAL RESEARCH AND REVIEW STEM on Science Learning in Indonesia: An Opportunity and A Challenge. *Ejournal.Undiksha.Ac.Id*, 3.
- Reyza, M., Taqwa, A., Ardiansyah, A. A., & Nurhidayat, M. A. (2020b). STEM on Science Learning in Indonesia: An Opportunity and A Challenge. *Indonesian Journal of Educational Research and Review*, 3.
- Rinaldo, J., & Sukmayadi, Y. (2023). Pengembangan Modul Elektronik Seni Grafis Untuk Peserta Didik SMA. *Gorga: Jurnal Seni Rupa*, 12(1). <https://doi.org/10.24114/gr.v12i1.44151>
- Rizaldi, D. R., Nurhayati, E., & Fatimah, Z. (2020). The Correlation of Digital Literation and STEM Integration to Improve Indonesian Students' Skills in 21st Century. *International Journal of Asian Education*, 1(2). <https://doi.org/10.46966/ijae.v1i2.36>
- Roehrig, G., Keratithamkul, K., & Hiwatig, B. M. R. (2020). *Intersections of Integrated STEM and Socio-Scientific Issues*. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4558-4.ch009>
- Satriana, A. (2023). Peningkatan Literasi Data Melalui Model Discovery Learning Dengan Pendekatan Ilmu Pengetahuan Alam, Teknologi, Rekayasa Dan Matematika (STEM). *LOKAKARYA*, 2(1). <https://doi.org/10.30821/lokakarya.v2i1.2754>
- Simin, S., Yani T., A., & Bistari, B. (2021). Literasi Matematis Siswa Sekolah Menengah Atas dari Struktur Kognitif pada Konsep Limit Fungsi. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 6(1). <https://doi.org/10.31004/cendekia.v6i1.1112>
- Simin, T, A. Y., & Rostina. (2021). Pengembangan Bahan Ajar Konsep Limit Fungsi Untuk Memperkuat Literasi Matematis Siswa Berdasarkan Struktur Kognisi. *JPMI: Jurnal Pendidikan Matematika Indonesia*, 6(2).
- Subali, B., Ellianawati, 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). <https://doi.org/10.11591/ijere.v12i3.24794>
- Sudiansyah, S., Kurnianto, D., & T, A. Y. (2022). Peningkatan Kemampuan Pemecahan Masalah Siswa dalam Pembelajaran Matematika Melalui Model STEM Berbasis Microsoft Teams Sebagai Kelas Digital dan Aplikasi Wolfram Alpha. *Jurnal Basicedu*, 6(3). <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i3.2716>
- Suyidno, S., Fitriyani, F., Miriam, S., Mahtari, S., & Siswanto, J. (2022). STEM-Problem Based Learning: Pembelajaran Inovatif untuk Meningkatkan Literasi Sains Siswa di Era Industri 4.0. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 13(2). <https://doi.org/10.26877/jp2f.v13i2.11402>
- Tripon, C., & Gabureanu, S. (2020). Leading students to self-reflect about critical thinking in stem-evidence from gender differences. *JOURNAL OF EDUCATIONAL SCIENCES & PSYCHOLOGY*, 10(1).
- Usemahu, A., Wally, P., & ... (2022). Penerapan Blended Learning dengan Pendekatan STEM untuk Meningkatkan Literasi Sains dan Kemampuan Kognitif Siswa SMA. *BIOSEL (Biology Science ...)*, 11(2).
- Wang, L., & Chiang, F. K. (2020). Integrating novel engineering strategies into STEM education: APP design and an assessment of engineering-related attitudes. *British Journal of Educational Technology*, 51(6). <https://doi.org/10.1111/bjet.13031>

- Widiastuti, T., Pratiwi, U., Fatmaryanti, S. D., & al Hakim, Y. (2022). Praktikum Pengukuran Menggunakan Model Discovery Learning Untuk Meningkatkan Kemampuan Literasi Sains Peserta Didik di SMK Muhammadiyah Kutowinangun. *Lontar Physics Today*, 1(1). <https://doi.org/10.26877/lpt.v1i1.10456>
- Wulandari, F., & Hanim, M. (2023). Model Pembelajaran Inkuiri Terintegrasi Etno-STEM terhadap Kemampuan Literasi Sains Siswa. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(12). <https://doi.org/10.54371/jiip.v6i12.3121>
- Yamashita, T., Narine, D., Punksungka, W., Kramer, J. W., Karam, R., & Cummins, P. A. (2023). Associations Between Volunteering, STEM Backgrounds, and Information-Processing Skills in Adult Populations of the United States. *Social Indicators Research*, 169(3). <https://doi.org/10.1007/s11205-023-03201-x>
- Zahirah, D. F., & Sulistina, O. (2023). Efektifitas Pembelajaran STEM–Project-Based Learning Dalam Meningkatkan Kemampuan Literasi Sains Dan Berpikir Kreatif Siswa Pada Materi Keseimbangan Kimia. *UNESA Journal of Chemical Education*, 12(2). <https://doi.org/10.26740/ujced.v12n2.p121-131>