

Integrasi *Realistic Mathematics Education*, *Culturally Responsive Teaching*, dan *Artificial Intelligence* untuk Keterampilan 4C Abad 21: Sebuah Tinjauan Sistematis

Sondang Noverica^{1*}, Sinta Dameria Simanjuntak²
Universitas Katolik Santo Thomas, Medan, Indonesia^{1*,2}
sondang_noverica@ust.ac.id^{1*}, sinta_simanjuntak@ust.ac.id²

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan meninjau secara sistematis literatur mengenai *Realistic Mathematics Education* (RME), *Culturally Responsive Teaching* (CRT), *Artificial Intelligence* (AI), dan keterampilan 4C Abad 21 untuk mengidentifikasi sekaligus menjembatani kesenjangan penelitian dalam pendidikan matematika. Metode yang digunakan ialah *Systematic Literature Review* (SLR) yang dipadukan dengan analisis bibliometrik menggunakan protokol PRISMA serta perangkat lunak VOSviewer dan Biblioshiny. Dari basis data Scopus diperoleh 79 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis berdasarkan tren publikasi, jaringan kolaborasi penulis, struktur sitasi, serta sintesis kualitatif. Hasil analisis menunjukkan peningkatan signifikan riset tentang RME dan AI dalam dekade terakhir, sedangkan integrasi CRT masih terbatas meskipun nilai-nilainya tersirat dalam filosofi RME. Penelitian ini mengidentifikasi lima kesenjangan utama: teoretis, empiris, metodologis, populasi, dan bukti. Integrasi RME, CRT, dan AI berpotensi membentuk model pembelajaran matematika yang adaptif, kontekstual, dan responsif budaya untuk memperkuat keterampilan 4C Abad 21. Temuan ini memberikan arah baru bagi pengembangan pendidikan matematika yang inklusif dan berbasis teknologi.

Kata kunci : RME, CRT, AI, keterampilan_abad_ke-21

ABSTRACT

This study aims to systematically review the literature on Realistic Mathematics Education (RME), Culturally Responsive Teaching (CRT), Artificial Intelligence (AI), and 21st-century skills (4C) to identify and bridge research gaps in mathematics education. The research employed a Systematic Literature Review (SLR) combined with bibliometric analysis using the PRISMA protocol and supported by VOSviewer and Biblioshiny software. From the Scopus database, 79 articles met the inclusion criteria and were analyzed based on publication trends, author collaboration networks, citation structures, and qualitative synthesis. The findings indicate a significant increase in research on RME and AI over the past decade, while the integration of CRT remains limited despite its philosophical alignment with RME. This study identifies five major research gaps—namely theoretical, empirical, methodological, population, and evidential. The integration of RME, CRT, and AI has strong potential to form an adaptive, contextual, and culturally responsive mathematics learning model that strengthens 21st-century competencies. These findings provide new directions for developing inclusive and technology-based mathematics education.

Keywords : RME, CRT, AI, 21st-century skills

PENDAHULUAN

Perkembangan pendidikan abad ke-21 menuntut proses pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi yang dikenal sebagai keterampilan 4C Abad 21, yaitu *critical thinking, creativity, collaboration, dan communication* (Partnership for 21st Century, 2019). Dalam konteks pendidikan matematika, tantangan tersebut menuntut adanya pendekatan pembelajaran yang mampu menghubungkan konsep abstrak dengan realitas kehidupan siswa secara kontekstual dan bermakna.

Pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME) memandang matematika sebagai aktivitas manusia (*mathematics as a human activity*) yang dikonstruksi melalui pengalaman kontekstual (Gravemeijer & Doorman, 2021). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa RME efektif dalam meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan berpikir kreatif matematis siswa (Iskandar & Juandi, 2022; Utami et al., 2024). Namun demikian, implementasi RME dalam kerangka pembelajaran abad ke-21 masih cenderung berfokus pada aspek kognitif individual, seperti pemecahan masalah dan berpikir kritis, sementara dimensi kolaborasi dan komunikasi matematis belum terintegrasi secara sistematis (Waritsman & Retnowati, 2023).

Di sisi lain, pembelajaran abad ke-21 menuntut pengakuan terhadap keberagaman budaya peserta didik. Pendekatan *Culturally Responsive Teaching* (CRT) menempatkan latar belakang budaya siswa sebagai sumber belajar untuk membangun pemahaman konseptual yang lebih inklusif dan bermakna (Gay, 2020; Hammond, 2021). Integrasi prinsip CRT dalam pembelajaran matematika terbukti meningkatkan partisipasi, komunikasi, dan keterlibatan siswa dalam konteks multikultural (Larasati & Ginting, 2024). Meskipun demikian, integrasi CRT dalam desain pembelajaran matematika berbasis RME masih terbatas pada studi konseptual dan belum banyak dikembangkan dalam model pedagogis terpadu.

Kemajuan teknologi berbasis *Artificial Intelligence* (AI) juga menghadirkan peluang transformasi pembelajaran matematika melalui sistem pembelajaran adaptif, *intelligent tutoring systems*, dan *learning analytics* (Holmes et al., 2022; Zhang, 2025). AI memungkinkan personalisasi umpan balik serta mendukung pembelajaran kolaboratif berbasis data. Namun, penelitian yang mengintegrasikan AI dengan pendekatan pedagogis berbasis konteks dan budaya seperti RME dan CRT masih relatif jarang, sehingga potensi sinergis ketiganya dalam mendukung pengembangan keterampilan 4C Abad 21 belum tergalai secara optimal.

Hasil telaah awal literatur menunjukkan beberapa kesenjangan penelitian. Pertama, terdapat *theoretical gap* berupa belum adanya model konseptual terpadu yang mengintegrasikan RME, CRT, dan AI dalam satu kerangka pedagogis. Kedua, *evidence gap* karena temuan empiris yang tersedia masih terfragmentasi dan belum konsisten dalam menjelaskan pengaruh integrasi tersebut terhadap keterampilan 4C Abad 21. Ketiga, *empirical gap* berupa terbatasnya penelitian eksperimental yang menguji efektivitas integrasi RME–CRT–AI. Keempat, *population gap* karena sebagian besar studi dilakukan pada jenjang sekolah dasar dan menengah pertama, dengan minim eksplorasi konteks multikultural dan digital. Kelima, *methodological gap* yang ditandai dominasi pendekatan deskriptif tanpa desain pembelajaran berbasis teknologi dan budaya secara sistematis (Iskandar & Juandi, 2022; Utami et al., 2024).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan *Systematic Literature Review* (SLR) yang dipadukan dengan analisis bibliometrik guna memetakan perkembangan riset mengenai integrasi RME, CRT, dan AI dalam

mendukung keterampilan 4C Abad 21. Hasil kajian ini diharapkan menghasilkan peta konseptual terpadu serta rekomendasi arah pengembangan penelitian dan desain pembelajaran matematika yang lebih kontekstual, inklusif, dan adaptif terhadap kemajuan teknologi.)

Perkembangan pendidikan abad ke-21 menuntut penguatan *Higher Order Thinking Skills* (HOTS) yang terwujud dalam empat kompetensi utama, yaitu berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif. Transformasi ini menggeser paradigma pembelajaran dari sekadar transmisi pengetahuan menuju proses konstruksi makna yang aktif, reflektif, dan kontekstual. Dalam pendidikan matematika, pendekatan konvensional yang berpusat pada guru dinilai kurang efektif dalam mengembangkan keterampilan tersebut karena lebih menekankan penguasaan prosedur dibandingkan pemahaman konseptual dan interaksi sosial (Lestari et al., 2024). Oleh sebab itu, diperlukan pendekatan pembelajaran yang mampu menghubungkan konsep abstrak dengan pengalaman nyata peserta didik sekaligus membuka ruang kolaborasi dan dialog matematis.

Pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME) menawarkan kerangka konseptual yang relevan dengan tuntutan tersebut. Berlandaskan pandangan bahwa matematika merupakan aktivitas manusia, RME menempatkan peserta didik sebagai subjek aktif yang membangun pemahaman melalui proses *guided reinvention* dan interaksi sosial (Gravemeijer & Doorman, 2021). Konteks realistik digunakan sebagai titik awal matematisasi horizontal sebelum berkembang menuju abstraksi formal melalui matematisasi vertikal. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa RME efektif dalam meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan berpikir kritis matematis (Iskandar & Juandi, 2022).

Meskipun demikian, implementasi RME di Indonesia masih menghadapi tantangan, terutama dalam mengintegrasikan dimensi kolaborasi dan komunikasi matematis secara sistematis. Beberapa studi menunjukkan bahwa praktik pembelajaran masih berorientasi pada penyelesaian soal kontekstual secara individual, belum sepenuhnya mendorong diskusi reflektif dan argumentasi matematis yang mendalam (Waritsman & Retnowati, 2023). Selain itu, pemanfaatan teknologi digital dalam kerangka RME belum banyak dikembangkan secara terstruktur, sehingga potensi penguatan pembelajaran melalui teknologi masih belum optimal (Utami et al., 2024). Kondisi ini menunjukkan bahwa RME memerlukan pengayaan melalui integrasi pendekatan lain yang lebih adaptif terhadap perkembangan teknologi dan keberagaman konteks belajar.

Kemajuan *Artificial Intelligence* (AI) menghadirkan peluang transformasi pembelajaran matematika melalui sistem adaptif seperti *intelligent tutoring systems*, *learning analytics*, dan *educational chatbots*. Teknologi ini memungkinkan personalisasi pembelajaran berdasarkan profil dan kebutuhan siswa, pemberian umpan balik secara *real-time*, serta analisis kesulitan belajar secara lebih akurat (Holmes et al., 2022; Zhang, 2025). Dalam konteks pembelajaran berbasis RME, AI berpotensi memperkuat proses reinvensi terbimbing dengan menyediakan dukungan diferensiasi dan refleksi metakognitif.

Penelitian mutakhir menunjukkan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran matematika dapat meningkatkan keterlibatan dan efektivitas belajar, terutama ketika dikombinasikan dengan pendekatan kontekstual (Susilawati et al., 2025). Namun demikian, sebagian besar studi masih berfokus pada aspek teknologis, seperti pengembangan sistem atau uji efektivitas perangkat, tanpa mengintegrasikannya

secara konseptual dengan prinsip pedagogis RME. Akibatnya, peran AI masih cenderung diposisikan sebagai alat bantu teknis, bukan sebagai bagian integral dari desain pembelajaran yang humanistik dan kolaboratif.

Selain dimensi teknologi, pembelajaran matematika abad ke-21 juga harus responsif terhadap keberagaman budaya peserta didik. *Culturally Responsive Teaching* (CRT) menekankan pentingnya mengintegrasikan latar belakang budaya, nilai, dan pengalaman siswa dalam proses pembelajaran untuk membangun keterlibatan dan makna yang lebih mendalam (Gay, 2020; Hammond, 2021). Dalam konteks matematika, pendekatan ini beririsan dengan etnomatematika yang menempatkan praktik budaya sebagai sumber matematisasi.

Penelitian terkini menunjukkan bahwa integrasi prinsip CRT dalam pembelajaran matematika mampu meningkatkan partisipasi dan komunikasi siswa, khususnya dalam konteks multikultural (Larasati & Ginting, 2024). Ketika dipadukan dengan RME, konteks budaya lokal dapat menjadi titik awal matematisasi yang lebih autentik, sehingga siswa tidak hanya memahami konsep secara abstrak, tetapi juga melihat relevansinya dalam kehidupan sosial dan budaya mereka. Integrasi ini memperkuat identitas belajar siswa sekaligus meningkatkan kualitas interaksi sosial dalam kelas.

Sintesis literatur menunjukkan bahwa integrasi RME, AI, dan CRT berpotensi membentuk paradigma pembelajaran matematika yang kontekstual, inklusif, dan berbasis data. RME menyediakan kerangka konseptual konstruktivistik, CRT memperkaya konteks budaya dan dimensi sosial, sementara AI mendukung personalisasi dan analisis pembelajaran secara sistematis. Sinergi ketiganya memungkinkan pengembangan keterampilan berpikir kritis melalui eksplorasi masalah kontekstual yang didukung umpan balik adaptif, kreativitas melalui desain tugas terbuka berbasis budaya lokal, kolaborasi melalui platform digital interaktif, serta komunikasi melalui refleksi dan diskusi matematis yang terdokumentasi secara digital. Dengan demikian, integrasi tersebut tidak hanya menguatkan penguasaan konsep, tetapi juga memperluas dimensi afektif dan sosial pembelajaran matematika. Pendekatan ini menggeser fokus pembelajaran dari sekadar pencapaian kognitif menuju pembangunan ekosistem belajar yang humanistik dan adaptif terhadap perubahan zaman.

Meskipun potensi integratif RME–AI–CRT cukup menjanjikan, telaah literatur menunjukkan masih adanya sejumlah kesenjangan. Secara teoretis, belum tersedia model konseptual terpadu yang secara sistematis menggabungkan ketiga pendekatan tersebut dalam satu kerangka pedagogis. Secara empiris, penelitian eksperimental yang menguji efektivitas kombinasi ini terhadap Keterampilan 4C Abad 21 masih terbatas. Dari sisi metodologis, dominasi studi deskriptif menunjukkan perlunya pendekatan inovatif seperti *design-based research* atau analisis pembelajaran berbasis data. Selain itu, sebagian besar penelitian masih berfokus pada jenjang pendidikan dasar dan menengah, sementara penerapan pada pendidikan tinggi relatif belum banyak dieksplorasi. Keterbatasan bukti longitudinal juga menunjukkan perlunya penelitian jangka panjang untuk mengukur dampak integrasi ini secara komprehensif (Zhang, 2025).

Secara global, tren penelitian pendidikan matematika bergerak menuju integrasi teknologi dan analitik pembelajaran berbasis data. Dalam konteks ini, Indonesia memiliki peluang strategis untuk mengembangkan model integratif berbasis nilai lokal melalui tradisi Pendidikan Matematika Realistik Indonesia (PMRI) yang telah dikenal

secara internasional. Penguatan riset integratif yang memadukan konteks budaya, inovasi teknologi, dan pendekatan pedagogis modern berpotensi menjadikan Indonesia sebagai pelopor dalam pengembangan pembelajaran matematika abad ke-21.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) yang dipadukan dengan analisis bibliometrik. Desain ini dipilih karena memungkinkan identifikasi, evaluasi, dan sintesis temuan penelitian secara sistematis dan transparan, sekaligus memetakan perkembangan tren serta hubungan konseptual dalam suatu bidang kajian (Snyder, 2019; Utami et al., 2024). Kombinasi SLR dan bibliometrik dinilai relevan untuk menganalisis integrasi *Realistic Mathematics Education* (RME), *Culturally Responsive Teaching* (CRT), *Artificial Intelligence* (AI), dan keterampilan 4C Abad 21, serta untuk mengidentifikasi kesenjangan teoretis, empiris, metodologis, populasi, dan bukti dalam literatur mutakhir (Iskandar & Juandi, 2022).

Prosedur pelaporan mengikuti protokol *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) guna menjamin transparansi dan keterulangan proses seleksi literatur (Page et al., 2021). Sumber data penelitian berasal dari basis data Scopus yang dipilih karena memiliki cakupan jurnal internasional bereputasi dan terindeks luas dalam bidang pendidikan dan ilmu sosial. Strategi pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci terstruktur yang mencakup empat domain utama, yaitu RME, keterampilan 4C Abad 21, AI dalam pendidikan, dan pendekatan responsif budaya. Query pencarian diformulasikan dalam kolom *TITLE-ABS-KEY* dengan operator *Boolean* (AND, OR) untuk memastikan keluasan sekaligus relevansi hasil. Pencarian dibatasi pada publikasi tahun 2015–2024, jenis dokumen artikel dan review, bidang *Social Sciences dan Mathematics*, serta artikel berbahasa Inggris. Kriteria inklusi meliputi artikel peer-reviewed yang membahas atau mengintegrasikan RME, CRT, AI, dan/atau keterampilan 4C Abad 21 dalam konteks pendidikan matematika. Artikel harus tersedia dalam bentuk teks lengkap dan menyajikan penelitian empiris, kajian sistematis, atau analisis bibliometrik. Kriteria eksklusi mencakup editorial, opini, laporan non-akademik, artikel tanpa akses teks penuh, artikel nonbahasa Inggris, serta artikel konseptual tanpa data empiris atau analisis sistematis.

Proses seleksi mengikuti empat tahap PRISMA, yaitu *identification*, *screening*, *eligibility*, dan *inclusion* (Page et al., 2021). Tahap identifikasi menghasilkan 269 artikel dari basis data Scopus. Setelah penyaringan jenis dokumen dan duplikasi, diperoleh 164 artikel. Tahap *eligibility* berdasarkan kesesuaian bidang kajian dan bahasa menghasilkan 86 artikel. Pada tahap *inclusion*, pembatasan tahun publikasi serta kesesuaian topik dan ketersediaan teks penuh menghasilkan 79 artikel yang dianalisis secara sistematis dan bibliometrik. Proses seleksi divisualisasikan dalam diagram alur PRISMA.

Instrumen utama penelitian ini adalah matriks telaah sistematis yang dikembangkan dalam *Microsoft Excel*. Matriks tersebut memuat informasi penting seperti penulis, tahun publikasi, negara, jenjang pendidikan, metodologi penelitian, fokus kajian, temuan utama, serta jenis kesenjangan penelitian. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui ekstraksi informasi secara sistematis dari setiap artikel terpilih (Snyder, 2019).

Analisis dilakukan melalui dua pendekatan. Pertama, analisis bibliometrik untuk memetakan tren publikasi, ko-occurrence kata kunci, jaringan sitasi, serta kluster

tematik menggunakan perangkat lunak VOSviewer dan Biblioshiny (van Eck & Waltman, 2010). Pendekatan ini memungkinkan visualisasi struktur intelektual dan perkembangan riset dalam domain RME–CRT–AI–4C. Kedua, sintesis kualitatif dilakukan untuk mengidentifikasi kontribusi konseptual dan empiris, serta memetakan kesenjangan penelitian berdasarkan kategori teoretis, metodologis, populasi, dan bukti (Iskandar & Juandi, 2022; Thomas & Harden, 2008). Sintesis dilakukan secara tematik dengan membandingkan temuan antarartikel untuk menghasilkan pemetaan integratif.

Validitas penelitian dijaga melalui keterlibatan dua penelaah independen dalam proses seleksi dan pengodean artikel. Ketidaksesuaian hasil seleksi diselesaikan melalui diskusi hingga tercapai konsensus. Transparansi prosedur dijaga dengan dokumentasi query pencarian, penerapan protokol PRISMA, serta pencatatan alasan eksklusi pada setiap tahap. Pembersihan data bibliometrik dilakukan menggunakan OpenRefine untuk memastikan konsistensi metadata. Pendekatan ini meningkatkan keterulangan dan keandalan hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis bibliometrik (Tabel 1) menunjukkan bahwa publikasi mengenai integrasi *Realistic Mathematics Education* (RME), *Culturally Responsive Teaching* (CRT), *Artificial Intelligence in education* (AI dalam pendidikan), dan keterampilan 4C Abad 21 mengalami peningkatan signifikan sejak 2019. Data sitasi tahunan memperlihatkan lonjakan jumlah artikel pada periode 2020–2022, dengan puncak publikasi terjadi pada 2022. Meskipun rata-rata sitasi artikel terbaru relatif lebih rendah dibanding artikel sebelum 2020, hal ini dapat dijelaskan oleh pendeknya rentang waktu sitasi (*citable years*), sehingga artikel-artikel tersebut masih berada pada fase awal diseminasi ilmiah. Tren ini sejalan dengan laporan perkembangan riset AI dalam pendidikan global yang meningkat pesat pascapandemi dan percepatan transformasi digital (Holmes et al., 2022; Zawacki-Richter & Qayyum, 2023).

Tabel 1. Total sitasi tahunan per artikel

Year	MeanTCperArt	N	MeanTCperYear	CitableYears
2015	16.00	2	1.45	11
2016	44.75	4	4.47	10
2017	81.00	1	9.00	9
2018	7.33	3	0.92	8
2019	11.50	8	1.64	7
2020	8.23	13	1.37	6
2021	15.33	6	3.07	5
2022	12.33	15	3.08	4
2023	5.00	9	1.67	3
2024	4.11	9	2.06	2

Analisis tren publikasi menunjukkan peningkatan signifikan dalam penelitian terkait *Realistic Mathematics Education* (RME), *Culturally Responsive Teaching* (CRT), *Artificial Intelligence* (AI), dan keterampilan 4C abad 21 selama dekade terakhir. Berdasarkan Tabel 1, publikasi mulai meningkat sejak 2019 dengan delapan artikel dan mencapai puncaknya pada 2022 sebanyak 15 artikel. Rata-rata sitasi tertinggi ditemukan pada tahun 2017 (MeanTCperArt = 81,00). Nilai ini berasal dari satu artikel dalam dataset, yaitu penelitian Sumirattana et al. (2017) mengenai penerapan *Realistic Mathematics Education* untuk meningkatkan literasi matematis

siswa, yang memperoleh jumlah sitasi tinggi dan menjadi salah satu rujukan penting dalam pengembangan kajian RME. Penurunan rata-rata sitasi setelah tahun 2020 mengindikasikan munculnya penelitian-penelitian baru yang masih berada pada tahap awal akumulasi sitasi.

Distribusi publikasi (Tabel 2) berdasarkan negara menunjukkan dominasi Indonesia, diikuti China dan beberapa negara Eropa. Dalam hal ini, 124 artikel yang berasal dari Indonesia tersebut adalah artikel terindeks Scopus yang ditulis dalam Bahasa Inggris. Dominasi Indonesia merefleksikan penguatan gerakan Pendidikan Matematika Realistik Indonesia (PMRI) yang mengadaptasi prinsip RME dalam konteks budaya lokal. Temuan ini mengindikasikan bahwa pendekatan kontekstual dan berbasis budaya memiliki daya tarik kuat dalam konteks negara berkembang yang multikultural. Namun demikian, kepadatan publikasi yang terpusat di satu kawasan juga mengisyaratkan adanya kesenjangan global dalam penyebaran penelitian integratif RME–CRT–AI, sebagaimana juga dicatat dalam kajian sistematik terbaru mengenai AI dalam pendidikan matematika (Chassignol et al., 2023).

Tabel 2. Distribusi publikasi berdasarkan negara

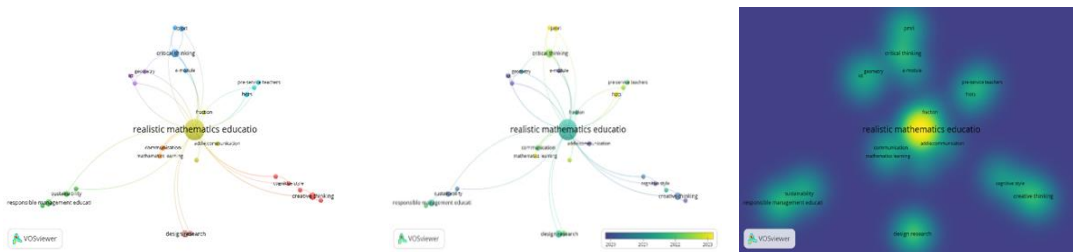
Country	Freq
Indonesia	124
China	28
Greece	8
USA	8
India	7
Spain	7
Sweden	7
Norway	6
Kazakhstan	5
Netherlands	5

Analisis sumber publikasi menunjukkan bahwa artikel tersebar dalam jurnal pendidikan matematika, teknologi pendidikan, hingga manajemen pendidikan. Keberagaman ini mencerminkan karakter interdisipliner bidang kajian. Integrasi RME dan CRT tidak lagi terbatas pada diskursus pedagogi matematika, tetapi mulai memasuki ranah pengembangan sistem pembelajaran adaptif dan analitik pembelajaran berbasis AI. Fenomena ini konsisten dengan temuan (Bond et al., 2023) yang menyatakan bahwa inovasi pembelajaran abad ke-21 berkembang pada irisan antara pedagogi, teknologi, dan kebijakan pendidikan digital.

Tabel 3. Sumber Publikasi Terbanyak

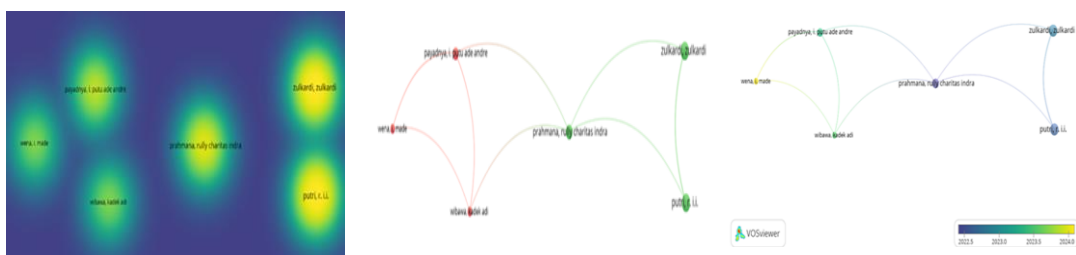
Sources	Articles
International Journal Of Scientific And Technology Research	9
Journal On Mathematics Education	7
International Journal Of Management Education	6
Mathematics Education Journal	5
Infinity Journal	3
Mathematics Teaching-Research Journal	3
Education And Information Technologies	2
International Journal Of Instruction	2
International Journal Of Science And Mathematics Education	2
Universal Journal Of Educational Research	2

Visualisasi *co-occurrence* (Gambar 1) kata kunci menggunakan VOSviewer menunjukkan bahwa “*realistic mathematics education*” menjadi pusat jaringan (*network center*), terhubung erat dengan istilah “*critical thinking*”, “*problem solving*”, dan “*mathematics learning*”. Pada *overlay visualization*, istilah yang muncul dominan pada periode 2022–2025 meliputi “*artificial intelligence*”, “*adaptive learning*”, dan “*pre-service teachers*”. Kepadatan tertinggi (*density map*) masih berada pada aspek kognitif seperti berpikir kritis dan pemecahan masalah, sedangkan konektivitas dengan dimensi kolaborasi dan komunikasi relatif lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa pengembangan keterampilan 4C Abad 21 masih terfragmentasi dan belum terintegrasi secara sistematis dalam desain pembelajaran berbasis AI dan budaya, sebagaimana juga ditegaskan dalam studi review terkini tentang *21st century skills* (Care et al., 2022; Voogt & Roblin, 2021).



Gambar 1. *Network, Overlay dan Density Visualization* (Sumber: hasil VOSviewer, 2025)

Jejaring kolaborasi penulis (Gambar 2) memperlihatkan terbentuknya dua kluster utama. Kluster pertama didominasi peneliti Indonesia yang berfokus pada inovasi RME kontekstual, sedangkan kluster kedua menunjukkan kolaborasi yang mulai mengintegrasikan teknologi digital dan AI. *Overlay temporal* mengindikasikan kemunculan peneliti baru pada 2023–2024 dengan fokus pada *AI-assisted learning* dan penguatan keterampilan 4C Abad 21. Pola ini menegaskan adanya regenerasi tema penelitian menuju paradigma pembelajaran adaptif berbasis data, yang dalam literatur global dikenal sebagai *AI-supported learning ecosystems* (Holmes et al., 2022).



Gambar 2. *Author Density, Network dan Overlay Visualization* (Sumber: hasil VOSviewer, 2025)

Analisis kositasi (Gambar 3) memperlihatkan bahwa struktur intelektual bidang ini bertumpu pada tiga fondasi utama, yaitu teori pembelajaran realistik, perspektif sosial-budaya, dan metodologi kualitatif. Literatur yang sering disitasi bersama menunjukkan bahwa pendekatan kontekstual dan responsif budaya diposisikan sebagai jembatan antara teori pedagogis dan praktik pembelajaran nyata. Kepadatan kositasi pada literatur metodologi kualitatif mengindikasikan bahwa sebagian besar

penelitian masih menekankan eksplorasi kontekstual dan deskriptif, belum banyak yang menggunakan desain eksperimental berbasis teknologi cerdas. Kondisi ini sejalan dengan kritik metodologis dalam kajian AI in education yang menyebutkan bahwa banyak penelitian masih berada pada tahap eksploratif dan belum menghasilkan bukti kausal yang kuat (Zawacki-Richter & Qayyum, 2023).



Gambar 3. Visualisasi Cositasi (Sumber: hasil VOSviewer, 2025)

Analisis kutipan (Tabel 4) menunjukkan bahwa artikel-artikel bertema *AI-supported learning dan adaptive system* memperoleh tingkat sitasi tahunan (*TC per Year*) dan *normalized citation* tertinggi. Hal ini menunjukkan relevansi dan urgensi topik AI dalam pendidikan matematika kontemporer. Artikel-artikel tersebut umumnya menekankan potensi AI dalam personalisasi umpan balik, analisis data pembelajaran, serta penguatan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut belum secara eksplisit mengintegrasikan prinsip CRT atau pendekatan kontekstual berbasis budaya dalam desain sistemnya. Dengan kata lain, AI masih sering diposisikan sebagai alat teknologis, bukan sebagai bagian dari kerangka pedagogis holistik.

Tabel 4. Sepuluh artikel paling banyak disitasi

Paper	DOI	Total Citations	TC per Year	Normalized TC
Romero, 2022, Ieee Signal Process. Mag.	10.1109/MSP.2022.3200175	91	22.75	7.38
Sumirattana, 2017, Kasetsart J. Soc. Sci.	10.1016/j.kjss.2016.06.001	81	9.00	1.00
Sitorus, 2016, Think. Ski. Creat.	10.1016/j.tsc.2016.09.007	74	7.40	1.65
Bray, 2016, Math. Educ. Res. J.	10.1007/s13394-015-0158-7	74	7.40	1.65
Mousa, 2020, Int. J. Manag. Educ.	10.1016/j.ijme.2019.100326	41	6.83	4.98
Abdelgaffar, 2021, Int. J. Manag. Educ.	10.1016/j.ijme.2021.100457	30	6.00	1.96
Gómez, 2022, Int. J. Manag. Educ.	10.1016/j.ijme.2022.100601	28	7.00	2.27
Bergsten, 2019, Zdm - Int. J. Math. Educ.	10.1007/s11858-019-01071-7	23	3.29	2.00
Fredriksen, 2021, Int. J. Sci. Math. Educ.	10.1007/s10763-020-10053-1	22	4.40	1.43
Palinussa, 2021, Int. J. Eval. Res. Educ.	10.11591/ijere.v10i2.20640	21	4.20	1.37

Sintesis kualitatif terhadap 79 artikel mengungkap lima pola kesenjangan yang konsisten muncul. Pertama, integrasi teoretis antara RME dan CRT masih terbatas pada level konseptual dan belum diformulasikan dalam model pedagogis terpadu. Kedua, bukti empiris lintas budaya dan lintas jenjang pendidikan masih minim, sehingga generalisasi temuan menjadi terbatas. Ketiga, pendekatan metodologis masih didominasi desain deskriptif dan *quasi-eksperimental*, sementara penggunaan design-

based research dan learning analitik masih jarang. Keempat, populasi penelitian terkonsentrasi pada jenjang pendidikan dasar dan menengah, dengan keterlibatan terbatas pada pendidikan tinggi dan calon guru. Kelima, penguatan keterampilan 4C Abad 21 masih lebih banyak diukur sebagai hasil belajar, bukan sebagai bagian integral dari desain sistem pembelajaran berbasis AI dan budaya.

Temuan ini memperlihatkan bahwa meskipun perkembangan riset cukup pesat, integrasi RME–CRT–AI belum mencapai tahap sinergis yang matang. Pembelajaran matematika abad ke-21 masih berada pada fase transisi dari pendekatan kontekstual menuju ekosistem pembelajaran adaptif berbasis data yang sensitif terhadap budaya. Kelebihan penelitian ini terletak pada kombinasi analisis bibliometrik dan sintesis kualitatif yang memberikan gambaran komprehensif mengenai lanskap penelitian terkini. Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan satu basis data, yaitu Scopus, serta membatasi artikel berbahasa Inggris, sehingga berpotensi mengecualikan sejumlah publikasi relevan dari konteks lokal maupun regional. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan basis data lain, seperti *Web of Science (WoS)*, *Dimensions*, ERIC, atau *Google Scholar*, guna memperoleh cakupan literatur yang lebih luas dan menghasilkan pemetaan penelitian yang lebih komprehensif mengenai integrasi RME, CRT, AI, dan keterampilan 4C abad 21.

Secara keseluruhan, hasil dan pembahasan ini menunjukkan bahwa arah perkembangan pendidikan matematika bergerak menuju paradigma baru yang mengintegrasikan pendekatan realistik, responsif budaya, dan teknologi kecerdasan buatan dalam kerangka penguatan keterampilan 4C abad ke-21. Integrasi tersebut berpotensi melahirkan model *AI-assisted culturally responsive mathematics learning* yang lebih adaptif, kontekstual, dan inklusif, sekaligus menjawab tuntutan transformasi digital pendidikan global dalam lima tahun terakhir. Dalam implementasinya, sistem AI yang responsif budaya tidak hanya mempersonalisasi pembelajaran berdasarkan kemampuan akademik siswa, tetapi juga mempertimbangkan latar belakang sosial dan budaya mereka. Misalnya, AI dapat merekomendasikan masalah matematika yang menggunakan konteks lokal, praktik etnomatematika, atau aktivitas budaya yang dekat dengan pengalaman siswa, serta menyesuaikan bentuk representasi, bahasa, dan umpan balik pembelajaran agar lebih relevan dan inklusif. Dengan demikian, kecerdasan buatan tidak hanya berfungsi sebagai teknologi adaptif, tetapi juga sebagai sarana untuk mengakomodasi keberagaman budaya dalam pembelajaran matematika dan memperkuat sinergi antara prinsip *Realistic Mathematics Education (RME)*, *Culturally Responsive Teaching (CRT)*, dan pengembangan keterampilan 4C abad ke-21.

SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini bertujuan memetakan struktur intelektual, perkembangan tema, dan arah penelitian terkait integrasi *Realistic Mathematics Education*, pembelajaran berbantuan *Artificial Intelligence in education*, serta penguatan keterampilan 4C Abad 21 dalam pendidikan matematika melalui pendekatan *Systematic Literature Review* yang dipadukan dengan analisis bibliometrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lanskap riset bergerak menuju integrasi antara pendekatan realistik, perspektif sosial-budaya, dan teknologi pembelajaran berbasis data. Tren publikasi dan pola kositasi menegaskan bahwa RME tetap menjadi fondasi pedagogis yang kuat, sementara AI berkembang sebagai katalis transformasi pembelajaran adaptif dan personalisasi

umpan balik. Pada saat yang sama, penguatan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi semakin diposisikan sebagai orientasi utama pembelajaran matematika abad ke-21.

Meskipun istilah *Culturally Responsive Teaching* tidak selalu muncul secara eksplisit dalam kata kunci dominan, sintesis konseptual menunjukkan bahwa prinsip responsivitas budaya telah terinternalisasi dalam banyak praktik RME berbasis konteks lokal. Temuan ini mengindikasikan adanya peluang pengembangan kerangka teoretis yang lebih eksplisit dalam menghubungkan RME, CRT, dan AI secara terpadu. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengidentifikasi kesenjangan teoretis, empiris, metodologis, populasi, dan bukti telah tercapai, sekaligus menghasilkan peta arah pengembangan riset yang lebih integratif.

Implikasi penelitian ini menegaskan perlunya pengembangan model pembelajaran matematika yang tidak hanya adaptif secara teknologi, tetapi juga sensitif terhadap konteks budaya dan kebutuhan peserta didik. Integrasi pedagogi berbasis budaya dengan kecerdasan buatan berpotensi membangun ekosistem pembelajaran yang lebih inklusif, kontekstual, dan berorientasi pada penguatan keterampilan 4C Abad 21, sebagaimana ditekankan dalam kajian mutakhir mengenai transformasi digital pendidikan (Holmes et al., 2022; Zawacki-Richter & Qayyum, 2023). Ke depan, penelitian lanjutan disarankan untuk menguji model integratif tersebut melalui desain eksperimental atau *design-based research* lintas konteks budaya dan jenjang pendidikan, serta memanfaatkan learning analytics untuk menghasilkan bukti empiris yang lebih kuat dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bond, M., Bedenlier, S., Marín, V. I., & Händel, M. (2023). Emergency remote teaching in higher education: Mapping the first global online semester. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00380-7>
- Care, E., Kim, H., Vista, A., & Anderson, K. (2022). Education system alignment for 21st century skills: Focus on assessment. *International Journal of Educational Research*, 113, 101954. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.101954>
- Chassignol, M., Khoroshavin, A., Klimova, A., & Bilyatdinova, A. (2023). Artificial Intelligence trends in education: A narrative overview. *Procedia Computer Science*, 217, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.214>
- Gay, G. (2020). *Culturally responsive teaching: Theory, research, and practice* (3rd ed.). Teachers College Press.
- Gravemeijer, K., & Doorman, M. (2021). Realistic mathematics education as a paradigm for mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 107(2), 253–270. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10037-2>
- Hammond, Z. (2021). *Culturally responsive teaching and the brain: Promoting authentic engagement and rigor among culturally and linguistically diverse students* (2nd ed.). Corwin Press.
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). Artificial intelligence in education: Promise and implications for teaching and learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100056. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100056>
- Iskandar, M., & Juandi, D. (2022). The effectiveness of realistic mathematics education in improving students' mathematical problem-solving ability: A

- meta-analysis. *Journal on Mathematics Education*, 13(2), 345–360. <https://doi.org/10.22342/jme.v13i2.16301>
- Larasati, D., & Ginting, R. (2024). Integrating culturally responsive pedagogy in digital mathematics learning environments: Implications for students' critical thinking and communication skills. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 52. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00452-3>
- Lestari, S., Hermansyah, A. K., & Trisnani, N. (2024). Are current Indonesian math materials geared for the 21st century? An evaluation of 3rd grade content for developing critical thinking skills. *Jurnal PAJAR (Pendidikan Dan Pengajaran)*, 8(4), 9909. <https://doi.org/10.33578/pjr.v8i4.9909>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Partnership for 21st Century. (2019). *Framework for 21st Century Learning Definitions*. Battelle for Kids.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Susilawati, W., Sharov, S., Pasqa, M., & Malik, H. (2025). Integrating realistic mathematics education, AI, and gamification to enhance students' learning motivation and problem-solving skills. *Journal on Mathematics Education*, 16(4), 1257–1282. <https://doi.org/10.22342/jme.v16i4.pp1257-1282>
- Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research. *BMC Medical Research Methodology*, 8, 45. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-45>
- Utami, S. A. U., Slamet, I., & Fitriana, L. (2024). Bibliometric analysis of realistic mathematics education research trends (2019–2023). *Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 11(2), 155–168. <https://doi.org/10.21831/jrpm.v11i2.63021>
- Voogt, J., & Roblin, N. P. (2021). A comparative analysis of international frameworks for 21st century competences: Implications for national curriculum policies. *Journal of Curriculum Studies*, 53(3), 299–318. <https://doi.org/10.1080/00220272.2020.1846261>
- Waritsman, A., & Retnowati, E. (2023). Collaborative learning in realistic mathematics education: Effects on students' mathematical communication skills. *Infinity Journal*, 12(1), 89–104. <https://doi.org/10.22460/infinity.v12i1.p89-104>
- Zawacki-Richter, O., & Qayyum, A. (2023). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education: Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 1–27. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00382-5>
- Zhang, Y. (2025). Artificial intelligence–driven adaptive learning in mathematics education: A systematic review. *Computers & Education*, 205, 104912. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.104912>