

Peran Matematika dalam Pendidikan STEM: Tinjauan Literatur Sistematis tentang Integrasi Kurikulum dan Pendekatan Pedagogis

Dewi Puji Lestari¹, Paskha Marini Thana^{2*}, Kamariah³

^{1,2,3}Universitas Musamus - Jl. Kamizaun, Mopah Lama, Merauke, 99611, Indonesia

*Penulis Korespondensi : email: paskhathana@unmus.ac.id

Diterima: 27 Juni 2025, Direvisi: 3 Juli 2025, Disetujui: 18 Juli 2024.

Abstract

STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) education is increasingly becoming a major focus in education, with the goal of equipping students with 21st-century skills. Mathematics serves as a foundation in STEM, supporting conceptual understanding in science and engineering. However, the integration of mathematics into the STEM curriculum remains a challenge, such as teacher readiness, curriculum flexibility, and the availability of supporting media and technology. This Systematic Literature Review (SLR) aims to examine the latest developments and future directions of STEM education with a focus on curriculum integration and pedagogical approaches involving mathematics. This study uses the PRISMA approach, selecting 48 articles from the Scopus database that are relevant to this topic. The results show that manipulative tools (concrete and virtual), interdisciplinary approaches, and educational technology play a significant role in the successful integration of mathematics into STEM. The main contribution of this study is to provide a thematic map of trends, approaches, and challenges in integrating mathematics, as well as suggesting directions for further research to develop adaptive and collaborative STEM learning models.

Keywords: *Mathematics Integration, Pedagogical Approach, STEM Education.*

Abstrak

Pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) semakin menjadi fokus utama dalam dunia pendidikan, dengan tujuan membekali siswa dengan keterampilan abad ke-21. Matematika berperan sebagai fondasi dalam STEM, mendukung pemahaman konsep dalam bidang sains dan teknik. Namun, integrasi matematika dalam kurikulum STEM masih menjadi tantangan, seperti kesiapan guru, fleksibilitas kurikulum, serta ketersediaan media dan teknologi pendukung. Kajian Sistematis Literatur (SLR) ini bertujuan untuk menelaah perkembangan terbaru dan arah masa depan pendidikan STEM dengan fokus pada integrasi kurikulum dan pendekatan pedagogis yang melibatkan matematika. Penelitian ini menggunakan pendekatan PRISMA, dengan memilih 48 artikel dari database Scopus yang relevan dengan topik ini. Hasil menunjukkan bahwa alat bantu manipulatif (konkret dan virtual), pendekatan interdisipliner, serta teknologi pendidikan memainkan peran penting dalam keberhasilan integrasi matematika dalam STEM. Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan peta tematik terkait tren, pendekatan dan tantangan dalam integrasikan matematika, serta menyarankan arah fokus penelitian selanjutnya untuk mengembangkan model pembelajaran STEM yang adaptif dan kolaboratif.

Kata Kunci: *Integrasi matematika, Pendekatan Pedagogis, Pendidikan STEM*

1. PENDAHULUAN

Pendidikan STEM telah menjadi salah satu prioritas utama dalam pengembangan kurikulum di berbagai negara. Pendekatan ini bertujuan untuk menghubungkan berbagai disiplin ilmu guna meningkatkan keterampilan pemecahan masalah, berpikir kritis, dan kreativitas siswa dalam menghadapi tantangan global [1]. Dalam konteks ini, matematika memiliki peran penting sebagai alat analisis dan dasar bagi berbagai konsep dalam sains dan teknik. Lebih dari sekadar komponen

teknis, matematika juga berfungsi sebagai sarana bagi siswa untuk memahami dunia di sekitar mereka serta berkontribusi dalam menciptakan solusi terhadap permasalahan nyata. Selain itu, penguasaan matematika juga menjadi kunci pembuka bagi kesempatan akademik dan profesional di masa depan, sehingga menjadikannya elemen strategis dalam pendidikan STEM interdisipliner. Hal ini didukung oleh penelitian [2], matematika juga dapat menjadi alat yang dapat digunakan siswa untuk memahami dan menciptakan perubahan dunia serta sebagai pintu gerbang menuju peluang akademis dimasa depan. Meskipun demikian, masih banyak penelitian yang menyoroti pentingnya pendidikan STEM, integrasi atau penerepan matematika dalam pembelajaran STEM masih menghadapi berbagai tantangan. Beberapa studi menunjukkan bahwa banyak guru masih mengalami kesulitan dalam mengajarkan matematika secara interdisipliner, terutama dalam mengaitkan konsep-konsep abstrak dengan aplikasi dunia nyata [3].

Penggunaan pendekatan berbasis proyek dan pembelajaran berbasis masalah dengan media nyata sudah banyak diterapkan dalam upaya meningkatkan pemahaman siswa dalam konteks pembelajaran STEM. didukung oleh *statement* [4], pendekatan ini dapat mendorong siswa untuk terlibat secara aktif dalam eksplorasi dan pemecahan masalah yang relevan dengan kehidupan nyata. Bukan hal aneh apabila pembelajaran diterapkan dengan menggunakan media nyata. Hal ini selaras dengan [5] saat mengajar matematika kepada siswa bukan hal tabu untuk menggunakan materi kongret sebagai ilustrasi. Namun, efektivitas penerapannya sangat bergantung pada berbagai faktor, seperti kesiapan guru dalam merancang dan memfasilitasi pembelajaran, ketersediaan sumber daya yang memadai, serta desain kurikulum yang fleksibel dan mendukung integrasi lintas disiplin [6]. Selain itu, penggunaan media nyata atau alat bantu konkret dapat semakin memperkuat pemahaman siswa, karena memungkinkan mereka untuk memvisualisasikan konsep abstrak dan mengaitkannya dengan situasi dunia nyata, sehingga proses pemecahan masalah menjadi lebih bermakna dan mudah dipahami [7], [8].

Dalam hal ini teknologi juga memainkan peran penting dalam pendidikan STEM [1]. Teknologi juga dapat membantu siswa dalam memahami pendidikan STEM dengan lebih baik didukung oleh *statement* [9] bahwa hal ini membantu pelajar memahami masalah dengan menggunakan teknologi untuk memvisualisasikan dan mendapatkan solusi untuk penyelesaiannya. Teknologi juga mengatur kurang lebih semua yang di lakukan orang dan semua sesuatu yang ada di sekitar mereka [10]. Studi terbaru menunjukkan bahwa penggunaan alat digital, seperti simulasi komputer dan kecerdasan buatan, dapat membantu siswa dalam memahami konsep matematika yang kompleks [11]. Namun, implementasi teknologi harus dilakukan dengan perencanaan yang matang agar tidak hanya menjadi elemen tambahan, tetapi

benar-benar meningkatkan pengalaman belajar siswa. Didukung oleh pendapat [12] bahwa teknologi harus digunakan di kelas untuk mendukung pembelajaran.

Kurikulum STEM yang efektif harus dirancang untuk menghubungkan matematika dengan disiplin ilmu lain secara alami dan bermakna. Salah satu pendekatan yang disarankan adalah mengembangkan program yang lebih adaptif dan berbasis pengalaman nyata, sehingga siswa dapat lebih mudah menghubungkan konsep-konsep yang dipelajari dengan dunia nyata [13]. Selain itu, pelatihan guru menjadi aspek yang krusial dalam keberhasilan integrasi matematika dalam STEM. Banyak penelitian menunjukkan bahwa guru yang mendapatkan pelatihan interdisipliner lebih mampu mengajarkan konsep matematika dalam konteks STEM dibandingkan mereka yang hanya memiliki latar belakang matematika secara tradisional [3]. Tantangan lain dalam pendidikan STEM adalah kurangnya sumber daya yang memadai, terutama di sekolah-sekolah dengan keterbatasan akses terhadap teknologi dan bahan ajar berbasis STEM. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan dukungan dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, institusi pendidikan, dan sektor industri guna menciptakan lingkungan belajar yang lebih kondusif [6]. Salah satu strategi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran STEM adalah melalui kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah dalam merancang kurikulum yang sesuai dengan kebutuhan dunia kerja [2].

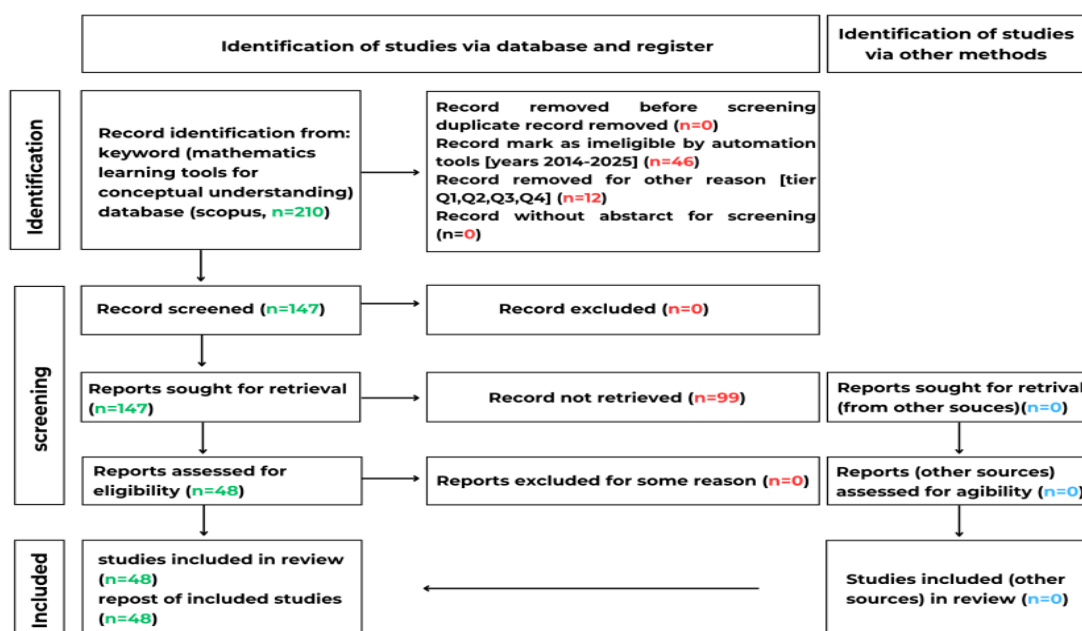
Dengan semakin berkembangnya teknologi dan kebutuhan akan tenaga kerja yang memiliki keterampilan STEM, pendidikan harus terus beradaptasi dan mengembangkan metode pengajaran yang lebih inovatif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi berbagai model kurikulum dan metode pengajaran dalam pendidikan STEM melalui kajian sistematis literatur (SLR) guna memberikan wawasan bagi pendidik dan pengembang kurikulum dalam merancang pendekatan yang lebih efektif.

2. METODE PENELITIAN

Kajian ini menggunakan metode kajian literatur sistematis (*systematic literature review* atau SLR). *Systematic literature review* merupakan suatu istilah yang digunakan dalam metode penelitian untuk melakukan riset data untuk mengumpulkan dan mengevaluasi topik tertentu [14]. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi secara mendalam tentang integrasi matematika dalam pendidikan STEM, terutama dalam segi kurikulum dan pendekatan pedagogis. Metode ini dapat mempermudah dalam menemukan literatur yang sesuai dengan topik atau permasalahan yang ingin diteliti [15].

Jenis penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) yang digambarkan pada Gambar 1 sebagai kerangka kerja utamanya. Pendekatan PRISMA dipilih karena memberikan pedoman yang jelas dan terstandar untuk menerapkan tinjauan literatur secara sistematis, yang mencakup langkah-langkah seperti identifikasi, penyaringan, seleksi, dan pelaporan artikel. Proses sistematis ini memungkinkan setiap artikel yang dianalisis memenuhi kriteria kualitas tertentu dan memiliki hak untuk memiliki nilai.



Gambar 1. PRISMA perolehan artikel

Subjek, populasi dan sampel

Objek kajian merupakan dokumen ilmiah yang berupa artikel jurnal yang telah dipublikasikan dan terindeks dalam database Scopus, yang diakui secara internasional. Artikel yang membahas tema integrasi matematika dalam pendidikan STEM yang diterbitkan antara tahun 2014 – 2025. Artikel yang dipilih dianalisis berdasarkan kesesuaiannya dengan konteks integrasi matematika dalam STEM, pendekatan pedagogis yang digunakan (seperti pembelajaran berbasis proyek, pemanfaatan teknologi, dan alat bantu konkret), serta kontribusinya terhadap pengembangan kurikulum atau strategi pembelajaran di berbagai jenjang pendidikan.

Kriteria inklusi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: (1) artikel yang membahas integrasi matematika dalam pendidikan STEM, (2) memiliki fokus pada pendekatan pedagogis atau kurikulum interdisipliner, (3) di publikasi antara tahun 2014 – 2025, dan (4) tersedia dalam teks lengkap (*full-text*). Adapun kriteria eksklusi meliputi: (1) artikel duplikat, (2) artikel yang

tidak memuat pendekatan atau data yang relevan dengan topik STEM-matematika, dan (3) artikel yang hanya berupa opini tanpa dasar penelitian empiris.

Pengumpulan data

Dalam tahap pengumpulan data terdiri dari 4 tahap pada alur prisma. Tahap pertama yaitu tahap identifikasi, peneliti melakukan pencarian artikel di database Scopus dengan menggunakan kombinasi kata kunci seperti: “*STEM education*”, “*mathematics integration*”, “*interdisciplinary curriculum*”, “*pedagogical approach*”, “*mathematics in STEM*”. Dari hasil pencarian awal, diperoleh sebanyak 210 artikel potensial. Selanjutnya Tahap kedua yaitu penyaringan (*screening*) artikel yang tidak relevan, duplikat, atau tidak tersedia dalam *full-text* disaring dan dikeluarkan dari proses. Pada tahap ini, hanya artikel dengan abstrak dan judul yang mengandung relevansi topik dipertahankan, sehingga jumlah artikel berkurang menjadi 147. Tahap ketiga yaitu seleksi kelayakan (*eligibility*), peneliti membaca secara menyeluruh isi artikel untuk memastikan kesesuaian dengan kriteria inklusi, seperti fokus pada integrasi matematika dalam konteks STEM, penggunaan pendekatan pedagogis tertentu, dan kontribusi terhadap pengembangan kurikulum. Pada tahap ini, tersisa 99 artikel. Dan tahap ke empat tahap inklusi (*included*) setelah proses seleksi akhir berdasarkan kelengkapan informasi dan kualitas metodologi, 48 artikel dianggap memenuhi syarat dan digunakan dalam proses analisis akhir.

Analisis data

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan secara tematik, yang berarti mengidentifikasi dan mengkategorikan tema-tema utama dari artikel yang dikaji. Pengkodean manual dan klasifikasi isi artikel dilakukan dalam proses ini. Fokusnya termasuk peran matematika dalam STEM, pendekatan kurikulum, strategi pedagogis, penggunaan teknologi, keterlibatan guru, dan hasil pembelajaran siswa. Peneliti juga mengklasifikasikan artikel berdasarkan jenis penelitian (kuantitatif, kualitatif, atau campuran). Untuk membuat hasil analisis lebih terstruktur dan mudah difahami, Microsoft Excel digunakan untuk mengolah dan menyajikan data, termasuk menyusun tabel, grafik, dan peta tematik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian

Dari 210 artikel yang ditemukan pada tahap awal, proses seleksi yang ketat berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi digunakan untuk memilih 48 artikel untuk digunakan sebagai sampel utama dalam analisis. Berikut ada 48 artikel yang dianalisis dan disajikan pada Tabel 1.

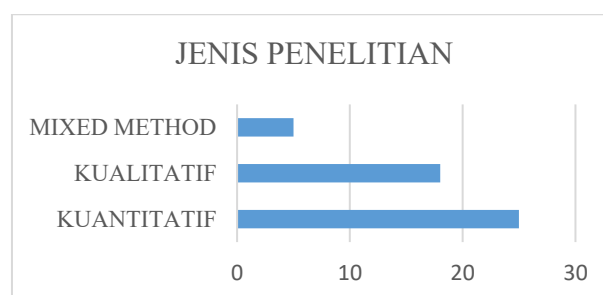
Tabel 1. Artikel yang dianalisis

No	Artikel	Tahun	Jenis Penelitian	Fokus Utama	Keterbatasan
1	[16]	2024	kuantitatif	Pembelajaran matematika	Terbatas pada tingkat kelas tertentu
2	[17]	2024	kuantitatif	Alat pembelajaran digital	Dua Universitas terbatas
3	[18]	2024	kuantitatif	Teknik kontruksi	Terbatas pada sampel kecil dan durasi intervensi yang singkat.
4	[19]	2024	kuantitatif	Pembelajaran analisis numerik	Ukuran sampel kecil dan penggunaan pertama Practi dalam analisis numerik
5	[20]	2024	kuantitatif	Pendidikan Statistik & Keberlanjutan	Terbatas pada sekelompok kecil guru di daerah tertentu
6	[7]	2023	kuantitatif	Manipulatif dalam Penilaian Matematika	Terbatas pada penghitungannya, kardinalitas, dan identifikasi bentuk
7	[21]	2023	kuantitatif	Penilaian & pembelajaran	Generalisasi terbatas karena studi yang dilakukan di satu institusi; kurangnya bukti kausal
8	[22]	2023	kuantitatif	Interpretasi Data Grafis dalam Sains & Matematika	Ukuran sampel terbatas; dilakukan di satu setting sekolah; hasilnya mungkin tidak dapat digeneralisasi ke konteks pendidikan lain
9	[5]	2023	kuantitatif	Manipulatif & Bahasa dalam Pembelajaran	Durasi intervensi singkat; fokus pada satu konsep (pembagian yang setara); generalisasi terbatas untuk anak-anak yang lebih tua dan konsep matematika lainnya
10	[23]	2023	kuantitatif	Pembelajaran Aktif & Inklusivitas dalam Mammalogi	Ukuran sampel terbatas; bias seleksi diri dalam responden survei; fokus pada pengajaran yang berbasis di USA
11	[24]	2022	kuantitatif	Sikap terhadap masalah kata	Terbatas pada dua distrik di Uganda; kurangnya wawasan kualitatif dari guru
12	[25]	2022	kuantitatif	Pembelajaran Nilai Tempat melalui Manipulatif dan Koneksi Simbol	Intervensi satu sesi; tidak ada kontrol manipulatif; jumlah pelatihan dan item Tugas Blok yang terbatas
13	[26]	2021	kuantitatif	Efek Diferensial VM vs. CM, Efisiensi Waktu, dan Validitas Sosial dalam Pembelajaran Pecahan	Ukuran sampel kecil; durasi intervensi singkat; tidak ada grup kontrol tanpa manipulatif; generalisasi terbatas
14	[27]	2021	kuantitatif	Pembelajaran Mesin dalam Sains, Optik Kuantum, Elektronik Organik	Tidak ada validasi eksperimen langsung, biaya komputasi untuk pengujian hipotesis
15	[28]	2021	kuantitatif	Representasi medan vektor	Terbatas pada mahasiswa universitas, membutuhkan validasi di sekolah menengah

16	[10]	2021	kuantitatif	Teknologi dalam matematika	Generalisasi terbatas di luar wilayah studi
17	[4]	2020	kuantitatif	Pembelajaran matematika	Studi dilakukan dalam pengaturan laboratorium yang terkontrol, yang mungkin tidak dapat digeneralisasi ke kelas nyata
18	[29]	2020	kuantitatif	Pemodelan Video dalam Matematika	Ukuran sampel kecil
19	[13]	2019	kuantitatif	Pemahaman konsep dalam aljabar	Studi terbatas pada konteks pendidikan dan kelompok usia tertentu, yang mungkin memengaruhi generalisasi
20	[30]	2019	kuantitatif	Efisiensi pembelajaran matematika pada siswa ASD	Terbatas pada ukuran sampel kecil dan pengaturan pendidikan tertentu
21	[8]	2017	kuantitatif	Pemahaman konseptual tentang perkalian	Sampel terbatas dari guru prajabatan tingkat menengah, mengurangi generalisasi
22	[31]	2017	kuantitatif	Manipulative dalam matematika	Fokus hanya pada nilai tempat
23	[32]	2016	kuantitatif	Simulasi Komputer & Animasi	Terbatas pada dinamika teknik
24	[33]	2015	kuantitatif	Pengurangan kongkrit	Terbatas pada masalah ekivalensi matematika
25	[12]	2015	kuantitatif	Fabrikasi digital dalam pembelajaran	Fokus hanya pada area permukaan
26	[2]	2024	kualitatif	Pedagogi yang Relevan Secara Budaya dalam Matematika	Fokus pada tiga guru di satu distrik, membatasi generalisasi
27	[34]	2024	kualitatif	Hubungan matematis dalam buku teks	Terbatas pada dua seri buku teks, mungkin tidak dapat digeneralisasi ke kurikulum lain
28	[35]	2024	kualitatif	Geometri lingkaran	Penelitian ini terbatas pada satu sekolah, sampel kecil, fokus topik sempit, potensi bias guru, dan belum mengukur dampak jangka panjang
29	[6]	2024	kualitatif	E-Text	Terbatas pada satu universitas dan wawancara daring karena COVID-19
30	[36]	2023	kualitatif	Makerspace pemograman	Terbatas pada satu pengaturan pendidikan
31	[37]	2023	kualitatif	Mendengarkan guru	Terbatas pada ukuran sampel kecil dan konteks pendidikan tertentu
32	[38]	2022	kualitatif	Representasi visiospatial	Terbatas pada tugas aritmatika tertentu dan rentang usia siswa
33	[39]	2022	kualitatif	Orkestrasi guru	Terbatas pada dua konteks budaya (AS dan Jepang)
34	[3]	2022	kualitatif	Matematika dalam teknik	Terbatas pada satu institusi

35	[40]	2021	kualitatif	Alat digital dalam pembelajaran	terbatas pada dua kelompok siswa unggulan dalam setting laboratorium, sehingga hasilnya kurang representatif secara umum
36	[41]	2021	kualitatif	Perantara pengetahuan	Terbatas pada pendidikan matematika
37	[11]	2019	kualitatif	Agen Material dalam Pembelajaran	Terbatas pada studi kelas tunggal
38	[42]	2019	kualitatif	Media social dalam pembelajaran	Tantangan dalam menilai hasil belajar
39	[43]	2018	kualitatif	Penalaran fungsional dalam perkalian	Terbatas pada pengaturan sekolah tertentu
40	[44]	2018	kualitatif	Pembelajaran visual dalam geometri	Kendala teknis dan infrastruktur
41	[45]	2016	kualitatif	Penalaran relasional	Terbatas pada studi empiris tentang implementasi langsung di kelas
42	[9]	2015	kualitatif	Kurikulum matematika singapura	Tantangan dalam menerapkan Kurikulum Matematika Singapura (SMC) secara bersamaan di semua tingkat kelas, kesulitan dengan model batang, dan hambatan bahasa
43	[46]	2015	kualitatif	Pembelajaran trigonometri	Ukuran sampel kecil (hanya lima siswa)
44	[47]	2024	Mixed method	Konsep turunan	Berlaku untuk mahasiswa dan topik pengantar
45	[48]	2019	Mixed method	Strategi pengajaran matematika	Konten matematika masih didominasi oleh topik dasar seperti eperasi bilangan
46	[49]	2017	Mixed method	Manipulative pembelajaran	Banyak siswa disabilitas yang tidak cocok dengan manipulative karena keterbatasan fisik
47	[50]	2022	Mixed method	Pelatihan spasial kemampuan matematika	Fokus hanya pada visualisasi spasial
48	[1]	2024	Mixed method	Integrasi matematika dalam pendidikan STEM	Peran matematika yang masih di anggap alat bantu

Kajian sistematis ini menganalisis sebanyak 48 artikel yang dipublikasikan antara tahun 2015 sampai 2024, berkaitan dengan integrasi matematika dalam pendidikan STEM.



Gambar 2. Data Jenis Penelitian

Gambar 2 menunjukkan distribusi jenis penelitian yang mengkaji topik mengenai “Peran matematika dalam pendidikan STEM, Integrasi Kurikulum dan Pendekatan Pedagogis”. Dari 48 artikel yang dianalisis terdapat 25 penelitian kuantitatif, 18 penelitian kualitatif, dan 5 menggunakan pendekatan campuran (*mixed method*). Kajian ini mengutamakan penggunaan alat bantu manipulatif (baik virtual maupun konkret), integrasi interdisipliner dalam kurikulum, pendekatan pedagogis, dan penggunaan teknologi dalam proses pengajaran matematika.

a. Manipulatif konkret dan virtual sebagai pendekatan pembelajaran

Sebagian besar penelitian yaitu sebanyak 34 dari 48 artikel yang dianalisis menunjukkan bahwa penggunaan alat bantu fisik dan digital memiliki pengaruh besar terhadap hasil pembelajaran matematika siswa. Siller & Ahmad [16] menyatakan bahwa pendekatan gabungan yang menggunakan alat manipulatif fisik dan virtual secara bersamaan secara signifikan dapat meningkatkan prestasi matematika siswa di tingkat sekolah dasar. Penelitian serupa oleh Farra [18] mengindikasikan bahwa siswa yang belajar tentang pecahan dengan bantuan alat manipulatif menunjukkan peningkatan pemahaman yang lebih baik dibandingkan dengan kelompok yang tidak menggunakan alat tersebut.

Di sisi lain, Vessonon [26] menyelidiki suatu perbedaan efek antara manipulatif digital dan fisik pada siswa kelas 4 dan 5 dalam pembelajaran topik pecahan, dan menemukan bahwa manipulatif digital memberikan efek yang lebih besar dalam penguasaan keterampilan teknis. Donovan & Fyfe [25] juga mengaitkan objek nyata dengan simbol-simbol abstrak dapat memperkuat pemahaman konsep nilai tempat pada siswa yang lebih muda. Temuan ini didukung oleh O’Rear [7] yang meneliti peran alat bantu manipulatif dalam mengevaluasi kemampuan numerasi dan geometri di tingkat prasekolah, menyimpulkan bahwa keberadaan manipulatif fisik sangat penting untuk membangun landasan konsep spasial dan numerik.

b. Peran teknologi dalam integrasi matematika dalam pendidikan STEM

Aspek teknologi menjadi fokus utama dalam sekitar sepertiga artikel yang dianalisis yaitu sebanyak 16 artikel. Cutumisu [19] menunjukkan melalui aplikasi PractiQ bahwa siswa yang memanfaatkan aplikasi ini mengalami perkembangan dalam analisis numerik. Liburd & Jen [10] dalam penelitian di kawasan Karibia mengungkapkan bahwa penerapan metode berbasis teknologi dalam pengajaran matematika memberikan peningkatan hasil yang signifikan pada tingkat SMA. Di sisi lain, Rzyankina [6] menilai buku elektronik dalam bidang matematika teknik dan menyatakan bahwa fitur interaktif dapat membantu siswa memahami konsep-konsep rumit dengan lebih baik.

Studi oleh Cheung [5] juga menarik, yang membahas sejauh mana mengonkretkan objek manipulatif baik secara visual maupun simbolis mempengaruhi cara pandang siswa dalam proses belajar. Temuan mereka menunjukkan bahwa pandangan terhadap objek konkret dan istilah yang digunakan juga berpengaruh pada keberhasilan alat bantu pengajaran.

c. Tantangan pada guru dalam implementasi

Salah satu isu yang sering muncul adalah perbedaan antara standar kurikulum STEM dan kemampuan para guru dalam menjalankannya. Dalam penelitian kualitatif yang dilakukan oleh Thomas [2] ditemukan bahwa banyak pengajar mengalami tantangan saat menerapkan pendekatan yang interdisipliner. Tantangan tersebut antara lain kesulitan dalam merancang pembelajaran interdisipliner yang menghubungkan konsep matematika dengan sains dan teknologi. Keterbatasan pengetahuan mengenai penggunaan media digital dan alat bantu manipulatif secara efektif, rendahnya kepercayaan diri guru dalam menginovasikan pembelajaran, dan juga beban administrasi yang sangat tinggi yang membatasi waktu perencanaan pembelajaran yang lebih mendalam.

Hal yang sama juga dinyatakan oleh Abakah & Brijlall [35] yang mengembangkan metode penilaian untuk pembelajaran geometri lingkaran, tetapi mendapati bahwa para guru masih mengalami kesulitan dalam menggunakan pendekatan yang fokus pada proses. Naroht & Luneta [9] menunjukkan bahwa penerapan kurikulum matematika yang diadaptasi dari Singapura di Afrika Selatan terhambat oleh perbedaan konteks sosial dan kurangnya kesiapan guru setempat.

d. Evaluasi dan asesmen dalam pembelajaran matematika berbasis STEM

Beberapa tulisan juga mengkaji alat penilaian dalam pendidikan STEM yang berfokus pada matematika. Li & Fan [34] menerapkan Analisis Jaringan Sosial (SNA) untuk mengevaluasi hubungan antara masalah dalam buku matematika dari Amerika dan Tiongkok. Temuan mereka menunjukkan bahwa buku-buku pelajaran dari kedua negara memiliki perbedaan yang jelas dalam hal struktur dan cara penyampaian materi. Di sisi lain, Jones [13], memperkenalkan pendekatan *comparative judgement* untuk menilai pemahaman konsep matematika siswa dengan cara yang lebih adil dan adaptif.

Pembahasan

Hasil dari telaah sistematis ini menunjukkan bahwa peran matematika dalam pendidikan STEM sangat krusial, baik sebagai dasar keilmuan maupun sebagai alat konektif yang menghubungkan berbagai disiplin. Keberadaan alat bantu manipulatif, baik fisik maupun digital, dapat menjembatani kesenjangan pemahaman antara konsep abstrak dan konteks nyata, terutama bagi siswa di tingkat pendidikan dasar. Hal ini sejalan dengan prinsip pembelajaran konstruktivis

yang menekankan pengalaman langsung dalam membangun pengetahuan. Pemanfaatan teknologi juga dalam proses pembelajaran atau belajar mengajar matematika juga menunjukkan potensi yang sangat besar, terutama dalam meningkatkan visualisasi konsep dan memperkuat interaktivitas. Namun, teknologi tidak serta-merta menjadi solusi otomatis. Efektivitasnya bergantung pada kompetensi pedagogik guru, keterpaduan kurikulum, dan dukungan infrastruktur pendidikan. Maka dari itu, integrasi teknologi harus dirancang secara strategis, tidak sekadar menjadi pelengkap, tetapi benar-benar menyatu dalam proses belajar.

Tantangan terbesar dalam integrasi matematika dalam STEM terletak pada kesiapan guru dan struktur kurikulum. Guru yang belum memiliki pelatihan lintas disiplin cenderung mengajarkan matematika secara terpisah dari sains atau teknologi. Ini menyebabkan pembelajaran kehilangan relevansi kontekstual yang menjadi kekuatan utama pendekatan STEM. Oleh karena itu, perlu adanya penguatan program pelatihan guru yang menekankan pada pembelajaran kolaboratif, berbasis proyek, dan berbasis masalah. Dalam hal evaluasi pembelajaran, pendekatan baru seperti *comparative judgement* dan *social network analysis* memberikan alternatif yang lebih adaptif dan reflektif terhadap capaian pembelajaran siswa. Evaluasi tidak hanya mengukur hasil, tetapi juga memetakan pemahaman konseptual siswa dalam konteks lintas disiplin.

Secara keseluruhan, temuan dalam kajian ini mendukung urgensi reformasi pembelajaran matematika dalam konteks STEM. Usaha untuk mengintegrasikan matematika dalam STEM tidak bisa dilakukan secara sporadis atau sesekali. Diperlukan pendekatan yang komprehensif yang mencakup pengembangan media pembelajaran yang adaptif, integrasi teknologi secara terencana, peningkatan pelatihan guru yang berkelanjutan, serta dukungan kebijakan dari tingkat institusi hingga pemerintah.

Sistem pendidikan STEM yang efektif harus mampu membuat siswa mengidentifikasi hubungan antar bidang ilmu, berpikir kritis, dan menyelesaikan masalah yang ditemui di dunia nyata dimana semuanya tidak mungkin tercapai tanpa adanya dasar matematika yang kuat dan relevan. Dengan demikian, pendidikan STEM yang kuat hanya dapat terwujud jika matematika ditempatkan sebagai penggerak utama, bukan sekadar komponen pendukung.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian sistematis terhadap 48 artikel terpilih yang dianalisis dengan pendekatan PRISMA, diperoleh pemahaman bahwa integrasi matematika dalam pendidikan STEM memiliki peran yang sangat penting dalam membangun pembelajaran yang interdisipliner, relevan, dan bermakna. Matematika tidak sekadar berfungsi sebagai elemen pendukung,

tetapi berperan juga sebagai dasar utama yang membantu siswa untuk memahami konsep sains dan teknologi secara lebih mendalam. Berbagai penelitian mengungkapkan bahwa penggunaan alat bantu manipulatif baik yang nyata maupun virtual serta media digital dan teknologi interaktif secara signifikan dapat meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa dalam pembelajaran matematika berbasis STEM. Namun, penerapan strategi tersebut masih menghadapi berbagai tantangan, seperti rendahnya kesiapan guru untuk menerapkan pendekatan multidisiplin, kekurangan sumber daya pendidikan, kurangnya fleksibilitas dalam kurikulum, serta ketidakmerataan akses terhadap fasilitas teknologi di beberapa wilayah.

Temuan ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap penelitian di bidang pendidikan STEM dengan memperlihatkan peta tren terbaru, metode pengajaran yang efisien, serta tantangan umum yang dihadapi dalam proses penggabungan matematika. Kajian ini menekankan bahwa kesuksesan integrasi sangat dipengaruhi oleh peran pendidik sebagai pengarah pembelajaran kontekstual, pentingnya pelatihan yang berkelanjutan, serta kurikulum yang dirancang guna mendukung kerja sama antar mata pelajaran. Penelitian ini juga menekankan penggunaan teknologi sebagai alat untuk menggambarkan konsep-konsep abstrak, yang memungkinkan siswa untuk menghubungkan matematika dengan kehidupan sehari-hari dan menyelesaikan masalah dengan cara yang kreatif. Oleh karena itu, pendekatan STEM yang efektif tidak hanya perlu menyediakan materi, tetapi juga harus mampu memenuhi beragam kebutuhan belajar siswa melalui metode pembelajaran yang fleksibel, interaktif, dan berdasarkan pengalaman nyata.

Oleh sebab itu, demi memperkuat implementasi pendidikan STEM di masa depan, disarankan agar penelitian selanjutnya merancang dan menguji model pembelajaran lintas disiplin yang berfokus pada proyek serta secara jelas menggabungkan elemen matematika. Penelitian lebih lanjut juga bisa diarahkan untuk menilai seberapa efektif penggunaan alat peraga dan teknologi digital dalam berbagai situasi pendidikan formal, termasuk di wilayah yang memiliki keterbatasan sumber daya. Selain itu, penting untuk mengkaji berbagai pendekatan pelatihan guru yang tidak hanya terfokus pada aspek teknis, tetapi juga mendorong perubahan cara mengajar menuju pembelajaran yang kolaboratif antar disiplin. Dengan adanya dukungan dari kebijakan pendidikan, pelatihan profesional yang berkelanjutan, serta kerjasama antara lembaga pendidikan, pemerintah, dan industri, sistem pendidikan STEM yang solid dan terintegrasi bisa diwujudkan, menjadikan matematika sebagai inti dalam membekali siswa dengan keterampilan yang dibutuhkan di abad ke-21.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Goos, S. Carreira, and I. K. Namukasa, “Mathematics and interdisciplinary STEM education: recent developments and future directions,” *ZDM - Math. Educ.*, vol. 55, no. 7, pp. 1199–1217, Dec. 2023, doi: 10.1007/s11858-023-01533-z.
- [2] C. A. Thomas, R. Q. Berry, and R. Sebastian, “Examining the elements of culturally relevant pedagogy captured and missed in a measure of high-quality mathematics instruction,” *ZDM - Math. Educ.*, Oct. 2024, doi: 10.1007/s11858-024-01595-7.
- [3] T. Bolstad, I. M. Høyvik, L. Lundheim, M. Nome, and F. Rønning, “Study programme driven engineering education: interplay between mathematics and engineering subjects,” *Teach. Math. its Appl.*, vol. 41, no. 4, pp. 329–344, Dec. 2022, doi: 10.1093/teamat/hrac010.
- [4] K. J. Carbonneau, R. M. Wong, and N. Borysenko, “The influence of perceptually rich manipulatives and collaboration on mathematic problem-solving and perseverance,” *Contemp. Educ. Psychol.*, vol. 61, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.cedpsych.2020.101846.
- [5] S. K. Cheung, W. W. L. Chan, and J. L. Y. Kwan, “An investigation into the concreteness of manipulatives in mathematical instruction: Do the object and its label matter?,” *Early Child. Res. Q.*, vol. 65, pp. 275–283, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.ecresq.2023.07.005.
- [6] E. Rzyankina, F. George, and Z. Simpson, “Enhancing Conceptual Understanding in Engineering Mathematics Through E-Textbooks,” *IEEE Trans. Educ.*, vol. 67, no. 4, pp. 534–541, 2024, doi: 10.1109/TE.2024.3387102.
- [7] C. D. O’Rear, E. L. Zippert, P. Ehrman, L. Westerberg, C. J. Lonigan, and D. J. Purpura, “Use them or lose them: Are manipulatives needed to assess numeracy and geometry performance in preschool?,” *Infant Child Dev.*, vol. 32, no. 5, Sep. 2023, doi: 10.1002/icd.2444.
- [8] S. S. Pratt, “Area models to image integer and binomial multiplication,” *Investig. Math. Learn.*, vol. 10, no. 2, pp. 85–105, 2018, doi: 10.1080/19477503.2017.1375352.
- [9] C. Narothen and K. Luneta, “Implementing the Singapore mathematics curriculum in South Africa: Experiences of foundation phase teachers,” *African J. Res. Math. Sci. Technol. Educ.*, vol. 19, no. 3, pp. 267–277, 2015, doi: 10.1080/10288457.2015.1089675.
- [10] K. K. D. Liburd and H. Y. Jen, “Investigating the effectiveness of using a technological approach on students’ achievement in mathematics—case study of a high school in a Caribbean country,” *Sustain.*, vol. 13, no. 10, May 2021, doi: 10.3390/su13105586.
- [11] T. White, “Artifacts, Agency and Classroom Activity: Materialist Perspectives on Mathematics Education Technology,” *Cogn. Instr.*, vol. 37, no. 2, pp. 169–200, 2019, doi:

- 10.1080/07370008.2019.1578775.
- [12] K. Corum and J. Garofalo, “Using Digital Fabrication to Support Student Learning,” *3D Print. Addit. Manuf.*, vol. 2, no. 2, pp. 50–55, Jun. 2015, doi: 10.1089/3dp.2015.0008.
- [13] I. Jones, M. Bisson, C. Gilmore, and M. Inglis, “Measuring conceptual understanding in randomised controlled trials: can comparative judgement help?”
- [14] L. - and M. Suryani, “Metode SLR untuk Mengidentifikasi Isu-Isu dalam Software Engineering,” *SATIN - Sains dan Teknol. Inf.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2018, doi: 10.33372/stn.v3i1.347.
- [15] G. Mutaqin, F. P. Admaja, M. H. Devi, and M. A. Yaqin, “Survei Metode Penilaian Resiko Proyek Menggunakan System Literature Review (SLR),” vol. 4, no. 3, pp. 346–350, 2022.
- [16] H. S. Siller and S. Ahmad, “The Effect of Concrete and Virtual Manipulative Blended Instruction on Mathematical Achievement for Elementary School Students,” *Can. J. Sci. Math. Technol. Educ.*, Jun. 2024, doi: 10.1007/s42330-024-00336-y.
- [17] E. Saparbayeva, M. Abdualiyeva, Y. Torebek, N. Madiyarov, and A. Tursynbayev, “Leveraging digital tools to advance mathematics competencies among construction students,” *Cogent Educ.*, vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.1080/2331186X.2024.2319436.
- [18] N. K. Al Farra, S. Belbase, H. Tairab, A. Qablan, M. P. Opoku, and S. K. Safi, “Impact of using virtual and concrete manipulatives on students’ learning of fractions,” *Cogent Educ.*, vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.1080/2331186X.2024.2379712.
- [19] M. Cutumisu, K. Garn, and R. J. Spiteri, “Assessing Numerical Analysis Performance with the Practi Mobile App,” *Educ. Sci.*, vol. 14, no. 4, Apr. 2024, doi: 10.3390/educsci14040404.
- [20] J. Franco Seguí, Á. Alsina, and C. Vásquez, “Teaching Statistics for Sustainability across Contexts: Exploring the Knowledge and Beliefs of Teachers,” *Sustain.*, vol. 16, no. 2, Jan. 2024, doi: 10.3390/su16020692.
- [21] T. Evans and I. Jeong, “Concept maps as assessment for learning in university mathematics,” *Educ. Stud. Math.*, vol. 113, no. 3, pp. 475–498, Jul. 2023, doi: 10.1007/s10649-023-10209-0.
- [22] J. Watson, N. Fitzallen, and B. Kelly, “Interpolation and extrapolation in Year 5 STEM activities: exploring data about viscosity without advanced statistics,” *Math. Educ. Res. J.*, Dec. 2023, doi: 10.1007/s13394-023-00473-x.
- [23] E. A. Flaherty *et al.*, “Teaching Mammalogy in the 21st century: advances in undergraduate education,” *J. Mammal.*, vol. 104, no. 4, pp. 655–666, Aug. 2023, doi:

- 10.1093/jmammal/gyac121.
- [24] R. Wakhata, V. Mutarutinya, and S. Balimuttajjo, “Secondary school students’ attitude towards mathematics word problems,” *Humanit. Soc. Sci. Commun.*, vol. 9, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1057/s41599-022-01449-1.
- [25] A. M. Donovan and E. Fyfe, “Connecting concrete objects and abstract symbols promotes children’s mathematics learning,” Jun. 21, 2019. doi: 10.31234/osf.io/ye2j6.
- [26] T. Vessonen, A. Hakkarainen, E. Väisänen, A. Laine, P. Aunio, and J. C. Gagnon, “Differential Effects of Virtual and Concrete Manipulatives in a Fraction Intervention on Fourth and Fifth Grade Students’ Fraction Skills,” *Investig. Math. Learn.*, vol. 13, no. 4, pp. 323–337, 2021, doi: 10.1080/19477503.2021.1982586.
- [27] P. Friederich, M. Krenn, I. Tamblyn, and A. A. Guzik, “Scientific intuition inspired by machine learning-generated hypotheses,” *Mach. Learn. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 2, Jun. 2021, doi: 10.1088/2632-2153/abda08.
- [28] S. Küchemann *et al.*, “Inventory for the assessment of representational competence of vector fields,” *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, vol. 17, no. 2, Dec. 2021, doi: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020126.
- [29] G. Yakubova, E. M. Hughes, and B. B. Chen, “Teaching students with ASD to solve fraction computations using a video modeling instructional package,” *Res. Dev. Disabil.*, vol. 101, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.ridd.2020.103637.
- [30] L. Bassette *et al.*, “A Comparison of Manipulative Use on Mathematics Efficiency in Elementary Students With Autism Spectrum Disorder,” *J. Spec. Educ. Technol.*, vol. 35, no. 4, pp. 179–190, Dec. 2020, doi: 10.1177/0162643419854504.
- [31] H. P. Osana, E. Adrien, and N. Duponsel, “Effects of instructional guidance and sequencing of manipulatives and written symbols on second graders’ numeration knowledge,” *Educ. Sci.*, vol. 7, no. 2, Jun. 2017, doi: 10.3390/educsci7020052.
- [32] N. Fang and Y. Guo, “Interactive computer simulation and animation for improving student learning of particle kinetics,” *J. Comput. Assist. Learn.*, vol. 32, no. 5, pp. 443–455, Sep. 2016, doi: 10.1111/jcal.12145.
- [33] E. R. Fyfe, N. M. McNeil, and S. Borjas, “Benefits of ‘concreteness fading’ for children’s mathematics understanding,” *Learn. Instr.*, vol. 35, pp. 104–120, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.learninstruc.2014.10.004.
- [34] S. Li and L. Fan, “Using social network analysis to investigate mathematical connections in U.S. and Chinese textbook problems,” *Humanit. Soc. Sci. Commun.*, vol. 11, no. 1, Dec.

2024, doi: 10.1057/s41599-024-02991-w.

- [35] F. Abakah and D. Brijlall, “Finding an Effective Assessment Approach to Enhance the Teaching and Learning of Circle Geometry,” *Africa Educ. Rev.*, 2024, doi: 10.1080/18146627.2024.2402772.
- [36] A. I. Mørch, E. E. Flø, K. T. Litherland, and R. Andersen, “Makerspace activities in a school setting: Top-down and bottom-up approaches for teachers to leverage pupils’ making in science education,” *Learn. Cult. Soc. Interact.*, vol. 39, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.lcsi.2023.100697.
- [37] A. R. English, K. Tyson, A. Hintz, D. Murdoch, and J. Anderson, “Pedagogical listening: understanding how teachers listen to student struggle during mathematical sense-making discussions,” *Teach. Teach. Theory Pract.*, 2023, doi: 10.1080/13540602.2023.2263738.
- [38] C. Finesilver, “Beyond categories: dynamic qualitative analysis of visuospatial representation in arithmetic,” *Educ. Stud. Math.*, vol. 110, no. 2, pp. 271–290, Jun. 2022, doi: 10.1007/s10649-021-10123-3.
- [39] L. Xu and C. Mesiti, “Teacher orchestration of student responses to rich mathematics tasks in the US and Japanese classrooms,” *ZDM - Math. Educ.*, vol. 54, no. 2, pp. 273–286, May 2022, doi: 10.1007/s11858-021-01322-6.
- [40] M. van Dijke-Droogers, P. Drijvers, and A. Bakker, “Statistical modeling processes through the lens of instrumental genesis,” *Educ. Stud. Math.*, vol. 107, no. 2, pp. 235–260, Jun. 2021, doi: 10.1007/s10649-020-10023-y.
- [41] J. Rodway, S. MacGregor, A. Daly, Y. H. Liou, S. Yonezawa, and M. Pollock, “A network case of knowledge brokering,” *J. Prof. Cap. Community*, vol. 6, no. 2, pp. 148–163, Mar. 2021, doi: 10.1108/JPCC-11-2020-0089.
- [42] B. Gleason and S. Manca, “Curriculum and instruction: pedagogical approaches to teaching and learning with Twitter in higher education,” *Horiz.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–8, Mar. 2020, doi: 10.1108/OTH-03-2019-0014.
- [43] M. Askew, “Multiplicative reasoning: teaching primary pupils in ways that fokus on functional relations,” *Curric. J.*, vol. 29, no. 3, pp. 406–423, 2018, doi: 10.1080/09585176.2018.1433545.
- [44] D. Mavani, B. Mavani, and M. Schäfer, “A Case Study of Two Selected Teachers as they Integrated Dynamic Geometry Software as a Visualisation Tool in Teaching Geometry,” *African J. Res. Math. Sci. Technol. Educ.*, vol. 22, no. 3, pp. 297–307, Sep. 2018, doi: 10.1080/18117295.2018.1522716.

- [45] I. Resnick, A. Davatzes, N. S. Newcombe, and T. F. Shipley, “Using Relational Reasoning to Learn About Scientific Phenomena at Unfamiliar Scales,” Mar. 01, 2017, *Springer New York LLC*. doi: 10.1007/s10648-016-9371-5.
- [46] D. Brijlall and C. Niranjana, “Using manipulatives to support an embodied approach to learning trigonometry in a south african school: a case study,” *Africa Educ. Rev.*, vol. 12, no. 3, pp. 361–380, Jul. 2015, doi: 10.1080/18146627.2015.1110893.
- [47] E. Lankeit and R. Biehler, “The meaning landscape of the concept of the total derivative in multivariable real analysis textbooks: an analysis based on a new model of meaning,” *ZDM - Math. Educ.*, 2024, doi: 10.1007/s11858-024-01584-w.
- [48] J. A. Bowman, J. McDonnell, J. H. Ryan, and O. Fudge-Coleman, “Effective Mathematics Instruction for Students With Moderate and Severe Disabilities: A Review of the Literature,” Dec. 01, 2019, *SAGE Publications Inc*. doi: 10.1177/1088357619827932.
- [49] R. Satsangi and B. Miller, “The case for adopting virtual manipulatives in mathematics education for students with disabilities,” *Prev. Sch. Fail.*, vol. 61, no. 4, pp. 303–310, 2017, doi: 10.1080/1045988X.2016.1275505.
- [50] Z. C. K. Hawes, K. A. Gilligan-Lee, and K. S. Mix, “Effects of Spatial Training on Mathematics Performance: A Meta-Analysis,” *Dev. Psychol.*, vol. 58, no. 1, pp. 112–137, 2022, doi: 10.1037/dev0001281.

