



Pemahaman konseptual siswa dalam pembelajaran matematika berbantuan *photomath*

Aminullah^{1*}

¹ Pendidikan Matematika, FKIP, Universitas Nggusuwaru

amirfull38@gmail.com

Abstract

Conceptual understanding is at the core of meaningful mathematics learning, as it helps students reason about relationships between ideas and apply mathematical principles logically. However, the learning process in the classroom still focuses heavily on procedural aspects, so that students tend to memorize solution steps without understanding their meaning. This study aims to analyze the dynamics of changes in students' conceptual understanding when using photomath in mathematics learning. The approach used is qualitative with an exploratory case study design, involving six 10th grade students at SMA Negeri 2 Dompu who have applied digital technology in learning. Data were obtained through observation, in-depth interviews, field notes, and documentation, then analyzed through data reduction, data presentation, conclusion drawing, and verification. The results showed that the development of students' conceptual understanding occurred through three main phases, namely algorithmic interpretation, conceptual reflection, and mathematical meaning integration. Photomath functions as a cognitive mediator that helps students transition from procedural thinking to a more reflective and deeper conceptual understanding. The effectiveness of this process is greatly influenced by the role of teachers in directing the use of technology to focus on meaning construction. This study confirms that technology-assisted mathematics learning can enrich conceptual understanding if it is designed to be reflective and oriented towards strengthening reasoning.

Keywords: *conceptual understanding; photomath; mathematics learning; artificial intelligence*

Abstrak

Pemahaman konseptual merupakan inti dari pembelajaran matematika yang bermakna, karena membantu siswa menalar hubungan antar ide dan menerapkan prinsip matematis secara logis. Namun, proses belajar di kelas masih banyak berfokus pada aspek prosedural sehingga siswa cenderung menghafal langkah penyelesaian tanpa memahami maknanya. Penelitian ini bertujuan menganalisis dinamika perubahan pemahaman konseptual siswa saat menggunakan photomath dalam pembelajaran matematika. Pendekatan yang digunakan adalah kualitatif dengan desain studi kasus eksploratif, melibatkan enam siswa kelas X di SMA Negeri 2 Dompu yang telah menerapkan teknologi digital dalam pembelajaran. Data diperoleh melalui observasi, wawancara mendalam, catatan lapangan dan dokumentasi, kemudian dianalisis melalui proses reduksi data, penyajian data, penarikan dan verifikasi kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan pemahaman konseptual siswa terjadi melalui tiga fase utama, yaitu interpretasi algoritmik, refleksi konseptual dan integrasi makna matematis. Photomath berfungsi sebagai mediator kognitif yang membantu siswa beralih dari berpikir prosedural menuju pemahaman konseptual yang lebih reflektif dan mendalam. Efektivitas proses ini sangat dipengaruhi oleh peran guru dalam mengarahkan penggunaan teknologi agar berfokus pada konstruksi makna. Penelitian ini menegaskan bahwa pembelajaran matematika berbantuan

teknologi dapat memperkaya pemahaman konseptual apabila dirancang secara reflektif dan berorientasi pada penguatan nalar.

Kata Kunci: pemahaman konseptual; photomath; pembelajaran matematika; kecerdasan buatan

1. PENDAHULUAN

Pembelajaran matematika memiliki peran sentral dalam membentuk cara berpikir logis, sistematis dan reflektif pada diri siswa. Tujuan utamanya untuk mengembangkan pemahaman mendalam terhadap konsep yang melandasi setiap prosedur, sehingga kemampuan dalam menyelesaikan soal disertai pemaknaan yang utuh terhadap proses berpikir matematis. Pemahaman konseptual menuntun untuk menalar secara kritis, mengintegrasikan berbagai ide matematika dan menerapkan prinsip-prinsipnya secara bermakna dalam kehidupan nyata (Dolapcioglu, S., & Doğanay, 2022). Namun, realitas di lapangan menunjukkan bahwa pembelajaran matematika masih berfokus pada aspek prosedural. Siswa cenderung menghafal rumus dan langkah penyelesaian tanpa memahami rasionalitas konseptual (Pardosi et al., 2023). Kondisi ini berdampak pada munculnya berbagai miskonsepsi dan rendahnya kemampuan berpikir tingkat tinggi (Anggara & Wandari, 2021). Fenomena tersebut menegaskan bahwa pemahaman konseptual bersifat dinamis, senantiasa berubah dan berkembang seiring pengalaman belajar yang dialami. Dalam setiap proses belajar, secara aktif siswa membangun, menguji dan merevisi struktur pengetahuannya melalui aktivitas mental yang berkesinambungan. Oleh karena itu, penting untuk menelaah dinamika pemahaman konseptual tersebut berlangsung, terlebih di era pembelajaran yang semakin terintegrasi dengan teknologi digital saat ini.

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) telah membawa perubahan besar dalam cara siswa belajar dan berinteraksi dengan konsep-konsep matematika. Salah satu inovasi yang menonjol dalam bidang ini adalah Photomath, sebuah aplikasi cerdas yang dirancang untuk mengenali ekspresi matematis, menganalisis struktur permasalahan serta menampilkan langkah-langkah penyelesaian secara otomatis dan sistematis (Orhani & Çeko, 2024). Photomath berfungsi sebagai mediator kognitif yang membantu memvisualisasikan dan menelusuri proses berpikir matematis dengan lebih terarah (Mensah et al., 2025). Kemampuan adaptif yang dimiliki menjadi media pembelajaran yang potensial dalam memperkuat pemahaman konseptual siswa (Thalib et al., 2024). Kehadiran teknologi membuka peluang bagi terciptanya pembelajaran matematika yang lebih interaktif, reflektif dan berorientasi pada pemaknaan konseptual.

Di satu sisi, photomath memberikan ruang untuk memahami proses penyelesaian masalah secara terstruktur dan efisien. Siswa dapat menelusuri setiap langkah penyelesaian, membandingkan hasil kerja sendiri dan mengidentifikasi kesalahan konseptual yang muncul. Di sisi lain, kemudahan yang ditawarkan berpotensi

menurunkan keterlibatan kognitif apabila hanya meniru langkah-langkah penyelesaian tanpa merefleksi secara mendalam terhadap konsep yang mendasarinya (Ahmad et al., 2025). Kondisi seperti ini menegaskan pentingnya memahami bagaimana dinamika pemahaman konseptual terbentuk dan berkembang selama siswa berinteraksi dengan teknologi.

Kajian terhadap dinamika ini menjadi penting karena sebagian besar penelitian terdahulu hanya menyoroti efektivitas penggunaan aplikasi digital terhadap hasil belajar seperti yang dilakukan oleh (Kusi et al., 2025), (Saundarajan et al., 2020) dan (Maydawati et al., 2025), sedangkan aspek proses berpikir konseptual yang terjadi selama pembelajaran sering diabaikan. Padahal, pemahaman terhadap dinamika konseptual merupakan kunci untuk mengoptimalkan penggunaan teknologi digital agar pembelajaran matematika berlangsung lebih kritis dan bermakna (Hoyles, 2018). Studi lainnya yang dikemukakan oleh Marthaulina et al., (2025) bahwa menggunakan photomath mampu meningkatkan ketepatan prosedural siswa dalam menyelesaikan soal aljabar, namun penelitian tersebut tidak mengkaji bagaimana siswa menafsirkan langkah-langkah yang dihasilkan aplikasi. Demikian pula, Susanti, (2024) menunjukkan bahwa photomath membantu siswa memvisualisasikan prosedur penyelesaian dan mengurangi kecemasan matematika, tetapi dinamika refleksi konseptual siswa tidak menjadi objek kajian. Nādu (2025) menerapkan aplikasi berbasis AI-solving meningkatkan kecepatan kerja siswa, namun tidak memberikan gambaran tentang bagaimana siswa membangun, merevisi, dan memperdalam pemahaman konseptual selama berinteraksi dengan teknologi tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap dinamika pemahaman konseptual siswa dalam pembelajaran matematika berbantuan photomath. Fokus diarahkan pada proses perubahan cara berpikir siswa selama berinteraksi dengan teknologi. Melalui kajian ini diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang bagaimana teknologi cerdas dapat mendukung pembelajaran yang lebih reflektif, bermakna dan berorientasi pada penguatan berpikir konseptual. Dengan demikian, penelitian ini dapat berkontribusi terhadap pengembangan teori pembelajaran berbasis teknologi serta menawarkan arah baru bagi praktik pembelajaran matematika di era digital. Pembelajaran yang mengintegrasikan kecerdasan buatan dan kecerdasan manusia untuk membangun pemahaman konseptual yang mendalam dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus eksploratif untuk mengkaji secara mendalam dinamika pemahaman konseptual siswa dalam pembelajaran matematika berbantuan photomath. Pendekatan ini dipilih karena fokus penelitian terletak pada proses berpikir dan perubahan konseptual selama proses pembelajaran berlangsung. Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 2 Dompu yang telah mengintegrasikan teknologi ke dalam kegiatan di kelas. Subjek penelitian terdiri atas

enam siswa kelas X yang dipilih secara purposive berdasarkan variasi kemampuan berpikir konseptual serta keterlibatan aktif dalam penggunaan photomath. Untuk menjamin kredibilitas data, penelitian ini menggunakan triangulasi sumber dan triangulasi metode. Triangulasi sumber dilakukan dengan membandingkan data dari siswa, guru dan dokumentasi digital. Triangulasi metode dilakukan melalui kombinasi observasi, wawancara mendalam dan analisis dokumentasi. Kedua bentuk triangulasi ini memastikan bahwa data yang diperoleh konsisten, saling menguatkan dan menggambarkan dinamika pemahaman konseptual secara akurat. Peneliti berperan sebagai instrumen utama (*human instrument*) yang secara aktif mengamati proses pembelajaran mencatat interaksi siswa dengan teknologi menggali pengalaman reflektif melalui wawancara terbuka. Analisis data dilakukan secara interaktif yang mencakup proses reduksi data, penyajian data, penarikan dan verifikasi kesimpulan.

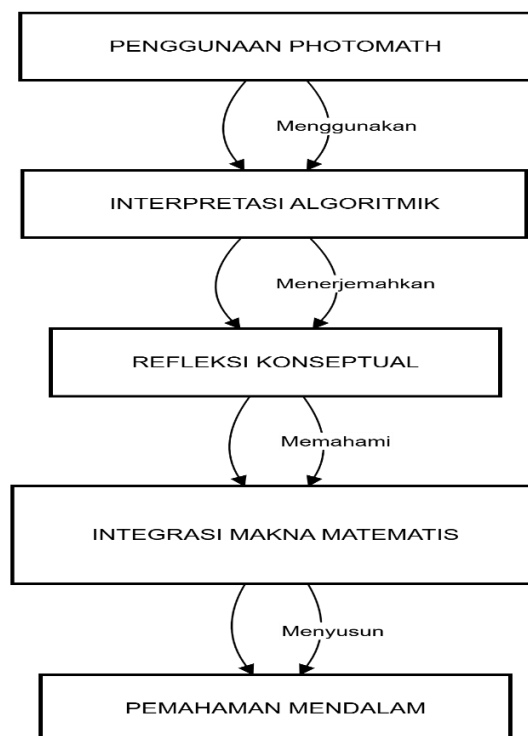
3. HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan photomath dalam pembelajaran matematika memberikan pengaruh signifikan terhadap cara siswa membangun dan merefleksikan pemahaman konseptual. Temuan penelitian ini memperlihatkan bahwa perkembangan pemahaman konseptual siswa berlangsung melalui tiga fase utama, yaitu interpretasi algoritmik, refleksi konseptual dan integrasi makna matematis. Pada fase 1 pembelajaran masih bersifat prosedural dan mekanistik. Hal ini dilihat dari hasil wawancara “*Saya lihat saja langkahnya di photomath, Pak. Kalau sudah muncul jawabannya, berarti benar. saya ikut saja langkah-langkahnya,*” (Siswa A, 12/08/2025). Sebagai catatan di lapangan, siswa terlihat langsung menyalin langkah penyelesaian dari *photomath* ke buku tanpa membaca penjelasan di setiap langkah. Tidak ada pertanyaan atau upaya interpretasi dari siswa. Sementara pada fase 2, siswa mulai mempertanyakan alasan di balik setiap langkah, menunjukkan perubahan orientasi dari sekadar menyalin menjadi mencoba memahami. Bukti hasil wawancara pada fase ini mengatakan “*Waktu photomath kasih langkah kedua, saya bingung kenapa harus dipindah ruas dulu. saya coba tanya ke diri sendiri, ‘Apa ini biar bentuknya lebih sederhana?’ Ternyata iya, jadi saya mulai ngerti kenapa langkah itu penting,*” (Siswa C, 18/08/2025). “*Saya bandingkan langkah photomath sama cara saya. Ternyata beda, tapi punya alasan masing-masing. Saya jadi mikir, mana yang lebih efisien ya?*” (Siswa D, 18/08/2025). Fase ini peneliti mencatat bahwa siswa mulai berdiskusi dengan diri sendiri dan sesama teman mengenai alasan pemilihan langkah tertentu. Aktivitas berpikir kritis mulai terlihat.

Lebih lanjut, pada fase 3, siswa mampu menghubungkan prosedur yang ditampilkan *photomath* dengan konsep matematika yang lebih luas, seperti hubungan antar representasi, makna grafik dan prinsip matematis. Hasil wawancara ke siswa mengatakan “*Setelah saya lihat langkah photomath, saya coba gambar grafiknya sendiri. Ternyata titik potongnya sama dengan hasil yang dikasih photomath. Jadi saya makin yakin kalau konsepnya memang seperti itu.*” (Siswa B, 22/08/2025), “*Sekarang saya bisa*

pakai cara dari photomath buat soal lain, bukan cuma ikut langkahnya, tapi ngerti kenapa begitu." (Siswa E, 22/08/2025). Hasil tangkapan layar pada tahap ini, dalam salah satu lembar kerja siswa, terdapat diagram grafik dengan catatan: "*Hasil photomath cocok dengan grafik, solusi masuk akal secara visual.*"

Ketiga fase ini muncul secara berurutan dan menunjukkan perubahan pola pikir siswa dari sekadar mengikuti prosedur *photomath* menuju pemaknaan konsep yang lebih mendalam. Uraian masing-masing fase disertai bukti empiris berdasarkan wawancara, observasi dan dokumentasi penggunaan *photomath*.

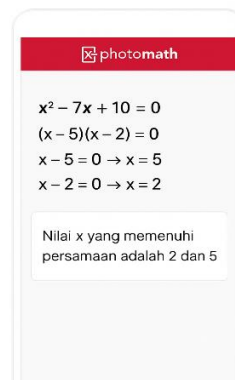


Gambar 1. Model dinamika pemahaman konseptual siswa berbantuan *photomath*

3.1 Fase Interpretasi Algoritmik

Pada tahap awal, siswa memanfaatkan *photomath* terutama sebagai alat bantu dalam penyelesaian soal. Aktivitas belajar berfokus pada kecepatan memperoleh jawaban dan ketepatan langkah prosedural. Sebagian besar siswa menunjukkan kecenderungan untuk menerima hasil yang diberikan aplikasi tanpa melakukan pemeriksaan terhadap makna konseptual di baliknya. Walaupun penggunaan masih bersifat mekanistik, fase ini berperan penting sebagai tahap pengenalan struktur logis penyelesaian matematis yang sistematis dan konsisten.

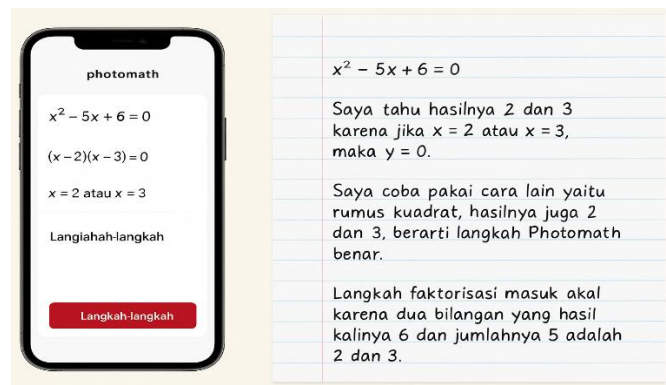
Solve for x.
 $x^2 - 7x + 10 = 0$
 Langkah 1:
 Faktorisasi $x^2 - 7x + 10$
 Langkah 2:
 Dapatkan $x = 5$ dan $x = 2$
 Jadi akar persamaannya
 adalah 2 dan 5.



Gambar 2. Tampilan interaksi awal siswa dengan photomath pada fase interpretasi algoritmik

3.2 Fase Refleksi Konseptual

Pada tahap selanjutnya, orientasi belajar siswa mulai bergeser. Siswa mulai menelusuri alasan di balik setiap langkah yang dihasilkan oleh *photomath* dan membandingkannya dengan strategi penyelesaian pribadi. Pertanyaan reflektif seperti “mengapa langkah ini dilakukan?” dan “Apakah cara lain menghasilkan hasil yang sama??” mulai muncul. Fase ini menandai munculnya kesadaran konseptual dan kemampuan metakognitif, di mana siswa mulai memahami *photomath* sebagai sarana refleksi dan peninjauan ulang terhadap pemahaman sendiri.



Gambar 3. Representasi siswa terhadap langkah penyelesaian photomath

3.3 Fase Integrasi Makna Matematis

Pada fase integrasi makna matematis, siswa menunjukkan kemampuan berpikir yang lebih mendalam dengan menghubungkan hasil penyelesaian dari *photomath* dengan konsep-konsep matematika yang lebih luas. Siswa mulai memahami bahwa nilai akar dari persamaan kuadrat tidak sekadar hasil perhitungan, tetapi merepresentasikan titik potong grafik parabola terhadap sumbu- x . Mereka menafsirkan hubungan antara bentuk aljabar, representasi visual dan makna geometris dari suatu persamaan sebagai satu

kesatuan yang saling melengkapi. Beberapa siswa menggunakan photomath untuk mengevaluasi strategi mereka sendiri, memastikan kesesuaian antara hasil analisis simbolik dan bentuk grafik yang diperoleh. Proses ini memperlihatkan bahwa pembelajaran berbantuan photomath dapat menumbuhkan kemampuan analisis konseptual, refleksi mandiri serta integrasi makna antar representasi matematis secara utuh dan bermakna.

The image shows a student's handwritten solution to a quadratic equation and a corresponding screenshot from the Photomath app. The handwritten work is on the left, and the app's output is on the right, separated by a right-pointing arrow.

Soal
 $x^2 - 5x + 6 = 0$
 $(x + 3)(x - 2) = 0$
 $x + 3 = 0$
 $x - 2 = 0$
 $x = -3$
 $x = 2$
alasan:
 x di sini ya internam
 karena x
 Alcar berarti $x = -3$
 atau $x = 2$

SOLVED
 $(x + 3)(x - 2) = 0$
 $x + 3 = 0$
 $x - 2 = 0$
roots
 $\frac{-3}{2}$

The app screenshot also includes a graph of a parabola opening upwards, with its x-intercepts at -3 and 2, which correspond to the roots found.

Gambar 4. Contoh representasi pemahaman siswa pada fase integrasi makna matematis

Selain itu, wawancara dengan guru menunjukkan bahwa penggunaan photomath meningkatkan motivasi belajar siswa karena karakteristiknya yang interaktif dan menarik. Guru mengamati bahwa siswa menjadi lebih aktif dalam mengidentifikasi kesalahan dan mendiskusikan konsep dasar yang muncul dari hasil aplikasi. Namun, guru menegaskan perlunya pendampingan agar siswa tetap berorientasi pada pemahaman makna konseptual sekadar pencapaian hasil numerik. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa photomath berfungsi sebagai mediator kognitif yang membantu siswa beralih dari pola berpikir prosedural menuju pemahaman konseptual. Keberhasilan proses ini sangat dipengaruhi oleh peran guru dalam menciptakan suasana belajar yang reflektif, mendorong penalaran mendalam serta mengarahkan penggunaan teknologi secara bermakna dalam pembelajaran matematika.

PEMBAHASAN

1. Transisi dari Pemikiran Algoritmik Menuju Refleksi Konseptual

Pada fase awal pembelajaran berbantuan photomath, pola berpikir siswa didominasi oleh pendekatan algoritmik. Siswa mengikuti langkah-langkah prosedural yang disajikan aplikasi tanpa melakukan interpretasi makna konseptual. Pola ini sejalan dengan karakteristik *procedural learning*, di mana siswa lebih berorientasi pada mendapatkan jawaban dari pada memahami struktur konsep yang melandasinya. Rittle-johnson, (2017) menyatakan bahwa dominasi pemikiran prosedural merupakan tahap dasar sebelum pemahaman konseptual dapat terbentuk secara lebih kompleks. Perubahan

mulai terlihat ketika siswa menemukan perbedaan antara strategi yang biasa mereka gunakan dengan langkah yang ditampilkan *photomath*. Ketidaksesuaian tersebut memicu restrukturisasi skema proses kognitif ketika siswa mulai mempertanyakan alasan di balik prosedur tertentu. Verschaffel, (2024) menjelaskan bahwa proses membandingkan strategi penyelesaian merupakan langkah awal pembentukan fleksibilitas matematis (*mathematical flexibility*), salah satu indikator penting dalam pemahaman konseptual. Pada fase ini, Peran *photomath* sebagai katalis bagi proses peninjauan kembali struktur berpikir siswa konsisten dengan pandangan Marshall, (2018) bahwa teknologi digital dapat mempercepat proses refleksi kognitif dalam pembelajaran. Kondisi ini sesuai dengan teori konstruktivisme Piaget, di mana konflik kognitif menjadi pemicu munculnya akomodasi skema baru, yaitu restrukturisasi skema ketika siswa menyadari adanya ketidaksesuaian antara pemikiran awal dan informasi baru (Parwati, N., & Suharta, 2020)

2. Refleksi Konseptual sebagai Mekanisme Pembentukan Skema Baru

Fase refleksi konseptual menjadi tahapan penting ketika siswa mulai menilai alasan di balik langkah penyelesaian dan membandingkannya dengan strategi mereka sendiri. Aktivitas refleksi yang ditemukan dalam penelitian ini menggambarkan terjadinya proses "*self-explanation*", yaitu kegiatan menjelaskan kembali langkah atau konsep dengan kata-kata sendiri. Menurut Salam, (2020), *self-explanation* merupakan strategi metakognitif yang terbukti memperkuat pemahaman konseptual serta memperdalam struktur skema. Pada titik ini, *photomath* tidak lagi diposisikan hanya sebagai pemberi langkah penyelesaian, tetapi sebagai alat mediasi kognitif. Sesuai kerangka teori mediasi Vygotsky, alat budaya seperti teknologi digital dapat memperluas zona perkembangan siswa (Rigopouli, 2025). Penelitian oleh Kwangmuang et al., (2021) menunjukkan bahwa teknologi digital dalam matematika dapat memperkuat aktivitas berpikir tingkat tinggi jika penggunaannya memicu dialog internal dan refleksi mendalam. Fase ini memperlihatkan bahwa siswa mulai membangun hubungan antar - konsep yang sebelumnya terpisah. Proses ini dikenal sebagai *interconnected conceptual understanding*, yaitu integrasi berbagai representasi, strategi dan konsep yang saling memperkuat. Penelitian di bidang pendidikan matematika oleh Ivars, P., Fernández, C., & Llinares, (2020) menekankan bahwa pemahaman konseptual berkembang ketika siswa menyadari hubungan-hubungan tersebut melalui refleksi.

3. Integrasi Makna Matematis sebagai Tahap Pemahaman Konseptual yang Matang

Pada fase ketiga, siswa menunjukkan kemampuan untuk menghubungkan algoritme *photomath* dengan representasi simbolik, grafik dan makna matematis. Proses ini mencerminkan terbentuknya skema konseptual yang stabil. Menurut teori *schema integration*, pemahaman konseptual yang matang terjadi ketika siswa dapat menggabungkan berbagai representasi ke dalam struktur kognitif yang kohesif (Danesi, 2025). Kemampuan siswa menjelaskan kembali hasil *photomath* melalui representasi grafik menunjukkan bahwa mereka tidak lagi sekadar memahami "*bagaimana*

menyelesaikan”, tetapi mulai memahami “*mengapa solusi tersebut masuk akal*”. Aktivitas mengaitkan prosedur dengan konsep grafik, bentuk aljabar dan sifat-sifat persamaan menunjukkan tercapainya pemahaman relasional sebagaimana dikemukakan (Coles & Ahn, 2023). Beberapa siswa bahkan menggunakan langkah *photomath* sebagai sarana memvalidasi strategi yang digunakan. Fenomena ini konsisten dengan konsep *bidirectional cognitive mediation*, di mana teknologi bukan hanya menjadi pemberi informasi, melainkan menjadi cermin bagi siswa untuk menilai kualitas proses berpikir. Hasil ini sejalan dengan studi Xing, W., et all (2025) yang menunjukkan bahwa teknologi berbasis AI dapat mendorong siswa mencapai pengetahuan matematis yang lebih dalam ketika digunakan secara reflektif. Pada tahap ini, *photomath* menjadi alat bagi siswa untuk menyempurnakan dan memperluas skema konseptual yang sudah dimiliki. Proses integrasi makna matematis yang ditemukan mencerminkan tercapainya pemahaman konseptual yang tidak hanya bersifat procedural tetapi bermakna dan mampu ditransfer ke situasi pembelajaran yang berbeda.

4. SIMPULAN

Penggunaan *photomath* berpengaruh terhadap perubahan pola berpikir siswa dari pendekatan prosedural menuju pemahaman konseptual. Proses tersebut berlangsung melalui tiga fase utama, yaitu interpretasi algoritmik, refleksi konseptual dan integrasi makna matematis. *Photomath* berperan sebagai mediator kognitif yang membantu siswa meninjau kembali proses berpikir, memperkuat kemampuan reflektif dan mengaitkan konsep-konsep matematika secara lebih mendalam. Keberhasilan pembelajaran bergantung pada peran guru dalam mengarahkannya. Integrasi antara kecerdasan buatan dan kecerdasan manusia memberikan arah baru bagi pengembangan pembelajaran matematika di era digital, yang berupaya membangun pemahaman matematis yang utuh, mendalam dan berkelanjutan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak SMA Negeri 2 Dompu yang telah memberikan izin serta dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para siswa kelas X yang berpartisipasi aktif selama proses pembelajaran berbantuan *photomath* serta rekan-rekan dosen di Program Studi Pendidikan Matematika Universitas Nggusuwaru yang telah memberikan masukan berharga dalam penyusunan artikel ini.

6. REKOMENDASI

Penggunaan *photomath* memiliki potensi signifikan dalam memperdalam pemahaman konseptual siswa apabila diintegrasikan dengan arahan guru yang tepat. Oleh karena itu, guru matematika disarankan untuk memanfaatkan *photomath* sebagai media pengembangan berpikir kritis dan reflektif, bukan semata sebagai alat bantu prosedural. Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk melibatkan sampel yang lebih luas serta

menelaah implikasi jangka panjang penggunaan *photomath* terhadap penguatan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa.

7. REFERENSI

- Ahmad, F. B., Aboraya, W. (2025). The effect of interactive AI tools like photomath on developing mathematical concepts in students with learning difficulties: A quasi-experimental study. *Multidisciplinary Science Journal*, 7(11), 2025546–2025546.
- Anggara, B., & Wandari, W. (2021). Misconceptions of senior high school students in solving high-order thinking skills questions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1918(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/4/042089>
- Coles, A., & Ahn, A. (2023). *Developing algebraic activity through conjecturing about relationships*.
- Danesi, M. (2025). *Image Schema Theory and Mathematical Cognition*. Springer.
- Dolapcioglu, S., & Doğanay, A. (2022). (2022). Development of critical thinking in mathematics classes via authentic learning: an action research. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(6), 1363-1386.
- Hoyles, C. (2018). Transforming the mathematical practices of learners and teachers through digital technologyNo Title. *Research in Mathematics Education*, 20(3), 209–228.
- Ivars, P., Fernández, C., & Llinares, S. (2020). A learning trajectory as a scaffold for pre-service teachers' noticing of students' mathematical understanding. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18(3), 529-548.
- Kusi, P., Boateng, F. O., & Teku, E. (2025). The effect of technology integration on college of education students' achievement in quadratic equations: The perspective of photo math utilization. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(1), em2561–em2561. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15799>
- Kwangmuang, P., Jarutkamolpong, S., Sangboonraung, W., & Daungtod, S. (2021). Heliyon The development of learning innovation to enhance higher order thinking skills for students in Thailand junior high schools. *Heliyon*, 7(6), e07309. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07309>
- Marshall, S. J. (2018). *Technology as a Catalyst for Change. In Shaping the university of the future: Using technology to catalyse change in university learning and teaching*. Springer Singapore.
- Marthaulina, M., Siahaan, L., Salsinha, C. N., Hijriani, L., & Daniel, F. (2025). *Photomath application for learning algebra : Preliminary study on a school in border area Article history : Aplikasi Photomath dalam pembelajaran aljabar : Studi awal pada sekolah di perbatasan This research contributes to : 08(March)*, 199–213. <https://doi.org/10.24042/ijsme.v>
- Maydawati, L., Wahyuni, M., & Astuti. (2025). The Effectiveness of Using the Photomath Application in Enhancing Students' Learning Interest. *Journal of Mathematics, Science and Computer Education*. <https://doi.org/10.20527/jmscedu.v4i2.14174>
- Mensah, N., Boateng, F. O., & Gordon, J. F. (2025). *The effect of using photomath on pre- service teachers ' algebra achievement : The mediating role of conceptual understanding*. 7(2).
- Nādu, T. (2025). *A Path Towards Child-Centric Artificial Intelligence based Education Institute of Aeronautical Department of CSE KoneruLakshmaiah Education Rathinam Technical Campus , Brahmddevdada Mane Institute of Department of Psychology Dr . MGR Janaki College of Arts & Science Chennai*. 14(03), 9915–9922. <https://doi.org/10.9756/INT-JECSE/V14I3.1145>

- Orhani, S., & Çeko, B. (2024). Mobile applications as aids for solving systems of linear equations with two variables using the graphical method. ... *Journal of Science, Technology, Education, & ...*, 4(2), 14–34.
- Pardosi, S. C., Sinaga, R. F., & Gultom, S. P. (2023). Analisis Kemampuan Penalaran dan Pemahaman Konsep Belajar Matematika Siswa Materi Pecahan di SMP Kelas VII Swasta HKBP Sidorame. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 3(5), 8463–8474. <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/5864>
- Parwati, N., & Suharta, I. (2020). Effectiveness of the implementation of cognitive conflict strategy assisted by e-service learning to reduce students' mathematical misconceptions. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 15(11), 102–118.
- Rigopouli, K. (2025). *education sciences Vygotsky 's Creativity Options and Ideas in 21st-Century Technology-Enhanced Learning Design*.
- Rittle-johnson, B. (2017). *Developing Mathematics Knowledge*. 11(3), 184–190. <https://doi.org/10.1111/cdep.12229>
- Salam, M. (2020). *Strategies of Metacognition Based on Behavioural Learning to Improve Metacognition Awareness and Mathematics Ability of Students*. 13(2), 61–72.
- Saundarajan, K., Osman, S., Daud, M. F., Abu, M. S., Pairan, M. R., & Kumar, J. A. (2020). Learning algebra using augmented reality. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(16), 123–133. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i16.10540>
- Susanti, E. (2024). *Transforming Mathematical Problem Solving Through AI Tools: An Investigation of Photomath Integration in Problem-Based Learning Transforming Mathematical Problem Solving Through AI Tools : An Investigation of Photomath Integration in Problem-Based Learning*. c.
- Thalib, F., Jaya, R. A., & Sudiman, A. (2024). Pengaruh Penggunaan Aplikasi Photomath Untuk Meningkatkan Pemahaman Siswa Dalam Pembelajaran Sistem Persamaan Linear Dua Variabel. *Jurnal Ilmiah Matematika (JIMAT)*, 5(2), 192–203. <https://doi.org/10.63976/jimat.v5i2.623>
- Verschaffel, L. (2024). Strategy flexibility in mathematics. *ZDM–Mathematics Education*, 56(1), 115–126.
- Xing, W., Song, Y., Li, C., Liu, Z., Zhu, W., & Oh, H. (2025). Development of a generative AI-powered teachable agent for middle school mathematics learning: A design-based research study. *British Journal of Educational Technology*.