

TREN GLOBAL PENELITIAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM PEMBELAJARAN MATEMATIKA ANAK USIA DINI: STUDI BIBLIOMETRIK

Hajra Yansa¹, Aser Parera², Dite Umbara Alfansuri³,
Yuliana Olga Siba Sabon⁴, Ratu Bulkis Ramli⁵

^{1, 2, 3, 4, 5}Universitas Musamus, Jl. Kamizaun Mopah Lama, Merauke, Papua Selatan, Indonesia

Email: hajrayansa@unmus.ac.id

Article History

Received: 10-05-2026

Revision: 24-05-2026

Accepted: 29-05-2026

Published: 07-06-2026

Abstract. This study aims to analyze global research trends on Artificial Intelligence (AI) in early childhood mathematics learning through a bibliometric approach. The research data were obtained from the Scopus database within the 2016–2026 period. A total of 41 documents were analyzed using the Bibliometrix package in the R programming language. The analysis was conducted through performance analysis and science mapping, including publication trends, author and institutional productivity, research collaboration, and thematic analysis based on co-occurrence keywords and thematic maps. The results revealed that research on AI in early childhood mathematics learning has increased significantly, with an annual growth rate of 19.58%. The United States was identified as the country with the highest publication contribution, while University of Aveiro was the most productive institution. The dominant research themes included artificial intelligence, mathematics education, numeracy, machine learning, and early childhood education. The thematic map analysis indicated that mathematics education and AI-based learning systems have become rapidly developing core themes, while adaptive learning and machine learning still provide substantial opportunities for further research. This study confirms that AI has considerable potential to support early childhood mathematics learning, particularly in learning personalization and numeracy skill development. This study is limited to Scopus-indexed publications and bibliometric analysis, therefore future research is recommended to explore empirical implementation and pedagogical effectiveness of AI in early childhood mathematics learning across diverse educational contexts.

Keywords: Artificial Intelligence, Early Childhood Education, Bibliometric, Mathematics Learning, Numeracy

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren global penelitian mengenai *Artificial Intelligence (AI)* dalam pembelajaran matematika AUD melalui pendekatan bibliometrik. Data penelitian diperoleh dari database Scopus pada rentang tahun 2016–2026. 41 dokumen yang dianalisis menggunakan paket Bibliometrix pada bahasa pemrograman R. Analisis dilakukan melalui *performance analysis* dan *science mapping* meliputi tren publikasi, produktivitas penulis dan institusi, kolaborasi penelitian, serta analisis tematik berdasarkan *co-occurrence keywords* dan *thematic map*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penelitian mengenai AI dalam pembelajaran matematika AUD mengalami peningkatan yang signifikan dengan *annual growth rate* sebesar 19,58%. Amerika Serikat menjadi negara dengan kontribusi publikasi tertinggi, sementara University of Aveiro menjadi institusi paling produktif. Tema penelitian yang dominan meliputi *artificial intelligence*, *mathematics education*, *numeracy*, *machine learning*, dan *early childhood education*. Hasil *thematic map* menunjukkan bahwa tema pendidikan matematika dan sistem pembelajaran berbasis AI menjadi tema utama yang berkembang pesat, sedangkan tema *adaptive learning* dan *machine learning* masih memiliki peluang besar untuk dikembangkan. Penelitian ini menegaskan bahwa AI memiliki potensi besar dalam mendukung pembelajaran matematika AUD, khususnya dalam personalisasi pembelajaran dan pengembangan kemampuan numerasi. Penelitian ini terbatas pada publikasi terindeks Scopus dan analisis bibliometrik, sehingga penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi implementasi empiris dan efektivitas pedagogis AI dalam pembelajaran matematika AUD pada berbagai konteks Pendidikan.

Kata Kunci: *Artificial Intelligence*, AUD, Bibliometrik, Pembelajaran Matematika, Numeracy

How to Cite: Yansa, H., Parera, A., Alfansuri, D. U., Sabon, Y. O. S., & Ramli, R. B. (2026). Tren Global Penelitian *Artificial Intelligence* dalam Pembelajaran Matematika Anak Usia Dini: Studi Bibliometrik. *PEDAGOGIC: Indonesian Journal of Science Education and Technology*, 6 (3), 769-784. <http://doi.org/10.54373/ijset.v6i3.5686>

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dalam dua dekade terakhir telah membawa perubahan signifikan dalam dunia pendidikan, termasuk pada jenjang Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD). Salah satu inovasi yang paling menonjol adalah penerapan *Artificial Intelligence* (AI) dalam proses pembelajaran (Deslis et al., 2025; Zeng, 2025). AI memungkinkan terciptanya sistem pembelajaran yang adaptif, personal, dan berbasis data, sehingga mampu menyesuaikan kebutuhan belajar setiap individu sejak usia dini (Nguyen et al., 2026; Utoyo et al., 2026a; Yu et al., 2025). Dalam konteks ini, integrasi AI dalam pendidikan tidak hanya menjadi tren global, tetapi juga kebutuhan strategis untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di era digital.

Pada pendidikan AUD, pengembangan kemampuan matematika dasar atau numerasi menjadi salah satu aspek fundamental yang berpengaruh terhadap keberhasilan akademik di masa depan (Islam et al., 2025). Kemampuan seperti *number sense*, pengenalan pola, serta pemahaman konsep dasar matematika telah terbukti berkorelasi dengan prestasi akademik jangka panjang (Gaur & Kalita, 2024; Guilherme et al., 2020). Oleh karena itu, inovasi dalam pembelajaran matematika pada tahap awal kehidupan anak menjadi sangat penting untuk diperhatikan. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai studi mulai mengeksplorasi penggunaan teknologi berbasis AI dalam mendukung pembelajaran matematika AUD. Misalnya, penggunaan *intelligent tutoring systems* dan aplikasi pembelajaran adaptif yang mampu memberikan umpan balik secara real-time kepada anak (Grimes et al., 2021). Selain itu, pendekatan seperti *machine learning* dan *learning analytics* juga digunakan untuk menganalisis pola belajar anak dan mengoptimalkan intervensi pembelajaran (Gissela et al., 2025; Nakai et al., 2024). Teknologi ini tidak hanya meningkatkan keterlibatan belajar, tetapi juga memberikan peluang untuk mengidentifikasi kesulitan belajar sejak dini. Namun demikian, meskipun potensi AI dalam pembelajaran matematika AUD cukup besar, kajian yang secara khusus memetakan perkembangan penelitian dalam bidang ini masih terbatas. Sebagian besar studi bibliometrik tentang AI dalam pendidikan cenderung berfokus pada pendidikan tinggi atau pembelajaran umum, tanpa memberikan perhatian khusus pada konteks PAUD dan pembelajaran matematika (Zawacki-Richter et al., n.d.). Padahal, karakteristik pembelajaran pada AUD yang bersifat konkret, kontekstual, dan berbasis pengalaman membutuhkan pendekatan teknologi yang berbeda dibandingkan dengan jenjang pendidikan lainnya.

Selain itu, terdapat kesenjangan dalam pemahaman terkait tren penelitian global, kolaborasi antarpeneliti, serta tema-tema utama yang berkembang dalam penggunaan AI untuk pembelajaran matematika AUD. Informasi ini penting untuk mengidentifikasi arah penelitian

masa depan, termasuk peluang pengembangan inovasi berbasis teknologi yang relevan dengan kebutuhan anak usia dini. Tanpa pemetaan yang sistematis, perkembangan penelitian berpotensi menjadi terfragmentasi dan kurang memberikan kontribusi yang signifikan terhadap praktik pendidikan.

Pendekatan bibliometrik menjadi salah satu metode yang efektif untuk menganalisis perkembangan suatu bidang penelitian secara komprehensif. Melalui analisis ini, peneliti dapat mengidentifikasi tren publikasi, jaringan kolaborasi, serta topik-topik penelitian yang dominan dalam kurun waktu tertentu (Donthu et al., 2021). Dengan memanfaatkan perangkat lunak seperti Bibliometrix, visualisasi data bibliometrik dapat dilakukan secara lebih sistematis dan informatif. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan tren penelitian terkait penggunaan AI dalam pembelajaran matematika AUD melalui pendekatan bibliometrik. Studi ini tidak hanya memberikan kontribusi teoretis dalam bentuk pemetaan literatur, tetapi juga memiliki implikasi praktis dalam mendukung pengembangan inovasi pembelajaran matematika berbasis teknologi pada PAUD. Di tengah pesatnya perkembangan teknologi AI, pemahaman yang komprehensif terhadap lanskap penelitian menjadi kunci dalam memastikan bahwa implementasi teknologi benar-benar memberikan dampak positif terhadap proses dan hasil belajar anak.

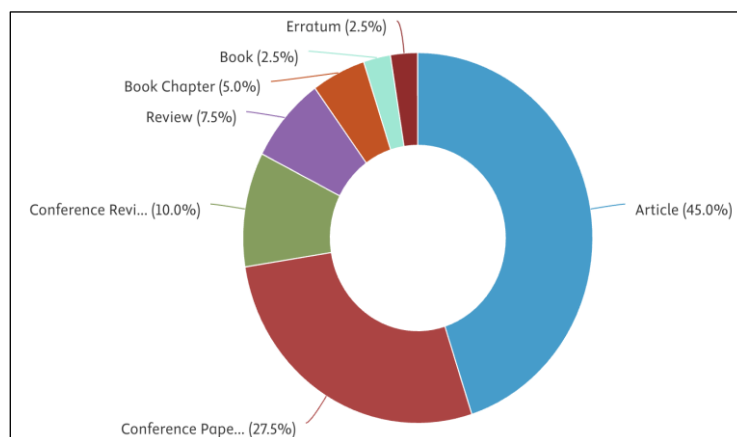
METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis bibliometrik untuk memetakan perkembangan penelitian terkait AI dalam pembelajaran matematika AUD. Analisis bibliometrik merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi dan mengidentifikasi tren publikasi ilmiah secara sistematis dalam suatu bidang tertentu, termasuk pola kolaborasi, kontribusi penulis, serta perkembangan tema penelitian (Donthu et al., 2021; Ghazali et al., 2024; Rapti et al., 2025). Data penelitian diperoleh dari database Scopus yang dipilih karena memiliki cakupan jurnal internasional yang luas serta menyediakan metadata yang lengkap untuk keperluan analisis bibliometrik. Proses pengumpulan data dilakukan melalui fitur *advanced search* dengan menggunakan kombinasi kata kunci yang merepresentasikan tiga aspek utama penelitian, yaitu kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), PAUD (*early childhood education*), dan pembelajaran matematika (*mathematics learning*).

Pencarian dilakukan dengan menggunakan query: *title-abs-key* (“*artificial intelligence*” or “*machine learning*” or “*deep learning*” or “*intelligent tutoring system**” or “*AI*”) and *title-abs-key* (“*early childhood*” or “*early childhood education*” or “*preschool*” or “*kindergarten*” or “*young children*”) and *title-abs-key* (“*mathematics education*” or “*math*”).

learning” or “*numeracy*” or “*early mathematics*” or “*mathematical thinking*”), dengan batasan tahun publikasi dari 2016 hingga 2026. Hasil pencarian awal menghasilkan 41 dokumen. Selanjutnya, dilakukan proses penyaringan data untuk memastikan relevansi dengan fokus penelitian. Kriteria inklusi meliputi artikel jurnal yang terindeks dalam Scopus, dipublikasikan dalam rentang waktu 2016-2026 yang telah ditentukan, berbahasa Inggris serta memiliki keterkaitan langsung dengan penggunaan AI dalam pembelajaran matematika pada AUD. Rentang waktu 2016–2026 dipilih karena penelitian mengenai AI dalam pendidikan mulai berkembang secara signifikan pada periode tersebut seiring meningkatnya integrasi teknologi digital, *machine learning*, dan sistem pembelajaran adaptif dalam proses pembelajaran (Holmes et al., 2019; Hwang et al., 2020). Pembatasan periode satu dekade dilakukan untuk memperoleh gambaran penelitian yang lebih aktual dan relevan terkait perkembangan AI dalam pembelajaran matematika AUD.

Setelah proses seleksi dilakukan, diperoleh sebanyak 41 artikel yang memenuhi kriteria dan digunakan sebagai data akhir dalam penelitian ini. Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis bahasa pemrograman R, yaitu paket Bibliometrix, yang memungkinkan analisis bibliometrik dilakukan secara komprehensif. Analisis yang dilakukan meliputi analisis kinerja (*performance analysis*) dan pemetaan ilmiah (*science mapping*). Analisis kinerja digunakan untuk mengidentifikasi tren jumlah publikasi per tahun, penulis paling produktif, sumber jurnal, serta kontribusi negara dan institusi. Sementara itu, pemetaan ilmiah dilakukan melalui analisis kemunculan bersama kata kunci (*co-occurrence*), analisis faktor, dan pemetaan tema. Sebanyak 45% sumber artikel yang digunakan, selebihnya tersebar pada artikel konferensi, book chapter, dll.



Gambar 1. Sumber referensi

HASIL

Tren Publikasi Penelitian

Berdasarkan hasil analisis bibliometrik menggunakan biblioshiny R studio, penelitian mengenai AI dalam pembelajaran matematika AUD mengalami perkembangan yang cukup signifikan dalam kurun waktu 2017–2026. Gambar 2. menunjukkan sebanyak 41 dokumen yang berasal dari 38 sumber publikasi. Jumlah sumber yang hampir sebanding dengan jumlah dokumen menunjukkan bahwa penelitian pada bidang ini masih tersebar di berbagai jurnal dan belum terpusat pada jurnal tertentu. Kondisi ini mengindikasikan bahwa bidang AI dalam pembelajaran matematika AUD masih tergolong sebagai bidang penelitian yang berkembang (*emerging field*).



Gambar 2. Tren publikasi penelitian

Tingkat pertumbuhan publikasi tahunan (*annual growth rate*) mencapai 19,58%, perhatian akademik terhadap topik AI dalam pembelajaran matematika AUD meningkat secara konsisten dari tahun ke tahun. Tingginya pertumbuhan publikasi mencerminkan semakin besarnya kebutuhan terhadap inovasi pembelajaran berbasis teknologi, khususnya dalam mendukung pengembangan numerasi dan kemampuan berpikir matematis anak usia dini. AI telah menjadi salah satu teknologi yang berkembang pesat dalam pendidikan modern karena mampu menciptakan pembelajaran yang lebih personal dan adaptif (Holmes et al., 2019). Penelitian ini melibatkan 133 penulis, namun hanya terdapat 2 penulis yang menghasilkan artikel tunggal (*single-authored documents*). Nilai *co-authors per document* sebesar 3,54 menunjukkan bahwa setiap artikel rata-rata ditulis oleh lebih dari tiga penulis, sehingga penelitian AI dalam pendidikan bersifat kolaboratif dan multidisipliner, melibatkan bidang pendidikan, teknologi, matematika, dan ilmu komputer.

Tingkat kolaborasi internasional (*international co-authorship*) sebesar 19,51% menjelaskan bahwa hampir seperlima publikasi melibatkan kerja sama antarnegara. Selain itu, penelitian ini menggunakan 126 *author's keywords*, tema penelitian AI dalam pembelajaran matematika AUD masih berkembang dan cukup beragam, seperti *artificial intelligence*, *numeracy*, *machine learning*, *adaptive learning*, dan *early childhood education*. Dari sisi

referensi, seluruh artikel menggunakan total 1.950 referensi dengan landasan teoretis yang luas dan multidisipliner. Rata-rata usia dokumen (*document average age*) sebesar 2,15 tahun sehingga bidang ini masih tergolong baru dan mengikuti perkembangan teknologi terkini. Sementara itu, rata-rata sitasi per dokumen (*average citations per doc*) sebesar 6,561 mengindikasikan bahwa publikasi dalam bidang ini mulai mendapat perhatian dari komunitas akademik. Meskipun angka sitasi belum terlalu tinggi, hal ini wajar karena penelitian AI dalam pembelajaran matematika AUD masih merupakan bidang yang relatif baru, namun memiliki potensi besar untuk terus berkembang di masa mendatang.

Kontribusi Negara dalam Penelitian

Amerika Serikat menjadi negara dengan kontribusi publikasi tertinggi, yaitu sebanyak 22 publikasi. Posisi berikutnya ditempati oleh Portugal dengan 6 publikasi, Australia dan Mexico masing-masing sebanyak 4 publikasi, serta Bangladesh, China, France, India, Indonesia, dan Peru masing-masing sebanyak 3 publikasi. Dominasi Amerika Serikat menunjukkan kapasitas penelitian dan pengembangan teknologi pendidikan yang sangat kuat. Negara-negara maju mendominasi penelitian AI dalam bidang pendidikan karena didukung oleh infrastruktur teknologi, pendanaan penelitian, dan kolaborasi akademik yang lebih baik (Zawacki-Richter et al, 2019). Selain itu, dominasi negara maju dalam publikasi juga memperlihatkan adanya kesenjangan pengembangan riset AI antara negara maju dan negara berkembang. Negara berkembang umumnya masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan infrastruktur digital, akses teknologi, dan kesiapan sumber daya manusia dalam mengimplementasikan teknologi berbasis AI di lingkungan pendidikan. Meskipun demikian, munculnya Indonesia sebagai salah satu negara yang berkontribusi menunjukkan bahwa penelitian mengenai AI dalam pembelajaran matematika AUD mulai berkembang di kawasan Asia Tenggara. Kehadiran beberapa negara berkembang dalam jaringan penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan AI dalam pendidikan tidak lagi hanya menjadi perhatian negara maju, tetapi mulai menjadi isu global. Hal ini penting karena implementasi AI dalam pendidikan AUD memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas pembelajaran, khususnya dalam pengembangan numerasi dasar dan kemampuan berpikir matematis.

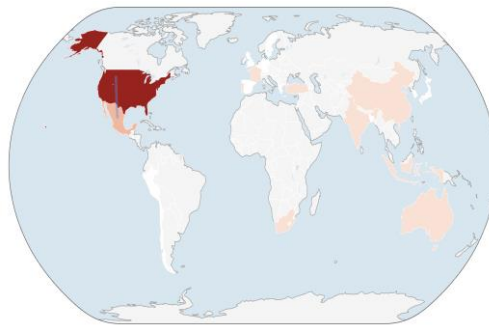
Tabel 1. Kontribusi Negara

Negara	Frekuensi	Negara	Frekuensi
USA	22	Germany	2
Portugal	6	South Africa	2
Australia	4	Sweden	2
Mexico	4	Turkey	2
Bangladesh	3	Belgium	1
China	3	Greece	1

France	3	Israel	1
India	3	Japan	1
Indonesia	3	South Korea	1
Peru	3	Spain	1
Chile	2	UK	1

Kolaborasi antar Negara

Visualisasi kolaborasi antarnegara pada Gambar 3. menunjukkan bahwa studi mengenai AI dalam pembelajaran matematika AUD berkembang melalui jaringan kolaborasi internasional yang masih relatif terbatas. Amerika Serikat tampak menjadi pusat kolaborasi utama dengan beberapa negara lain, termasuk Portugal dan Australia. Penelitian terkait AI dalam pendidikan cenderung bersifat multidisipliner dan membutuhkan dukungan lintas institusi maupun lintas negara. Kolaborasi internasional memiliki peran penting dalam mempercepat perkembangan penelitian karena memungkinkan pertukaran pengetahuan, metode, dan inovasi teknologi. Namun demikian, hasil visualisasi menunjukkan bahwa beberapa negara masih berada di luar jaringan kolaborasi utama.

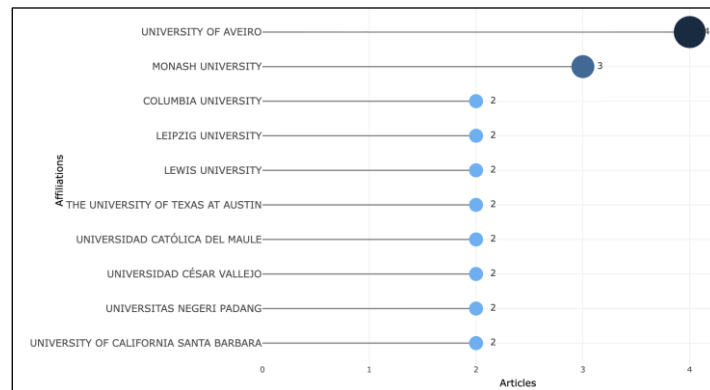


Gambar 3. Kolaborasi antar Negara

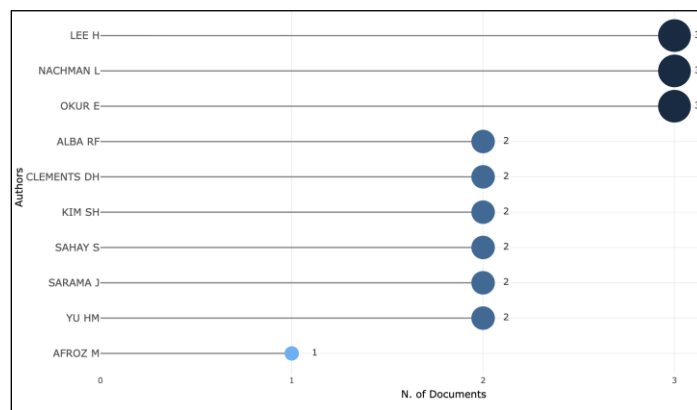
Produktivitas Institusi dan Penulis

University of Aveiro menjadi institusi dengan kontribusi publikasi tertinggi sebanyak 4 artikel, diikuti oleh Monash University dengan 3 artikel. Beberapa institusi lain seperti Columbia University, Leipzig University, Lewis University, The University of Texas at Austin, serta Universitas Negeri Padang masing-masing berkontribusi sebanyak 2 artikel. Temuan ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai AI dalam pembelajaran matematika AUD berkembang pada berbagai institusi internasional dan mulai melibatkan perguruan tinggi dari negara berkembang seperti Indonesia. Dari sisi produktivitas penulis, penulis dengan kontribusi tertinggi adalah Lee H, Nachman L, dan Okur E yang masing-masing menghasilkan 3 publikasi. Sementara itu, beberapa penulis lain seperti Alba R, Clements DH, Kim SH, Saray S, Sarama J, dan Yu HM memiliki kontribusi sebanyak 2 publikasi. Dominasi beberapa penulis

dan institusi tertentu menunjukkan bahwa bidang AI dalam pembelajaran matematika AUD masih berkembang dalam komunitas akademik yang relatif terbatas, namun memiliki potensi besar untuk terus berkembang melalui kolaborasi lintas disiplin dan lintas negara.



Gambar 4. Produktivitas institusi berdasarkan jumlah publikasi

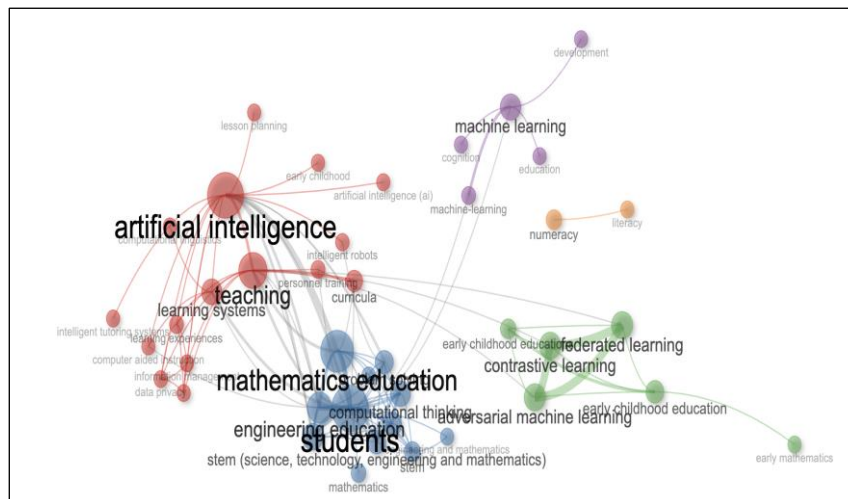


Gambar 5. Produktivitas penulis berdasarkan jumlah publikasi

Analisis Co-occurrence Kata Kunci

Hasil analisis *co-occurrence network* pada Gambar 6 menunjukkan adanya beberapa kelompok kata kunci yang saling berkaitan. Kata kunci seperti *artificial intelligence*, *early childhood education*, *mathematics education*, *numeracy*, *machine learning*, dan *mathematical thinking* muncul. Berarti fokus utama penelitian masih berkaitan dengan pengembangan kemampuan numerasi dasar melalui dukungan teknologi berbasis AI. Menurut Clements & Sarama (2021), kemampuan numerasi awal merupakan fondasi penting dalam perkembangan kognitif anak dan menjadi dasar bagi pembelajaran matematika pada tahap berikutnya. Oleh karena itu, integrasi AI dalam pembelajaran matematika AUD diarahkan untuk membantu anak memahami konsep matematika secara lebih interaktif dan adaptif.

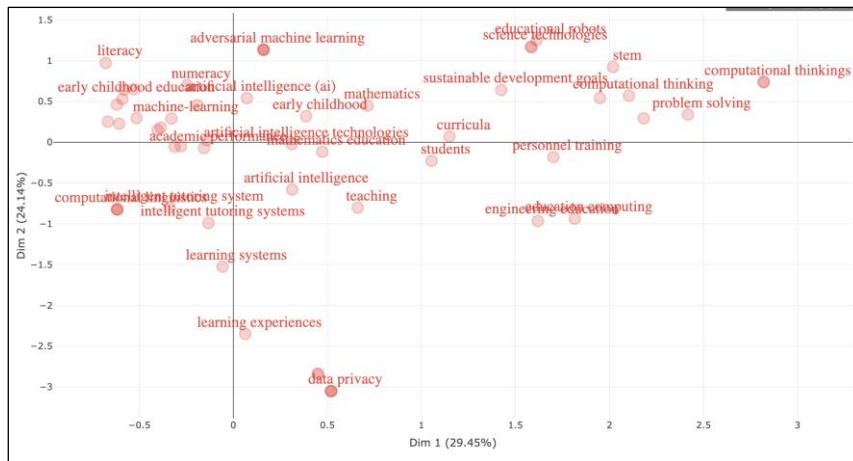
Keterhubungan antara kata kunci *machine learning* dan *adaptive learning*, meningkatnya perhatian terhadap sistem pembelajaran yang mampu menyesuaikan materi dan aktivitas belajar berdasarkan kemampuan individu anak. Teknologi ini memungkinkan proses pembelajaran menjadi lebih personal dan responsif terhadap kebutuhan peserta didik. Selain itu, penelitian mengenai AI dalam pembelajaran matematika AUD belum sepenuhnya terintegrasi secara konseptual, terlihat pada visualisasi beberapa jaringan kata kunci memiliki hubungan yang lemah. Sebagian penelitian masih berfokus pada aspek teknologi, sementara sebagian lainnya lebih menekankan aspek pedagogis dan perkembangan anak. Kondisi ini menunjukkan bahwa bidang studin ini masih berada pada tahap perkembangan awal.



Gambar 6. Co-occurrence kata kunci

Analisis Struktur Konseptual

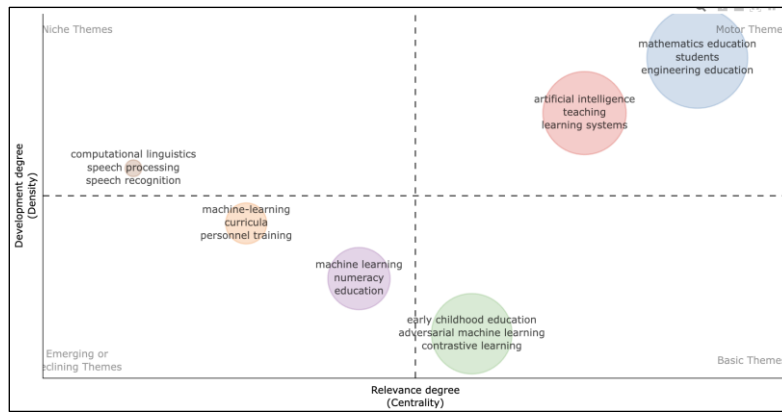
Hasil *factorial analysis* menunjukkan bahwa penelitian dalam bidang AI dan pembelajaran matematika AUD terbagi ke dalam beberapa klaster utama. Klaster pertama berkaitan dengan penggunaan AI untuk mendukung pengembangan numerasi dan kemampuan matematika dasar anak. Klaster kedua berkaitan dengan penggunaan teknologi pembelajaran adaptif dan *intelligent tutoring systems*. Sementara itu, klaster lainnya berkaitan dengan integrasi teknologi digital dalam pendidikan anak usia dini. Hal ini mengindikasikan mengenai AI dalam pembelajaran matematika AUD tidak hanya berorientasi pada pengembangan teknologi, tetapi juga mulai memperhatikan pendekatan pedagogis yang sesuai dengan karakteristik perkembangan anak.



Gambar 7. Faktor analysis

Peta Tematik

Hasil *thematic map* menggunakan VOSviewer, penelitian mengenai kecerdasan buatan dalam pembelajaran matematika anak usia dini terbagi ke dalam beberapa tema utama berdasarkan tingkat sentralitas (*centrality*) dan tingkat perkembangan (*density*). Pada kuadran *motor themes*, tema seperti *mathematics education*, *students*, dan *engineering education* memiliki tingkat perkembangan dan relevansi yang tinggi, sehingga menjadi tema utama yang paling berkembang dan berpengaruh dalam penelitian. Selain itu, tema *artificial intelligence*, *teaching*, dan *learning systems* juga menunjukkan posisi yang kuat sebagai topik penting dalam pengembangan pembelajaran berbasis AI. Pada kuadran *basic themes*, tema seperti *early childhood education*, *adversarial machine learning*, dan *contrastive learning* memiliki relevansi tinggi tetapi tingkat pengembangan yang masih rendah, sehingga berpotensi menjadi arah penelitian di masa mendatang. Sementara itu, tema *machine learning*, *numeracy*, dan *education* berada pada area *emerging or declining themes*, yang menunjukkan bahwa topik tersebut masih berkembang namun belum menjadi fokus utama penelitian. Adapun tema *computational linguistics*, *speech processing*, dan *speech recognition* berada pada kuadran *niche themes*, yang mengindikasikan bahwa tema tersebut bersifat spesifik dan berkembang dalam lingkup penelitian tertentu. Secara keseluruhan, peta tematik ini menunjukkan bahwa penelitian AI dalam pembelajaran matematika anak usia dini masih terus berkembang dengan fokus utama pada pendidikan matematika, sistem pembelajaran berbasis AI, serta pengembangan teknologi pembelajaran adaptif.



Gambar 8. Peta tematik AI dalam pembelajaran matematika AUD

DISKUSI

Perkembangan AI dalam pembelajaran matematika AUD memiliki dinamika yang semakin kompleks dan multidimensional dalam dekade terakhir. Tidak hanya sebagai alat bantu teknologi, AI kini dipahami sebagai instrumen pedagogis yang dapat merevolusi cara anak membangun konsep matematis dasar melalui pengalaman belajar yang adaptif dan interaktif. Berdasarkan temuan penelitian terbaru, tren penelitian dunia mengarah pada integrasi antara pendekatan pedagogis konstruktivistik dan sistem pembelajaran berbasis algoritma yang belajar secara mandiri (*self-learning system*), yang memungkinkan pembelajaran bersifat *personalized*, *data-driven*, dan berpusat pada anak (Utoyo et al., 2026b).

Penggunaan AI seperti *ChatGPT*, *Photomath*, dan *Socratic* telah memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan efektivitas dan efisiensi pembelajaran matematika, sekaligus memperkuat keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah siswa, tetapi ketergantungan anak terhadap AI dapat menurunkan kemampuan numerasi dasar apabila tidak diimbangi dengan pendekatan pedagogis yang sesuai (Yunita & Gunawan, 2025). Dalam konteks PAUD, risiko ini semakin besar karena anak berada pada fase perkembangan konseptual yang sensitif, di mana interaksi sosial dan pengalaman konkret memegang peran dominan. Oleh sebab itu, peran guru tidak dapat tergantikan, khususnya dalam mengarahkan AI sebagai *scaffolding tool* yang memperkuat pengalaman belajar berbasis bermain (*play-based learning*) dan eksplorasi.

Fitur interaktif yang menggabungkan aktivitas naratif, visual, dan analisis respons anak memungkinkan terjadinya pembelajaran numerasi yang lebih menarik dan adaptif. Hal ini sejalan dengan konsep *cognitive load theory* (Sweller, 2020), yang menekankan pentingnya desain pembelajaran berbasis AI untuk meminimalisasi beban kognitif anak agar pemahaman konseptual dapat terbentuk secara alami. AI tidak hanya memfasilitasi diferensiasi

pembelajaran, tetapi juga memperluas fungsi asesmen dengan memberikan umpan balik otomatis berbasis data perilaku belajar anak (Fokides, 2023). Penerapan AI dalam pembelajaran matematika AUD memerlukan kesadaran etis dan kesiapan sumber daya manusia. Studi Fadila et al., (2025) menyoroti kendala utama dalam implementasi AI, yakni rendahnya literasi digital guru dan kekhawatiran terhadap berkurangnya interaksi sosial antara guru dan anak.

Tantangan tersebut mengindikasikan bahwa keberhasilan AI dalam konteks PAUD tidak dapat dilepaskan dari dimensi humanistik pendidikan. Guru harus berperan sebagai mediator yang menyeimbangkan antara efisiensi teknologi dan kebutuhan emosional anak agar pembelajaran tetap berorientasi pada perkembangan holistik. Sementara itu, integrasi AI dalam pembelajaran matematika juga menghadirkan peluang besar dalam memperluas akses pendidikan berkualitas dan pengembangan kompetensi abad ke-21. Studi Sutomo & Turmudi (2025) melalui *Systematic Literature Review* menegaskan bahwa teknologi AI mampu memperkaya pengalaman belajar melalui pembelajaran berbasis permainan (*AI-driven game-based learning*) dan visualisasi konseptual interaktif.

Model pembelajaran ini diyakini efektif dalam meningkatkan keterlibatan anak (*engagement*) serta mendorong motivasi intrinsik untuk memahami konsep numerik secara mendalam. Hasil serupa juga diperkuat oleh penelitian Adrias et al., (2025) yang menemukan bahwa penerapan AI di SDN 28 Koto Merapak mampu meningkatkan pemahaman konsep matematika dan motivasi belajar siswa secara signifikan. Dari sudut pandang epistemologis, AI pada pembelajaran matematika AUD berpotensi menumbuhkan pendekatan "pedagogi algoritmik," di mana data interaksi anak digunakan bukan hanya sebagai hasil belajar, melainkan sebagai sumber refleksi pedagogis guru. Pemanfaatan analitik pembelajaran (*learning analytics*) memungkinkan pendidik memahami proses berpikir anak secara lebih objektif, personal, dan berkelanjutan. Namun untuk menghindari dehumanisasi proses belajar, AI perlu dikembangkan berdasarkan prinsip-prinsip etika pendidikan, demokrasi digital, dan nilai-nilai humanistik sebagaimana diserukan oleh (Holmes et al., 2023; McKnight & Morgan, 2024). Dengan demikian, AI dalam pembelajaran matematika AUD harus diposisikan bukan sebagai pengganti interaksi manusia, melainkan sebagai katalisator yang memperkaya pengalaman belajar anak. Kolaborasi antara guru, peneliti, dan pengembang teknologi menjadi kunci dalam memastikan bahwa AI dapat digunakan secara efektif, aman, dan bermakna. Fokus penelitian mendatang perlu diarahkan pada pengembangan model AI yang *child-centered*, berbasis empati digital, serta disesuaikan dengan konteks sosial dan budaya pendidikan Indonesia.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis bibliometrik, penelitian mengenai *artificial intelligence* (AI) dalam pembelajaran matematika AUD menunjukkan perkembangan yang signifikan dalam satu dekade terakhir dengan tingkat pertumbuhan publikasi yang terus meningkat. Tema penelitian yang dominan meliputi *artificial intelligence*, *mathematics education*, *numeracy*, *machine learning*, dan *early childhood education*, yang menunjukkan bahwa AI mulai dipandang sebagai teknologi potensial dalam mendukung personalisasi pembelajaran dan pengembangan kemampuan numerasi AUD. Amerika Serikat menjadi negara dengan kontribusi publikasi tertinggi, sementara University of Aveiro menjadi institusi paling produktif dalam bidang ini. Selain itu, hasil *thematic map* menunjukkan bahwa pendidikan matematika dan sistem pembelajaran berbasis AI berkembang menjadi tema utama penelitian, sedangkan tema seperti *adaptive learning* dan *machine learning* masih memiliki peluang besar untuk dikembangkan lebih lanjut. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa AI memiliki potensi besar dalam mendukung pembelajaran matematika anak usia dini, meskipun implementasinya masih memerlukan pengembangan penelitian yang lebih luas, khususnya terkait aspek pedagogis, kesiapan guru, dan konteks pembelajaran AUD. Meskipun studi ini berhasil memetakan tren global AI dalam pembelajaran matematika AUD, hasil studi masih terbatas pada analisis bibliometrik berbasis data publikasi Scopus dalam rentang waktu yang telah ditentukan.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, direkomendasikan agar penelitian mengenai AI dalam pembelajaran matematika AUD terus dikembangkan, khususnya pada aspek implementasi pedagogis, pengembangan media pembelajaran adaptif, serta integrasi AI yang sesuai dengan karakteristik perkembangan anak usia dini. Penelitian selanjutnya diharapkan tidak hanya berfokus pada analisis bibliometrik, tetapi juga mengkaji efektivitas penggunaan AI dalam meningkatkan kemampuan numerasi anak melalui pendekatan empiris. Selain itu, diperlukan peningkatan kolaborasi internasional antarpeneliti dan institusi pendidikan guna memperluas pengembangan riset AI dalam konteks pendidikan AUD, terutama di negara berkembang. Pemerintah, lembaga pendidikan, dan pengembang teknologi juga perlu memberikan dukungan dalam bentuk pelatihan literasi digital, penyediaan infrastruktur teknologi, serta pengembangan kebijakan yang mendukung implementasi AI secara etis, humanis, dan berorientasi pada kebutuhan anak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada Pendidikan Guru Pendidikan Anak Usia Dini Universitas Musamus tempat penulis bernaung atas dukungan akademik dan fasilitas penelitian yang diberikan.

REFERENSI

- Adrias, A., & Zulkarnaini, A. P. (2025). Penerapan Artificial Intelligence dalam Menunjang Pemahaman Matematika Siswa Sekolah Dasar. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(02). <https://doi.org/10.23969/JP.V10I2.23878>
- Clements, D. H., & Sarama, J. (2021). *Learning and Teaching Early Math: The Learning Trajectories Approach - Douglas H. Clements, Julie Sarama - Google Buku*. Routledge. https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=rngIEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=2YWqfqM2G0&sig=L_J-fuV0OjIJ9PuPPHwshyQNzj4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Deslis, D., Moutsios-Rentzos, A., Kaskaouti, P., & Giakoumi, M. (2025). Digital Storytelling in Teaching and Learning Mathematics: A PRISMA Systematic Literature Review. *Education Sciences*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/educsci15111548>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to Conduct a Bibliometric Analysis: An Overview and Guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2021.04.070>
- Fadila, S. N., Aulia, F., Syaharani, T. A., Anggraini, F., & Munawaroh, S. (2025). Persepsi Guru tentang Penggunaan AI dalam Pembelajaran... - Google Scholar. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 9(2), 21720–21729. https://scholar.google.co.id/scholar?hl=id&as_sdt=0%2C5&q=Persepsi+Guru+tentang+Penggunaan+AI+dalam+Pembelajaran+Anak+Usia+Dini%3A+Peluang+dan+Tantangan&btnG=
- Fokides, E. (2023). Development and Testing of a Scale for Examining Factors Affecting the Learning Experience in the Metaverse. *Computers & Education: X Reality*, 2, 100025. <https://doi.org/10.1016/J.CEXR.2023.100025>
- Gaur, A., & Kalita, K. (2024). Dampak Pendekatan Pembelajaran yang ditingkatkan pada Pendidikan Berfokus STEM untuk Anak Sekolah di Assam, India. *Konferensi Internasional IEEE Tentang Pengajaran, Penilaian, dan Pembelajaran Untuk Teknik, TALE 2024* -. <https://doi.org/10.1109/TALE62452.2024.10834323>
- Ghazali, A., Ashari, Z. M., Hardman, J., Idris, M. N., & Kaweng, W. (2024). Analisis Bibliometrik Tren Manajemen Teknologi dalam Pendidikan PAUD dan Meta-Analisis Pemanfaatan Alat Teknologi di Kelas. *MOJEM: Malaysian Online Journal of Educational Management*, 12(4), 1–23. <https://doi.org/10.22452/MOJEM.VOL12NO4.1>
- Gissela, D. P. A. B., Caballero, J. E. A. P., De La Cruz, J. R. R., De Ruiz, K. F. C., Purguaya, R. J. T., & Cristobal, O. I. M. (2025). Teaching Machine Learning in K-12 Education: Potential and Challenges. *2025 International Conference on Pervasive Computational Technologies, ICPCT 2025*, 702–705. <https://doi.org/10.1109/ICPCT64145.2025.10940750>
- Grimes, K. R., Park, S., McClelland, A., Park, J., Lee, Y. R., Nozari, M., Umer, Z., Zapparolli, B., & Bryant, D. (2021). Effectiveness of a Numeracy Intelligent Tutoring System in Kindergarten: A Conceptual Replication. *Journal of Numerical Cognition*, 7(3), 388–410. <https://doi.org/10.5964/jnc.6931>

- Guilherme, M. M., Bonnin, G., Castagnos, S., Hoareau, L., Thomas, A., & Tazouti, Y. (2020). An Approach to Model Children's Inhibition During Early Literacy and Numeracy Acquisition. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12164 LNAI, 203–207. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52240-7_37
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). Artificial Intelligence in Education Promises and Implications for Teaching and Learning. In (1st ed.). *Center for Curriculum Redesign: Boston, MA, USA. (2019). Center for Curriculum Redesign.* <https://circls.org/primers/artificial-intelligence-in-education-promises-and-implications-for-teaching-and-learning>
- Holmes, W., Stracke, C. M., Chounta, I. A., Allen, D., Baten, D., Dimitrova, V., Havinga, B., Norrmen-Smith, J., & Wasson, B. (2023). AI and Education. A View Through the Lens of Human Rights, Democracy and the Rule of Law. Legal and Organizational Requirements. *Communications in Computer and Information Science*, 1831 CCIS, 79–84. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36336-8_12
- Hwang, G. J., Xie, H., Wah, B. W., & Gašević, D. (2020). Vision, Challenges, Roles and Research Issues of Artificial Intelligence in Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/J.CAEAI.2020.100001>
- Islam, F., Suhel, G. M., Afroz, M., Apu, M. A. I., Rana, M. J., Hossain, T., Ziba, Z., Shariar, M. F., & Hasan, M. N. (2025). Predicting Child Development Across Literacy, Physical, Learning, and Social-Emotional Domains Using Supervised Machine Learning: A Cross-Sectional Study Based on MICS 2019 Bangladesh. *Health Science Reports*, 8(11). <https://doi.org/10.1002/hsr2.71434>
- McKnight, L., & Morgan, A. (2024). Getting the Goods: An Analysis of Implications of the 'Education as Delivery' Metaphor for the AI Age. *The Australian Educational Researcher*, 52(3), 1869–1886. <https://doi.org/10.1007/S13384-024-00790-5>
- Nakai, T., Tirou, C., & Prado, J. (2024). From Brain to Education Through Machine Learning: Predicting Literacy and Numeracy Skills from Neuroimaging Data. *Imaging Neuroscience*, 2, 1–24. https://doi.org/10.1162/imag_a_00219
- Nguyen, T. Q. H., Tran, T. L., Trinh, Q. H., & Ngo, T. D. (2026). Using Technology to Support Children with Dyscalculia in Pre-Primary and Primary School: Insights, Challenges and Opportunities. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. <https://doi.org/10.1080/17483107.2026.2658104>
- Rapti, S., Tselegkaridis, S., Sapounidis, T., & Triantafyllou, S. A. (2025). A Bibliometric and Content Analysis of Educational Robotics' Impact on Communication, Collaboration, Critical Thinking, and Creativity in Kindergarten. *Thinking Skills and Creativity*, 57, 101849. <https://doi.org/10.1016/J.TSC.2025.101849>
- Sweller, J. (2020). Cognitive Load Theory and Educational Technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/S11423-019-09701-3>
- Utoyo, S., Ismaniar, I., Hazizah, N., Putri, E. A., & Sihombing, S. C. (2026a). A Practical Study of the Use of AI-Based E-Book Guides to Improve Early Childhood Mathematics Skills. *Qubahan Academic Journal*, 6(1), 308–324. <https://doi.org/10.48161/qaj.v6n1a2176>
- Utoyo, S., Ismaniar, I., Hazizah, N., Putri, E. A., & Sihombing, S. C. (2026b). A Practical Study of the Use of AI-Based E-Book Guides to Improve Early Childhood Mathematics Skills. *Qubahan Academic Journal*, 6(1), 308–324. <https://doi.org/10.48161/QAJ.V6N1A2176>

- Yu, H. M., Kim, S. H., & Lee, H. (2025). AI-Assisted Integration of Computational Thinking: Pre-service Teachers' Experiences in Early Childhood Mathematics Education. *International Journal of Early Childhood*, 57(3), 987–1015. <https://doi.org/10.1007/s13158-025-00434-4>
- Yunita, F., & Gunawan. (2025). Artificial Intelligence dalam Pembelajaran Matematika: Sebuah Tantangan dan Peluang. *Media Pendidikan Matematika*, 13(1), 300–315. <https://doi.org/10.33394/MPM.V13I1.15310>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). *Systematic Review of Research on Artificial Intelligence Applications in Higher Education-Where are the Educators?* <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
- Zeng, S. A. (2025). Dialogues in Play: Conversational AI and Early Mathematical Thinking. *Education Sciences*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/educsci15111516>