

Berpikir Kritis Generasi Alpha dalam Pemecahan Masalah Matematis Era AI Generatif

Maya Puspita sari^{1*}, Surya Sari Faradiba²

^{1,2}Universitas Islam Malang, Malang, Jawa Timur, Indonesia

E-mail: ¹22402072007@unisma.ac.id, ²suryasarifaradiba@unisma.ac.id

*Corresponding Author

ABSTRAK

The development of Generative Artificial Intelligence (GenAI) has transformed the mathematics learning environment, particularly for Generation Alpha, who are growing up in a digital ecosystem and increasingly interacting with AI systems capable of generating mathematical explanations, strategies, and solutions. This study aims to synthesize evidence regarding Generation Alpha's critical thinking in mathematical problem-solving within the GenAI era, focusing on analysis, reasoning, evaluation, verification, decision-making, justification, and cognitive offloading. The research employed a Systematic Literature Review (SLR) based on PRISMA 2020 guidelines. Of the 60 identified publications, 40 were retained after removing duplicates, 20 passed the title and abstract screening, 17 underwent full-text assessment, and 8 studies were included in the final synthesis. The synthesis revealed three key findings. First, critical thinking in mathematical problem-solving is characterized by the ability to analyze information, construct reasoning, select and compare strategies, evaluate and verify solutions, make decisions, and provide mathematical justifications. Second, GenAI expands these demands, as students must evaluate AI outputs, detect errors, check mathematical validity, and compare AI solutions with their own reasoning. Over-reliance on AI also presents a risk of cognitive offloading, which can diminish independent cognitive engagement. Third, empirical evidence directly integrating Generation Alpha, GenAI, critical thinking, and mathematical problem-solving remains limited, as most research addresses these dimensions in isolation. These findings underscore the importance of maintaining students' cognitive independence through the critical evaluation and verification of GenAI-generated support.

Keywords: critical thinking, generation alpha, generative artificial intelligence, mathematical problem solving

ABSTRAK

Perkembangan Generative Artificial Intelligence (GenAI) telah mengubah lingkungan pembelajaran matematika, khususnya bagi Generasi Alpha yang tumbuh dalam ekosistem digital dan semakin berinteraksi dengan sistem AI yang mampu menghasilkan penjelasan, strategi, dan solusi matematis. Penelitian ini bertujuan menyintesis bukti mengenai berpikir kritis Generasi Alpha dalam pemecahan masalah matematika pada era GenAI, dengan perhatian pada analisis, penalaran, evaluasi, verifikasi, pengambilan keputusan, justifikasi, dan cognitive offloading. Penelitian menggunakan Systematic Literature Review (SLR) berdasarkan pedoman PRISMA 2020. Dari 60 publikasi yang teridentifikasi, 40 dipertahankan setelah penghapusan duplikasi, 20 lolos penyaringan judul dan abstrak, 17 menjalani penilaian teks lengkap, dan 8 studi digunakan dalam sintesis akhir. Hasil sintesis menunjukkan tiga temuan utama. Pertama, berpikir kritis dalam pemecahan masalah matematika ditandai oleh kemampuan menganalisis informasi, membangun penalaran, memilih dan membandingkan strategi, mengevaluasi serta memverifikasi solusi, mengambil keputusan, dan memberikan justifikasi matematis. Kedua, GenAI memperluas tuntutan tersebut karena siswa perlu mengevaluasi keluaran AI, mendeteksi kesalahan, memeriksa validitas matematis, serta membandingkan solusi AI dengan penalaran sendiri. Ketergantungan berlebihan terhadap AI juga menunjukkan risiko cognitive offloading yang dapat mengurangi keterlibatan kognitif mandiri. Ketiga, bukti empiris yang secara langsung mengintegrasikan Generasi Alpha, GenAI, berpikir kritis, dan pemecahan masalah matematika masih terbatas karena sebagian besar penelitian membahas dimensi tersebut secara terpisah. Temuan ini menegaskan pentingnya mempertahankan kemandirian kognitif siswa melalui evaluasi dan verifikasi kritis terhadap dukungan GenAI.

Kata kunci: Kemampuan berpikir kritis, generasi alpha, kecerdasan buatan generatif, pemecahan masalah matematis

Dikirim: 20 Agustus 2026; Diterima: 6 September 2026; Dipublikasikan: 21 September 2026

Cara sitasi: Sari, M. P., & Faradiba, S. S. (2026). Berpikir Kritis Generasi Alpha dalam Pemecahan Masalah Matematis Era AI Generatif. *Teorema: Teori dan Riset Matematika*, 11(2), 334-354.

DOI: <http://dx.doi.org/10.25157/teorema.v11i2.26606>.

PENDAHULUAN

Generasi Alpha, umumnya merujuk pada individu dengan kelahiran sekitar tahun 2010 dan setelahnya, tumbuh dalam lingkungan pendidikan yang semakin terintegrasi dengan perangkat digital, sumber daring, platform interaktif, dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*). Karakteristik ini membedakan pengalaman belajar mereka dari generasi sebelumnya dan menimbulkan pertanyaan mengenai bagaimana interaksi intensif dengan teknologi memengaruhi proses kognitif siswa. Persoalan tersebut menjadi penting dalam pendidikan matematika karena pembelajaran matematika tidak hanya menuntut penguasaan prosedur, tetapi juga kemampuan memahami informasi, mengidentifikasi hubungan antarkonsep, memilih strategi, mengevaluasi alternatif, dan memvalidasi kesimpulan. Pemecahan masalah matematika dengan demikian menjadi konteks yang relevan untuk mengkaji berpikir kritis Generasi Alpha. Basri & As'ari, (2019) memperlihatkan berpikir secara kritis pada pemecahan masalah matematika tercermin melalui pengolahan informasi, pertimbangan terhadap pendekatan penyelesaian, dan pemberian argumen yang mendukung solusi, sedangkan Cahya & Juandi, (2021) menegaskan keterkaitan antara proses berpikir kritis dan pemecahan masalah matematika. Pada kelompok usia yang lebih muda, Ahdhianto & Nurfauzi, (2020) juga memperlihatkan pembelajaran dengan basis permasalahan dapat mendukung kemampuan berpikir kritis sekaligus memecahkan permasalahan matematika. Temuan tersebut memberikan landasan bahwa kemampuan siswa untuk memahami, menganalisis, menentukan strategi, mengevaluasi, dan memberikan alasan merupakan bagian penting dari proses pemecahan masalah yang relevan dengan karakteristik pembelajar Generasi Alpha.

Perkembangan *Generative Artificial Intelligence* (GenAI) memperluas konteks tersebut karena teknologi ini tidak hanya menyediakan informasi, tetapi mampu menghasilkan penjelasan, prosedur, strategi, contoh, dan solusi sebagai respons terhadap masukan siswa. Karlimah, (2025), misalnya, mengkaji penggunaan *chatbot* GenAI berbasis Gemini dalam pemecahan masalah matematika siswa sekolah dasar, sehingga memberikan bukti awal mengenai pertemuan antara GenAI, pelajar usia Generasi Alpha, dan aktivitas pemecahan masalah matematika. Kondisi ini mengubah tuntutan berpikir kritis karena siswa tidak cukup hanya mampu menghasilkan solusi, tetapi juga perlu menilai kualitas solusi yang dihasilkan AI. Sardi *et al.* (2025) menekankan pentingnya memahami pengaruh GenAI terhadap pembelajaran mandiri dan berpikir kritis, sedangkan Lau *et al* (2026) menunjukkan bahwa penggunaan GenAI secara kritis memerlukan kemampuan mengevaluasi, mempertanyakan, dan menilai informasi yang dihasilkan AI. Dalam matematika, kebutuhan tersebut menjadi semakin penting karena keluaran AI yang tampak meyakinkan belum tentu memiliki interpretasi, prosedur, perhitungan, atau penalaran yang valid. Oleh karena itu, interaksi dengan GenAI memperluas fungsi berpikir kritis dari kemampuan menyelesaikan masalah menjadi kemampuan mengevaluasi keluaran AI, mendeteksi kesalahan atau ketidakkonsistenan, memverifikasi validitas matematis, membandingkan strategi AI dengan penalaran sendiri, serta menentukan alasan untuk menerima, merevisi, atau menolak solusi yang dihasilkan AI.

Hubungan antara GenAI dan berpikir kritis juga perlu dipahami melalui konsep *cognitive offloading*, yaitu pengalihan sebagian aktivitas kognitif kepada alat eksternal. Gerlich (2025) menunjukkan bahwa penggunaan AI dapat berkaitan dengan *cognitive offloading* dan menimbulkan implikasi terhadap kemampuan dalam berpikir secara kritis. Untuk memecahkan permasalahan matematika, pengalihan tersebut mampu terjadi ketika siswa menyerahkan proses memahami masalah, menentukan strategi, menjalankan langkah penalaran, memeriksa hasil, atau menyusun justifikasi kepada GenAI. Bantuan AI dapat berfungsi sebagai *scaffold* ketika mendorong siswa untuk memperluas atau memeriksa penalarannya, tetapi ketergantungan yang berlebihan berpotensi mengurangi kesempatan untuk melakukan proses tersebut secara mandiri. Berdasarkan hubungan ini, kerangka konseptual kajian menempatkan Generasi Alpha sebagai subjek pembelajar, pemecahan masalah matematika sebagai konteks kognitif, GenAI sebagai lingkungan atau sumber dukungan teknologi, berpikir kritis sebagai proses kognitif utama, dan *cognitive offloading* sebagai potensi konsekuensi dari penggunaan AI. Indikator berpikir kritis dalam kajian ini diturunkan dari

proses yang secara konsisten muncul dalam penelitian pemecahan masalah matematika, terutama memahami dan menafsirkan masalah, menganalisis informasi, memilih dan membandingkan strategi, mengevaluasi proses dan solusi, memverifikasi hasil, mengambil keputusan, serta memberikan justifikasi matematis (Basri & As'ari, 2019; Cahya & Juandi, 2021; Herayati *et al.*, 2026). Dalam konteks GenAI, indikator tersebut diperluas dengan evaluasi keluaran AI, deteksi kesalahan, pemeriksaan validitas matematis, perbandingan solusi AI dengan penalaran siswa, serta keputusan untuk menerima, merevisi, atau menolak respons AI (Lau *et al.*, 2026; Singh *et al.*, 2025; Walter, 2024).

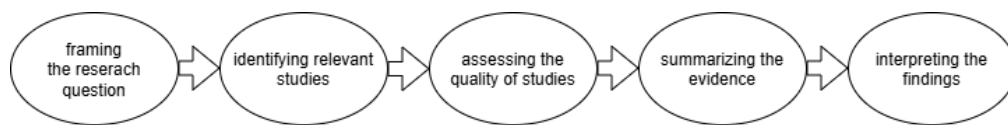
Meskipun landasan penelitian pada masing-masing bidang telah berkembang, terdapat kesenjangan yang lebih spesifik pada titik temu keempat komponen tersebut. Penelitian mengenai berpikir kritis dalam matematika telah menjelaskan bagaimana siswa menganalisis informasi, memilih strategi, mengevaluasi solusi, dan memberikan justifikasi ketika memecahkan masalah (Ahdhianto & Nurfauzi, 2020; Basri & As'ari, 2019; Cahya & Juandi, 2021), sedangkan penelitian GenAI mulai mengungkap tuntutan evaluasi kritis terhadap keluaran AI serta risiko berkurangnya keterlibatan kognitif akibat *cognitive offloading* (Gerlich, 2025; Lau *et al.*, 2026; Sardi *et al.*, 2025). Penelitian Karlimah (2025) telah mendekatkan kedua bidang tersebut melalui penggunaan GenAI untuk pemecahan masalah matematika siswa sekolah dasar, tetapi bukti empiris yang secara bersamaan menjelaskan bagaimana siswa Generasi Alpha mempertahankan proses berpikir kritis ketika GenAI ikut menghasilkan interpretasi, strategi, prosedur, atau solusi matematika masih terbatas. Secara khusus, belum ter jelaskan secara sistematis bagaimana siswa mengevaluasi validitas keluaran AI, mendeteksi kesalahan, membandingkan penalaran sendiri dengan strategi AI, memverifikasi solusi, mengambil keputusan terhadap informasi yang dihasilkan AI, serta bagaimana *cognitive offloading* berpotensi memengaruhi kemandirian kognitif mereka. Dengan demikian, kesenjangan penelitian bukan semata-mata terletak pada sedikitnya studi yang menghubungkan Generasi Alpha, GenAI, berpikir kritis, dan pemecahan masalah matematika, tetapi pada keterbatasan bukti yang menjelaskan proses berpikir kritis apa yang tetap dilakukan siswa, proses apa yang berpotensi dialihkan kepada AI, dan bagaimana siswa mempertahankan kendali kognitif ketika menggunakan GenAI dalam pemecahan masalah matematika.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, *Systematic Literature Review* ini bertujuan menyintesis bukti mengenai berpikir kritis Generasi Alpha dalam pemecahan masalah matematika pada lingkungan belajar yang semakin dipengaruhi GenAI, sekaligus mengidentifikasi peluang, tantangan, dan risiko *cognitive offloading* terhadap keterlibatan kognitif siswa. Agar proses pencarian, seleksi, analisis, dan sintesis literatur dapat ditelusuri secara sistematis, kajian ini diarahkan oleh tiga pertanyaan penelitian: Pertanyaan 1 (P1): Bagaimana penelitian terdahulu mengkarakterisasi proses dan indikator dari berpikir secara kritis Generasi Alpha untuk memecahkan permasalahan matematika? Pertanyaan 2(P2): Bagaimana GenAI memengaruhi atau mengubah proses berpikir secara kritis yang dimiliki siswa untuk memecahkan permasalahan matematika, khususnya dalam mengevaluasi, memverifikasi, membandingkan, dan mengambil keputusan terhadap solusi yang dihasilkan AI? Pertanyaan 3(P3): Apa peluang, tantangan, kesenjangan bukti empiris, dan potensi *cognitive offloading* yang teridentifikasi dalam penggunaan GenAI terhadap kemandirian kognitif Generasi Alpha ketika memecahkan masalah matematika? Melalui ketiga pertanyaan tersebut, kajian ini diarahkan melampaui persoalan apakah AI mampu menghasilkan jawaban matematika yang benar menuju pemahaman mengenai bagaimana Generasi Alpha tetap mempertahankan *cognitive agency* sebagai pemecah masalah yang aktif, kritis, reflektif, dan bertanggung jawab ketika sebagian proses pemecahan masalah dapat didukung atau dilakukan oleh GenAI.

METODE PENELITIAN

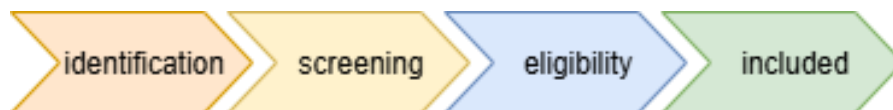
Penelitian dilaksanakan melalui penggunaan *Systematic Literature Review* untuk mengidentifikasi, mengevaluasi secara kritis, dan menyintesis penelitian sebelumnya terkait hubungan Generasi Alpha, GenAI, berpikir kritis, dan pemecahan masalah matematika. Prosedur SLR mengacu

pada kerangka Khan *et al.* (2003), yang meliputi perumusan pertanyaan penelitian, identifikasi studi yang relevan, penilaian kualitas studi, sintesis bukti, serta interpretasi hasil. Untuk meningkatkan transparansi dan keterlacakan proses seleksi, pelaporan tinjauan merujuk pada *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020. Penggunaan kedua kerangka tersebut dimaksudkan agar setiap tahapan, mulai dari pencarian literatur hingga penentuan studi yang masuk dalam sintesis akhir, dilakukan secara sistematis dan dapat ditelusuri kembali. Dalam proses penelitian ini, teknologi kecerdasan buatan tidak digunakan untuk melakukan analisis data, pengolahan data, pemodelan, penilaian kualitas artikel, sintesis tematik, maupun pembuatan visualisasi hasil penelitian. ChatGPT dari OpenAI digunakan secara terbatas sebagai alat bantu untuk penyempurnaan bahasa, struktur kalimat, dan kejelasan penyajian naskah. Seluruh proses seleksi artikel, ekstraksi data, penilaian kualitas studi, analisis tematik, interpretasi hasil, dan penarikan kesimpulan dilakukan oleh penulis, sedangkan seluruh keluaran AI telah diperiksa, diverifikasi, dan disunting sebelum digunakan dalam naskah. Dan proses penelitian secara umum mengikuti tahapan SLR Khan *et al.* (2003) sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1



Gambar 1. Tinjauan Pustaka Sistematis (Khan *et al.*, 2003)

Guna menjamin transparansi, ketepatan metodologis, dan kemampuan replikasi, tinjauan ini juga mematuhi pedoman PRISMA (2020). Kerangka kerja PRISMA menyusun tahapan pengidentifikasian, penyaringan, menilai kelayakan, serta inklusi pada studi secara sistematis, jelas, dan terbuka.



Gambar 2. Diagram PRISMA

Pencarian pada literatur dilaksanakan pada *Scopus*, *Web of Science*, *ERIC*, *ScienceDirect*, *Google Scholar*, rentang publikasi ditetapkan mulai dari tahun 2021 sampai 2026. Strategi dalam pencarian dibangun berdasarkan empat konstruk utama, yaitu *Generation Alpha*, *GenAI*, *critical thinking*, dan *mathematical problem-solving*. Istilah yang berkaitan dengan *mathematical reasoning*, teknologi pendidikan, dan *cognitive offloading* digunakan untuk memperluas sensitivitas pencarian terhadap studi yang secara konseptual relevan. Sebagai prinsip, kelompok istilah yang merepresentasikan populasi dihubungkan dengan istilah *GenAI*, berpikir kritis, dan pemecahan masalah matematika. Penelusuran juga mempertimbangkan variasi terminologi karena penelitian yang relevan tidak selalu menggunakan istilah “Generation Alpha” secara eksplisit, tetapi dapat melibatkan siswa sekolah dasar atau menengah yang berdasarkan tahun kelahiran dan periode penelitian termasuk dalam rentang usia Generasi Alpha. Seluruh hasil pencarian kemudian dihimpun dan diperiksa untuk mengidentifikasi publikasi yang sama sebelum memasuki tahap penyaringan.

Penetapan kriteria inklusi serta eksklusi dilakukan sebelum proses penyaringan guna menjaga konsistensi pemilihan suatu studi. Studi dimasukkan apabila melibatkan Generasi Alpha atau peserta didik usia sekolah yang secara kronologis termasuk dalam kelompok tersebut; membahas berpikir kritis, penalaran matematis, atau proses kognitif yang relevan; mengkaji pemecahan masalah matematika yang menuntut analisis, evaluasi, verifikasi, pengambilan keputusan, atau justifikasi; dan/atau menelaah penggunaan *GenAI*, teknologi berbasis AI, serta konsekuensi kognitif seperti *cognitive offloading*. Studi juga harus berupa publikasi ilmiah yang menyediakan informasi memadai mengenai tujuan, metode, partisipan atau konteks, serta hasil yang dapat digunakan dalam sintesis. Sebaliknya, studi dikeluarkan apabila tidak memiliki keterkaitan substantif dengan fokus kajian, tidak

menyediakan informasi metodologis atau temuan yang memadai, merupakan publikasi duplikat, tidak memberikan bukti yang relevan untuk menjawab pertanyaan penelitian, atau hanya membahas teknologi secara umum tanpa hubungan dengan proses kognitif dan pembelajaran. Tidak seluruh studi yang disertakan harus memuat keempat konstruk, yaitu Generasi Alpha, GenAI, berpikir kritis, dan pemecahan masalah matematika secara simultan, karena keterbatasan bukti empiris yang mengintegrasikan keempat aspek tersebut justru menjadi *research gap* utama penelitian ini. Oleh karena itu, studi tentang berpikir kritis dan pemecahan masalah matematika tanpa GenAI diposisikan sebagai *foundational evidence* untuk mengidentifikasi proses dan indikator berpikir kritis matematis; studi yang menghubungkan GenAI dan berpikir kritis digunakan sebagai *GenAI-context evidence* untuk memahami tuntutan evaluasi terhadap keluaran AI; studi yang mengintegrasikan GenAI, siswa usia Generasi Alpha, dan pemecahan masalah matematika ditempatkan sebagai *direct integrative evidence*; sedangkan studi mengenai *cognitive offloading* digunakan sebagai *cognitive-mechanism evidence* untuk menjelaskan potensi pengalihan proses berpikir kepada AI. Pengelompokan ini memungkinkan sintesis dilakukan secara sistematis dengan tetap membedakan bukti langsung mengenai penggunaan GenAI dari bukti dasar, kontekstual, dan mekanisme kognitif yang mendukung interpretasi hasil.

Seleksi studi merujuk pada tahap PRISMA 2020, mencakup pengidentifikasian, penyaringan, menilai suatu kelayakan, penilaian kualitas, serta inklusi akhir. Dalam tahap pengidentifikasian, sebanyak 60 publikasi diperoleh dari database dan platform akademik yang telah ditetapkan; setelah 20 publikasi duplikat dihapus, 40 publikasi disaring berdasarkan judul dan abstrak dengan mempertimbangkan kesesuaiannya terhadap populasi, pendidikan matematika, berpikir kritis, pemecahan masalah, GenAI, teknologi, dan keterlibatan kognitif. Sebanyak 20 publikasi dikeluarkan karena tidak memenuhi relevansi yang ditetapkan, sehingga 20 artikel dilanjutkan ke penilaian teks lengkap yang mencakup pemeriksaan karakteristik partisipan, konteks dan aktivitas matematika, tujuan dan metode penelitian, dimensi berpikir kritis, karakteristik pemecahan masalah, serta keterlibatan GenAI atau teknologi digital. Pada tahap ini, 5 artikel dikeluarkan karena tidak memberikan bukti yang memadai untuk menjawab tujuan dan pertanyaan penelitian, sehingga 15 studi menjalani penilaian kualitas metodologis. Selanjutnya, 7 studi dikeluarkan dikarenakan tidak mampu memenuhi penetapan ambang kualitas dan 8 studi dipertahankan untuk sintesis akhir. Dengan demikian, alur seleksi terdiri atas identifikasi ($n = 60$), penghapusan duplikat ($n = 20$), penyaringan judul dan abstrak ($n = 40$), eksklusi pada tahap penyaringan ($n = 20$), penilaian teks lengkap ($n = 20$), eksklusi setelah penilaian teks lengkap ($n = 5$), penilaian kualitas ($n = 15$), eksklusi berdasarkan kualitas ($n = 7$), dan studi yang dimasukkan dalam sintesis akhir ($n = 8$), sebagaimana divisualisasikan dalam diagram alur PRISMA pada Gambar 2.

Ekstraksi data dilakukan terhadap 15 studi yang lolos penilaian teks lengkap menggunakan lembar ekstraksi terstruktur yang mencatat identitas bibliografis, karakteristik partisipan dan jenjang pendidikan, konteks atau materi matematika, tujuan dan metode penelitian, indikator berpikir kritis, karakteristik pemecahan masalah matematika, jenis dan fungsi teknologi atau GenAI, temuan terkait evaluasi, verifikasi, deteksi kesalahan, pengambilan keputusan dan justifikasi, bukti *cognitive offloading*, serta temuan utama yang relevan dengan pertanyaan penelitian. Berdasarkan kontribusinya, studi kemudian diklasifikasikan sebagai *foundational evidence*, *GenAI-context evidence*, *direct integrative evidence*, atau *cognitive-mechanism evidence* agar bukti kontekstual tidak disamakan dengan bukti empiris yang secara langsung mengintegrasikan Generasi Alpha, GenAI, berpikir kritis, dan pemecahan masalah matematika. Selanjutnya, kualitas 15 studi dinilai menggunakan lima kriteria yang dikembangkan dengan mengacu pada prinsip *critical appraisal* dalam SLR Khan *et al.* (2003) kejelasan tujuan penelitian, transparansi metodologi, relevansi partisipan dengan Generasi Alpha atau peserta didik usia sebanding, relevansi terhadap berpikir kritis dan pemecahan masalah matematika, serta relevansi terhadap GenAI, teknologi, atau keterlibatan kognitif. Setiap kriteria diberi skor 0–2, yaitu 0 apabila tidak terpenuhi atau tidak dilaporkan secara memadai, 1 apabila terpenuhi sebagian, dan 2 apabila terpenuhi secara jelas dan memadai, sehingga

skor total berkisar 0–10 dengan skor minimum 6 sebagai ambang inklusi dalam sintesis akhir. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan konsistensi dan mengurangi subjektivitas. Skor studi yang dipertahankan relatif tinggi karena artikel sebelumnya telah melewati penyaringan pada judul serta abstrak dan penilaian teks secara lengkap, sehingga sebuah studi dengan relevansi rendah atau informasi metodologis yang tidak memadai telah dieliminasi sebelum *critical appraisal*. Dengan demikian, instrumen penilaian digunakan untuk membedakan kualitas metodologis sekaligus relevansi studi terhadap tujuan sintesis; tujuh studi tidak memenuhi ambang kualitas dan relevansi yang ditetapkan, sedangkan delapan studi memenuhi kriteria untuk dimasukkan dalam sintesis akhir.

Delapan studi akhir memberikan kontribusi yang berbeda tetapi saling melengkapi dalam sintesis Karlimah, (2025) menjadi bukti yang paling dekat dengan integrasi langsung karena menghubungkan GenAI berbasis Gemini, siswa sekolah dasar, dan pemecahan masalah matematika; (Ahdhianto & Nurfauzi, 2020; Basri & As'ari, 2019; Cahya & Juandi, 2021) digunakan sebagai *foundational evidence* untuk mengidentifikasi proses berpikir kritis matematis, terutama analisis informasi, penalaran, pemilihan strategi, evaluasi, dan justifikasi; Lailiyah *et al.*, (2026) memberikan bukti kontekstual mengenai keterkaitan pembelajaran berbasis teknologi dengan berpikir kritis, penalaran matematis, dan pemecahan masalah; (Lau *et al.*, 2026; Sardi *et al.*, 2025) memberikan bukti mengenai tuntutan berpikir kritis dalam lingkungan GenAI, khususnya evaluasi terhadap informasi yang dihasilkan AI; sedangkan Gerlich (2025) memberikan perspektif mengenai *cognitive offloading* dan perubahan keterlibatan kognitif ketika proses berpikir dialihkan kepada teknologi. Karena hanya sebagian studi secara langsung mengintegrasikan Generasi Alpha, GenAI, dan pemecahan masalah matematika, studi non-GenAI tidak digunakan untuk menyimpulkan dampak GenAI secara langsung, tetapi sebagai dasar untuk membangun indikator berpikir kritis yang kemudian dibandingkan dengan tuntutan kognitif dalam literatur GenAI, sementara studi GenAI di luar konteks matematika digunakan secara terbatas untuk mengidentifikasi evaluasi keluaran AI dan risiko *cognitive offloading*. Data selanjutnya dianalisis melalui sintesis tematik karena heterogenitas konteks, desain, partisipan, dan jenis bukti tidak memungkinkan meta-analisis kuantitatif. Sintesis dilakukan dengan mengodekan temuan setiap studi, mengelompokkan kode berdasarkan kesamaan konseptual ke dalam kategori interpretasi masalah, analisis informasi, penalaran matematis, pemilihan dan perbandingan strategi, evaluasi, verifikasi, deteksi kesalahan, pengambilan keputusan, dan justifikasi matematis, kemudian memetakan temuan GenAI terhadap kategori tersebut untuk mengidentifikasi perubahan tuntutan berpikir kritis serta menganalisis *cognitive offloading* guna menentukan proses kognitif yang berpotensi dialihkan kepada teknologi. Hasil sintesis dipetakan terhadap pertanyaan penelitian untuk mengidentifikasi karakteristik berpikir kritis dalam pemecahan masalah matematika, perubahan proses evaluasi, verifikasi, dan pengambilan keputusan dalam penggunaan GenAI, serta peluang, risiko, dan kesenjangan bukti empiris terkait keterlibatan dan kemandirian kognitif Generasi Alpha pada era GenAI. Berikut ini adalah kriteria proses penyaringan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Proses Penyaringan

Kriteria	Pernyataan	Pengecualian
Basis Data	Diterbitkan dalam basis data yang valid	Diterbitkan dalam basis data yang tidak valid
Waktu di publikasikan	Studi yang diterbitkan mulai tahun 2010 dan seterusnya. Tahun awal ini mengikuti periode yang umumnya dikaitkan dengan kemunculan Generasi Alpha.	Studi yang diterbitkan sebelum tahun 2010 tidak disertakan dalam sintesis empiris, kecuali jika studi tersebut memberikan landasan teoretis atau metodologis yang relevan secara langsung dengan kerangka tinjauan.
Tipe Dokumen	Artikel jurnal yang ditelaah sejawat (peer-reviewed) yang melaporkan penelitian empiris. Studi dapat menggunakan desain penelitian pendidikan yang bersifat kualitatif, kuantitatif, metode campuran, kuasi-eksperimental, eksperimental, survei, studi kasus, atau desain relevan lainnya.	Makalah konseptual, artikel teoretis tanpa bukti empiris, editorial, makalah opini, abstrak konferensi tanpa temuan yang memadai, ulasan buku, blog, dan dokumen yang tidak melalui telaah sejawat (non-peer-reviewed) tidak disertakan dalam sintesis empiris utama.

Kriteria Basis Data	Pernyataan Diterbitkan dalam basis data yang valid	Pengecualian Diterbitkan dalam basis data yang tidak valid
Dokumen Ketersediaan/Kondisi	Artikel teks lengkap yang memuat informasi memadai mengenai partisipan, tujuan penelitian, metodologi, konteks penelitian, intervensi atau lingkungan pembelajaran, serta temuan.	Artikel dengan teks lengkap yang tidak lengkap atau tidak dapat diakses, ataupun publikasi yang informasi metodologis dan empiris pentingnya tidak dapat diverifikasi, tidak disertakan dalam analisis akhir.
Bahasa	Inggris	Artikel yang diterbitkan dalam bahasa di luar kriteria bahasa yang telah ditetapkan tidak disertakan dalam sintesis utama.
Peserta	Studi yang melibatkan siswa Generasi Alpha atau secara eksplisit mengidentifikasi partisipan sebagai Generasi Alpha. Tinjauan ini terutama mencakup anak-anak dan remaja dalam rentang usia yang umumnya dikaitkan dengan Generasi Alpha, khususnya peserta didik tingkat sekolah dasar dan sekolah menengah pertama.	Studi yang melibatkan generasi lain tanpa kaitan yang jelas dengan Generasi Alpha tidak disertakan dalam sintesis utama. Studi yang mencakup beragam usia atau generasi hanya dipertimbangkan apabila temuan mengenai Generasi Alpha atau peserta didik muda yang relevan dapat diidentifikasi secara jelas.
Konteks Matematika	Studi yang dilakukan dalam konteks pendidikan matematika atau pemecahan masalah matematika. Aktivitas matematika harus menuntut siswa untuk menafsirkan informasi, melakukan penalaran matematis, memilih strategi, mengevaluasi solusi, memverifikasi hasil, mengambil keputusan, atau memberikan justifikasi atas kesimpulan.	Studi yang dilakukan di luar bidang pendidikan matematika tidak disertakan dalam sintesis utama, kecuali jika studi tersebut memberikan kontribusi konseptual yang langsung dan substansial terhadap pemahaman mengenai berpikir kritis, AI Generatif, atau keterlibatan kognitif di kalangan peserta didik Generasi Alpha.
Berpikir Kritis	Studi yang melaporkan satu atau lebih dimensi berpikir kritis, termasuk interpretasi, analisis, inferensi, evaluasi, penalaran, pemilihan strategi, pengambilan keputusan, verifikasi, deteksi kesalahan, justifikasi, atau evaluasi solusi matematis.	Studi yang hanya menyebutkan berpikir kritis tanpa definisi operasional, indikator, bukti empiris, atau temuan yang relevan dengan pembelajaran matematika tidak disertakan.
Pemecahan Masalah Matematika	Studi yang mengkaji proses kognitif siswa saat memecahkan masalah matematika atau menyelesaikan tugas matematika non-rutin. Studi-studi tersebut harus menyajikan bukti mengenai bagaimana siswa memahami, menganalisis, melakukan penalaran, memilih strategi, mengevaluasi, memverifikasi, atau menjustifikasi solusi matematika.	Studi yang secara eksklusif berfokus pada perhitungan rutin, penghafalan, kelancaran prosedural, atau pencapaian matematis—tanpa bukti mengenai proses pemecahan masalah atau penalaran dikecualikan dari sintesis utama.
AI Generatif	Studi yang mengkaji GenAI atau sistem AI yang mampu menghasilkan teks, penjelasan, solusi matematika, umpan balik, contoh, maupun respons interaktif. Teknologi yang relevan dapat mencakup chatbot AI, sistem berbasis Gemini, ChatGPT, atau aplikasi AI generatif sejenis.	Studi yang hanya berfokus pada teknologi pendidikan tradisional, perangkat digital non-generatif, atau penggunaan teknologi secara umum hanya disertakan jika studi tersebut memberikan bukti bermakna terkait pemecahan masalah matematis, berpikir kritis, atau keterlibatan kognitif yang relevan dengan tinjauan ini.
Pembelajaran yang Didukung AI	Studi yang meneliti bagaimana AI atau teknologi digital mendukung pembelajaran matematika, penalaran, pemecahan masalah, berpikir kritis, atau interaksi siswa dengan informasi matematika.	Studi yang secara khusus berfokus pada penerimaan, sikap, kegunaan, atau kepuasan siswa terhadap AI tanpa disertai bukti mengenai pembelajaran matematika atau proses kognitif dikecualikan dari sintesis utama.
Keterlibatan Kognitif	Studi yang menyajikan bukti mengenai keterlibatan kognitif mandiri siswa saat berinteraksi dengan teknologi atau AI, termasuk verifikasi, evaluasi informasi yang dihasilkan AI, identifikasi kesalahan, perbandingan strategi, penalaran, dan pemberian justifikasi.	Studi yang hanya melaporkan frekuensi penggunaan AI atau interaksi teknologi tanpa bukti mengenai proses kognitif siswa tidak disertakan dalam sintesis analisis utama.

Kriteria Basis Data	Pernyataan Diterbitkan dalam basis data yang valid	Pengecualian Diterbitkan dalam basis data yang tidak valid
Pengalihan Beban Kognitif	Studi yang mengkaji kemungkinan siswa mengalihkan tugas-tugas kognitif seperti interpretasi masalah, penghitungan, penalaran, penyusunan strategi, atau perumusan solusi kepada AI atau sistem teknologi lainnya.	cognitive offloading tidak menjadi syarat mutlak untuk disertakan. Studi tetap memenuhi kriteria jika secara langsung mengkaji pemecahan masalah matematis atau berpikir kritis dalam konteks yang didukung AI, tanpa secara eksplisit menggunakan istilah cognitive offloading.
Konteks Teknologi	Studi yang melaporkan peran teknologi digital, AI, pembelajaran daring, sistem interaktif, simulasi, atau pembelajaran matematika berbasis teknologi yang relevan dengan kemampuan berpikir kritis atau pemecahan masalah matematika siswa.	Teknologi bukan syarat wajib dalam setiap studi. Studi tanpa komponen digital tetap disertakan apabila memberikan bukti relevan tentang berpikir kritis dan pemecahan masalah matematis sesuai fokus tinjauan.
Relevansi Penelitian	Studi harus setidaknya membahas hubungan utama antara Generasi Alpha (atau pembelajar muda yang setara), pembelajaran matematika/pemecahan masalah, dan berpikir kritis; sementara itu, studi yang melibatkan GenAI atau teknologi mendapat prioritas khusus mengingat fokus tinjauan ini.	Studi yang hanya membahas karakteristik umum Generasi Alpha, pendidikan AI secara umum, atau pencapaian matematika secara umum tanpa adanya kaitan yang bermakna dengan berpikir kritis atau pemecahan masalah matematika tidak disertakan dalam sintesis utama.
Penilaian Kualitas	Artikel yang memenuhi syarat dievaluasi menggunakan lima indikator: kejelasan tujuan penelitian, transparansi metodologis, relevansi dengan Generasi Alpha atau peserta didik muda yang setara, relevansi dengan pemikiran kritis dan pemecahan masalah matematis, serta relevansi dengan AI Generatif, teknologi pendidikan, atau keterlibatan kognitif yang berkaitan dengan teknologi. Setiap indikator diberi skor antara 0 hingga 2, dengan skor maksimum 10.	Artikel yang tidak mencapai ambang batas kualitas minimum yang telah ditetapkan sebelumnya yaitu 6 dari 10 dari sintesis tematik akhir.
Pengaturan Penyaringan	Tinjauan ini mengikuti proses bertahap yang mencakup identifikasi rekaman, penghapusan pada duplikat, penyaringan sebuah judul dan abstrak, penilaian teks secara lengkap, penilaian kualitas metodologis, serta penyertaan akhir sesuai dengan PRISMA 2020.	Artikel yang tidak memenuhi kriteria kelayakan pada tahap mana pun tidak akan berlanjut ke tahap berikutnya.
Hasil Akhir	Pencarian awal mengidentifikasi 60 publikasi. Setelah 20 duplikat dihapus, tersisa 40 artikel. Penyaringan judul dan abstrak menyisakan 20 artikel. Penilaian teks lengkap menyisakan 15 artikel. Penilaian kualitas menghasilkan 8 studi untuk sintesis tematik akhir.	Artikel yang tidak disertakan didokumentasikan berdasarkan tahapan dan alasan pengecualiannya guna menjaga transparansi dan keterulangan dalam proses seleksi PRISMA.

Setelah dilakukan penyaringan data untuk memastikan kelengkapan dan relevansinya, peneliti melanjutkan beberapa tahapan pengolahan dan analisis data secara sistematis sesuai dengan tujuan penelitian. Seluruh tahapan tersebut disajikan dalam Tabel 2

Tabel 2. Evaluasi Data

Langkah	Informasi	Jumlah Artikel	
		Termasuk	Tidak Termasuk
Identifikasi	Pencarian sistematis awal dilakukan pada berbagai basis data akademik dan platform pencarian ilmiah yang relevan dengan menggunakan kombinasi kata kunci terkait Generasi Alpha, berpikir kritis, pemecahan masalah matematika, AI generatif, kecerdasan buatan, dan pembelajaran matematika berbasis teknologi. Pencarian tersebut mengidentifikasi 60 rekaman.	60	0
Penghapusan Duplikat	Rekaman duplikat yang diperoleh dari berbagai basis data atau platform pencarian diidentifikasi dan dihapus sebelum proses penyaringan. Sebanyak 20 rekaman duplikat dihapus, sehingga	40	20

menyisakan 40 rekaman unik untuk penyaringan tahap selanjutnya.

Penilaian Judul	Penilaian relevansi awal dilakukan berdasarkan judul artikel setelah penghapusan duplikat. Penyaringan difokuskan pada keberadaan konsep yang berkaitan dengan Generasi Alpha atau pembelajar usia dini, pembelajaran matematika, berpikir kritis, pemecahan masalah matematika, AI Generatif, kecerdasan buatan, atau pembelajaran berbasis teknologi.	40	0
Penilaian Abstrak	Abstrak-abstrak diseleksi berdasarkan kriteria inklusi yang telah ditetapkan sebelumnya. Penilaian tersebut mencakup karakteristik partisipan, konteks matematika, proses berpikir kritis, pemecahan masalah matematika, keterlibatan AI generatif atau teknologi, serta keterlibatan kognitif. Sebanyak dua puluh artikel dikeluarkan karena abstraknya tidak cukup relevan dengan fokus utama tinjauan ini.	20	20
Membaca secara diagonal	Pemeriksaan teks lengkap dilakukan untuk menilai kelengkapan artikel, konteks pendidikan, metodologi, teknologi/AI, serta bukti pemikiran kritis dan pemecahan masalah matematika. Seluruh 20 artikel kemudian menjalani penilaian teks lengkap.	20	0
Pembacaan Lengkap Teks Artikel	Pembacaan teks lengkap dilakukan untuk menelaah kelayakan studi secara lebih mendalam. Penilaian tersebut mencakup karakteristik partisipan, tujuan penelitian, konteks matematika, desain penelitian, dimensi berpikir kritis, proses pemecahan masalah matematika, komponen AI generatif atau teknologi, serta temuan yang dilaporkan. Lima artikel dikeluarkan karena tidak menyajikan bukti yang memadai dan relevan dengan fokus utama tinjauan ini.	15	5
Penilaian Kualitas	Sebanyak 15 artikel dinilai berdasarkan lima indikator kualitas dengan skor maksimum 10 dan ambang batas minimum 6. Setelah penyaringan, tujuh artikel dikeluarkan sehingga tersisa delapan studi untuk sintesis tematik akhir.	8	7
Pembacaan Lengkap Akhir dan Sintesis Tematik	Delapan studi yang memenuhi persyaratan kelayakan dan kualitas dianalisis melalui sintesis tematik, dengan fokus pada pemikiran kritis, pemecahan masalah matematis, AI generatif, penalaran, evaluasi solusi, dan keterlibatan kognitif dalam pembelajaran berbasis teknologi	8	8

Berdasarkan kriteria yang sudah ditentukan maka ini adalah beberapa indikator yang digunakan untuk pedoman penskoran artikel dan itu dijelaskan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Penskoran Artikel

Indikator utama	Deskripsi operasional	Skor 0	Skor 1	Skor 2
Tujuan penelitian	Tujuan penelitian dinyatakan jelas dan relevan dengan pembelajaran matematika, berpikir kritis, pemecahan masalah, serta AI generatif atau teknologi.	Tujuan penelitian tidak ada, tidak jelas, atau tidak relevan dengan fokus tinjauan.	Tujuan penelitian telah dinyatakan, tetapi keterkaitannya dengan fokus tinjauan masih terbatas .	Tujuan penelitian dinyatakan secara jelas, eksplisit, dan selaras dengan fokus tinjauan.
Metodologis	Studi tersebut menguraikan secara jelas desain penelitian, karakteristik partisipan, sumber data, prosedur pengumpulan data, instrumen penelitian, konteks intervensi atau teknologi, serta prosedur analisis.	Informasi tidak tersedia, tidak jelas, atau tidak memadai untuk penilaian.	dijelaskan sebagian, dengan informasi penting yang hilang.	Dijelaskan dengan jelas dan cukup rinci

Relevansi dengan Generasi Alpha	Studi mengidentifikasi Generasi Alpha atau memberikan informasi usia dan tingkat pendidikan yang memadai untuk memastikan relevansi peserta.	Peserta tidak memiliki hubungan dengan kelompok pembelajar sasaran, atau karakteristik mereka tidak jelas.	Peserta didik mungkin termasuk Generasi Alpha atau kelompok usia muda, tetapi bukti relevansinya belum memadai.	Studi secara eksplisit mengidentifikasi peserta sebagai Generasi Alpha atau kelompok usia yang relevan.
Relevansi dengan memecahkan permasalahan matematika dan berpikir secara kritis	Mengkaji proses memecahkan masalah matematika dan berpikir kritis, melaporkan bukti terkait interpretasi, analisis informasi, penalaran, pemilihan strategi, evaluasi, inferensi, pengambilan keputusan, verifikasi, deteksi kesalahan, atau justifikasi.	Memecahkan permasalahan matematika serta berpikir secara kritis tidak ditangani secara bermakna.	Satu dimensi dibahas secara jelas, atau kedua dimensi disebutkan namun didukung oleh bukti empiris yang terbatas.	Baik pemecahan masalah matematika maupun berpikir kritis dikaji secara jelas dan didukung oleh bukti empiris yang relevan.
Relevansi dengan AI generatif, teknologi pendidikan, atau keterlibatan kognitif	Studi menyajikan bukti yang bermakna mengenai AI Generatif, pembelajaran yang didukung AI, teknologi digital, interaksi siswa dengan informasi yang dihasilkan AI, pembelajaran matematika berbasis teknologi, keterlibatan kognitif, verifikasi, evaluasi, atau potensi pengalihan beban kognitif (cognitive offloading).	AI generatif dan teknologi pembelajaran tidak dibahas serta tidak memiliki kaitan relevan dengan fokus tinjauan.	Teknologi atau AI digunakan, tetapi kaitannya dengan berpikir kritis, pemecahan masalah matematika, dan keterlibatan kognitif siswa masih terbatas.	Studi mengkaji penggunaan AI generatif atau teknologi dalam pembelajaran serta dampaknya terhadap berpikir kritis, pemecahan masalah matematika, dan keterlibatan kognitif siswa.

Artikel yang memperoleh skor total minimal 6 dari 10 akan disertakan dalam sintesis tematis, sedangkan artikel dengan skor di bawah 6 akan dikeluarkan karena tidak memenuhi kriteria kualitas metodologis dan relevansi minimum yang ditetapkan untuk tinjauan ini.

Tabel 4. Pedoman Penskoran

Total Skor	Kategori	Keputusan
8-10	Tinggi	Disertakan
6-7	Sedang	Disertakan
0-5	Rendah	Tidak Disertakan

Setelah ada pedoman penskoran maka akan ada sistem penilain untuk verifikasi artikel secara lengkap mulai dari tujuan, metodologis, relevansi dengan generasi alpha, relevansi dengan pemecahan masalah dan berpikir kritis, relevansi dengan AI generatif, teknologi pendidikan, atau keterlibatan kognitif yang terdapat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Sistem penilaian untuk pembacaan teks lengkap

Artikel	Tujuan	Metodologis	Relevansi Generasi Alpha	Relevansi pemecahan masalah matematika dan berpikir kritis	Relevansi AI generatif, teknologi pendidikan, atau keterlibatan kognitif	Total
Karlimah et al. (2025)	2	2	2	2	2	10
Ahdhianto & Nurfauzi (2020)	2	2	2	2	1	9
Basri, H., & As'ari, A. R. (2019)	2	2	2	2	1	9
Cahya & Juandi (2021)	2	2	2	2	1	9
Lailiyah et al. (2026)	2	2	2	2	2	10
Sardi et al. (2025)	2	2	2	1	2	9
Lau et al. (2026)	2	2	1	1	2	8
Gerlich (2025)	2	2	1	1	2	8

HASIL DAN PEMBAHASAN

Delapan studi yang telah memenuhi kriteria kualitas dilakukan penganalisisan melalui penggunaan sintesis tematik untuk menjawab tiga fokus utama penelitian, yaitu: (P1) karakteristik dan indikator dari berpikir secara kritis untuk memecahkan permasalahan matematika; (P2) peran GenAI dan teknologi digital dalam mendukung atau mengubah proses berpikir secara kritis ketika siswa melakukan pemecahan permasalahan matematika; serta (P3) peluang, tantangan, keterbatasan bukti empiris, serta potensi *cognitive offloading* terhadap kemandirian kognitif Generasi Alpha. Analisis lintas studi menunjukkan bahwa kedelapan publikasi tidak memberikan jenis bukti yang sama. (Ahdhianto & Nurfauzi, 2020; Basri & As'ari, 2019; Cahya & Juandi, 2021) memberikan *foundational evidence* mengenai berpikir kritis dalam pemecahan masalah matematika Karlimah, (2025) memberikan bukti yang paling dekat dengan integrasi langsung antara siswa usia Generasi Alpha, GenAI, dan pemecahan masalah matematika Lailiyah *et al.*, (2026) memberikan bukti kontekstual mengenai hubungan teknologi dengan berpikir kritis, penalaran matematis, dan pemecahan masalah; (Lau *et al.*, 2026; Sardi *et al.*, 2025) memperluas perspektif berpikir kritis ke lingkungan GenAI; sedangkan Gerlich (2025) memberikan perspektif mengenai *cognitive offloading*. Perbedaan posisi evidensial tersebut menjadi dasar sintesis sehingga studi yang tidak secara langsung melibatkan GenAI tidak digunakan untuk menyimpulkan dampak GenAI, tetapi digunakan untuk membangun indikator dasar berpikir kritis yang kemudian dibandingkan dengan tuntutan kognitif dalam lingkungan GenAI.

(P1) karakteristik dan indikator berpikir kritis dalam pemecahan masalah matematika

Sintesis terhadap studi (Ahdhianto & Nurfauzi, 2020; Basri & As'ari, 2019; Cahya & Juandi, 2021) menunjukkan pola yang relatif konsisten bahwa berpikir secara kritis dalam memecahkan permasalahan matematika adalah proses multidimensional, melampaui kemampuan memperoleh jawaban yang benar. Persamaan utama ketiga studi terletak pada pentingnya memahami atau menafsirkan masalah, menganalisis informasi, membangun penalaran, menentukan strategi, mengevaluasi penyelesaian, dan memberikan justifikasi. Perbedaannya terletak pada penekanan masing-masing penelitian: Ahdhianto & Nurfauzi (2020) menunjukkan pengembangan berpikir secara kritis serta memecahkan permasalahan melalui *problem-based learning*, sedangkan Basri & As'ari (2019) serta Cahya & Juandi (2021) lebih menonjolkan karakteristik proses berpikir kritis ketika siswa

menyelesaikan masalah matematika. Lailiyah *et al.*, (2026) memperluas pola tersebut dengan menunjukkan bahwa berpikir kritis, penalaran matematis, dan pemecahan masalah juga muncul dalam lingkungan pembelajaran berbasis teknologi. Dari persamaan dan perbedaan tersebut, sintesis menghasilkan seperangkat proses inti berpikir kritis matematis, yaitu interpretasi masalah, analisis informasi, penalaran matematis, pemilihan dan perbandingan strategi, evaluasi solusi, verifikasi hasil, pengambilan keputusan, deteksi kesalahan, dan justifikasi matematis. Dengan demikian, indikator tersebut bukan berasal dari satu studi, tetapi merupakan hasil pengintegrasian pola kognitif yang berulang dalam beberapa publikasi.

(P2) peran GenAI dan teknologi digital dalam mendukung atau mengubah proses berpikir secara kritis ketika siswa melakukan pemecahan permasalahan matematika

Ketika temuan mengenai berpikir kritis matematis dibandingkan dengan literatur GenAI, terlihat adanya perluasan tuntutan kognitif. Karlimah (2025) memberikan bukti yang paling dekat dengan konteks penelitian ini karena menunjukkan penggunaan *chatbot* GenAI berbasis Gemini dalam pemecahan masalah matematika siswa sekolah dasar. Namun, studi tersebut lebih berfokus pada penerimaan atau penggunaan GenAI dan belum secara komprehensif mengukur perubahan setiap proses berpikir kritis selama interaksi siswa dengan AI. Sebaliknya, (Lau *et al.*, 2026; Sardi *et al.*, 2025) menempatkan evaluasi kritis terhadap keluaran GenAI sebagai aspek penting, tetapi konteks keduanya tidak secara khusus berpusat pada pemecahan masalah matematika Generasi Alpha. Jika kedua kelompok bukti tersebut disintesis dengan studi berpikir kritis matematis, muncul pola bahwa GenAI tidak menggantikan indikator berpikir kritis yang telah dikenal, tetapi menambahkan objek baru yang harus dikritisi, yaitu keluaran AI itu sendiri. Siswa tidak hanya perlu menafsirkan masalah, memilih strategi, dan mengevaluasi jawabannya sendiri, tetapi juga perlu memeriksa interpretasi AI terhadap masalah, menilai kesesuaian strategi yang dihasilkan AI, memverifikasi perhitungan, mendeteksi kesalahan atau inkonsistensi, membandingkan solusi AI dengan penalaran sendiri, dan menentukan apakah keluaran AI harus diterima, direvisi, atau ditolak.

Pola lintas studi juga menunjukkan bahwa teknologi tidak memiliki konsekuensi kognitif yang seragam. Lailiyah *et al.*, (2026) menunjukkan bahwa lingkungan pembelajaran berbasis teknologi dapat berkaitan dengan berpikir kritis, penalaran matematis, dan pemecahan masalah, sedangkan (Lau *et al.*, 2026; Sardi *et al.*, 2025) menekankan bahwa manfaat GenAI bergantung pada keterlibatan kritis pengguna terhadap informasi yang dihasilkan. Tidak terdapat kontradiksi langsung antara temuan tersebut, tetapi terdapat ketegangan konseptual mengenai fungsi teknologi: teknologi dapat berfungsi sebagai *cognitive support* ketika digunakan untuk mendorong eksplorasi, perbandingan, evaluasi, dan verifikasi, tetapi dapat berubah menjadi *cognitive substitute* ketika siswa menerima solusi tanpa melakukan proses penalaran secara mandiri. Dengan demikian, sintesis tidak mendukung kesimpulan sederhana bahwa GenAI meningkatkan atau menurunkan berpikir kritis. Dampaknya bergantung pada bentuk interaksi siswa dengan AI dan tuntutan kognitif yang menyertai penggunaannya.

(P3) peluang, tantangan, keterbatasan bukti empiris, serta potensi cognitive offloading terhadap kemandirian kognitif Generasi Alpha

Ketegangan antara dukungan dan penggantian proses berpikir menjadi lebih jelas melalui konsep *cognitive offloading*. Gerlich (2025) menunjukkan bahwa penggunaan AI dapat berkaitan dengan pengalihan aktivitas kognitif kepada teknologi. Jika temuan tersebut dipetakan ke dalam proses pemecahan masalah matematika yang ditemukan pada RQ1, *cognitive offloading* berpotensi terjadi pada beberapa tahap, mulai dari interpretasi masalah, pemilihan strategi, pelaksanaan prosedur atau perhitungan, evaluasi solusi, hingga penyusunan penjelasan. Namun, bukti yang ditelaah tidak cukup untuk menyimpulkan bahwa penggunaan GenAI secara otomatis menyebabkan

cognitive offloading pada siswa Generasi Alpha dalam pemecahan masalah matematika. Gerlich (2025) memberikan mekanisme konseptual dan empiris yang relevan mengenai AI dan *cognitive offloading*, tetapi tidak secara khusus menguji proses tersebut dalam pemecahan masalah matematika Generasi Alpha. Sebaliknya, studi matematika yang dianalisis memberikan bukti kuat mengenai pentingnya keterlibatan kognitif, tetapi sebagian besar tidak melibatkan GenAI. Oleh karena itu, *cognitive offloading* dalam konteks pemecahan masalah matematika berbantuan GenAI harus dipahami sebagai risiko yang didukung oleh keterkaitan bukti lintas studi, bukan sebagai efek kausal yang telah dibuktikan secara langsung oleh seluruh studi yang direview.

Temuan tersebut sekaligus memperlihatkan keterbatasan paling penting dari basis bukti yang tersedia. Dari delapan studi, tidak semua secara simultan menghubungkan Generasi Alpha, GenAI, berpikir kritis, dan pemecahan masalah matematika. Studi matematika memberikan bukti rinci mengenai proses berpikir kritis tetapi umumnya tidak melibatkan GenAI; studi GenAI memberikan bukti mengenai kebutuhan evaluasi kritis tetapi tidak selalu berfokus pada matematika atau Generasi Alpha; sedangkan studi *cognitive offloading* menjelaskan risiko pengalihan proses kognitif tetapi tidak secara khusus mengujinya pada pemecahan masalah matematika siswa Generasi Alpha. Karlimah (2025) merupakan studi yang paling dekat dengan titik temu tersebut, tetapi belum menyediakan bukti yang cukup untuk menjelaskan secara menyeluruh bagaimana seluruh indikator berpikir kritis berubah sebelum, selama, dan setelah interaksi dengan GenAI. Dengan demikian, *research gap* yang ditemukan bukan hanya sedikitnya penelitian mengenai GenAI dalam matematika, tetapi belum tersedianya bukti empiris yang memadai mengenai proses kognitif apa yang tetap dilakukan siswa Generasi Alpha, proses apa yang dialihkan kepada GenAI, bagaimana siswa memverifikasi solusi AI, dan dalam kondisi pembelajaran seperti apa GenAI mendukung atau justru mengurangi kemandirian kognitif selama pemecahan masalah matematika. 8 studi yang terpilih dijelaskan dalam Tabel 6

Tabel 6. Daftar Jurnal Relevan Terpilih

Jurnal	Penulis	Temuan/Kontribusi Utama Terhadap Penelitian
<i>International Journal of Science, Mathematics and Technology Learning</i>	Karlimah et al. (2025)	Penelitian ini mengkaji penerimaan chatbot AI Generatif berbasis Gemini untuk pemecahan masalah matematika di kalangan siswa sekolah dasar. Studi ini menyajikan bukti langsung mengenai interaksi antara pelajar usia dini dan AI Generatif dalam pembelajaran matematika, sehingga sangat relevan dengan pembahasan mengenai Generasi Alpha dan pemecahan masalah matematika yang dimediasi oleh AI.
Jurnal Prima Edukasia	Ahdhianto & Nurfauzi (2020)	Penelitian ini mengkaji pengembangan keterampilan dalam memecahkan permasalahan matematika serta berpikir secara kritis pada peserta didik kelas lima melalui pembelajaran berbasis masalah. Temuan penelitian menunjukkan pentingnya interpretasi masalah, analisis, penalaran, pemilihan strategi, dan evaluasi dalam mengembangkan kemampuan untuk memecahkan permasalahan matematika peserta didik.
International Journal of Instruction	Basri & As'ari (2019)	Penelitian tersebut mengkaji terkait kemampuan pada berpikir secara kritis siswa untuk memecahkan permasalahan matematika. Penelitian ini menyoroti kemampuan peserta didik untuk menafsirkan informasi, menganalisis situasi matematika, mempertimbangkan strategi penyelesaian, mengevaluasi pendekatan yang digunakan, serta memberikan pembenaran atas jawaban mereka.
International Journal of Instruction	Cahaya & Juandi (2021)	Penelitian ini mengkaji keterampilan berpikir kritis siswa saat memecahkan masalah matematika. Temuannya menekankan peran analisis, penalaran, evaluasi, dan justifikasi dalam proses pemecahan masalah matematika siswa, serta memberikan bukti mendasar untuk memahami berpikir kritis sebagai proses kognitif yang multidimensi.

Journal of Education and Learning	Lailiyah et al. (2026)	Penelitian ini mengkaji kombinasi antara pembelajaran berbasis masalah dan simulasi PhET dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis, penalaran matematis, dan pemecahan masalah. Studi ini menunjukkan bahwa lingkungan pembelajaran yang didukung teknologi dapat memberikan kesempatan bagi siswa untuk melakukan penalaran, analisis, evaluasi, dan pemecahan masalah matematis.
International Journal of Engineering	Sardi et al. (2025)	Studi ini meninjau secara sistematis bagaimana AI Generatif memengaruhi pembelajaran mandiri (*self regulated learning*) dan keterampilan berpikir kritis siswa. Penelitian ini menyoroti pentingnya keterlibatan kognitif siswa saat menggunakan AI Generatif serta memberikan landasan teoretis yang lebih luas untuk mengkaji apakah AI mendukung atau justru berpotensi mengurangi kemampuan berpikir kritis secara mandiri.
Journal on Mathematics Education	Lau et al. (2026)	Studi ini mengkaji hakikat berpikir kritis dalam konteks penggunaan AI Generatif. Penelitian ini menekankan pentingnya mengevaluasi, mempertanyakan, dan memverifikasi informasi yang dihasilkan oleh AI, alih-alih menerima hasil keluaran AI begitu saja tanpa sikap kritis. Perspektif ini sangat relevan dalam penyelesaian masalah matematika, di mana siswa perlu memverifikasi strategi, perhitungan, dan kesimpulan yang dihasilkan oleh AI.
Societies	Gerlich (2025)	Penelitian ini mengkaji hubungan antara perangkat AI, cognitive offloading (pengalihan beban kognitif), dan pemikiran kritis. Studi ini memunculkan kemungkinan bahwa ketergantungan berlebihan pada AI dapat mengalihkan tugas-tugas kognitif dari pembelajar ke sistem teknologi. Dalam konteks pemecahan masalah matematika, hal ini menjadi landasan penting untuk meninjau kembali apakah AI Generatif (GenAI) berfungsi sebagai dukungan kognitif yang merangsang daya pikir atau justru sebagai pengganti penalaran mandiri siswa.

Untuk memperjelas kontribusi setiap publikasi terhadap sintesis dan menunjukkan heterogenitas bukti yang tersedia, karakteristik kedelapan studi dipetakan berdasarkan peserta, desain, konteks matematika, teknologi atau GenAI, indikator berpikir kritis, kontribusi terhadap sintesis, dan keterbatasannya. Berikut ini Tabel 7 yang digunakan ini melengkapi informasi bibliografis dan ringkasan artikel.

Tabel 7 Kontribusi Delapan Studi Terpilih

Studi	Peserta	Desain Penelitian	Konteks Matematik	Teknologi	Indikator	Kontribusi pada penelitian	Keterbatasan pada SLR
Karlisma h et al. (2025)	Siswa sekolah dasar/usia Generasi Alpha	Kajian penerimaa n/penggunaan chatbot GenAI	Pemecahan masalah matematika	Gemini-based GenAI chatbot	Interaksi dengan bantuan AI dan pemecahan masalah	<i>Direct integrative evidence</i> yang paling dekat dengan titik temu Generasi Alpha–GenAI–matematika	Belum menjelaskan secara komprehensif perubahan seluruh indikator berpikir kritis akibat interaksi GenAI
Ahdhianto & Nurfauzi (2020)	Siswa kelas V sekolah dasar	Pembelajaran berbasis masalah	Pemecahan masalah matematika	Tidak berfokus pada GenAI	Interpretasi, analisis, penalaran, strategi, evaluasi	<i>Foundational evidence</i> mengenai berpikir kritis dan pemecahan masalah pada	Tidak melibatkan GenAI sehingga tidak dapat digunakan untuk

Basri & As'ari (2019)	Siswa sekolah menengah pertama	Analisis berpikir kritis dalam pemecahan masalah	Pemecahan masalah matematika	Tidak berfokus pada GenAI	Interpretasi informasi, analisis, strategi, evaluasi, justifikasi	pembelajar muda Memperkuat indikator dasar berpikir kritis matematis	menyimpulkan dampak AI Tidak menguji lingkungan pembelajaran berbantuan GenAI
Cahaya & Juandi (2021)	Siswa usia sekolah	Kajian kemampuan berpikir kritis	Pemecahan masalah matematika	Tidak berfokus pada GenAI	Analisis, penalaran, evaluasi, justifikasi	Memperkuat multidimensional berpikir kritis matematis	Tidak menjelaskan perubahan proses berpikir akibat AI
Lailiyah <i>et al.</i> (2026)	Peserta didik dalam pembelajaran berbasis teknologi	PBL dan simulasi PhET	Penalaran dan pemecahan masalah	Simulasi PhET	Berpikir kritis, penalaran matematis, problem-solving	<i>Technology-context evidence</i> bahwa teknologi dapat dikaitkan dengan proses kognitif tingkat tinggi	Teknologi yang digunakan bukan GenAI dan tidak menghasilkan solusi secara generatif
Sardi <i>et al.</i> (2025)	Literatur/pembelajar dalam konteks GenAI	Systematic review	Pendidikan secara lebih luas	GenAI	Berpikir kritis, self-regulated learning, keterlibatan kognitif	<i>GenAI-context evidence</i> mengenai hubungan AI dengan berpikir kritis	Tidak secara khusus berfokus pada pemecahan masalah matematika
Lau <i>et al.</i> (2026)	Pengguna/pembelajar dalam konteks GenAI	Kajian berpikir kritis dalam penggunaan GenAI	Tidak khusus pada pemecahan	GenAI	Evaluasi, questioning, verification terhadap keluaran AI	Memperluas indikator berpikir kritis menjadi evaluasi dan verifikasi keluaran AI	Generasi Alpha Konteks tidak secara langsung mengintegrasikan Generasi Alpha dan mathematical problem-solving
Gerlich (2025)	Pengguna teknologi AI	Kajian AI, berpikir kritis, dan cognitive offloading	Tidak khusus matematika	AI tools	Keterlibatan kognitif dan cognitive of	<i>Cognitive-mechanism evidence</i> mengenai risiko pengalihan proses kognitif	Tidak secara langsung menguji siswa Generasi Alpha dalam pemecahan masalah matematika

Hasil dari delapan studi menunjukkan adanya kontinuitas sekaligus perluasan dalam konseptualisasi berpikir kritis. Studi pendidikan matematika secara konsisten menempatkan interpretasi masalah, analisis informasi, penalaran matematis, pemilihan strategi, evaluasi, pengambilan keputusan, verifikasi, dan justifikasi sebagai komponen utama pemecahan masalah. Kehadiran GenAI tidak menghilangkan proses tersebut, tetapi memperluas objek evaluasi siswa karena AI dapat menghasilkan interpretasi, prosedur, perhitungan, dan solusi. Oleh karena itu, berpikir kritis pada era GenAI mencakup lapisan evaluatif tambahan berupa verifikasi keluaran AI, deteksi kesalahan, pemeriksaan validitas matematis, perbandingan strategi AI dengan penalaran siswa, serta keputusan untuk menerima, merevisi, atau menolak respons AI. Sintesis juga memperlihatkan sifat ganda teknologi terhadap keterlibatan kognitif. GenAI dapat berfungsi sebagai *cognitive support* apabila digunakan untuk mendorong analisis, perbandingan, kritik, dan verifikasi, tetapi dapat menjadi

cognitive substitute ketika siswa menyerahkan interpretasi masalah, pemilihan strategi, perhitungan, evaluasi, atau penyusunan penjelasan kepada AI tanpa keterlibatan aktif. Dengan demikian, kemandirian kognitif dalam lingkungan GenAI tidak harus dimaknai sebagai menyelesaikan masalah tanpa teknologi, melainkan sebagai kemampuan siswa untuk tetap mengendalikan proses penalaran, mengevaluasi respons AI, mendeteksi kesalahan, membandingkan alternatif, dan mengambil keputusan akhir berdasarkan alasan matematis. Hal ini menegaskan bahwa persoalan pedagogis utama bukan sekadar apakah GenAI digunakan, tetapi bagaimana teknologi digunakan agar siswa tetap menjadi pengambil keputusan utama dalam pemecahan masalah matematika.

Perbandingan delapan studi menunjukkan bahwa persamaan utama terletak pada pentingnya analisis, penalaran, evaluasi, strategi, dan justifikasi, sedangkan perbedaannya terutama berasal dari konteks dan jenis teknologi yang digunakan. Teknologi simulatif memberikan dukungan berbeda dibandingkan GenAI yang bersifat generatif dan mampu menghasilkan respons berdasarkan *prompt*, sehingga kebutuhan terhadap evaluasi dan verifikasi menjadi lebih besar. Literatur GenAI dan *cognitive offloading* juga memperkenalkan risiko pengalihan proses kognitif yang belum menjadi fokus utama studi matematika sebelumnya. Namun, bukti yang tersedia belum cukup untuk menyimpulkan bahwa GenAI secara langsung meningkatkan atau menurunkan berpikir kritis Generasi Alpha dalam pemecahan masalah matematika. Sebagian besar studi hanya menghubungkan beberapa konstruk secara parsial, sehingga belum diketahui secara meyakinkan tahapan pemecahan masalah yang paling rentan terhadap *cognitive offloading*, pengaruh kualitas *prompt* terhadap keterlibatan kognitif, perbedaan pola verifikasi berdasarkan kemampuan matematika siswa, maupun strategi pembelajaran yang paling efektif dalam mempertahankan *cognitive agency*. Dengan demikian, kontribusi utama sintesis ini adalah menunjukkan bahwa “memikirkan kembali berpikir kritis” pada era GenAI bukan berarti mengganti konsep yang telah ada, tetapi memperluasnya dengan kemampuan mengevaluasi keluaran AI, mendeteksi kesalahan, memverifikasi validitas matematis, membandingkan solusi AI dengan penalaran sendiri, dan menentukan tingkat kepercayaan terhadap respons AI. Pada saat yang sama, *research gap* utama tetap terletak pada sangat terbatasnya penelitian empiris yang secara langsung mengintegrasikan Generasi Alpha, GenAI, berpikir secara kritis, memecahkan permasalahan matematika, serta *cognitive offloading* dalam satu desain penelitian.

KESIMPULAN

Tinjauan literatur menunjukkan keterkaitan erat antara berpikir kritis, pemecahan masalah matematika, Generasi Alpha, dan AI Generatif (GenAI). Penggunaan GenAI menuntut siswa untuk menganalisis, mengevaluasi, memverifikasi, dan memberikan justifikasi terhadap solusi AI. Meskipun teknologi mendukung pembelajaran, ketergantungan berlebihan dapat memicu *cognitive offloading*. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mengembangkan indikator berpikir kritis berbasis AI serta mengkaji kemandirian kognitif siswa melalui bukti empiris yang lebih kuat.

REKOMENDASI

Pembelajaran matematika perlu memanfaatkan GenAI sebagai alat pendukung, bukan pengganti berpikir kritis siswa. Guru harus mendorong siswa menganalisis masalah, mengevaluasi keluaran AI, mendeteksi kesalahan, memverifikasi solusi, dan memberikan justifikasi matematis. Penelitian selanjutnya perlu mengembangkan indikator berpikir kritis berbantuan GenAI serta mengkaji kemandirian kognitif siswa melalui berbagai metode dan jenjang pendidikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Islam Malang dan seluruh pihak yang telah mendukung penelitian melalui fasilitas, bantuan teknis, administratif, serta akses literatur. GenAI digunakan secara terbatas untuk penyempurnaan bahasa dan struktur naskah, tanpa menggantikan peran penulis dalam metodologi, analisis, dan kesimpulan. Seluruh keluaran AI telah diverifikasi dan disunting, dengan tanggung jawab penuh tetap berada pada penulis.

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN (AI)

Dalam penyusunan naskah ini, penulis menggunakan ChatGPT dari OpenAI untuk membantu penyempurnaan bahasa akademik, perbaikan struktur kalimat, pemadatan uraian, dan peningkatan kejelasan penyajian naskah. Teknologi AI tidak digunakan untuk menentukan desain penelitian, melakukan proses seleksi artikel, menilai kualitas studi, mengekstraksi data, melakukan sintesis tematik, atau menarik kesimpulan penelitian. Seluruh keluaran yang dihasilkan AI telah diperiksa, diverifikasi, dan disunting kembali oleh penulis. Penulis bertanggung jawab penuh atas keakuratan, orisinalitas, integritas, interpretasi, dan seluruh isi naskah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboodi, R. (2025). The Worrisome Potential of Outsourcing Critical Thinking to Artificial Intelligence. *Educational Theory*, 75(4), 626–645. <https://doi.org/10.1111/edth.70037>
- Adharini, D., & Herman, T. (2020). Critical thinking skills and self-confidence of high school students in learning mathematics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/3/032043>
- Ahdhianto, E., & Nurfauzi, Y. (2020). Improving fifth-grade students' mathematical problem-solving and critical thinking skills using problem-based learning. *Universal Journal of Educational Research*, 8(5), 2012–2021. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080539>
- Ahsyanah, A., & Putra, R. W. Y. (2026). Problem-solving learning model using hypothetical learning trajectory reviewed from self-regulation towards mathematical critical thinking ability. In S. A., U. R., S. M., & R. K. (Ed.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3226, Nomor 1). American Institute of Physics. <https://doi.org/10.1063/5.0333644>
- Aizikovitsh, E., & Amit, M. (2010). Evaluating an infusion approach to the teaching of critical thinking skills through mathematics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 3818–3822. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.596>
- Alifia, N. N., & Saputro, D. R. S. (2019). Mathematical critical thinking skills profile of high school students in solving linear program word problems. In D. null (Ed.), *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1211, Nomor 1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1211/1/012101>
- Arinushkina, A. A., Abramov, V. I., & Mindzaeva, E. V. (2024). Generative AI as a tool for developing critical thinking in higher education. In *Integration Strategies of Generative AI in Higher Education* (hal. 283–300). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-5518-3.ch014>
- Ashari, N. W. (2020). Mathematical critical thinking ability of students grade VII in solving one variable linear equation questions based on their cognitive style. In K. Y.D. & F. of T. T. and E. Universitas Sanata Dharma Mrican, Tromol Pos 29, Yogyakarta (Ed.), *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1470, Nomor 1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1470/1/012010>
- Asyhar, B., & Sholihah, U. (2026). Critical Thinking: Analysis of Student Strategy Stages in Solving Numeration Problems. In I. N. & S. Y. (Ed.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3412, Nomor 1). American Institute of Physics. <https://doi.org/10.1063/5.0318484>
- Aydemir, A. (2020). Teaching generation alpha. In *The Teacher of Generation Alpha* (hal. 33–41). Verlag Peter Lang AG. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85114185633&partnerID=40&md5=ea13e81a3a47455439ef077b391e4fcc>
- Basri, H., & As'ari, A. R. (2019). Investigating critical thinking skill of junior high school in solving mathematical problem. *International Journal of Instruction*, 12(3), 745–758. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.12345a>
- Cahya, E., & Juandi, D. (2021). Students' critical thinking skills in solving mathematical problems; a systematic procedure of grounded theory study. *International Journal of Instruction*, 14(4), 529–548. <https://doi.org/10.29333/iji.2021.14431a>

- Chan, C. K. Y., & Hu, W. (2023). Students' voices on generative AI: perceptions, benefits, and challenges in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00411-8>
- Cong-Lem, N., Nguyen, T. T., Nguyen, K. N. H., & Nguyen, Q. N. H. (2026). Development and Psychometric Validation of a Short-Form Critical Thinking Scale in Generative AI Contexts (GenAI–CrT): Evidence from Vietnamese EFL Learners. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 19(1), 1–24. <https://doi.org/10.18785/jetde.1901.01>
- Fadhilah, R., & Sujadi, I. (2021). The Critical Thinking Process of Senior High School Students in Problem-Solving of Linear Equations System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1808(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1808/1/012063>
- Fitriana, L. D., Fuad, Y., & Ekawati, R. (2018). Student's Critical Thinking in Solving Open-Ended Problems Based on Their Personality Type. In E. R., R. Y.S., N. A.B.D., L. A., & W. S.C. (Ed.), *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 947, Nomor 1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/947/1/012007>
- Fitriyah, A. E., & Shodikin, A. (2025). High school students' critical thinking in solving series and sequence problems: A study of mathematical proficiency. *AIP Conference Proceedings*, 3316(1). <https://doi.org/10.1063/5.0290369>
- Gaol, M. L., Prabawanto, S., & Usdiyana, D. (2019). Students' mathematical critical thinking ability on cube and cuboid problems. In S. null, S. null, P. I., A. R.R., A. A.G., & N. A.B.D. (Ed.), *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1157, Nomor 4). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/4/042055>
- Gerlich, M. (2025). AI Tools in Society: Impacts on Cognitive Offloading and the Future of Critical Thinking. *Societies*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/soc15010006>
- Giansanti, D., & Cosenza, C. (2026). Artificial Intelligence and Youth: Cognitive, Educational, and Behavioral Impacts. *AI (Switzerland)*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/ai7040121>
- Guo, Y., & Lee, D. (2023). Leveraging ChatGPT for Enhancing Critical Thinking Skills. *Journal of Chemical Education*, 100(12), 4876–4883. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00505>
- Herayati, S., Hendriyanto, A., & Hendrayani, Y. (2026). Students' Critical Thinking Processes in Solving Mathematical Problems: A Systematic Literature Review. In R. D. & F. G. (Ed.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3432, Nomor 1). American Institute of Physics. <https://doi.org/10.1063/5.0327848>
- Hidayat, D., & Rosnawati, R. (2020). Exploring students' critical thinking skills in a geometry lesson. In P. P.W., K. I. V. U. A. D. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1613, Nomor 1). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1613/1/012027>
- Höfrová, A., Balidemaj, V., & Small, M. A. (2024). A systematic literature review of education for Generation Alpha. *Discover Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00218-3>
- Islam, R. (2026). Understanding Critical Thinking Skills with Generative AI in a Transnational Education Setting. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*. <https://doi.org/10.1109/EDUCON67543.2026.11574197>
- Karlimah, K. (2025). Gemini-Based Generative AI-Chatbot for Mathematical Problem-Solving: Elementary Students' Acceptance. *International Journal of Science, Mathematics and Technology Learning*, 33(1), 51–69. <https://doi.org/10.18848/2327-7971/CGP/v33i01/51-69>
- Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Khusna, A. H., Siswono, T. Y. E., & Wijayanti, P. (2024). Mathematical Problem Design to Explore Students' Critical Thinking Skills in Collaborative Problem Solving. *Mathematics Teaching-*

- Research Journal*, 16(3), 217–240. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85201219240&partnerID=40&md5=0ce9c8adf48fc76dce18414bf5614952>
- Kondratavičienė, R. (2025). Developing Critical Thinking in Mathematics Lessons for Fourth Graders. *Environment Technology Resources - Proceedings of the 16th International Scientific and Practical Conference*, 3, 177–185. <https://doi.org/10.17770/etr2025vol3.8563>
- Lailiyah, S., Asmiyah, S., Naryaningsih, P. D., Dina, A. M., & Irmanila, E. (2026). Combined PBL and PhET simulation for critical thinking in mathematical reasoning and problem-solving skills. *Journal of Education and Learning*, 20(2), 1138–1152. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v20i2.21849>
- Lapawi, N., Osman, K., & Husnin, H. (2026). Impact of Generative Artificial Intelligence (AI) as a Tool on Disposition and Computational Thinking Skills in STEM Education. In *Studies in Computational Intelligence* (Vol. 1261, hal. 93–116). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-032-16157-4_5
- Lau, G. R., Low, W. Y., Tay, L., Guevarra, Y. A., Gašević, D., & Hartanto, A. (2026). Understanding critical thinking in generative artificial intelligence use: Development, validation, and correlates of the critical thinking in AI use scale. *Computers in Human Behavior Reports*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2026.101103>
- Leveling of critical thinking abilities of students of mathematics education in mathematical problem solving. (2015). *Journal on Mathematics Education*, 6(1), 40–52. <https://doi.org/10.22342/jme.6.1.1941.40-52>
- Manousou, E. (2025). *Critical Thinking in Distance Education : The Challenges in a Decade (2016 – 2025) and the Role of Artificial Intelligence*.
- Manousou, E. (2025). *Critical Thinking in Distance Education : The Challenges in a Decade (2016 – 2025) and the Role of Artificial Intelligence*.
- Mantasiah, R., & Saleh, M. (2025). CRITICAL THINKING AND PROBLEM-SOLVING SKILLS OF MAKASSAR YOUNG LEARNERS: AN EXPLORATION OF THE ROLES OF LITERACY, GENDER, AND SOCIOECONOMIC STATUS. *Jurnal Gramatika*, 11(2), 305–331. <https://doi.org/10.22202/jg.2025.v11i2.10462>
- Muthma'Innah, M., Dahlan, J. A., & Suhendra, S. (2019). Ability of mathematical critical thinking - What about Learning Cycle 7E model? In A. A.G., A. R.R., P. I., S. null, S. null, & N. A.B.D. (Ed.), *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1157, Nomor 3). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/3/032129>
- Nggaba, M. E. (2020). Analysis of students critical thinking ability in solving trigonometric problems. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/3/032023>
- Nurhidayati, M., & Setyaningsih, N. (2024). Analysis of students' critical thinking skills in solving algebraic operations HOTS problems reviewed from logical-mathematical intelligence of junior high school. In I. N. & S. Y. (Ed.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2926, Nomor 1). American Institute of Physics Inc. <https://doi.org/10.1063/5.0183697>
- Oliveira, L., Tavares, C., Strzelecki, A., & Silva, M. (2025). Prompting Minds: Evaluating how Students Perceive Generative AI's Critical Thinking Dispositions. *Electronic Journal of E-Learning*, 23(2). <https://doi.org/10.34190/ejel.23.2.3986>
- Peláez, C. A., Saavedra Munar, L., Ospina Galíndez, J. A., & Solano, A. (2026). Do Generative AI Assistants Enhance or Hinder Critical Thinking Skills in University Students? *Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje*, 21, 19–26. <https://doi.org/10.1109/RITA.2025.3643650>
- Pratama, M. A. (2020). Mathematical critical thinking ability and students' confidence in mathematical literacy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1663(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1663/1/012028>

- Putri, A., Nusantara, T., & As'ari, A. R. (2025). The contribution of critical thinking skills in rich mathematical problem completion: Insights from pre-service mathematics teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(2). <https://doi.org/10.29333/ejmste/15931>
- Qu, X., Sherwood, J., Liu, P., & Aleisa, N. (2025). Generative AI Tools in Higher Education: A Meta-Analysis of Cognitive Impact. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. <https://doi.org/10.1145/3706599.3719841>
- Rahmawati, R. D., & Desstya, A. (2025). Analysis of critical thinking skill in elementary school mathematics: Exploring the clarification aspect in problem solving. In I. N. & W. M. (Ed.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3333, Nomor 1). American Institute of Physics. <https://doi.org/10.1063/5.0291248>
- Ruiz-Rojas, L. I., Salvador-Ullauri, L., & Acosta-Vargas, P. (2024). Collaborative Working and Critical Thinking: Adoption of Generative Artificial Intelligence Tools in Higher Education. *Sustainability (Switzerland)*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/su16135367>
- Rungsoongnern, P., Tirakoat, S., Surinta, O., & Tian, X. (2025). *Exploring The Design Factors Shaping The Gaming Experience For Generation Alpha*. *Humanities, Arts and Social Sciences Studies*, 25(3), 699–708. <https://doi.org/10.69598/hasss.25.3.277498>
- Sardi, J., Candra, O., Yuliana, D. F., Yanto, D. T. P., & Eliza, F. (2025). How Generative AI Influences Students' Self-Regulated Learning and Critical Thinking Skills? A Systematic Review. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 15(1), 94–108. <https://doi.org/10.3991/ijep.v15i1.53379>
- Setyowati Sumitro, L. B. S., Cahyowati, E. T. D., & Anwar, L. (2025). The Critical Thinking Ability of Middle School Students in Solving Numeracy Problems on Three-Dimensional Shapes Based on Cognitive Style. In R. D., S. R.F., S. M., P. A.D., R. I., D. P., & A. L.W. (Ed.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3446, Nomor 1). American Institute of Physics. <https://doi.org/10.1063/5.0309377>
- Singh, A., Guan, Z., & Rieh, S. Y. (2025). Enhancing Critical Thinking in Generative AI Search with Metacognitive Prompts. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 62(1), 672–684. <https://doi.org/10.1002/pra2.1287>
- Suriano, R., Plebe, A., Acciai, A., & Fabio, R. A. (2025). Student interaction with ChatGPT can promote complex critical thinking skills. *Learning and Instruction*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2024.102011>
- Susanti, E. (2019). An analysis mathematical problem solving and mathematical critical thinking skills of junior high school students. In A. A.M., W. A., & V. J.A. (Ed.), *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1320, Nomor 1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1320/1/012071>
- Sutama, S., Fuadi, D., Narimo, S., Hafida, S. H. N., Novitasari, M., Anif, S., Prayitno, H. J., Sunanih, S., & Adnan, M. (2022). Collaborative mathematics learning management: Critical thinking skills in problem solving. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 11(3), 1015–1027. <https://doi.org/10.11591/ijere.v11i3.22193>
- Tapp Jaksa, A., Soloway, E., Kahn, T. M., Hurlburt, G., & Reisman, S. (2026). We Cannot Teach Generation Alpha in College the Way We Taught Generation Z: Why Higher Education Must Move From Digitized Instruction to Deeply Digital Learning. *Computer*, 59(7), 151–156. <https://doi.org/10.1109/MC.2026.3688134>
- Tee, K. N., Leong, K. E., & Abdul Rahim, S. S. (2018). The Mediating Effects of Critical Thinking Skills on Motivation Factors for Mathematical Reasoning Ability. *Asia-Pacific Education Researcher*, 27(5), 373–382. <https://doi.org/10.1007/s40299-018-0396-z>
- Tootell, H., Freeman, M., & Freeman, A. (2014). Generation alpha at the intersection of technology, play and motivation. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 82–90. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.19>

- Tu, Y.-F., Guo, X.-G., Fang, J.-W., Meng, X.-P., & Hwang, G.-J. (2026). Roles and impacts of generative AI agents in STEAM learning: insights from students' perceptions and learning experiences using information world mapping. *Educational Technology Research and Development*, 74(2), 897–935. <https://doi.org/10.1007/s11423-025-10579-7>
- Ulfiana, E. (2019). The students' mathematical critical thinking skill ability in solving mathematical problems. In M. S., M. Sanata Dharma University Tromol Pos 29, Yogyakarta, P. M., S. F., M. Sanata Dharma University Tromol Pos 29, Yogyakarta, J. H., D. I.A., W. L.H., R. M.A., H. H.G., S. V., S. H.P., & L. M. (Ed.), *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1180, Nomor 1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1180/1/012015>
- Urban, M., & Urban, K. (2025). Transforming Creative Problem-Solving with Generative AI Tools. In *Signals and Communication Technology: Vol. Part F1122* (hal. 379–396). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-031-96855-6_17
- Walter, Y. (2024). Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: the relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00448-3>