

Pengembangan E-Modul Berbasis Pembelajaran Mendalam untuk Meningkatkan Kemampuan Penalaran Kritis Matematis Murid Sekolah Dasar

Received: ¹Intan Purnomosari, ²Sri Dewi Nirmala, ³Fery Muhamad Firdaus

10/05/2026 ¹²Universitas Terbuka, Indonesia

Accepted: ³Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

29/06/2026

Published: ¹intanpurnomosari28@guru.sd.belajar.id *Corresponding author

30/06/2026 ²nirmaladewi@ecampus.ut.ac.id

³fery.firdaus@uny.ac.id

How to cite :

Purnomosari, I., Nirmala, S. D., & Firdaus, F. M. (2026). Pengembangan E-Modul Berbasis Pembelajaran Mendalam untuk Meningkatkan Kemampuan Penalaran Kritis Matematis Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Ilmu Pendidikan Dasar Indonesia*, 5(2), 401-417. <https://doi.org/10.51574/judikdas.v5i2.5751>

Abstract

This study aimed to develop a deep learning-based e-module on plane geometry and to examine its feasibility, practicality, and effectiveness in improving elementary school students' critical reasoning skills. The study employed a Research and Development (R&D) method using the ADDIE model, which consists of the analysis, design, development, implementation, and evaluation stages. The product was developed by integrating the processes of understanding, applying, and reflecting through visual materials, contextual activities, instructional videos, exercises, worksheets, reflection tasks, and quizzes. The feasibility test involved three expert validators, while the practicality test was conducted through a one-to-one trial, small-group trial, field trial, and teacher assessment. The effectiveness test involved 50 fourth-grade students using pretest and posttest measures of critical reasoning skills. The findings showed that the e-module was categorized as highly feasible and practical for use in elementary mathematics learning. The trial process also indicated that improvements in navigation, visual design, clarity of instructions, media integration, and reflective activities contributed to a better user experience. The use of the e-module resulted in a significant improvement in students' critical reasoning skills, with the N-Gain categorized as moderate. The findings suggest that the effectiveness of the e-module was mainly supported by the integration of visual representations, real-life contexts, reasoning-based exercises, problem-solving activities, and reflective learning. The e-module can function as digital scaffolding that supports conceptual understanding, mathematical argumentation, and independent learning while maintaining the teacher's role in providing assistance for more complex problems.

Keywords: E-Module, Deep Learning, Critical Reasoning, Elementary Mathematics, Geometry

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengembangkan e-modul berbasis pembelajaran mendalam pada materi bangun datar serta menguji kelayakan, kepraktisan, dan keefektifannya dalam meningkatkan kemampuan penalaran kritis murid sekolah dasar. Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model ADDIE yang meliputi tahap analysis, design, development, implementation, dan evaluation. Produk dikembangkan dengan mengintegrasikan tahapan memahami, mengaplikasi, dan merefleksikan melalui materi visual, aktivitas kontekstual, video pembelajaran, latihan, lembar kerja, refleksi, dan kuis. Uji kelayakan melibatkan tiga validator ahli, sedangkan

uji kepraktisan dilakukan melalui one-to-one trial, small-group trial, field trial, serta penilaian guru. Uji efektivitas melibatkan 50 murid kelas IV melalui pengukuran pretest dan posttest kemampuan penalaran kritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul berada pada kategori sangat layak dan praktis untuk digunakan dalam pembelajaran matematika sekolah dasar. Proses uji coba juga menunjukkan bahwa penyempurnaan navigasi, tampilan, kejelasan petunjuk, integrasi media, dan aktivitas refleksi berkontribusi terhadap peningkatan pengalaman penggunaan produk. Penggunaan e-modul menghasilkan peningkatan kemampuan penalaran kritis yang signifikan, dengan N-Gain berada pada kategori sedang. Temuan menunjukkan bahwa efektivitas e-modul terutama didukung oleh keterpaduan antara representasi visual, konteks kehidupan nyata, latihan yang menuntut alasan, pemecahan masalah, dan aktivitas reflektif. E-modul ini dapat berfungsi sebagai scaffolding digital yang membantu murid membangun pemahaman konseptual, mengembangkan argumentasi matematis, dan belajar lebih mandiri, sekaligus tetap mempertahankan peran guru dalam memberikan dukungan pada persoalan yang lebih kompleks.

Kata Kunci: E-Modul, Pembelajaran Mendalam, Penalaran Kritis, Matematika Sekolah Dasar, Bangun Datar

Pendahuluan

Pembelajaran matematika di sekolah dasar tidak lagi cukup diarahkan pada kemampuan melakukan operasi hitung dan memperoleh jawaban yang benar, tetapi perlu membangun kemampuan murid dalam memahami alasan, menilai informasi, menghubungkan konsep, dan mengambil keputusan secara logis. Kemampuan tersebut menjadi semakin penting ketika murid berhadapan dengan persoalan matematika yang tidak dapat diselesaikan hanya dengan meniru prosedur yang telah dicontohkan guru. [Engelbrecht & Borba \(2024\)](#) menjelaskan bahwa perkembangan teknologi digital telah mengubah ruang belajar matematika dari aktivitas yang cenderung statis menuju pengalaman belajar yang semakin multimodal, kolaboratif, dan memungkinkan eksplorasi konsep secara lebih luas. Dalam konteks sekolah dasar, [Akbar et al. \(2025\)](#) menemukan bahwa pembelajaran matematika berbantuan teknologi mampu menciptakan kondisi yang lebih mendukung perkembangan berpikir kritis karena murid memperoleh kesempatan untuk mengamati, menafsirkan, dan mengevaluasi representasi matematis. [Rahma et al. \(2026\)](#) juga menunjukkan bahwa penggunaan teknologi akan memberikan dampak kognitif yang lebih kuat ketika diintegrasikan dengan pengetahuan pedagogis dan konten matematika, bukan digunakan sekadar sebagai alat penyaji informasi. Dengan demikian, tantangan pembelajaran matematika saat ini bukan lagi sekadar menghadirkan teknologi di kelas, melainkan merancang pengalaman belajar yang memanfaatkan teknologi untuk membuat murid benar-benar berpikir tentang matematika.

Urgensi penguatan kemampuan penalaran matematis di Indonesia semakin terlihat dari hasil Programme for International Student Assessment (PISA) 2025. Indonesia memperoleh skor rata-rata matematika sebesar 364, jauh di bawah rata-rata negara OECD yang berada pada kisaran 463. Capaian tersebut juga sedikit lebih rendah dibandingkan skor Indonesia pada PISA 2022 sebesar 366. Dalam kerangka PISA, literasi matematika tidak hanya berkaitan dengan kemampuan melakukan perhitungan, tetapi juga kemampuan bernalar secara matematis, merumuskan masalah, menggunakan konsep dan prosedur, serta menafsirkan dan mengevaluasi hasil dalam berbagai konteks. Rendahnya capaian tersebut menunjukkan bahwa banyak murid Indonesia masih menghadapi kesulitan ketika harus menggunakan pengetahuan matematika untuk menganalisis situasi dan memberikan keputusan berdasarkan alasan yang logis. Meskipun PISA mengukur

murid berusia 15 tahun dan tidak secara langsung merepresentasikan kemampuan murid sekolah dasar, hasil tersebut memberikan gambaran makro bahwa penguatan fondasi penalaran matematis perlu dilakukan sejak jenjang pendidikan dasar.

Persoalan tersebut menjadi penting karena kemampuan penalaran kritis matematis berkembang ketika murid memperoleh kesempatan untuk mempertanyakan informasi, memberikan alasan terhadap pilihan strategi, mengevaluasi proses penyelesaian, serta merefleksikan kebenaran jawaban yang diperoleh. Namun, pengalaman belajar seperti ini belum selalu muncul ketika pembelajaran masih bertumpu pada penjelasan guru, contoh soal, dan latihan rutin. Oleh karena itu, diperlukan pengalaman belajar yang sejak pendidikan dasar mengarahkan murid untuk tidak hanya memperoleh jawaban, tetapi juga memahami bukti dan alasan yang mendasari jawaban tersebut.

Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk menghadirkan pengalaman belajar tersebut adalah e-modul interaktif. [Dermawan et al. \(2025\)](#) menunjukkan bahwa penggunaan e-modul interaktif pada murid sekolah dasar dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis ketika konten digital tidak hanya menyampaikan materi, tetapi juga melibatkan murid secara aktif melalui fitur visual dan interaktif. Temuan [Akbar et al. \(2025\)](#) memperlihatkan bahwa teknologi visual dalam pembelajaran matematika dapat membantu murid membangun pemahaman yang lebih representasional, meskipun kemampuan evaluasi dan inferensi tetap memerlukan dukungan pedagogis yang lebih kuat. [Winarti et al. \(2026\)](#) juga menemukan bahwa integrasi aktivitas berbasis teknologi dalam pembelajaran matematika kelas IV menghasilkan peningkatan kemampuan berpikir kritis yang lebih tinggi dibandingkan pembelajaran konvensional. Temuan-temuan tersebut mengisyaratkan bahwa teknologi berpotensi mengembangkan penalaran kritis, tetapi efektivitasnya sangat bergantung pada bagaimana aktivitas belajar di dalam media mengarahkan murid untuk menganalisis informasi, memberikan alasan, mengevaluasi bukti, dan merefleksikan penyelesaian, bukan sekadar berinteraksi dengan layar.

Salah satu bentuk teknologi pembelajaran yang memiliki karakteristik tersebut adalah e-modul, karena mampu memadukan teks, ilustrasi, video, latihan, navigasi, dan asesmen dalam satu lingkungan belajar yang dapat diakses secara lebih fleksibel. Pengembangan media matematika digital sebenarnya telah menunjukkan potensi sejak pemanfaatan pembelajaran berbasis elektronik mulai diarahkan untuk membantu anak memahami konsep-konsep numerasi. [Nurfatanah et al. \(2021\)](#), misalnya, mengembangkan mathematics educational game berbasis e-learning untuk membantu penanaman konsep dasar numerasi pada murid sekolah dasar dan menunjukkan bahwa teknologi dapat dirancang sebagai ruang interaksi belajar matematika, bukan hanya sebagai tempat menyimpan materi. Perkembangan berikutnya memperlihatkan orientasi yang semakin kuat pada kemampuan berpikir tingkat tinggi. [Dermawan et al. \(2025\)](#) membuktikan bahwa e-modul interaktif yang dirancang secara sistematis memiliki kelayakan tinggi dan mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis murid kelas IV. [Engelbrecht & Borba \(2024\)](#) menegaskan bahwa multimodalitas, video, lingkungan belajar digital, dan berbagai bentuk representasi interaktif telah menjadi arah penting transformasi pendidikan matematika kontemporer. Dengan karakteristik tersebut, e-modul memungkinkan murid belajar dalam ritmenya sendiri, kembali pada bagian yang belum dipahami, memperoleh representasi konsep dalam berbagai bentuk, sekaligus berhadapan dengan aktivitas yang menuntut respons dan keputusan.

Kecanggihan fitur digital tidak secara otomatis menghadirkan pembelajaran yang mendalam. Media yang menarik secara visual tetap dapat menghasilkan proses belajar yang

dangkal apabila aktivitas di dalamnya hanya mengarahkan murid membaca definisi, mengingat sifat, memilih jawaban, dan menyelesaikan soal rutin. Persoalan ini menjadi relevan dengan pendekatan pembelajaran mendalam (deep learning) yang menempatkan pemahaman, aplikasi, dan refleksi sebagai pengalaman belajar yang saling berhubungan. [Luritawaty et al. \(2026\)](#) menunjukkan bahwa integrasi prinsip deep learning dalam bahan ajar digital dapat memperkuat kemampuan berpikir kritis matematis karena murid tidak berhenti pada penerimaan informasi, tetapi diarahkan untuk menghubungkan materi dengan konteks, melakukan aktivitas intelektual, dan membangun makna terhadap apa yang dipelajari. [Rahma et al. \(2026\)](#) memperlihatkan bahwa pembelajaran matematika yang bersifat kontekstual, reflektif, berbasis inkuiri, dan didukung teknologi dapat memperkuat kemampuan interpretasi, analisis, evaluasi, penjelasan, inferensi, serta regulasi diri murid. Sejalan dengan itu, [Winarti et al. \(2026\)](#) menunjukkan bahwa teknologi menjadi lebih bermakna ketika ditempatkan dalam aktivitas pembelajaran yang menantang murid memecahkan masalah daripada hanya menerima informasi. Oleh karena itu, pengembangan e-modul perlu bergeser dari paradigma “digitalisasi bahan ajar” menuju “desain pengalaman belajar digital” yang membuat murid memahami apa yang dipelajari, menggunakan pengetahuan tersebut, serta memikirkan kembali bagaimana dan mengapa suatu penyelesaian dapat dipertanggungjawabkan.

Berbagai penelitian telah memperlihatkan efektivitas teknologi digital dalam pengembangan kemampuan berpikir kritis. [Akbar et al. \(2025\)](#) memanfaatkan augmented reality untuk mendukung kemampuan berpikir kritis dalam pembelajaran matematika sekolah dasar, sedangkan [Winarti et al. \(2026\)](#) mengintegrasikan game-based learning dan teknologi augmented reality untuk mengembangkan keterampilan digital sekaligus berpikir kritis. Pada sisi lain, [Dermawan et al. \(2025\)](#) secara lebih spesifik mengembangkan e-modul interaktif bagi murid kelas IV dan membuktikan potensinya terhadap kemampuan berpikir kritis. Studi [Luritawaty et al. \(2026\)](#) bahkan telah bergerak menuju integrasi pedagogical deep learning dalam e-book interaktif dan menemukan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis. Namun, fokus penelitian tersebut memperlihatkan ruang yang masih dapat dikembangkan. Kajian mengenai bahan ajar digital untuk matematika sekolah dasar masih lebih banyak menonjolkan jenis teknologi, interaktivitas media, atau model pembelajaran tertentu, sedangkan integrasi sistematis antara prinsip pembelajaran mendalam, pengalaman belajar memahami-mengaplikasi-merefleksi, materi geometri sekolah dasar, dan stimulasi langsung terhadap proses penalaran kritis belum memperoleh perhatian yang seimbang. Kesenjangan ini penting karena keberhasilan media digital seharusnya tidak hanya tercermin dari menarik atau mudahnya media digunakan, melainkan dari kemampuannya membawa murid menuju pemahaman dan penalaran yang lebih dalam.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengembangkan e-modul berbasis pembelajaran mendalam pada materi bangun datar yang dirancang bukan sekadar sebagai sumber informasi digital, tetapi sebagai lingkungan belajar yang memfasilitasi murid untuk memahami konsep, mengaplikasikan pengetahuan pada situasi kontekstual, dan merefleksikan proses berpikirnya. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi pengalaman belajar memahami-mengaplikasi-merefleksi ke dalam struktur e-modul melalui visualisasi konsep, aktivitas eksploratif, masalah kontekstual, contoh dan latihan yang menuntut alasan, serta kegiatan reflektif yang diarahkan untuk menstimulasi penyampaian argumen, pengambilan keputusan, dan penyelesaian masalah matematis. Orientasi tersebut membedakan e-modul yang dikembangkan dari media digital yang hanya

mengubah bahan cetak menjadi format elektronik. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan serta menganalisis kelayakan, kepraktisan, dan keefektifan e-modul berbasis pembelajaran mendalam dalam meningkatkan kemampuan penalaran kritis matematis murid sekolah dasar.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model ADDIE yang meliputi tahap Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation. Model ADDIE banyak digunakan dalam pengembangan produk pembelajaran karena menyediakan tahapan yang sistematis mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi produk yang dihasilkan. [Susarno & Setiawan \(2023\)](#) menunjukkan bahwa model ADDIE memungkinkan proses pengembangan pembelajaran dilakukan secara terstruktur sekaligus disertai validasi dan uji lapangan untuk menguji kelayakan produk. [Latip \(2022\)](#) juga menegaskan bahwa setiap tahap ADDIE memiliki fungsi yang saling berkaitan dalam menghasilkan media pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik materi dan kebutuhan peserta didik. Dalam penelitian ini, tahap analisis digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik murid, materi, dan kemampuan penalaran kritis. Tahap desain dan pengembangan meliputi penyusunan struktur e-modul, pengintegrasian aktivitas memahami-mengaplikasi-merefleksi, visualisasi, video, latihan, kuis, serta validasi ahli. Tahap implementasi dilakukan melalui uji kepraktisan dan uji efektivitas, sedangkan evaluasi dilaksanakan secara berkelanjutan pada setiap tahap pengembangan.

Subjek penelitian melibatkan tiga validator ahli, dua guru, dan murid sekolah dasar. Uji kelayakan dilakukan oleh ahli materi matematika, ahli pembelajaran, serta ahli media dan teknologi. Penggunaan penilaian ahli dan respons pengguna merupakan bagian penting dalam penelitian pengembangan karena kualitas produk tidak hanya ditentukan oleh ketepatan konten, tetapi juga oleh keterpakaian produk dalam situasi pembelajaran. [Yusrina et al. \(2022\)](#) menggunakan validasi ahli dan uji kepraktisan untuk menentukan kualitas multimedia pembelajaran yang dikembangkan sebelum dilakukan pengujian efektivitas. Dalam penelitian ini, uji kepraktisan dilaksanakan melalui one-to-one trial terhadap 1 murid, small-group trial terhadap 10 murid, dan field trial terhadap 28 murid kelas IV. Uji efektivitas melibatkan 50 murid kelas IV yang terdiri atas 25 murid kelas IVA dan 25 murid kelas IVB. Setiap murid mengikuti pretest dan posttest untuk mengukur perubahan kemampuan penalaran kritis setelah menggunakan e-modul.

Instrumen penelitian terdiri atas lembar validasi ahli, angket kepraktisan, pedoman wawancara, dan tes kemampuan penalaran kritis matematis. Data hasil validasi ahli dan angket kepraktisan dianalisis secara deskriptif kuantitatif dalam bentuk persentase, kemudian diinterpretasikan berdasarkan kriteria kelayakan dan kepraktisan yang telah ditetapkan. Data hasil wawancara dianalisis secara deskriptif kualitatif melalui proses reduksi data, pengelompokan temuan, penyajian data, dan penarikan kesimpulan untuk menggambarkan pengalaman serta tanggapan pengguna terhadap e-modul.

Efektivitas e-modul dianalisis berdasarkan skor *pretest* dan *posttest* kemampuan penalaran kritis matematis. Analisis diawali dengan penyajian statistik deskriptif berupa nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, dan nilai maksimum. Selanjutnya, normalitas distribusi skor selisih antara *posttest* dan *pretest* diuji sebagai prasyarat analisis parametrik. Apabila skor selisih berdistribusi normal, perbedaan rata-rata skor *pretest* dan *posttest* dianalisis menggunakan *paired-samples t-test*. Uji tersebut digunakan karena kedua skor berasal dari subjek yang sama dan diukur pada dua waktu yang berbeda ([Field, 2018](#);

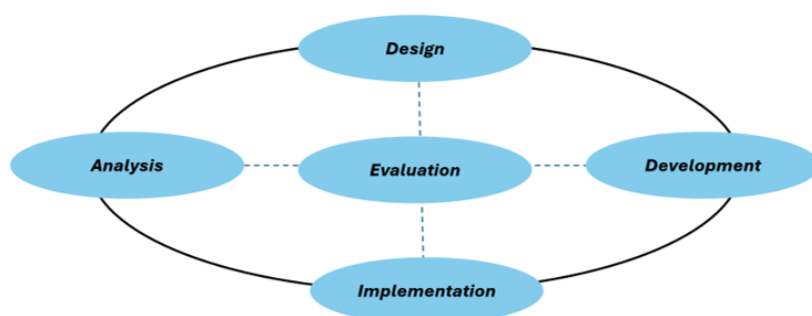
Pallant, 2020). Apabila asumsi normalitas skor selisih tidak terpenuhi, analisis dilakukan menggunakan *Wilcoxon signed-rank test* sebagai alternatif nonparametrik untuk dua pengukuran yang berpasangan.

Besarnya peningkatan kemampuan penalaran kritis matematis selanjutnya dihitung menggunakan *normalized gain* (N-Gain), yaitu perbandingan antara peningkatan skor aktual dan peluang peningkatan maksimum yang mungkin dicapai berdasarkan skor awal. Nilai N-Gain digunakan sebagai analisis pelengkap untuk menggambarkan tingkat peningkatan kemampuan peserta didik, bukan sebagai pengganti uji signifikansi statistik (Coletta & Steinert, 2020). Untuk memperkuat interpretasi efektivitas, hasil pengujian perbedaan skor sebaiknya dilengkapi dengan ukuran efek, seperti *Cohen's dz*, sehingga dapat diketahui tidak hanya signifikansi statistik, tetapi juga besarnya perubahan setelah penggunaan e-modul.

Hasil

Karakteristik dan Pengembangan E-Modul Berbasis Pembelajaran Mendalam

Pengembangan e-modul berbasis pembelajaran mendalam dilakukan melalui lima tahap ADDIE, yaitu analysis, design, development, implementation, dan evaluation. Tahap analisis menghasilkan identifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik murid, materi bangun datar, serta kebutuhan pengembangan aktivitas yang dapat menstimulasi kemampuan penalaran kritis. Hasil analisis tersebut menjadi dasar dalam merancang e-modul yang tidak hanya menyajikan materi secara digital, tetapi mengorganisasikan pengalaman belajar melalui tahapan memahami, mengaplikasi, dan merefleksi. Pada tahap desain disusun struktur e-modul, alur penyajian materi, aktivitas pembelajaran, latihan, evaluasi, serta komponen multimedia yang mendukung pembelajaran. Produk kemudian dikembangkan, divalidasi, direvisi, diujicobakan kepada pengguna, dan dievaluasi secara bertahap hingga menghasilkan produk akhir. Tahapan Pengembangan E-Modul Berbasis Pembelajaran Mendalam divisualisasikan pada Gambar 1



Gambar 1 Tahapan Pengembangan E-Modul Berbasis Pembelajaran Mendalam

Gambar 1 menunjukkan alur pengembangan e-modul melalui lima tahap ADDIE, yaitu analysis, design, development, implementation, dan evaluation. Setiap tahap saling berkaitan dan digunakan secara berurutan untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran serta dapat dievaluasi secara berkelanjutan.

Produk akhir yang dihasilkan berupa e-modul matematika pada materi bangun datar yang memadukan konten pembelajaran dengan berbagai fitur digital. E-modul dilengkapi dengan menu dan tombol navigasi untuk memudahkan perpindahan antarbagian, tampilan yang dapat menyesuaikan perangkat, penggunaan warna dan ikon visual, gambar pendukung konsep matematika, video pembelajaran, latihan, lembar kerja,

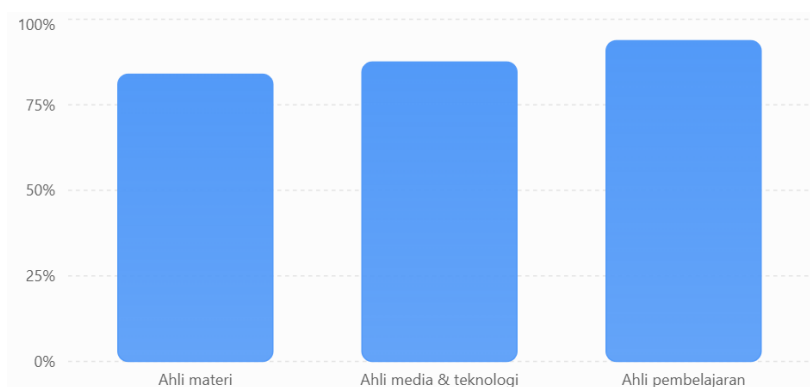
kegiatan refleksi, serta kuis melalui Google Forms. Susunan konten dirancang agar murid dapat mengikuti pembelajaran secara bertahap mulai dari mengenali dan memahami konsep, menggunakan konsep dalam aktivitas atau permasalahan, sampai melakukan refleksi terhadap proses dan hasil belajarnya.

Karakteristik utama produk terlihat pada keterpaduan antara materi matematika, multimedia, aktivitas pembelajaran, dan stimulasi penalaran kritis. Materi tidak hanya disajikan dalam bentuk uraian, tetapi didukung gambar dan contoh untuk membantu murid mengenali karakteristik bangun datar. Aktivitas pembelajaran mengarahkan murid untuk mengamati informasi, mengidentifikasi sifat bangun, membandingkan karakteristik, memberikan alasan terhadap pilihan jawaban, serta menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan konsep yang telah dipelajari. Pada bagian akhir kegiatan, murid diarahkan melakukan refleksi untuk mengenali bagian yang telah dipahami, kesulitan yang masih dialami, serta cara menggunakan pengetahuan yang diperoleh pada situasi lain.

Produk mengalami penyempurnaan selama proses pengembangan berdasarkan hasil validasi dan uji coba. Perbaikan terutama diarahkan pada penguatan konteks nyata dalam penyajian materi, penambahan aktivitas eksplorasi dan pertanyaan pemantik, penguatan soal yang menuntut numerasi dan penalaran, penyempurnaan integrasi media digital, serta penguatan kegiatan refleksi agar lebih mendukung proses metakognitif murid. Melalui proses revisi tersebut, produk akhir tidak hanya diarahkan menjadi e-modul yang mudah diakses dan menarik secara visual, tetapi juga menjadi bahan ajar digital yang mendukung pengalaman belajar secara lebih bermakna, aplikatif, dan reflektif.

Kelayakan E-Modul Berbasis Pembelajaran Mendalam

Kelayakan e-modul dinilai oleh tiga validator yang mewakili aspek materi, media dan teknologi, serta pembelajaran. Hasil penilaian menunjukkan bahwa validator ahli materi memberikan skor kelayakan sebesar 83,93%, validator ahli media dan teknologi sebesar 87,50%, dan validator ahli pembelajaran sebesar 93,75%. Berdasarkan keseluruhan butir penilaian dari ketiga validator, e-modul memperoleh persentase kelayakan sebesar 88,13% dan berada pada kategori sangat layak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa produk telah memenuhi kriteria kelayakan dari sisi ketepatan dan penyajian materi, kualitas media digital, serta kesesuaian aktivitas dengan karakteristik pembelajaran. Hasil Uji Kelayakan E-Modul Berdasarkan Penilaian Ahli secara terperinci disajikan di Gambar 2



Gambar 2 Hasil Uji Kelayakan E-Modul Berdasarkan Penilaian Ahli

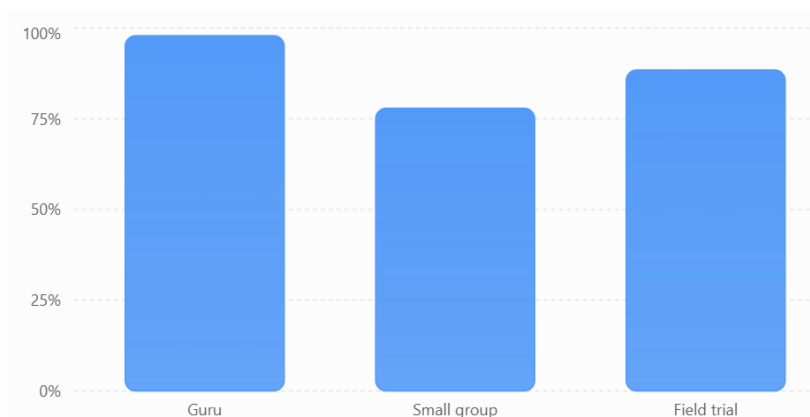
Gambar 2 menunjukkan bahwa seluruh hasil validasi berada pada kategori sangat layak, dengan skor tertinggi pada aspek pembelajaran sebesar 93,75%. Penilaian ahli

materi sebesar 83,93% dan ahli media dan teknologi sebesar 87,50%, dengan persentase kelayakan keseluruhan mencapai 88,13%.

Proses validasi juga menghasilkan beberapa masukan yang digunakan untuk penyempurnaan produk. Pada aspek materi, perbaikan diarahkan pada penguatan konteks kehidupan sehari-hari, aktivitas eksplorasi, pertanyaan pemantik, serta latihan yang lebih menekankan numerasi dan pemecahan masalah. Pada aspek media dan teknologi, penyempurnaan dilakukan terhadap integrasi kuis, penggunaan video, dan akses terhadap fitur interaktif. Sementara itu, pada aspek pembelajaran, perbaikan terutama dilakukan pada aktivitas refleksi agar tidak hanya menanyakan kembali materi yang telah dipelajari, tetapi juga mendorong murid mengenali proses belajar, kesulitan, strategi yang membantu pemahaman, dan pemanfaatan pengetahuan pada situasi berikutnya.

Kepraktisan E-Modul Berbasis Pembelajaran Mendalam

Uji kepraktisan dilakukan secara bertahap melalui one-to-one trial, small-group trial, field trial, serta penilaian oleh guru. Penilaian dua guru menghasilkan persentase kepraktisan sebesar 97,92% dan termasuk kategori sangat praktis. Pada small-group trial yang melibatkan 10 murid, persentase kepraktisan mencapai 77,92% dan termasuk kategori praktis. Setelah penyempurnaan produk, uji lapangan terhadap 28 murid menghasilkan persentase sebesar 88,47% dan termasuk kategori sangat praktis. Perubahan hasil penilaian pada setiap tahap uji coba disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil Uji Kepraktisan E-Modul pada Setiap Tahap Uji Coba

Gambar 3 memperlihatkan bahwa tingkat kepraktisan e-modul bervariasi pada setiap tahap uji coba. Penilaian guru memperoleh skor tertinggi sebesar 97,92%, sedangkan small-group trial sebesar 77,92% dan meningkat menjadi 88,47% pada field trial setelah dilakukan penyempurnaan produk.

Hasil small-group trial memberikan informasi yang lebih beragam mengenai pengalaman murid ketika menggunakan e-modul. Beberapa murid mengharapkan warna dan gambar yang lebih menarik, ukuran tulisan yang lebih jelas, petunjuk penggunaan video yang lebih mudah dipahami, serta umpan balik yang lebih responsif ketika mengerjakan kuis. Terdapat pula masukan mengenai kebutuhan animasi atau penanda ketika jawaban benar dan salah, kejelasan suara, serta penyederhanaan bahasa pada beberapa bagian. Masukan tersebut menjadi dasar penyempurnaan produk sebelum dilakukan field trial. Pada tahap uji lapangan, tanggapan murid didominasi oleh penilaian bahwa e-modul mudah dipahami, memiliki tampilan yang menarik, memuat gambar dan kuis yang membantu pembelajaran, serta memiliki konten yang cukup lengkap.

Hasil wawancara pada one-to-one trial memperkuat data kepraktisan tersebut. Murid dapat berpindah antarbagian dengan bantuan menu dan tombol navigasi serta mulai mampu menggunakan e-modul secara mandiri setelah beberapa kali mencoba. Gambar dan video membantu murid melihat karakteristik bangun datar secara lebih konkret, sedangkan contoh soal memberikan gambaran mengenai langkah penyelesaian sebelum murid mengerjakan latihan secara mandiri. Murid juga menyatakan bahwa latihan yang menuntut pemberian alasan membutuhkan waktu berpikir lebih lama. Dalam menentukan jenis bangun datar, murid tidak hanya memperhatikan bentuk visual, tetapi mulai mempertimbangkan jumlah sisi, panjang sisi, dan karakteristik sudut. Temuan tersebut menunjukkan bahwa e-modul dapat digunakan secara relatif mandiri, meskipun bantuan guru masih diperlukan ketika murid menghadapi materi atau soal yang belum dipahami.

Keefektifan E-Modul dalam Meningkatkan Kemampuan Penalaran Kritis

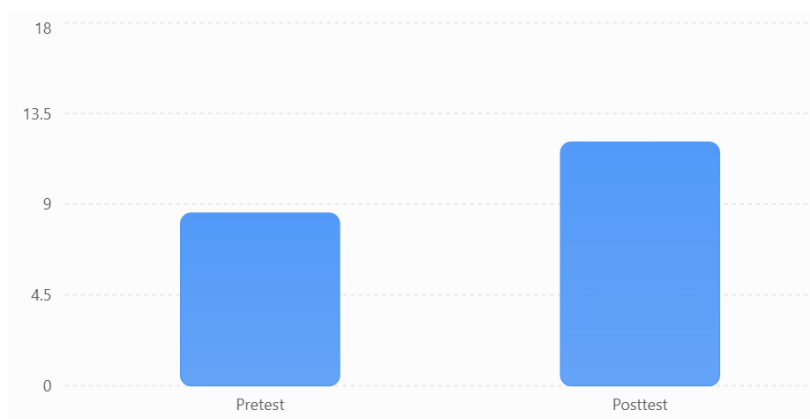
Uji keefektifan dilakukan terhadap 50 murid kelas IV, yang terdiri atas 25 murid kelas IVA dan 25 murid kelas IVB. Kemampuan penalaran kritis diukur sebelum dan setelah penggunaan e-modul melalui enam butir soal yang mencakup aspek penyampaian argumen, pengambilan keputusan, dan penyelesaian masalah. Secara keseluruhan, skor rata-rata meningkat dari 8,56 pada pretest menjadi 12,08 pada posttest atau mengalami kenaikan rata-rata sebesar 3,52 poin. Perubahan berikut disajikan di Tabel 1

Tabel 1 Statistik Deskriptif Kemampuan Penalaran Kritis Murid

Statistik	Pretest	Posttest
Jumlah murid (n)	50	50
Rata-rata	8,56	12,08
Standar deviasi	2,35	2,17
Skor minimum	4	8
Skor maksimum	13	16

Tabel 1 menunjukkan perubahan distribusi skor kemampuan penalaran kritis matematis murid sebelum dan setelah penggunaan e-modul. Rata-rata skor meningkat dari 8,56 pada pretest menjadi 12,08 pada posttest, dengan selisih sebesar 3,52 poin. Skor minimum meningkat dari 4 menjadi 8, sedangkan skor maksimum meningkat dari 13 menjadi 16. Sementara itu, standar deviasi menurun dari 2,35 menjadi 2,17, yang menunjukkan bahwa penyebaran skor posttest sedikit lebih kecil, tetapi secara umum relatif serupa dengan penyebaran skor pretest. Secara deskriptif, temuan ini mengindikasikan adanya peningkatan kemampuan penalaran kritis matematis murid setelah penggunaan e-modul. Kebermaknaan peningkatan tersebut selanjutnya dikonfirmasi melalui analisis statistik inferensial.

Perubahan rata-rata skor pretest dan posttest secara visual disajikan pada Gambar 4. Rata-rata pretest kelas IVA sebesar 8,20 meningkat menjadi 11,72 pada posttest, sedangkan kelas IVB meningkat dari 8,92 menjadi 12,44. Dengan demikian, kedua kelas sama-sama mengalami peningkatan rata-rata sebesar 3,52 poin. Perubahan Rata-Rata Skor Penalaran Kritis Sebelum dan Setelah Penggunaan E-Modul disajikan pada gambar 4



Gambar 4 Perubahan Rata-Rata Skor Penalaran Kritis Sebelum dan Setelah Penggunaan E-Modul

Gambar 4 menunjukkan peningkatan rata-rata skor kemampuan penalaran kritis dari 8,56 pada pretest menjadi 12,08 pada posttest. Peningkatan sebesar 3,52 poin ini memperlihatkan adanya perubahan positif setelah murid mengikuti pembelajaran menggunakan e-modul berbasis pembelajaran mendalam.

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data perubahan skor pretest dan posttest tidak memenuhi asumsi distribusi normal ($p < 0,05$). Oleh karena itu, perbedaan skor dianalisis menggunakan Wilcoxon signed-rank test. Hasil pengujian memperoleh nilai $p < 0,001$, yang menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kemampuan penalaran kritis sebelum dan setelah penggunaan e-modul. Seluruh murid menunjukkan skor posttest yang lebih tinggi daripada skor pretest, sehingga arah perubahan data secara konsisten menunjukkan peningkatan setelah implementasi produk.

Besarnya peningkatan kemampuan penalaran kritis selanjutnya dianalisis menggunakan normalized gain (N-Gain). Berdasarkan skor individual murid dan skor maksimum instrumen sebesar 18, diperoleh rata-rata N-Gain sebesar 0,36, yang berada pada kategori sedang. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan tidak hanya terlihat pada perbedaan rata-rata skor, tetapi juga tercermin pada besarnya perubahan kemampuan murid setelah mengikuti pembelajaran menggunakan e-modul berbasis pembelajaran mendalam.

Diskusi

Karakteristik dan Pengembangan E-Modul Berbasis Pembelajaran Mendalam

Pengembangan e-modul melalui tahapan ADDIE menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan tidak dibangun semata-mata dari pertimbangan teknis, tetapi berangkat dari kebutuhan belajar murid dan karakteristik materi bangun datar. Tahap analisis menjadi penting karena pada fase ini ditemukan kebutuhan akan bahan ajar yang mampu membawa murid keluar dari pola belajar yang hanya mengingat ciri atau rumus menuju aktivitas mengamati, membandingkan, memberikan alasan, dan merefleksikan proses berpikir. Karena itu, struktur e-modul kemudian tidak berhenti pada penyajian teks digital, tetapi menggabungkan pengalaman memahami, mengaplikasi, dan merefleksi melalui gambar, video, aktivitas kontekstual, latihan, LKPD, serta kuis. Pola ini sejalan dengan [Engelbrecht & Borba \(2024\)](#), yang menjelaskan bahwa transformasi digital dalam pendidikan matematika menjadi bermakna ketika teknologi mengubah cara murid berinteraksi dengan representasi, aktivitas, dan ruang belajar, bukan sekadar menggantikan buku cetak dengan layar. [Weigand et al. \(2024\)](#) juga menegaskan bahwa fungsi teknologi dalam pendidikan

matematika seharusnya menyentuh proses belajar, pengajaran, dan asesmen secara terpadu.

Karakteristik produk yang memadukan visualisasi bangun datar, aktivitas kontekstual, video, latihan, dan refleksi dapat dipahami sebagai bentuk scaffolding yang memberikan lebih dari satu jalur bagi murid untuk memahami konsep. Pada usia sekolah dasar, visual membantu menjembatani konsep geometri yang abstrak, sedangkan aktivitas kontekstual membuat sifat-sifat bangun tidak dipahami sebagai informasi yang terpisah dari kehidupan sehari-hari. [Mardiyanti & Gunawan \(2026\)](#) menemukan bahwa bahan ajar multimedia interaktif pada matematika sekolah dasar dapat berfungsi sebagai cognitive scaffold karena konsep dapat disajikan melalui kombinasi teks, gambar, tugas, dan aktivitas interaktif. Temuan tersebut memperkuat keputusan pengembangan dalam penelitian ini untuk tidak mengandalkan satu bentuk representasi saja. Dengan demikian, keberadaan multimedia di dalam e-modul tidak ditempatkan sebagai dekorasi, tetapi diarahkan untuk membantu murid mengidentifikasi sifat, membandingkan objek, menguji pemahaman, dan memberikan respons terhadap persoalan.

Hal lain yang membedakan produk ini adalah penguatan pengalaman reflektif setelah tahap aplikasi. Refleksi diperlukan karena pembelajaran mendalam tidak cukup menghasilkan jawaban yang benar; murid perlu menyadari apa yang telah dipahami, bagian mana yang masih sulit, strategi apa yang membantunya, dan bagaimana pengetahuan dapat digunakan kembali. [Luritawaty et al. \(2026\)](#) menunjukkan bahwa integrasi prinsip pedagogical deep learning dalam bahan ajar digital dapat memperkuat kemampuan berpikir kritis matematis ketika aktivitas tidak hanya menuntut konsumsi informasi, tetapi juga menghubungkan pengetahuan dengan konteks dan refleksi. Oleh sebab itu, proses revisi pada bagian refleksi dalam penelitian ini justru merupakan bagian penting dari penyempurnaan pedagogis produk. Produk akhir dapat dipahami sebagai lingkungan belajar digital yang menghubungkan representasi → aktivitas → penerapan → refleksi, sehingga teknologi menjadi medium untuk membangun pengalaman belajar yang lebih bermakna dan bukan tujuan pembelajaran itu sendiri.

Kelayakan E-Modul Berbasis Pembelajaran Mendalam

Persentase kelayakan keseluruhan sebesar 88,13% menunjukkan bahwa e-modul telah memiliki kesesuaian yang kuat dari aspek materi, media dan teknologi, serta pembelajaran. Tingginya skor tersebut tidak muncul hanya karena tampilan produk menarik, tetapi karena struktur produk telah melewati proses pengembangan yang menghubungkan ketepatan isi dengan cara materi dipelajari. Skor ahli pembelajaran yang mencapai 93,75% merupakan nilai tertinggi dan dapat dijelaskan oleh hadirnya aktivitas yang mengarahkan murid pada eksplorasi, analisis, pengambilan keputusan, soal HOTS, serta tahapan memahami-mengaplikasi-merefleksi. Dengan kata lain, validator melihat bahwa e-modul memiliki kesesuaian pedagogis yang relatif kuat. Temuan ini sejalan dengan [Dermawan et al. \(2025\)](#), yang memperoleh validitas tinggi pada e-modul interaktif sekolah dasar dan menunjukkan bahwa kualitas produk digital berkaitan dengan keterpaduan antara isi, fitur visual, dan aktivitas yang memang diarahkan pada kemampuan berpikir kritis. [Nurissamawati et al. \(2024\)](#) juga menemukan kelayakan yang tinggi ketika e-modul matematika dikembangkan secara sistematis dengan aktivitas yang mengarahkan murid untuk menyelesaikan permasalahan.

Meskipun seluruh aspek termasuk kategori sangat layak, skor ahli materi sebesar 83,93% lebih rendah dibandingkan dua aspek lainnya. Perbedaan ini penting karena

menunjukkan bahwa bahan ajar yang benar secara konsep belum tentu otomatis memiliki kedalaman pedagogis yang optimal. Validator menilai bahwa materi masih perlu diperkuat melalui konteks kehidupan nyata, eksplorasi, pertanyaan pemantik, numerasi, dan masalah yang menuntut alasan. Kondisi tersebut dapat terjadi karena pada versi awal, sebagian materi masih bergerak dari pengantar kontekstual menuju definisi formal secara relatif cepat. Akibatnya, murid berisiko mengetahui karakteristik bangun tetapi belum memperoleh cukup kesempatan untuk menemukan mengapa karakteristik tersebut penting ketika menyelesaikan persoalan. [Nurissamawati et al. \(2024\)](#) juga menekankan perlunya masalah kehidupan nyata dalam e-modul agar keterlibatan kognitif murid tidak berhenti pada latihan rutin. Karena itu, skor yang belum mendekati maksimum justru menunjukkan fungsi validasi ahli bekerja sebagaimana mestinya: bukan sekadar memberikan legitimasi kelayakan, tetapi menemukan bagian produk yang masih memerlukan perbaikan.

Kondisi serupa terlihat pada aspek media dan teknologi yang memperoleh 87,50%. Beberapa fitur sudah berjalan baik, tetapi integrasi Google Forms, video, dan komponen interaktif masih perlu diperhalus. Hal ini menunjukkan bahwa usability media tidak hanya ditentukan oleh keberadaan fitur, tetapi juga oleh seberapa lancar fitur tersebut menjadi bagian dari alur belajar. [Engelbrecht & Borba \(2024\)](#) mengingatkan bahwa penggunaan teknologi pendidikan juga dapat membawa hambatan apabila desain teknis justru menambah beban interaksi pengguna. Dalam konteks penelitian ini, ketika murid harus berpindah laman atau belum langsung memahami bagaimana menggunakan suatu fitur, perhatian mereka dapat bergeser dari persoalan matematika menuju persoalan operasional. Oleh karena itu, revisi integrasi kuis, video, navigasi, dan refleksi dapat dipandang sebagai usaha mengurangi extraneous interaction sehingga energi kognitif murid lebih banyak diarahkan pada aktivitas matematika.

Temuan kelayakan ini dengan demikian memperlihatkan bahwa produk yang “sangat layak” bukan produk yang sejak awal tanpa kekurangan. Justru tingkat kelayakan akhir terbentuk melalui proses validasi–kritik–revisi, sehingga masukan ahli menjadi mekanisme pengendalian mutu. Hal ini juga menjelaskan mengapa validasi multidimensi diperlukan dalam penelitian pengembangan: ketepatan materi, kualitas teknologi, dan kesesuaian pembelajaran tidak dapat saling menggantikan. Produk digital yang baik harus memenuhi ketiganya secara bersamaan.

Kepraktisan E-Modul Berbasis Pembelajaran Mendalam

Hasil uji kepraktisan menunjukkan pola yang menarik karena penilaian guru mencapai 97,92%, sedangkan small-group trial hanya 77,92% sebelum meningkat menjadi 88,47% pada field trial. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa persepsi kepraktisan guru tidak selalu identik dengan pengalaman penggunaan oleh murid. Guru telah memiliki pengalaman membaca struktur bahan ajar, memahami simbol navigasi, dan memperkirakan fungsi suatu fitur sehingga dapat mengoperasikan produk dengan lebih mudah. Sebaliknya, murid berinteraksi langsung dengan detail-detail kecil yang kadang tidak tampak sebagai masalah bagi orang dewasa, seperti ukuran tulisan, warna, tombol, suara, petunjuk video, atau umpan balik pada kuis. Oleh sebab itu, skor small group yang lebih rendah bukan menunjukkan kegagalan produk, tetapi justru memberikan bukti bahwa uji coba pengguna anak diperlukan untuk menemukan persoalan yang tidak terdeteksi pada validasi ahli maupun penilaian guru.

Masukan pada small-group trial memperlihatkan bahwa kepraktisan bagi murid

mempunyai dimensi visual, teknis, dan kognitif sekaligus. Murid mengharapkan gambar yang lebih jelas, tulisan yang lebih mudah dibaca, petunjuk penggunaan yang sederhana, dan respons kuis yang lebih langsung. [Mardiyanti & Gunawan \(2026\)](#) menemukan bahwa tingkat kepraktisan bahan ajar multimedia sekolah dasar menjadi tinggi ketika teknologi, navigasi, dan penyajian konten dapat digunakan tanpa mengalihkan perhatian murid dari kegiatan belajar. [Nurissamawati et al. \(2024\)](#) juga memperoleh respons kepraktisan tinggi setelah e-modul melalui tahap validasi dan uji coba pengguna, yang menegaskan bahwa kepraktisan adalah hasil penyempurnaan iteratif dan bukan sekadar karakteristik bawaan sebuah media.

Peningkatan dari 77,92% menjadi 88,47% setelah revisi menjadi temuan penting karena menunjukkan bahwa umpan balik murid benar-benar berkontribusi terhadap perbaikan produk. Perubahan tersebut menggambarkan mekanisme learner-centered development: desain tidak ditentukan hanya berdasarkan perkiraan pengembang mengenai kebutuhan murid, tetapi diperbaiki berdasarkan pengalaman nyata murid ketika menggunakannya. Secara khusus, wawancara one-to-one menunjukkan bahwa murid yang pada awalnya masih melihat-lihat menu akhirnya mampu menggunakan navigasi secara mandiri setelah mencoba beberapa kali. Murid juga melaporkan bahwa gambar, video, dan contoh soal membantunya mengenali karakteristik bangun serta memahami langkah penyelesaian. Temuan ini memperlihatkan bahwa suatu produk dapat dikatakan praktis bukan karena semua murid langsung menguasainya tanpa bantuan, tetapi karena setelah periode adaptasi yang wajar mereka mampu menggunakan fitur utama dengan semakin mandiri.

Menariknya, murid tetap membutuhkan bantuan guru pada soal atau materi tertentu. Kondisi tersebut sebaiknya tidak dibaca sebagai kelemahan mutlak e-modul. Bahan ajar digital pada murid sekolah dasar berfungsi sebagai scaffolding, bukan pengganti sepenuhnya peran guru. [Weigand et al. \(2024\)](#) menempatkan teknologi dalam pendidikan matematika sebagai bagian dari ekosistem pembelajaran yang tetap melibatkan keputusan pedagogis guru. Dengan demikian, kepraktisan produk dalam penelitian ini terletak pada kemampuannya mengurangi ketergantungan murid pada bantuan terus-menerus, sambil tetap memberi ruang bagi guru untuk masuk ketika murid mencapai batas pemahamannya.

Keefektifan E-Modul dalam Meningkatkan Kemampuan Penalaran Kritis

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan rata-rata kemampuan penalaran kritis dari 8,56 menjadi 12,08, dengan seluruh murid memperoleh skor posttest yang lebih tinggi daripada pretest dan hasil Wilcoxon menunjukkan $p < 0,001$. Namun, N-Gain sebesar 0,36 berada pada kategori sedang. Kombinasi kedua hasil tersebut penting untuk diinterpretasikan secara hati-hati. Signifikansi statistik menunjukkan bahwa perubahan setelah intervensi terjadi secara konsisten, sedangkan N-Gain menunjukkan bahwa besarnya perubahan belum mencapai tingkat tinggi. Dengan demikian, e-modul dapat dinyatakan memberikan dampak positif terhadap penalaran kritis, tetapi efek pembelajaran yang terbentuk masih memiliki ruang untuk ditingkatkan.

Efektivitas e-modul dapat dijelaskan melalui aktivitas pembelajaran yang mengubah posisi murid dari sekadar penerima informasi menjadi pengguna informasi secara aktif. Ketika membedakan persegi dan persegi panjang, misalnya, murid tidak cukup hanya mengamati kemiripan bentuk, tetapi perlu memperhatikan jumlah sisi, membandingkan panjang sisi, dan memeriksa karakteristik sudut sebelum menentukan jawaban. Proses tersebut melibatkan identifikasi informasi yang relevan, perbandingan

atribut, pemilihan bukti, serta penarikan kesimpulan berdasarkan alasan yang logis. Dengan demikian, aktivitas dalam e-modul tidak hanya membantu murid memahami konsep, tetapi juga melatih mereka menganalisis informasi dan mengevaluasi bukti dalam mengambil keputusan matematis.

Temuan penelitian ini sejalan dengan [Dermawan et al. \(2025\)](#), yang menunjukkan bahwa e-modul interaktif dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis murid sekolah dasar karena fitur visual dan aktivitas digital memberikan kesempatan kepada murid untuk memproses informasi secara aktif. [Mardiyanti & Gunawan \(2026\)](#) juga menemukan bahwa bahan ajar multimedia interaktif menghasilkan kemampuan berpikir kritis yang lebih baik dibandingkan bahan ajar konvensional. Dalam konteks penggunaan teknologi visual, [Akbar et al. \(2025\)](#) menunjukkan bahwa teknologi dalam pembelajaran matematika sekolah dasar dapat mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis ketika representasi visual digunakan untuk mengonstruksi dan mengevaluasi konsep. Temuan-temuan tersebut memperkuat argumentasi bahwa efektivitas e-modul tidak hanya berasal dari format digitalnya, tetapi terutama dari aktivitas kognitif yang mendorong murid mengidentifikasi informasi, membandingkan karakteristik objek, mengevaluasi bukti, dan menarik kesimpulan matematis.

Tahap memahami–mengaplikasi–merefleksi kemungkinan menjadi mekanisme lain yang menjelaskan peningkatan tersebut. Tahap memahami membangun landasan konsep, tahap aplikasi memaksa murid menggunakan informasi dalam persoalan yang berbeda, sedangkan refleksi memberi kesempatan untuk menilai proses berpikirnya sendiri. [Luritawaty et al. \(2026\)](#) menunjukkan bahwa bahan ajar digital yang mengintegrasikan deep learning menghasilkan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis karena pembelajaran diarahkan pada koneksi konsep dan pemaknaan, bukan hanya penyelesaian tugas. Temuan tersebut mendukung hasil penelitian ini bahwa efektivitas e-modul tidak semata disebabkan oleh “penggunaan perangkat digital”, tetapi oleh desain aktivitas kognitif yang dibawa melalui perangkat digital tersebut.

Meskipun seluruh murid mengalami peningkatan, skor minimum posttest masih 8 dari skor maksimum 18. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian murid belum mencapai penguasaan penalaran kritis yang optimal. Berdasarkan hasil wawancara, latihan yang meminta murid memberikan alasan membutuhkan waktu berpikir lebih lama dan pada materi atau soal tertentu murid masih memerlukan penjelasan guru. Dengan demikian, rendahnya skor sebagian murid kemungkinan berkaitan dengan perbedaan kemampuan awal, kesiapan memahami sifat bangun secara konseptual, dan belum terbiasanya mereka mengubah jawaban intuitif menjadi argumentasi matematis. [Simonsmeier et al. \(2022\)](#) melalui meta-analisis menunjukkan bahwa pengetahuan awal memiliki hubungan yang kompleks dengan capaian pembelajaran dan perbedaan individual tetap dapat bertahan setelah intervensi. Artinya, penggunaan media yang sama tidak secara otomatis menghasilkan tingkat perkembangan yang identik pada seluruh murid.

Temuan [Akbar et al. \(2025\)](#) juga relevan untuk menjelaskan mengapa beberapa kemampuan tetap lebih sulit berkembang. Meskipun teknologi berbasis visual meningkatkan skor berpikir kritis secara keseluruhan, indikator evaluasi dan inferensi masih menjadi bagian yang relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa melihat representasi secara lebih jelas belum otomatis membuat murid mampu mengevaluasi bukti atau menarik kesimpulan secara mendalam. Pada penelitian ini, fenomena yang serupa dapat terjadi ketika murid sudah mampu mengenali sifat bangun tetapi masih membutuhkan bantuan saat diminta menjelaskan alasan, mempertahankan keputusan, atau menerapkan konsep

pada masalah yang tidak rutin.

Oleh karena itu, N-Gain kategori sedang justru memberikan informasi substantif bagi pengembangan lanjutan. Produk telah berhasil membangun arah perubahan yang positif dan konsisten, tetapi aktivitas untuk murid berkemampuan awal rendah perlu diperkuat melalui scaffolding bertingkat, contoh berpikir (*worked reasoning examples*), pertanyaan pemantik yang semakin kompleks, dan umpan balik yang tidak hanya menyatakan benar atau salah tetapi menjelaskan kualitas alasan. Kontribusi utama penelitian ini dengan demikian bukan sekadar membuktikan bahwa e-modul “efektif”, melainkan menunjukkan bahwa efektivitas pembelajaran mendalam muncul ketika teknologi, representasi visual, aktivitas kontekstual, penalaran, dan refleksi diorganisasikan dalam satu alur belajar, sementara perbedaan individual murid tetap menuntut dukungan pedagogis yang adaptif.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan e-modul matematika sekolah dasar berbasis pembelajaran mendalam yang secara eksplisit mengintegrasikan tahapan memahami, mengaplikasi, dan merefleksi dengan stimulasi penalaran kritis pada materi bangun datar. Berbeda dengan e-modul interaktif yang umumnya menekankan digitalisasi materi, visualisasi, atau peningkatan hasil belajar, produk ini dirancang untuk mengarahkan murid pada proses mengamati, membandingkan karakteristik bangun, memberikan alasan, mengambil keputusan, menyelesaikan masalah, dan merefleksikan strategi berpikirnya dalam satu alur pembelajaran digital. Kebaruan lainnya tampak pada proses pengembangan yang tidak hanya menguji kelayakan dan efektivitas, tetapi juga memanfaatkan masukan bertahap dari ahli, *one-to-one trial*, *small-group trial*, dan *field trial* untuk menyempurnakan aspek pedagogis, teknis, dan pengalaman pengguna. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini bukan sekadar menghasilkan e-modul yang layak, praktis, dan efektif, melainkan menawarkan desain bahan ajar digital yang menempatkan teknologi sebagai sarana untuk membangun pembelajaran matematika yang lebih bermakna, aplikatif, reflektif, dan berorientasi pada penalaran kritis murid.

Kesimpulan

E-modul berbasis pembelajaran mendalam yang dikembangkan dinyatakan layak dan praktis untuk digunakan dalam pembelajaran matematika pada materi bangun datar. Hasil penerapan menunjukkan adanya peningkatan kemampuan penalaran kritis matematis murid setelah menggunakan e-modul, yang ditunjukkan oleh peningkatan rata-rata skor dari 8,56 pada *pretest* menjadi 12,08 pada *posttest*. Meskipun demikian, nilai N-Gain masih berada pada kategori sedang. Temuan tersebut menunjukkan bahwa e-modul berpotensi mendukung pembelajaran matematika yang lebih bermakna, interaktif, dan reflektif.

Keterpaduan visualisasi, aktivitas kontekstual, latihan penalaran, refleksi, dan kuis memberikan kesempatan kepada murid untuk memahami konsep bangun datar serta melatih kemampuan membandingkan, memberikan alasan, mengevaluasi informasi, mengambil keputusan, dan menyelesaikan masalah. E-modul juga mendukung kemandirian belajar karena murid dapat mengikuti tahapan pembelajaran dengan bantuan fitur yang tersedia. Dalam penerapannya, e-modul lebih tepat diposisikan sebagai *scaffolding* yang mendukung proses berpikir murid, bukan sebagai pengganti peran guru. Pendampingan guru tetap diperlukan, terutama ketika murid menghadapi materi atau permasalahan yang lebih kompleks.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Uji coba hanya melibatkan 50 murid

yang berasal dari dua kelas dalam satu sekolah sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan secara luas. Penelitian juga belum melibatkan kelompok kontrol sehingga peningkatan skor belum dapat sepenuhnya dikaitkan sebagai akibat penggunaan e-modul. Selain itu, durasi penerapan yang relatif singkat belum memungkinkan penilaian terhadap keberlanjutan perubahan kemampuan murid. Nilai N-Gain yang berada pada kategori sedang dan skor minimum *posttest* sebesar 8 dari skor maksimum 18 juga menunjukkan bahwa manfaat e-modul belum dicapai secara merata oleh seluruh murid.

Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan sampel yang lebih luas dari beberapa sekolah dengan karakteristik yang beragam serta menggunakan desain eksperimen yang menyertakan kelompok kontrol. Durasi penerapan juga perlu diperpanjang dan dilengkapi dengan tes tindak lanjut (*delayed posttest*) untuk menguji ketahanan hasil belajar. Penelitian berikutnya dapat menganalisis peningkatan pada setiap indikator penalaran kritis matematis dan mengidentifikasi kebutuhan murid yang masih memperoleh skor rendah. Pengembangan fitur pembelajaran adaptif, pemberian umpan balik bertingkat, dan penguatan pendampingan guru juga perlu dipertimbangkan agar manfaat e-modul dapat dirasakan secara lebih merata.

Referensi

- Akbar, A., Herman, T., Suryadi, D., Mursalim, Alman, Putra, E. D., & Blegur, J. (2025). Integrating augmented reality in mathematics learning to improve critical thinking skills of elementary school students. *Emerging Science Journal*, 9(2), 764–779. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2025-09-02-014>
- Coletta, V. P., & Steinert, J. J. (2020). Why normalized gain should continue to be used in analyzing preinstruction and postinstruction scores on concept inventories. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1), Article 010108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010108>
- Dermawan, D. D., Wuryandani, W., Herwin, H., Eliza, F., Nurzaman, I., Giwangsa, S. F., Nurdiansah, N., Fadli, R., Sari, S., Jannah, M., & Munawarah. (2025). Improving critical thinking ability in elementary schools with interactive e-modules. *Online Journal of Communication and Media Technologies*, 15(2), Article e202513. <https://doi.org/10.30935/ojcmt/16051>
- Engelbrecht, J., & Borba, M. C. (2024). Recent developments in using digital technology in mathematics education. *ZDM – Mathematics Education*, 56, 281–292. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01530-2>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). SAGE Publications.
- Latip, A. (2022). Penerapan model ADDIE dalam pengembangan multimedia pembelajaran berbasis literasi sains. *DIKSAINS: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains*, 2(2), 102–108. <https://doi.org/10.33369/diksains.2.2.102-108>
- Luritawaty, I. P., Supriyadi, E., Afriansyah, E. A., & Mardiani, D. (2026). Developing an interactive e-book integrating pedagogical deep learning and local wisdom to enhance digital literacy and mathematical critical thinking. *Jurnal Elemen*, 12(1), 124–142. <https://doi.org/10.29408/jel.v12i1.32526>
- Mardiyanti, D., & Gunawan. (2026). Design and evaluation of multimedia-based interactive e-teaching materials for enhancing critical thinking and interest learning in elementary mathematics: An ADDIE approach. *Desimal: Jurnal Matematika*, 9(2), 155–177. <https://doi.org/10.24042/djm.v9i2.31131>
- Nurfatanah, N., Yudha, C. B., Marini, A., & Sumantri, M. S. (2021). Development of matematic

- media games education based on e-learning in the planting of basic concepts in numeracy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869(1), Article 012127. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012127>
- Nurissamawati, B., Yuniawatika, Y., & Mas'ula, S. (2024). E-module development using problem-based learning approach to learn data processing in training students' critical thinking. *JINoP (Jurnal Inovasi Pembelajaran)*, 10(1), 62–79. <https://doi.org/10.22219/jinop.v10i1.28626>
- Pallant, J. (2020). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using IBM SPSS* (7th ed.). Routledge.
- Rahma, F. I., Sa'dijah, C., & Rufiana, I. S. (2026). Transformational teachers' technology, pedagogy, and mathematics content knowledge to stimulate primary school students' critical thinking. *Multidisciplinary Science Journal*, 8(12), Article e2026562. <https://doi.org/10.31893/multiscience.2026562>
- Simonsmeier, B. A., Flaig, M., Deiglmayr, A., Schalk, L., & Schneider, M. (2022). Domain-specific prior knowledge and learning: A meta-analysis. *Educational Psychologist*, 57(1), 31–54. <https://doi.org/10.1080/00461520.2021.1939700>
- Susarno, L. H., & Setiawan, B. (2023). Development of online basic education courses for the State University of Surabaya students studying educational technology. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, 15(4), 355–367. <https://doi.org/10.18844/wjet.v15i4.7967>
- Weigand, H.-G., Trgalova, J., & Tabach, M. (2024). Mathematics teaching, learning, and assessment in the digital age. *ZDM – Mathematics Education*, 56, 525–541. <https://doi.org/10.1007/s11858-024-01612-9>
- Winarti, S., Utomo, S. W., & Lukitasari, M. (2026). The influence of game-based learning using Assemblr Edu on digital skills and critical thinking of elementary school students in mathematics: Toward quality education and digital literacy. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 12(2), 17–29. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v12i2.13768>
- Yusrina, R., Daud, F., & Danial, M. (2022). Pengembangan multimedia interaktif berbasis Articulate Storyline pada pokok bahasan klasifikasi materi dan perubahannya untuk peserta didik SMPN 2 Maros kelas VII. *UNM Journal of Biological Education*, 6(1). <https://doi.org/10.35580/ujbe.v6i1.35263>