Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

PENGEMBANGAN MODUL AJAR BERBANTUAN *AUGMENTED REALITY* PADA MATERI PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TUMBUHAN UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK SMA

Kaldin Umar[1]*, Frida Maryati Yusuf[2], Devi Bunga Pagalla[3], Jusna Ahmad[4], & Hartono Mamu[5]
[1,2,3,4,&5]Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Jalan Jenderal Sudirman Nomor 6, Gorontalo, Gorontalo 96128, Indonesia
**Email: kaldinumar26@gmail.com*
Submit: 07-06-2026; Accepted: 17-06-2026; Published: 24-10-2026

ABSTRAK: Kemampuan berpikir kritis peserta didik perlu dikembangkan melalui pembelajaran Biologi yang konkret, kontekstual, dan interaktif. Salah satu materi yang memerlukan dukungan tersebut adalah pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan karena memuat proses yang bersifat dinamis dan sebagian sulit diamati secara langsung. Penelitian ini bertujuan mengembangkan modul ajar berbantuan *Augmented Reality* (AR) dengan memanfaatkan tanaman jagung (*Zea mays* L.) sebagai objek kontekstual serta menganalisis validitas, kepraktisan, dan peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik setelah menggunakan modul. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE yang dibatasi pada tahap *analysis*, *design*, dan *development* melalui uji coba terbatas. Penelitian dilaksanakan pada Mei 2026 di SMA Negeri 1 Tilango dengan melibatkan 24 peserta didik kelas XII. Data diperoleh melalui lembar validasi ahli materi, ahli media, dan praktisi guru Biologi, lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, angket respons guru dan peserta didik, serta tes esai *pretest* dan *posttest*. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif, sedangkan peningkatan kemampuan berpikir kritis dianalisis menggunakan *N-Gain*. Hasil penelitian menunjukkan validitas ahli materi sebesar 97,22% dengan kategori sangat valid, ahli media sebesar 78,75% dengan kategori valid, dan praktisi guru Biologi sebesar 96,30% dengan kategori sangat valid. Kepraktisan modul ditunjukkan oleh keterlaksanaan pembelajaran sebesar 96,85%, respons guru sebesar 97,50%, dan respons peserta didik sebesar 85,78%. Rata-rata skor kemampuan berpikir kritis meningkat dari 41,13 pada *pretest* menjadi 83,96 pada *posttest*, dengan nilai *N-Gain* sebesar 0,71 yang termasuk kategori tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modul ajar berbantuan AR yang dikembangkan valid dan praktis serta menunjukkan peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik pada uji coba terbatas. Modul ini memadukan visualisasi AR dengan objek pertumbuhan jagung sebagai konteks pembelajaran untuk membantu peserta didik mengamati dan memahami proses pertumbuhan tumbuhan secara lebih konkret.

Kata Kunci: ADDIE, *Augmented Reality*, Berpikir Kritis, Modul Ajar, Pertumbuhan Tumbuhan.

ABSTRACT: *Students' critical thinking skills need to be developed through concrete, contextual, and interactive Biology learning. One of the materials that requires such support is the growth and development of plants because it contains dynamic processes and some are difficult to observe directly. This study aims to develop a teaching module assisted by Augmented Reality (AR) by utilizing corn plants (Zea mays L.) as a contextual object and analyze the validity, practicality, and improvement of students' critical thinking skills after using the module. The study used the Research and Development (R&D) method with the ADDIE model which was limited to the analysis, design, and development stages through limited trials. The study was conducted in May 2026 at SMA Negeri 1 Tilango involving 24 grade XII students. Data were obtained through validation sheets from material experts, media experts, and Biology teacher practitioners, observation sheets for learning implementation, teacher and student response questionnaires, and pretest and posttest essay tests. Data were analyzed descriptively quantitatively and qualitatively, while the improvement of critical thinking skills was analyzed using N-Gain. The results showed a validity of 97.22% for material experts, categorized as very valid, 78.75% for media experts, and 96.30% for biology teacher*

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

practitioners. The module's practicality was demonstrated by a learning implementation rate of 96.85%, teacher response rate of 97.50%, and student response rate of 85.78%. The average critical thinking ability score increased from 41.13 in the pretest to 83.96 in the posttest, with an N-Gain value of 0.71, considered high. These results indicate that the AR-assisted learning module developed is valid and practical, demonstrating an increase in students' critical thinking skills during a limited trial. This module combines AR visualization with corn growth as a learning context to help students observe and understand the plant growth process more concretely.

Keywords: *ADDIE, Augmented Reality, Critical Thinking, Learning Module, Plant Growth.*

How to Cite: Umar, K., Yusuf, F. M., Pagalla, D. B., Ahmad, J., & Mamu, H. (2026). Pengembangan Modul Ajar Berbantuan *Augmented Reality* pada Materi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik SMA. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi, 6*(4), 2006-2022. https://doi.org/10.36312/biocaster.v6i4.1574

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi *is Licensed Under a CC BY-SA Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.*

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada abad ke-21 menuntut pembelajaran tidak hanya berorientasi pada penguasaan pengetahuan, tetapi juga pada penguatan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Salah satu keterampilan yang penting dikembangkan adalah kemampuan berpikir kritis karena membantu peserta didik menelaah informasi, mengevaluasi argumen, menghubungkan fakta dengan konsep, memecahkan masalah, dan menyusun simpulan secara logis. Pembelajaran yang melibatkan aktivitas mengamati, menalar, menganalisis, mengevaluasi, dan merefleksikan informasi dapat mendorong peserta didik membangun pemahaman yang lebih bermakna daripada sekadar menerima informasi secara pasif (Sucipta *et al.*, 2023). Dalam pembelajaran Biologi, kemampuan tersebut semakin penting karena peserta didik tidak hanya dituntut mengingat konsep, tetapi juga memahami hubungan antara struktur, fungsi, proses, dan fenomena kehidupan berdasarkan penalaran ilmiah (Hulu *et al.*, 2024).

Materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan merupakan salah satu materi Biologi yang menuntut kemampuan berpikir kritis karena melibatkan keterkaitan berbagai konsep dan proses biologis. Materi ini mencakup perkecambahan, aktivitas jaringan meristem, pertumbuhan primer dan sekunder, perkembangan organ, serta faktor internal dan eksternal yang memengaruhi pertumbuhan (Ayulistiana & Yuliani, 2020). Pemahaman terhadap materi tersebut tidak cukup diperoleh melalui hafalan karena peserta didik perlu menghubungkan perubahan morfologi dengan proses fisiologis, menganalisis pengaruh faktor lingkungan, serta memberikan alasan berdasarkan bukti yang diperoleh dari pengamatan.

Sebagian proses pertumbuhan berlangsung secara bertahap, bersifat mikroskopis, atau membutuhkan waktu relatif lama sehingga tidak seluruhnya dapat diamati secara langsung selama pembelajaran. Keterbatasan visualisasi tersebut berpotensi menyebabkan peserta didik memahami konsep secara parsial atau mengalami miskonsepsi, terutama pada konsep meristem interkalar dan peran

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

hormon dalam pertumbuhan tumbuhan (Pradina & Yuliani, 2020). Dengan demikian, diperlukan bahan ajar yang tidak hanya menyajikan materi secara sistematis, tetapi juga mampu memvisualisasikan objek dan proses biologis serta mengarahkan peserta didik untuk mengolah informasi hasil pengamatan.

Permasalahan tersebut juga ditemukan berdasarkan hasil observasi awal di SMA Negeri 1 Tilango. Pembelajaran materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan masih didominasi metode ceramah dengan bantuan *PowerPoint*, gambar, dan video. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan guru, media yang digunakan telah membantu penyampaian materi, tetapi penggunaannya belum sepenuhnya memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk melakukan pengamatan objek secara interaktif dan menghubungkan hasil pengamatan dengan permasalahan biologis. Peserta didik juga masih mengalami kesulitan ketika diminta menjelaskan konsep dengan kata-kata sendiri, menganalisis hubungan antara faktor internal dan eksternal dengan pertumbuhan, memberikan alasan berdasarkan bukti, serta menarik simpulan dari suatu permasalahan. Guru menyampaikan bahwa diperlukan bahan ajar yang dapat membantu memvisualisasikan objek secara lebih konkret sekaligus memberikan petunjuk aktivitas belajar yang sistematis. Temuan awal tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara tuntutan pembelajaran yang mengembangkan kemampuan berpikir kritis dengan pengalaman belajar yang masih cenderung berorientasi pada penyampaian informasi.

Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk menjembatani kesenjangan tersebut adalah modul ajar berbantuan *Augmented Reality* (AR). Modul ajar merupakan perangkat pembelajaran yang mengorganisasikan tujuan, materi, kegiatan, media, dan asesmen secara sistematis sehingga dapat membantu guru mengelola pembelajaran sekaligus memberikan arah belajar yang jelas kepada peserta didik (Maulida, 2022). Sedangkan AR memungkinkan objek virtual ditampilkan pada lingkungan nyata secara waktu nyata sehingga objek, struktur, dan proses yang sulit diamati secara langsung dapat divisualisasikan secara lebih konkret dan interaktif (Haryani & Triyono, 2017).

Pembelajaran pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dapat memanfaatkan AR untuk menampilkan struktur morfologi dan anatomi tanaman, tahapan pertumbuhan, serta bagian-bagian tumbuhan yang sulit diamati secara langsung. Visualisasi tersebut tidak hanya berfungsi sebagai ilustrasi, tetapi dapat ditempatkan sebagai stimulus bagi peserta didik untuk melakukan pengamatan, mengidentifikasi perbedaan, menghubungkan struktur dengan fungsi, menafsirkan informasi, dan menyusun simpulan berdasarkan hasil pengamatan (Lidiastuti *et al.*, 2025).

Hubungan antara penggunaan AR dan kemampuan berpikir kritis dapat dijelaskan melalui karakteristik aktivitas belajar yang difasilitasi oleh teknologi tersebut. Visualisasi tiga dimensi memungkinkan peserta didik memperoleh representasi objek yang lebih konkret, kemudian menggunakan representasi tersebut sebagai dasar untuk mengamati dan mengidentifikasi karakteristik objek (Lu *et al.*, 2025). Hasil pengamatan selanjutnya dapat diarahkan melalui pertanyaan atau tugas dalam modul untuk mendorong peserta didik membandingkan informasi, menganalisis hubungan sebab-akibat, memberikan alasan berdasarkan bukti,

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

mengevaluasi informasi, dan menarik simpulan. Dengan demikian, AR tidak secara otomatis meningkatkan kemampuan berpikir kritis, tetapi efektivitasnya bergantung pada bagaimana teknologi tersebut diintegrasikan dengan aktivitas pembelajaran yang secara eksplisit menuntut proses berpikir kritis. Ibáñez *et al.* (2016) mengemukakan bahwa integrasi AR dengan modul ajar menjadi penting karena modul dapat memberikan *scaffolding* berupa tujuan, petunjuk pengamatan, pertanyaan analitis, kegiatan diskusi, dan asesmen yang mengarahkan peserta didik dari aktivitas melihat objek menuju aktivitas menalar dan mengambil simpulan.

Selain aspek teknologi, pemilihan objek pembelajaran juga menjadi bagian penting dalam pengembangan modul. Penelitian ini menggunakan tanaman jagung sebagai objek kontekstual karena jagung merupakan tanaman yang dekat dengan lingkungan kehidupan masyarakat dan memiliki karakteristik morfologi serta anatomi yang relevan dengan materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan (Ahaya *et al.*, 2025). Penggunaan jagung memungkinkan konsep yang dipelajari tidak berhenti pada representasi virtual, tetapi dihubungkan dengan objek biologis yang dapat ditemukan di lingkungan peserta didik. Pendekatan tersebut sejalan dengan prinsip *Contextual Teaching and Learning* (CTL), yaitu mengaitkan materi pembelajaran dengan situasi kehidupan nyata sehingga peserta didik dapat memahami makna konsep melalui konteks yang dekat dengan pengalaman mereka. Konteks jagung juga memberikan peluang untuk mengembangkan pembelajaran berbasis potensi lokal karena lingkungan sekitar dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar. Dengan demikian, pemilihan jagung bukan sekadar sebagai objek visual AR, tetapi menjadi konteks yang membantu peserta didik menghubungkan konsep pertumbuhan dan perkembangan dengan fenomena biologis yang nyata dan relevan dengan lingkungan mereka.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa AR memiliki potensi dalam mendukung pembelajaran Biologi. Anapia *et al.* (2024) mengembangkan modul berbasis AR pada materi sel dan memperoleh validitas ahli materi sebesar 94%, validitas ahli media sebesar 75%, respons guru sebesar 97%, respons peserta didik sebesar 91%, serta *N-Gain* kemampuan berpikir kritis sebesar 0,48. Ramdani *et al.* (2024) juga melaporkan bahwa inovasi pembelajaran sains berbasis AR dapat menghasilkan media yang layak, praktis, dan efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis. Sylvia *et al.* (2021) menemukan bahwa penggunaan AR dapat mendukung keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui pengalaman visual yang mendorong peserta didik mengolah informasi dan menyelesaikan masalah. Kajian sistematis oleh Indrati & Masing (2025) juga menunjukkan bahwa pemanfaatan AR dalam pembelajaran Biologi banyak digunakan untuk membantu visualisasi konsep abstrak dan meningkatkan keterlibatan belajar.

Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih menunjukkan beberapa ruang pengembangan. Penelitian Anapia *et al.* (2024), misalnya, berfokus pada materi sel, sedangkan penelitian lain lebih menekankan kelayakan atau pemanfaatan AR secara umum. Temuan tersebut belum secara spesifik menjelaskan bagaimana AR yang diintegrasikan dalam modul ajar dapat digunakan untuk memfasilitasi tahapan berpikir kritis pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Penggunaan objek tanaman yang dekat dengan lingkungan peserta didik sebagai konteks pembelajaran masih belum menjadi fokus utama dalam

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

pengembangan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan modul ajar berbasis AR yang tidak hanya menyajikan visualisasi materi, tetapi juga mengaitkan objek tanaman di lingkungan sekitar dengan aktivitas yang mendorong peserta didik untuk menganalisis, mengevaluasi, dan menarik simpulan secara kritis.

Berdasarkan kondisi tersebut, *research gap* penelitian ini terletak pada belum tersedianya modul ajar berbantuan AR pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan yang secara simultan mengintegrasikan visualisasi objek biologis, konteks tanaman jagung sebagai potensi lokal, dan aktivitas yang secara eksplisit melatih indikator kemampuan berpikir kritis. Dengan kata lain, penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi AR dalam meningkatkan kualitas pembelajaran dan kemampuan berpikir tingkat tinggi, tetapi masih diperlukan pengembangan bahan ajar yang menjelaskan dan mengoperasionalkan hubungan antara visualisasi AR dengan aktivitas berpikir kritis dalam konteks materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan tersebut melalui integrasi tanaman jagung sebagai objek kontekstual dalam modul, sehingga peserta didik tidak hanya mengamati representasi objek melalui AR, tetapi juga diarahkan untuk mengamati, membandingkan, menafsirkan informasi, memberikan alasan berdasarkan bukti, menganalisis hubungan antarvariabel, dan menarik simpulan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi tiga komponen utama, yaitu modul ajar, teknologi AR, dan tanaman jagung sebagai konteks pembelajaran berbasis potensi lokal, yang dirancang secara khusus untuk memfasilitasi aktivitas berpikir kritis pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Integrasi tersebut menjadikan AR bukan hanya sebagai media visualisasi, tetapi sebagai bagian dari strategi pembelajaran yang menghubungkan objek nyata, representasi virtual, aktivitas pengamatan, dan proses penalaran ilmiah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan modul ajar berbantuan *Augmented Reality* pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan serta menganalisis validitas, kepraktisan, dan peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik setelah menggunakan modul yang dikembangkan.

METODE

Jenis, Lokasi, dan Subjek Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian *Research and Development* (R&D) yang bertujuan mengembangkan modul pembelajaran Biologi berbantuan *Augmented Reality* (AR). Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE, yang terdiri atas lima tahap, yaitu *Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation*. Model ADDIE dipilih karena memberikan tahapan pengembangan yang sistematis, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi produk pembelajaran (Hidayat & Nizar, 2021; Waruwu, 2024).

Penelitian ini dibatasi sampai pada tahap *development* dengan uji coba terbatas sebagai bagian dari evaluasi awal produk. Dengan demikian, penelitian tidak dimaksudkan untuk menguji efektivitas produk secara luas, melainkan untuk menghasilkan produk awal yang layak digunakan, memperoleh informasi mengenai kepraktisan, serta memperoleh gambaran awal mengenai perubahan kemampuan

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

berpikir kritis peserta didik setelah menggunakan produk. Uji coba terbatas dilakukan sebagai evaluasi awal terhadap produk yang telah dikembangkan. Oleh karena itu, tahap *implementation* dan *evaluation* dalam ADDIE secara penuh tidak dilakukan pada penelitian ini. Penelitian dilaksanakan selama dua minggu pada Mei 2026 di SMA Negeri 1 Tilango, Desa Ilotidea, Kecamatan Tilango, Kabupaten Gorontalo. Subjek uji coba terbatas terdiri atas 24 peserta didik kelas XII 1. Jumlah 24 peserta didik digunakan untuk memperoleh gambaran awal mengenai keterlaksanaan, kepraktisan, dan perubahan kemampuan berpikir kritis setelah penggunaan produk.

Prosedur Pengembangan

Prosedur pengembangan mengacu pada model ADDIE, tetapi penelitian ini dibatasi sampai pada tahap *development* dan uji coba terbatas. Tahapan pengembangan dilakukan sebagai berikut:

Analysis

Tahap *analysis* dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran dan karakteristik pengguna produk. Analisis meliputi observasi proses pembelajaran, wawancara dengan guru Biologi, penyebaran angket kebutuhan peserta didik, analisis karakteristik peserta didik, analisis kurikulum, dan analisis materi. Hasil analisis tersebut menjadi dasar dalam menentukan bentuk, isi, dan karakteristik produk pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan peserta didik dan tujuan pembelajaran.

Analisis karakteristik peserta didik mencakup usia, tingkat kelas, latar belakang peminatan, kemampuan awal yang berkaitan dengan materi, pengalaman menggunakan media pembelajaran digital, serta kebutuhan peserta didik terhadap bahan ajar. Analisis kurikulum dilakukan untuk mengidentifikasi capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, materi, dan aktivitas pembelajaran yang relevan dengan produk yang dikembangkan. Hasil analisis digunakan sebagai dasar dalam menentukan isi, struktur, aktivitas, dan fitur AR pada modul.

Design

Tahap *design* merupakan tahap perancangan produk berdasarkan hasil analisis kebutuhan. Kegiatan pada tahap ini meliputi penyusunan struktur modul, perumusan tujuan pembelajaran, penentuan urutan materi, perancangan aktivitas pembelajaran, penyusunan lembar kerja peserta didik, penyusunan asesmen, penyusunan petunjuk penggunaan, serta perancangan objek dan aktivitas *Augmented Reality*. Seluruh rancangan disusun secara sistematis agar produk sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik peserta didik.

Modul dirancang dengan mengintegrasikan aktivitas yang mendorong kemampuan berpikir kritis, khususnya kemampuan interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi. Setiap aktivitas pembelajaran disusun agar peserta didik tidak hanya menerima informasi, tetapi juga mengidentifikasi informasi, menganalisis permasalahan, mengevaluasi bukti atau pernyataan, menarik simpulan, dan menjelaskan alasan berdasarkan informasi yang tersedia. Perancangan AR meliputi penentuan materi yang divisualisasikan, desain objek tiga dimensi atau visual digital, pemilihan *marker* atau pemicu AR, penyusunan hubungan antara objek AR dengan materi dalam modul, serta perancangan petunjuk penggunaan.

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

Development

Tahap *development* dilakukan dengan merealisasikan rancangan menjadi produk awal modul pembelajaran Biologi berbantuan AR. Produk awal selanjutnya melalui proses validasi oleh ahli materi, ahli media, dan praktisi/guru Biologi. Validator memberikan penilaian terhadap aspek-aspek yang telah ditetapkan dalam instrumen validasi serta memberikan komentar dan saran perbaikan. Hasil validasi digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi produk. Produk yang telah direvisi kemudian digunakan dalam uji coba terbatas kepada 24 peserta didik. Validator dalam penelitian ini terdiri atas ahli materi, ahli media, dan praktisi/guru Biologi.

Uji Coba Terbatas

Uji coba terbatas dilakukan setelah produk memperoleh hasil validasi dan direvisi sesuai masukan validator. Uji coba bertujuan memperoleh informasi awal mengenai keterlaksanaan pembelajaran, respons pengguna terhadap produk, serta perubahan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Desain uji coba menggunakan *one-group pretest-posttest design*, yang melibatkan satu kelompok tanpa kelompok kontrol. Peserta didik diberikan *pretest* sebelum menggunakan modul dan *posttest* setelah mengikuti pembelajaran menggunakan modul. Secara skematis desain penelitian dapat dituliskan sebagai berikut:

$$O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$$

Keterangan:
O_1 = *Pretest* kemampuan berpikir kritis;
X = Pembelajaran menggunakan modul Biologi berbantuan *Augmented Reality*; dan
O_2 = *Posttest* kemampuan berpikir kritis.

Desain ini digunakan untuk memperoleh gambaran awal perubahan skor kemampuan berpikir kritis sebelum dan sesudah penggunaan produk. Karena penelitian merupakan penelitian pengembangan dengan uji coba terbatas, analisis tidak diarahkan untuk menguji efektivitas produk secara inferensial atau melakukan generalisasi terhadap populasi yang lebih luas.

Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data

Instrumen penelitian terdiri atas pedoman wawancara guru, angket kebutuhan peserta didik, lembar validasi ahli materi, lembar validasi ahli media, lembar validasi praktisi/guru Biologi, lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, angket respons guru, angket respons peserta didik, dan tes kemampuan berpikir kritis.

Pedoman Wawancara Guru

Pedoman wawancara guru digunakan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi pembelajaran, bahan ajar yang digunakan, kesulitan pembelajaran, penggunaan media digital, dan kebutuhan terhadap modul berbantuan AR. Wawancara dilakukan untuk mengetahui harapan dan saran guru terhadap pengembangan modul berbantuan AR agar sesuai dengan kebutuhan pembelajaran di kelas.

Angket Kebutuhan Peserta Didik

Angket kebutuhan peserta didik digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan, pengalaman belajar, kesulitan memahami materi, preferensi terhadap bahan ajar, serta kebutuhan terhadap media pembelajaran berbasis teknologi.

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

Lembar Validasi Ahli Materi

Lembar validasi ahli materi digunakan untuk menilai kesesuaian isi modul, ketepatan konsep, keluasan dan kedalaman materi, kesesuaian materi dengan tujuan pembelajaran, penyajian materi, dan potensi materi dalam mendukung kemampuan berpikir kritis.

Lembar Validasi Ahli Media

Lembar validasi ahli media digunakan untuk menilai aspek tampilan, desain, keterbacaan, navigasi, sistematika penyajian, kualitas media, serta keterpaduan fitur AR dengan modul.

Lembar Validasi Praktisi/Guru Biologi

Lembar validasi praktisi/guru Biologi digunakan untuk menilai kesesuaian produk dengan kondisi pembelajaran di sekolah, kemudahan penggunaan, keterlaksanaan aktivitas, kesesuaian materi, dan kebermanfaatan produk dalam pembelajaran.

Lembar Observasi Keterlaksanaan Pembelajaran

Lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran digunakan untuk mencatat keterlaksanaan aktivitas pembelajaran sesuai dengan tahapan yang telah dirancang dalam modul. Penilaian menggunakan skala *Likert* 1-4.

Angket Respons Guru dan Peserta Didik

Angket respons guru dan peserta didik digunakan untuk memperoleh data mengenai kepraktisan produk, meliputi kemudahan penggunaan, keterbacaan, daya tarik, kebermanfaatan, kejelasan petunjuk, dan kemudahan penggunaan fitur AR.

Tes Kemampuan Berpikir Kritis

Tes kemampuan berpikir kritis berbentuk esai sebanyak 10 soal. Soal disusun berdasarkan indikator kemampuan berpikir kritis yang meliputi interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi. Soal berada pada tingkat kognitif C4-C5 dan diberikan dalam bentuk *pretest* dan *posttest*.

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh terdiri atas data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif berupa komentar dan saran dari validator, guru, dan peserta didik dianalisis secara deskriptif dan digunakan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan produk. Data kuantitatif berupa skor validasi, keterlaksanaan pembelajaran, respons guru, respons peserta didik, serta skor *pretest* dan *posttest* dianalisis secara deskriptif.

Analisis Validitas dan Kepraktisan

Persentase validitas dan kepraktisan dihitung menggunakan persamaan:

$$\mathbf{P} = \frac{\sum \mathbf{X}}{\sum \mathbf{Xmaks}} \; \boldsymbol{x} \; \mathbf{100\%}$$

Keterangan:

P = Persentase penilaian;
∑X = Jumlah skor yang diperoleh; dan
∑Xmaks = Jumlah skor maksimum.

Persentase validitas diklasifikasikan menjadi tidak valid (0-20%), kurang valid (21-40%), cukup valid (41-60%), valid (61-80%), dan sangat valid (81-100%) dengan mengadaptasi kriteria Ma'aniyah & Mintohari (2019). Keterlaksanaan pembelajaran dinilai menggunakan skala *Likert* 1-4 dan diinterpretasikan

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

berdasarkan kategori Ahied & Rosidi (2020). Kepraktisan respons guru dan peserta didik diklasifikasikan menjadi tidak praktis sampai sangat praktis.

Keterlaksanaan pembelajaran menggunakan skala *Likert* 1-4 dan dikategorikan berdasarkan interval yang ditetapkan dari sumber metodologis yang sama atau sumber yang secara eksplisit digunakan untuk kategori keterlaksanaan. Respons guru dan peserta didik digunakan untuk menentukan tingkat kepraktisan produk berdasarkan kriteria tidak praktis, kurang praktis, cukup praktis, praktis, dan sangat praktis sesuai dengan sumber rujukan yang dipilih.

Analisis Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis

Peningkatan kemampuan berpikir kritis dianalisis menggunakan *Normalized Gain* (*N-Gain*). Nilai *N-Gain* dihitung berdasarkan perbedaan skor *pretest* dan *posttest* dengan persamaan:

$$g = \frac{S_{post} - S_{pre}}{S_{maks} - S_{pre}}$$

Keterangan:
g = Nilai *N-Gain*;
S_{post} = Skor *posttest*;
S_{pre} = Skor *pretest*;
S_{maks} = Skor maksimum yang dapat diperoleh.

Nilai *N-Gain* dikategorikan tinggi apabila g > 0,70, sedang apabila 0,30 <= g <= 0,70, dan rendah apabila g < 0,30 (Ramdhani *et al.*, 2020). Seluruh data kuantitatif dianalisis secara deskriptif, sedangkan komentar dan saran dianalisis secara deskriptif kualitatif untuk menjelaskan perbaikan produk. Analisis *N-Gain* dalam penelitian ini digunakan untuk memberikan gambaran awal perubahan kemampuan berpikir kritis setelah penggunaan produk, bukan sebagai bukti efektivitas kausal. Hal tersebut disebabkan penelitian menggunakan desain satu kelompok tanpa kelompok kontrol dan hanya dilakukan pada uji coba terbatas. Oleh karena itu, penelitian tidak menggunakan uji statistik inferensial untuk menggeneralisasikan efektivitas produk terhadap populasi yang lebih luas. Interpretasi hasil dibatasi pada kondisi dan subjek uji coba penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pengembangan Modul Ajar

Tahap *analysis* menunjukkan bahwa guru telah menggunakan *PowerPoint*, gambar, dan video, tetapi pembelajaran masih didominasi penjelasan *verbal*. Peserta didik membutuhkan bahan ajar yang lebih menarik, mudah dipahami, dan mampu memvisualisasikan konsep yang sulit diamati secara langsung. Guru juga menyatakan bahwa peserta didik belum terbiasa menggunakan teknologi pembelajaran secara mandiri, meskipun perangkat dan akses internet sekolah tersedia. Analisis kurikulum menghasilkan pemetaan capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, alur tujuan pembelajaran, serta materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan yang meliputi perkecambahan, pertumbuhan primer, pertumbuhan sekunder, faktor pertumbuhan, serta morfologi dan anatomi jagung.

Tahap *design* menghasilkan rancangan modul yang memuat identitas, tujuan pembelajaran, petunjuk penggunaan, materi, aktivitas pembelajaran, lembar

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

kerja peserta didik, asesmen, refleksi, dan evaluasi. Objek *Augmented Reality* dirancang untuk membantu peserta didik mengamati bagian tumbuhan, struktur organ, dan hubungan antara struktur dan fungsi. Aktivitas modul juga diarahkan pada indikator berpikir kritis melalui kegiatan menginterpretasikan informasi, menganalisis pengaruh faktor pertumbuhan, mengevaluasi pendapat, menarik inferensi berdasarkan data, dan menjelaskan solusi terhadap gangguan pertumbuhan. Rancangan tersebut sesuai dengan prinsip bahwa modul ajar perlu menyelaraskan tujuan, materi, aktivitas, media, dan asesmen agar pembelajaran berlangsung terarah (Maulida, 2022).

Tahap *development* meliputi proses validasi produk awal oleh ahli materi, ahli media, dan praktisi guru Biologi. Komentar validator materi terutama berkaitan dengan efektivitas kalimat, ketepatan istilah, penyederhanaan rubrik, dan konsistensi keterangan gambar. Validator media memberikan masukan pada alur penyajian, kejelasan petunjuk penggunaan, kualitas tampilan, dan integrasi objek *Augmented Reality*. Revisi dilakukan sebelum uji coba terbatas agar produk memenuhi kelayakan isi, teknis media, dan keterpakaian pembelajaran.

Validitas Modul Ajar

Sebelum modul ajar berbantuan *Augmented Reality* digunakan dalam proses pembelajaran, diperlukan tahap validasi untuk mengetahui tingkat kelayakan dan kesesuaian modul berdasarkan penilaian para validator. Validasi dilakukan terhadap beberapa aspek yang mencakup kelayakan isi, penyajian, bahasa, serta aspek lain yang relevan dengan karakteristik modul ajar. Hasil validasi tersebut menjadi dasar untuk mengetahui tingkat kevalidan modul ajar yang dikembangkan. Ringkasan hasil validasi modul ajar berbantuan *Augmented Reality* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Validasi Modul Ajar Berbantuan *Augmented Reality*.

Validator	Aspek Utama yang Dinilai	Persentase	Kategori
Ahli Materi	Materi, penyajian, AR, berpikir kritis, bahasa	97,22%	Sangat Valid
Ahli Media	Materi, penyajian, teknis AR, berpikir kritis, bahasa	78,75%	Valid
Praktisi Guru Biologi	Modul, materi, pembelajaran, AR, bahasa	96,30%	Sangat Valid

Tabel 1 menunjukkan bahwa validasi ahli materi memperoleh 97,22% dengan kategori sangat valid. Secara rinci, aspek kesesuaian materi memperoleh 100%, penyajian materi 93,75%, pemanfaatan *Augmented Reality* 100%, kemampuan berpikir kritis 100%, dan bahasa 91,67%. Capaian tersebut menunjukkan bahwa isi modul sesuai dengan tujuan pembelajaran dan aktivitasnya telah mengarahkan peserta didik pada pengamatan, analisis, perbandingan, dan penyimpulan. Tingginya penilaian pada aspek *Augmented Reality* juga menunjukkan bahwa visualisasi teknologi sesuai dengan karakter materi yang mengandung struktur dan proses biologis yang sulit diamati. Temuan ini sejalan dengan Indrati & Masing (2025) yang menjelaskan bahwa *Augmented Reality* banyak digunakan dalam pembelajaran Biologi untuk memperjelas konsep abstrak dan meningkatkan keterlibatan peserta didik.

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

Validasi ahli media memperoleh persentase 78,75% dan berada pada kategori valid. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan validitas ahli materi dan praktisi, terutama pada aspek penyajian materi, teknis *Augmented Reality* (AR), dan bahasa yang masing-masing memperoleh persentase 75%. Sedangkan aspek kesesuaian materi memperoleh 85% dan kemampuan berpikir kritis memperoleh 81,25%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa substansi materi dan keterkaitannya dengan kemampuan berpikir kritis telah dinilai baik, sedangkan aspek media masih memerlukan penyempurnaan, khususnya pada aspek teknis dan komunikasi. Perbaikan media perlu difokuskan pada aspek teknis dan komunikasi.

Nilai yang relatif lebih rendah pada aspek teknis AR menunjukkan bahwa kualitas media tidak hanya ditentukan oleh ketepatan materi, tetapi juga oleh kemudahan pengguna dalam mengakses dan berinteraksi dengan objek virtual. Dalam pengembangan produk, ditemukan beberapa kendala desain, yaitu kejelasan instruksi pemindaian yang masih perlu diperkuat, kualitas dan keterbacaan objek virtual yang perlu ditingkatkan, serta keterpaduan antara teks, gambar, objek AR, dan aktivitas pembelajaran yang belum sepenuhnya optimal. Penyajian informasi yang terlalu padat dan penggunaan kalimat yang kurang sederhana juga berpotensi meningkatkan beban kognitif pengguna, sehingga dapat mengurangi kemudahan peserta didik dalam memahami instruksi dan mengikuti tahapan pembelajaran.

Berdasarkan masukan ahli media, revisi dilakukan dengan menata kembali urutan materi agar alur pembelajaran lebih sistematis, menyederhanakan kalimat dan instruksi agar lebih komunikatif, memperjelas petunjuk pemindaian AR, meningkatkan kualitas tampilan objek virtual, serta menyelaraskan teks, gambar, objek AR, dan aktivitas belajar. Revisi tersebut tidak hanya memperbaiki tampilan produk, tetapi juga meningkatkan aspek *usability*, keterbacaan, kejelasan navigasi, dan keterpaduan media dengan aktivitas pembelajaran. Dengan demikian, peserta didik dapat memahami instruksi dengan lebih mudah, melakukan pemindaian AR secara lebih mandiri, serta menghubungkan objek virtual dengan konsep yang dipelajari. Temuan ini sejalan dengan Stanič & Špernjak (2025) yang menegaskan bahwa manfaat AR dalam pembelajaran Biologi dipengaruhi oleh kualitas desain teknis, kemudahan akses, dan integrasinya dengan kegiatan pembelajaran. Dengan demikian, hasil validasi ahli media menunjukkan bahwa kelemahan produk bukan terletak pada substansi materi, tetapi pada bagaimana materi tersebut dikomunikasikan dan diintegrasikan melalui desain media AR yang mudah digunakan, jelas, dan mendukung aktivitas belajar.

Validasi praktisi guru Biologi memperoleh 96,30% dengan kategori sangat valid. Aspek modul ajar memperoleh 96,88%, kelayakan materi 95%, pembelajaran 95%, *Augmented Reality* 100%, dan bahasa 93,75%. Penilaian guru penting karena menunjukkan kesesuaian produk dengan kondisi kelas, kebutuhan peserta didik, alokasi waktu, dan alur pembelajaran. Hasil ini memperkuat temuan Anapia *et al.* (2024) bahwa modul Biologi berbasis *Augmented Reality* dapat mencapai kategori layak setelah melalui validasi ahli dan praktisi. Ketiga validator menyatakan modul dapat digunakan setelah revisi, dengan prioritas perbaikan pada aspek media dan bahasa. Hasil validasi tersebut menunjukkan bahwa modul ajar berbasis *Augmented Reality* memiliki tingkat kelayakan yang tinggi dan berpotensi digunakan dalam pembelajaran Biologi setelah dilakukan perbaikan sesuai saran validator.

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

Kepraktisan Modul Ajar

Berdasarkan hasil penilaian kepraktisan terhadap modul ajar berbantuan *Augmented Reality*, diperoleh data mengenai tingkat kepraktisan modul ajar yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Kepraktisan Modul Ajar Berbantuan *Augmented Reality*.

Komponen	Skor/Deskripsi	Persentase	Kategori
Keterlaksanaan Pembelajaran	461 dari 476; tiga pertemuan	96,85%	Sangat Baik
Respons Guru Biologi	78 dari 80	97,50%	Sangat Praktis
Respons Peserta Didik	1.647 dari 1.920	85,78%	Sangat Praktis

Keterlaksanaan pembelajaran mencapai 96,85% dengan kategori sangat baik. Persentase keterlaksanaan pada pertemuan pertama sebesar 98,81%, pertemuan kedua sebesar 96,57%, dan pertemuan ketiga sebesar 94,23%. Penurunan persentase antartemuan menunjukkan adanya variasi keterlaksanaan yang berkaitan dengan semakin kompleksnya aktivitas pembelajaran. Pada pertemuan awal, peserta didik masih beradaptasi dengan alur pembelajaran dan penggunaan media, sedangkan pada pertemuan berikutnya mereka mulai terlibat dalam aktivitas mengamati objek, menggunakan media, berdiskusi, mengolah informasi, serta menyusun simpulan. Aktivitas yang semakin kompleks tersebut membutuhkan waktu dan pendampingan yang lebih besar sehingga beberapa tahapan pembelajaran tidak terlaksana secara optimal sesuai alokasi waktu yang direncanakan. Meskipun demikian, seluruh tahapan pembelajaran tetap dapat dilaksanakan dalam kategori sangat baik.

Hasil respons peserta didik juga menunjukkan bahwa aspek media memperoleh respons yang relatif lebih tinggi dibandingkan aspek yang berkaitan dengan kemampuan berpikir kritis. Perbedaan tersebut dapat dipahami karena penggunaan media memberikan pengalaman belajar yang lebih konkret, menarik, dan mudah diamati secara langsung, sehingga peserta didik cenderung memberikan respons positif terhadap aspek visual, kemudahan penggunaan, dan keterlibatan selama pembelajaran. Sedangkan aktivitas yang berkaitan dengan berpikir kritis, seperti mengidentifikasi masalah, menganalisis informasi, memberikan alasan berdasarkan bukti, mengevaluasi suatu pernyataan, dan menyusun simpulan, menuntut keterlibatan kognitif yang lebih tinggi. Tidak semua peserta didik memiliki tingkat kesiapan dan pengalaman yang sama dalam melakukan aktivitas tersebut. Dengan demikian, respons yang relatif lebih rendah pada aspek berpikir kritis tidak menunjukkan bahwa pembelajaran tidak terlaksana, tetapi mengindikasikan bahwa aktivitas berpikir kritis masih memerlukan pembiasaan dan pendampingan yang lebih intensif.

Variasi respons peserta didik juga dapat dipengaruhi oleh perbedaan kemampuan awal, tingkat keaktifan, pemahaman terhadap instruksi, serta pengalaman peserta didik dalam mengikuti pembelajaran yang menuntut diskusi dan pengambilan simpulan berdasarkan hasil pengamatan. Peserta didik yang lebih terbiasa mengemukakan pendapat dan bekerja secara kolaboratif cenderung lebih mudah mengikuti aktivitas pembelajaran, sedangkan peserta didik yang masih pasif membutuhkan arahan dan stimulus tambahan. Perbedaan dinamika kelompok dan keterbatasan waktu pada beberapa aktivitas turut memengaruhi keterlibatan peserta

didik. Oleh karena itu, guru perlu menyesuaikan pendampingan dan strategi pembelajaran agar setiap peserta didik memperoleh kesempatan yang optimal untuk terlibat aktif dalam proses pembelajaran.

Selama implementasi, kendala yang ditemukan terutama berkaitan dengan pengelolaan waktu dan pendampingan peserta didik pada aktivitas yang membutuhkan proses pengamatan, diskusi, dan penyusunan simpulan. Pada beberapa kelompok, proses diskusi berlangsung lebih lama karena peserta didik memerlukan waktu untuk memahami permasalahan dan menyepakati jawaban. Kondisi tersebut menyebabkan waktu untuk beberapa tahap berikutnya menjadi lebih terbatas. Kendala lainnya adalah adanya perbedaan kecepatan peserta didik dalam memahami instruksi dan menggunakan media. Kendala tersebut diatasi dengan memberikan penjelasan tambahan, mengarahkan peserta didik melalui pertanyaan pemantik, serta melakukan pendampingan selama kegiatan berlangsung. Oleh karena itu, meskipun terdapat beberapa kendala dalam implementasi, keseluruhan tahapan pembelajaran tetap dapat terlaksana dengan baik.

Hasil keterlaksanaan pembelajaran dan respons peserta didik menunjukkan bahwa modul yang dikembangkan praktis untuk digunakan dalam pembelajaran nyata. Tingginya persentase keterlaksanaan menunjukkan bahwa sintaks dan aktivitas dalam modul dapat diterapkan oleh guru dan diikuti oleh peserta didik, sedangkan variasi respons dan kendala yang ditemukan memberikan informasi bahwa beberapa aktivitas, khususnya yang berorientasi pada berpikir kritis, masih memerlukan pembiasaan, alokasi waktu yang memadai, dan pendampingan. Dengan demikian, kepraktisan modul tidak hanya ditunjukkan oleh tingginya persentase keterlaksanaan, tetapi juga oleh kemampuannya untuk digunakan dalam kondisi pembelajaran yang nyata dengan berbagai karakteristik dan respons peserta didik.

Respons guru memperoleh 97,50% dengan kategori sangat praktis. Aspek ketertarikan dan media *Augmented Reality* masing-masing mencapai 100%, sedangkan aspek pembelajaran serta bahasa dan penyajian masing-masing 95%. Guru menilai modul mudah digunakan, menarik, dan membantu penyampaian konsep secara lebih konkret. Temuan tersebut sejalan dengan Ramdani *et al.* (2024), yang melaporkan bahwa inovasi pembelajaran sains berbasis *Augmented Reality* dapat menghasilkan media yang praktis dan mendukung kemampuan berpikir kritis. Hallaby & Syahputra (2024) juga menjelaskan bahwa teknologi ini dapat meningkatkan minat, keterlibatan, pembelajaran mandiri, dan capaian belajar Biologi.

Respons peserta didik memperoleh 85,78% dengan kategori sangat praktis. Aspek penggunaan media *Augmented Reality* memperoleh nilai tertinggi, yaitu 90,21%, diikuti pemahaman materi 85,24%, ketertarikan 84,90%, dan berpikir kritis 82,71%. Persentase respons individual berada pada rentang 72,50%-96,25%, sehingga seluruh peserta didik memberikan respons praktis atau sangat praktis. Tingginya penilaian pada aspek media menunjukkan bahwa visualisasi interaktif menjadi daya tarik utama. Lismaya *et al*. (2022) menyatakan bahwa *Augmented Reality* melalui pendekatan ilmiah dapat mendukung kemampuan berpikir kritis karena memberi pengalaman belajar yang konkret dan aktif. Namun, skor aspek

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2006-2022
Email: biocasterjournal@gmail.com

berpikir kritis yang lebih rendah daripada aspek media menunjukkan perlunya memperbanyak pertanyaan terbuka dan latihan analisis mendalam pada revisi berikutnya.

Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis

Peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik dianalisis berdasarkan hasil *pretest*, *posttest*, dan *N-Gain*. Hasil analisis tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil *Pretest*, *Posttest*, dan *N-Gain* Kemampuan Berpikir Kritis.

Jumlah Peserta Didik	Rata-rata		*N-Gain*	Kategori
	Pretest	*Posttest*		
24	41,13	83,96	0,71	24

Rata-rata nilai *pretest* sebesar 41,13 meningkat menjadi 83,96 pada *posttest*, dengan selisih 42,83 poin. Seluruh peserta didik mengalami peningkatan nilai. Nilai awal terendah sebesar 12 meningkat menjadi 80, sedangkan nilai *posttest* tertinggi mencapai 97. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa modul membantu peserta didik memahami materi dan menyelesaikan soal yang menuntut interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi. Penggunaan teks, gambar, diskusi, dan objek *Augmented Reality* memberi kesempatan kepada peserta didik untuk menghubungkan informasi dengan fenomena yang diamati, bukan hanya mengingat definisi.

Hasil *N-Gain* sebesar 0,71 berada pada kategori tinggi. Peningkatan ini berkaitan dengan desain aktivitas yang mendorong peserta didik mengamati objek, membandingkan struktur, menafsirkan data, mengevaluasi pendapat, dan menarik simpulan. Aktivitas tersebut sesuai dengan indikator berpikir kritis yang mencakup pemberian penjelasan sederhana, pembangunan keterampilan dasar, penyimpulan, pemberian penjelasan lanjut, serta pengaturan strategi dan tindakan (Rokhimah & Rejeki, 2018; Siskayanti *et al.*, 2022). Sylvia *et al*. (2021) juga menunjukkan bahwa *Augmented Reality* dapat melatih *Higher Order Thinking Skills* melalui pengalaman belajar yang menuntut pengolahan informasi dan pemecahan masalah.

Hasil penelitian lebih tinggi daripada *N-Gain* 0,48 yang dilaporkan Anapia *et al.* (2024) pada modul *Augmented Reality* materi sel. Perbedaan tersebut dapat berkaitan dengan karakteristik materi, desain aktivitas, objek kontekstual, kemampuan awal peserta didik, dan durasi pembelajaran. Penggunaan tanaman jagung yang dekat dengan lingkungan peserta didik memungkinkan konsep morfologi, anatomi, dan pertumbuhan dikaitkan dengan objek nyata, sedangkan visualisasi *Augmented Reality* membantu memperjelas bagian yang tidak mudah diamati. Meskipun hasil peningkatan termasuk tinggi, interpretasinya tetap dibatasi pada uji coba satu kelompok dengan 24 peserta didik. Oleh karena itu, pengujian lebih luas dengan kelompok pembanding diperlukan untuk memperkuat bukti efektivitas produk.

Modul memenuhi tiga kriteria utama produk pengembangan: valid, praktis, dan menunjukkan peningkatan kemampuan berpikir kritis. Validitas materi dan praktisi yang sangat tinggi menunjukkan kesesuaian isi dan keterpakaian modul, sedangkan validitas media yang lebih rendah memberikan arah revisi teknis yang jelas. Kepraktisan yang tinggi menunjukkan bahwa produk dapat diterapkan dan diterima oleh guru serta peserta didik. Peningkatan nilai dan *N-Gain* tinggi

menunjukkan bahwa penggunaan modul mendukung pembelajaran Biologi yang lebih konkret, visual, interaktif, dan berorientasi pada proses berpikir.

SIMPULAN

Modul ajar berbantuan *Augmented Reality* (AR) pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan telah berhasil dikembangkan menggunakan model ADDIE yang dibatasi sampai tahap *development* melalui uji coba terbatas. Berdasarkan hasil validasi, modul memperoleh persentase validitas sebesar 97,22% dari ahli materi dengan kategori sangat valid, 78,75% dari ahli media dengan kategori valid, dan 96,30% dari praktisi/guru Biologi dengan kategori sangat valid. Hasil uji kepraktisan menunjukkan bahwa keterlaksanaan pembelajaran mencapai 96,85% dengan kategori sangat baik, respons guru sebesar 97,50% dengan kategori sangat praktis, dan respons peserta didik sebesar 85,78% dengan kategori sangat praktis.

Uji coba terbatas menunjukkan adanya peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik, yang ditunjukkan oleh rata-rata nilai *pretest* sebesar 41,13 menjadi 83,96 pada *posttest*, dengan nilai *N-Gain* sebesar 0,71 dalam kategori tinggi. Berdasarkan hasil tersebut, modul ajar berbantuan AR yang dikembangkan dinyatakan valid dan sangat praktis serta menunjukkan potensi dalam mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik pada uji coba terbatas.

SARAN

Modul dapat digunakan sebagai alternatif bahan ajar pada materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Penyempurnaan selanjutnya perlu difokuskan pada tampilan dan penyajian materi, kejelasan petunjuk penggunaan, kemudahan pemindaian objek *Augmented Reality*, konsistensi bahasa, serta penguatan pertanyaan terbuka yang menuntut analisis. Penelitian berikutnya disarankan melibatkan sampel yang lebih luas, kelompok pembanding, dan materi Biologi lain yang memerlukan visualisasi agar efektivitas produk dapat diuji secara lebih kuat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kepala SMA Negeri 1 Tilango, guru Biologi, para validator, serta peserta didik kelas XII 1 yang telah memberikan izin, penilaian, bantuan, dan partisipasi selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

Ahaya, C., Kandowangko, N. Y., Febriyanti, F., Ahmad, J., & Pagalla, D. B. (2025). Comparison of Anatomical Structure of Maize (*Zea mays* L.) Plant of Gorontalo Local Variety Pulut and Momala. *Jurnal Biologi Tropis, 25*(1), 589-598. https://doi.org/10.29303/jbt.v25i1.8483

Ahied, M., & Rosidi, I. (2020). Penerapan Model Pembelajaran *Double Loop Problem Solving* (DLPS) terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Siswa pada Materi Bencana Alam. *Jurnal Luminous: Riset Ilmiah Pendidikan Fisika, 1*(1), 8-19. https://doi.org/10.31851/luminous.v1i1.3442

Anapia, S., Husain, I. H., Mardin, H., Mamu, H. D., & Akbar, M. N. (2024).

Pengembangan Modul Pembelajaran Berbasis *Augmented Reality* pada Materi Sel untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik SMA Negeri 1 Tibawa. *ORYZA: Jurnal Pendidikan Biologi, 13*(2), 263-274. https://doi.org/10.33627/oz.v13i2.2751

Ayulistiana, D., & Yuliani, Y. (2020). The Practicality of Problem Solving E-Book in Plant Growth and Development Material to Train Critical Thinking Skills. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu), 9*(3), 560-564. https://doi.org/10.26740/bioedu.v9n3.p560-564

Hallaby, S. F., & Syahputra, A. (2024). Improving Biology Learning through Augmented Reality Technology in Indonesia: A Review. *JISA (Jurnal Informatika dan Sains), 7*(1), 92-96. https://doi.org/10.31326/jisa.v7i1.2029

Haryani, P., & Triyono, J. (2017). *Augmented Reality* sebagai Teknologi Interaktif dalam Pengenalan Benda Cagar Budaya kepada Masyarakat. *Jurnal SIMETRIS, 8*(2), 807-812. https://doi.org/10.24176/simet.v8i2.1614

Hidayat, F., & Nizar, M. (2021). Model ADDIE (*Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation and Evaluation*) dalam Pembelajaran Pendidikan Agama Islam. *Jurnal Inovasi Pendidikan Agama Islam (JIPAI), 1*(1), 28-38. https://doi.org/10.15575/jipai.v1i1.11042

Hulu, T. D. N., Zega, N. A., Gulo, H., & Harefa, A. R. (2024). Analisis Kemampuan Berpikir Kritis Siswa dalam Konteks Pembelajaran Biologi SMA Negeri 1 Lahewa Timur. *Learning: Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan dan Pembelajaran, 4*(3), 805-812. https://doi.org/10.51878/learning.v4i3.3207

Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Delgado-Kloos, C. (2016). Support for Augmented Reality Simulation Systems: The Effects of Scaffolding on Learning Outcomes and Behavior Patterns. *IEEE Transactions on Learning Technologies, 9*(1), 46-56. https://doi.org/10.1109/TLT.2015.2445761

Indrati, D. A., & Masing, F. A. (2025). Research Trends of Augmented Reality in Biology Learning: A Systematic Literature Review from 2020-2024. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi, 18*(2), 145-159. https://doi.org/10.21009/biosferjpb.53911

Lidiastuti, A. E., Priyanti, N. A., Arsyad, M., & Shobirin, A. (2025). GrowLab: The Effect of Augmented Reality-Based Learning on Secondary School Students' Critical Thinking Skills in Plant Structure Instruction. *Edubiotik : Jurnal Pendidikan, Biologi dan Terapan, 10*(02), 356-364. https://doi.org/10.33503/ebio.v10i02.2155

Lismaya, L., Priyanto, A., & Ayu, P. (2022). Application of Augmented Reality through a Scientific Approach to Students' Critical Thinking Ability. *Indonesian Journal of Learning and Instruction, 5*(1), 31-40. https://doi.org/10.25134/ijli.v5i1.5874

Lu, Z., Chiu, M. M., Wang, S., Mao, W., & Lei, H. (2025). Effects of Augmented Reality on Students' Higher-Order Thinking: A Meta-Analysis. *Journal of Educational Computing Research, 63*(3), 728-747. https://doi.org/10.1177/07356331241309644

Ma'aniyah, S., & Mintohari, M. (2019). Pengembangan Media Kartu Gambar Berbasis *Make a Match* dalam Pemahaman Konsep Materi Gaya Sekolah Dasar. *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar, 7*(2), 2749-2759.

Maulida, U. (2022). Pengembangan Modul Ajar Berbasis Kurikulum Merdeka. *Tarbawi: Jurnal Pendidikan dan Pemikiran Islam, 5*(2), 130-138. https://doi.org/10.51476/tarbawi.v5i2.392

Pradina, L. E., & Yuliani, Y. (2020). Profil Miskonsepsi Siswa pada Materi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan Menggunakan *Three-Tier Multiple Choice Test*. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu), 9*(2), 310-318. https://doi.org/10.26740/bioedu.v9n2.p310-318

Ramdani, A., Purwoko, A. A., Sukarso, A., & Sucilestari, R. (2024). Science Learning Innovation Using Augmented Reality Technology to Achieve Sustainable Development Goals (SDGs) through Increasing Students' Critical Thinking Abilities. *Jurnal Kependidikan: Jurnal Hasil Penelitian dan Kajian Kepustakaan di Bidang Pendidikan, Pengajaran, dan Pembelajaran, 10*(4), 1675-1684. https://doi.org/10.33394/jk.v10i4.12911

Ramdhani, E. P., Khoirunnisa, F., & Siregar, N. A. N. (2020). Efektivitas Modul Elektronik Terintegrasi *Multiple Representation* pada Materi Ikatan Kimia. *Journal of Research and Technology, 6*(1), 162-167. https://doi.org/10.55732/jrt.v6i1.152

Rokhimah, S., & Rejeki, S. (2018). Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Berdasarkan Gaya Belajar pada Pembelajaran dengan Model 4K. *Kontinu: Jurnal Penelitian Didaktik Matematika, 2*(1), 1-13. https://doi.org/10.30659/kontinu.2.1.1-13

Siskayanti, W. D., Nurhidayati, S., & Safnowandi, S. (2022). Pengaruh Model *Problem Based Instruction* Dipadu dengan Teknik *Probing Prompting* terhadap Kemampuan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Kognitif. *Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan, 2*(2), 94-112. https://doi.org/10.36312/pjipst.v2i2.76

Stanič, K., & Špernjak, A. (2025). Augmented Reality in Biology Education: A Literature Review. *Multimodal Technologies and Interaction, 9*(12), 1-16. https://doi.org/10.3390/mti9120117

Sucipta, I. W., Candiasa, I. M., & Sudirtha, I. G. (2023). Pengaruh Model Pembelajaran Berbasis Masalah Ditinjau dari Gaya Kognitif. *Jurnal Penelitian dan Evaluasi Pendidikan Indonesia, 13*(2), 168-178. https://doi.org/10.23887/jpepi.v13i1.2351

Sylvia, F., Ramdhan, B., & Windyariani, S. (2021). Efektivitas *Augmented Reality* terhadap *Higher Order Thinking Skills* Siswa pada Pembelajaran Biologi. *BIODIK, 7*(2), 131-142. https://doi.org/10.22437/bio.v7i2.13034

Waruwu, M. (2024). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan, dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan, 9*(2), 1220-1230. https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141