

PENGEMBANGAN *E-MODUL* BERBANTUAN *AUGMENTED REALITY* MATERI JARINGAN TUMBUHAN UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS MURID

Development of a Guide Inquiry E-module Assisted by Augmented Reality on Plant Tissue Material to Enhance Student's Critical Thinking Skills

Aura Sasi Karim

Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: aura.22074@unesa.ac.id

Yuni Sri Rahayu

Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: yunirahayu@unesa.ac.id

Corresponding author: yunirahayu@unesa.ac.id

Abstrak

Keterampilan berpikir kritis sangat krusial untuk menumbuhkan kreativitas, kerja tim, dan komunikasi, sesuai dengan persyaratan kecakapan abad ke-21. Sementara itu, inovasi pembelajaran yang dapat menawarkan pengalaman belajar interaktif, dinamis, dan bermakna diperlukan karena keterampilan berpikir kritis murid masih perlu diperkuat. Tujuan proyek ini adalah untuk menciptakan modul elektronik (*E-modul*) berbasis *Augmented Reality* dengan panduan pembelajaran yang akan meningkatkan keterampilan berpikir kritis murid terkait dengan isi jaringan tumbuhan. Model 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*) menjadi acuan pada penelitian ini. Guru biologi SMA, ahli media, dan ahli materi mengevaluasi *E-modul* untuk menentukan validitasnya. Grafik *Fry* dan survei reaksi murid digunakan dalam uji keterbacaan untuk menentukan kepraktisan *E-modul*. Tes keterampilan berpikir kritis (tes *pre-test* dan *post-test*) digunakan untuk menentukan seberapa sukses *E-modul* tersebut. 36 murid SMA kelas XI berpartisipasi dalam proyek percontohan. Dengan skor 91,8%, *E-modul* tersebut dianggap otentik, menurut temuan tersebut. Dengan hasil uji keterbacaan pada level 10 dan 11, *E-modul* tersebut dianggap praktis dan sesuai untuk digunakan di kelas 10, 11, dan 12. Temuan kuesioner respons murid adalah 93,06%. Dengan tingkat penyelesaian tes keterampilan berpikir kritis sebesar 100% dan rata-rata *N-gain* sebesar 0,83, *E-modul* tersebut dianggap efektif. Temuan ini mengindikasikan bahwa *E-modul* pengembangan dinyatakan valid, bermanfaat, dan berhasil dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis murid.

Kata Kunci: *E-modul*, Inkuiri Terbimbing, *Augmented Reality*, Berpikir Kritis, Jaringan Tumbuhan.

Abstract

Critical thinking skills are essential for fostering creativity, collaboration, and communication, which are key competencies required in the 21st century. However, students' critical thinking skills still require further improvement, highlighting the need for innovative learning approaches that provide interactive, dynamic, and meaningful learning experiences. This study aimed to develop an Augmented Reality-based electronic module (E-module) integrated with guided inquiry learning to enhance students' critical thinking skills in the context of plant tissue concepts. The research employed the 4D development model, consisting of Define, Design, Develop, and Disseminate stages. The validity of the E-module was evaluated by biology teachers, media experts, and subject matter experts. The practicality of the E-module was assessed through readability testing using the Fry Graph formula and student response questionnaires. The effectiveness of the E-module was determined through critical thinking skills assessments using pre-test and post-test instruments. A total of 36 eleventh-grade senior high school students participated in the limited trial. The results showed that the developed E-module was considered valid, with an overall validity score of 91.8%. The readability test indicated that the E-module was suitable for students in grades 10–12, with readability levels of 10 and 11. Furthermore, student responses toward the E-module reached 93.06%, indicating high practicality. The effectiveness analysis revealed a 100% completion rate and an average N-gain score of 0.83, categorized as high. These findings demonstrate that the developed Augmented Reality-based E-module is valid, practical, and effective in improving students' critical thinking skills in learning plant tissue concepts.

Keywords: *E-modul*, Guided Inquiry, *Augmented Reality*, Critical Thinking, Plant Tissue



PENDAHULUAN

Kompetensi 6C (*Character, Citizenship, Collaboration, Communcation, Creativity, Critical Thinking*) diperlukan untuk menghadapi kompleksitas tantangan pendidikan abad ke-21. Berpikir kritis merupakan kualitas terpenting dari keenam kualitas tersebut karena membantu menghubungkan kemampuan lain untuk pertumbuhan yang signifikan (Trilling dan Fadel, 2009). Kemampuan kognitif tingkat tinggi yang dikenal sebagai berpikir kritis memungkinkan orang untuk mengenali, memeriksa, menilai, serta mengolah informasi untuk menghasilkan pemaknaan lebih komprehensif dan penilaian yang berdasar (Fisher, 2008). Menurut Facione (2013), mencakup 6 indikator berpikir kritis: interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, penjelasan, serta refleksi. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas ini melampaui pemahaman untuk mencakup penalaran logis dan pengendalian diri mental. Akibatnya, peningkatan keterampilan berpikir kritis sangat penting guna membentuk generasi yang kreatif dan adaptif terhadap perubahan global yang cepat.

Namun, masih ada ruang untuk pertumbuhan dalam keterampilan berpikir kritis murid Indonesia (Susilawati *et al.*, 2020). Banyak penelitian menunjukkan betapa mendesaknya keterampilan ini harus dikembangkan dengan menggunakan teknik pembelajaran yang lebih kreatif dan aktif (Hulu *et al.*, 2024; Wayudi *et al.*, 2020; Anggreani *et al.*, 2025). Murid SMA di Surabaya masih memiliki keterampilan berpikir kritis yang sangat rendah, utamanya dalam inferensi, penilaian, dan interpretasi, menurut penelitian Sugiharti dan Gayatri (2021). Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi belum dapat sepenuhnya difasilitasi oleh proses pembelajaran. Kemampuan yang tidak memadai ini sebagian merupakan akibat dari kurangnya integrasi teknologi dalam pendidikan dan terbatasnya ragam materi pembelajaran yang tersedia. Telah dibuktikan bahwa sejumlah aktivitas, termasuk diskusi kelompok terorganisir, praktik membaca kritis, dan latihan eksperimental, meningkatkan analisis, evaluasi, inferensi, dan penjelasan (Ervina dan Muftianti, 2024; Rohman, 2021). Namun, penerapannya di kelas masih perlu dioptimalkan secara metodis.

Modul elektronik telah muncul sebagai sumber daya pendidikan mutakhir yang mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis seiring dengan kemajuan teknologi digital. *E-modul* memiliki keunggulan berupa fitur interaktif, visualisasi menarik, navigasi digital, serta integrasi multimedia seperti video, animasi, dan simulasi. Penggunaan *E-modul* berbasis multimedia terbukti dapat meningkatkan kemampuan analisis serta minat belajar murid karena mendorong keterlibatan aktif dalam mengeksplorasi materi (Pramudita dan Rahayu, 2024; Khasanah dan Indah, 2024). Selain itu, karena kemampuan adaptasinya, pembelajaran mandiri dimungkinkan tanpa batasan waktu dan tempat (Huda *et al.*, 2025). Hal ini sejalan dengan karakteristik murid yang terbiasa menggunakan teknologi digital, yang membuat penggunaan *E-modul* lebih relevan dan berhasil dalam menghasilkan pengalaman belajar yang individual dan bermakna. Proses pembelajaran diperkirakan akan mengalami peralihan dari dominasi peran guru menjadi keterlibatan aktif murid dengan bantuan teknologi ini, memberikan kesempatan kepada murid untuk mengonstruksi pengetahuan secara mandiri.

Kualitas visual jaringan tumbuhan yang tinggi, yang mencakup struktur anatomi dan fungsi fisiologis, menjadikannya topik biologi yang dapat diintegrasikan dengan *E-modul*. Dengan menyajikan visualisasi interaktif termasuk gambar, video, dan animasi 3D, *E-modul* memungkinkan murid untuk memahami topik secara lebih praktis (Wijayanto *et al.*, 2025; Arni *et al.*, 2023). Selain itu, peningkatan 6 indikator berpikir kritis, mencakup analisis, inferensi, interpretasi, eksplanasi, evaluasi, serta refleksi berkaitan dengan pengembangan *E-modul* ini. *E-modul* tidak hanya mendukung komprehensi konsep, bahkan mengembangkan keterampilan berpikir kritis secara kontekstual dan terintegrasi yang disesuaikan dengan kejadian aktual di lingkungan sekitar. Murid juga lebih mampu menghubungkan prinsip-prinsip biologi dengan situasi dunia nyata karena integrasi pengetahuan kontekstual ini.

Potensi pembelajaran semakin meningkat dengan mengintegrasikan *Augmented Reality* (AR) dan model penyelidikan terbimbing untuk memperkuat *E-modul*. Sambil tetap mendapatkan instruksi dari guru, penyelidikan terbimbing mendorong partisipasi aktif murid dalam penemuan ide melalui eksperimen, debat, dan observasi (Kuhlthau *et al.*, 2007). Sementara itu, visualisasi interaktif elemen jaringan tumbuhan 3D yang dimungkinkan oleh integrasi AR menawarkan pengalaman pendidikan yang lebih realistis (Ismayani, 2020). Karena mendorong koneksi langsung dengan materi pembelajaran dan meningkatkan motivasi belajar, pembelajaran berbasis penyelidikan terbimbing dan realitas tertambah telah terbukti dalam beberapa penelitian bermanfaat dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis (Ghifari *et al.*, 2025; Anapia *et al.*, 2024; Sholikhah dan Puspitawati, 2025). Oleh karena itu, diharapkan pembuatan *E-modul* berbasis penyelidikan terbimbing yang terintegrasi dengan AR akan mengurangi kekurangan fasilitas

laboratorium, meningkatkan akses ke kesempatan pendidikan, dan memberikan murid pengalaman belajar lebih menarik, kreatif, dan bermakna. Disamping itu, pembaruan ini berpotensi untuk meningkatkan kualitas pendidikan yang adil, khususnya di sekolah-sekolah dengan ruang laboratorium yang terbatas.

Untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis murid, penelitian ini bertujuan untuk menyusun *E-modul* berbasis penyelidikan terbimbing yang terintegrasi dengan AR tentang kandungan jaringan tumbuhan. Tujuan spesifik penelitian ini dimaksudkan guna menciptakan produk *E-modul* yang memenuhi persyaratan validitas, kepraktisan, dan keefektifan. Oleh karena itu, diharapkan produk yang dibuat akan berfungsi sebagai sumber pengajaran alternatif dan mutakhir yang meningkatkan pendidikan biologi.

METODE

Model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, dan Disseminate*) diterapkan dalam penelitian ini. Analisis konsep dan kurikulum merupakan bagian dari langkah mendefinisikan. Sebuah *E-modul* penyelidikan terbimbing berbasis *Augmented Reality* tentang jaringan tumbuhan dikembangkan selama fase desain. Untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis murid, sebuah *E-modul* penyelidikan terbimbing berbasis *Augmented Reality* tentang jaringan tumbuhan dikembangkan sepanjang tahap pengembangan. Pada Februari 2026, sebuah eksperimen terbatas yang melibatkan murid kelas XI-1 di SMA Negeri 1 Waru dilakukan sebagai bagian dari Program Studi Pendidikan Biologi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Unesa.

Efektivitas, kepraktisan, dan validitas *E-modul* merupakan karakteristik yang diukur. Informasi ini berasal dari lembar validasi yang mencakup kelayakan presentasi, konten, dan bahasa menggunakan skala Likert, yang diisi oleh dua orang validator dan seorang guru biologi di SMA Negeri 1 Waru. Rumus berikut digunakan untuk skor yang dikumpulkan untuk menilai validitas *E-modul*:

$$\text{Skor validitas} = x \ 100\%$$

Kepraktisan diukur menggunakan uji keterbacaan dan juga angket respon murid. Pengujian keterbacaan dengan memanfaatkan Grafik *Fry*, yaitu dengan mengambil tiga sampel teks masing-masing sebanyak 100 kata di bagian awal, tengah, dan akhir modul. Jumlah kalimat dan jumlah suku kata dalam setiap sampel dihitung, kemudian hasilnya direpresentasikan ke dalam Grafik *Fry* guna mengetahui tingkat keterbacaan. Hasilnya menunjukkan apakah *E-modul* berada dalam tingkat bacaan yang sesuai dengan jenjang SMA.

Kemudian respon murid yang menggunakan instrumen berupa angket dalam bentuk *Google Form* yang berisi pernyataan tertutup menggunakan skala Guttman yang terdiri dari dua kriteria jawaban yakni “Ya” dan “Tidak”. Prosedur pelaksanaannya dilakukan setelah murid menyelesaikan pembelajaran menggunakan *E-modul*, dengan tujuan mengetahui apakah *E-modul* mudah digunakan, menarik, serta mendukung aktivitas belajar murid. Berikut merupakan rumus analisis hasil respon murid.

$$\text{Persentase respon} = x \ 100\%$$

Berdasarkan pada rumus tersebut, *E-modul* inkuiri terbimbing berbantuan *Augmented Reality* dapat dikatakan praktis apabila memperoleh rentang hasil respon positif sebesar 76% - 100%.

Keefektifan *E-modul* terhadap indikator berpikir kritis murid dinilai menggunakan instrumen pre-test dan post-test yang disusun berdasarkan indikator berpikir kritis dan diberikan pada pra- dan pasca-penggunaan *E-modul*. Tes dilaksanakan secara daring menggunakan *Quizziz*, dan hasilnya dianalisis dengan menggunakan acuan KKM ≥ 79 untuk melihat ketuntasan hasil pengerjaan pre-test dan post-test. Kenaikan nilai dari *pre-test* ke *post-test* dihitung dengan perhitungan *N-gain*.

$$g =$$

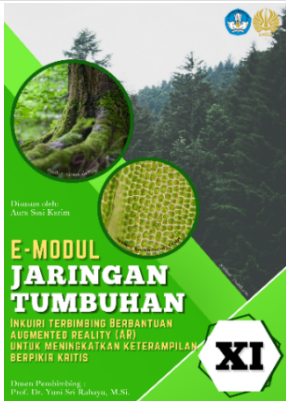
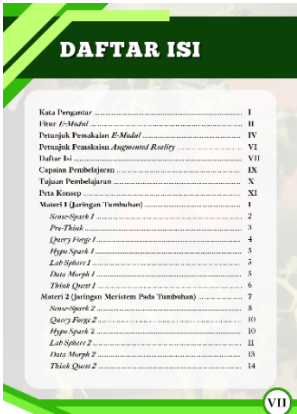
Hasil tes keterampilan berpikir kritis juga dapat dimanfaatkan guna mengukur ketercapaian masing-masing indikator berpikir kritis. Persentase ketercapaian indikator berpikir kritis dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Indikator BK (\%)} = x 100$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sejalan dengan pernyataan Kosasih (2021) bahwa *E-modul* dapat membantu murid dalam mencapai tujuan pembelajaran. Produk yang dihasilkan dalam penelitian pengembangan ini berupa bahan ajar *E-modul* Inkuiri Terbimbing yang dibantu oleh *Augmented Reality* pada bahan jaringan tumbuhan yang dianggap valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis murid kelas XI SMA. *E-modul* hasil pengembangan disusun dalam tiga sub-bab, yaitu jaringan tumbuhan, jaringan meristem, dan jaringan dewasa, dengan komponen meliputi pendahuluan, kegiatan pembelajaran, *pre-test*, *post-test*, dan penutup. Selain itu, *E-modul* dilengkapi berbagai fitur interaktif seperti *Sense Spark*, *Pre-Think*, *Bio-Vault*, *Query Forge*, *Hypo Spark*, *Lab Sphere*, *Datamorph*, *Think Quest*, *Post-Crack*, dan *Self Scale* dan disusun guna meningkatkan keterampilan berpikir kritis, sebagaimana dikemukakan Pudjiastuti dan Sumaryati (2025). Keberadaan fitur-fitur tersebut juga mempermudah murid dalam memahami materi serta memfasilitasi partisipasi aktif murid dalam pembelajaran secara mandiri (Wulandari *et al.*, 2022).

Tabel 3. Detail tampilan *E-modul* Inkuiri Terbimbing Berbantuan *Augmented Reality*

No	Detail Tampilan	Deskripsi
1.		Sampul depan <i>E-modul</i> berisi judul, model pembelajaran, tujuan pengembangan, materi, informasi tentang berbantuan <i>Augmented Reality</i> , nama penulis, dan jenjang sekolah.
2.		Bagian pendahuluan <i>E-modul</i> memuat bagian kata pengantar, penjelasan fitur, petunjuk pemakaian <i>E-modul</i> , petunjuk pemakaian <i>Augmented Reality</i> , daftar isi, Capaian Pembelajaran (CP), tujuan pembelajaran, dan peta konsep materi.

No	Detail Tampilan	Deskripsi
3.		Bagian isi <i>E-modul</i> berisi sub materi jaringan tumbuhan, sub materi jaringan meristem pada tumbuhan, dan sub materi jaringan dewasa pada tumbuhan.
4.		Bagian penutup <i>E-modul</i> berisi daftar pustaka, dan identitas penyusun.
5.		Bagian <i>Augmented Reality</i> yang berisi model 3D dari jaringan tumbuhan.

Salah satu teknik yang diterapkan dalam mengukur tingkat validitas *E-modul* yang dibuat adalah temuan validasi ahli. Tujuan validasi ini adalah untuk memastikan apakah *E-modul* Inkuiri Terbimbing dengan bantuan *Augmented Reality* sesuai untuk digunakan dalam proses pendidikan. Tiga validator ahli materi, ahli media, dan guru biologi di SMAN 1 Waru melakukan prosedur validasi. Lembar validasi yang mencakup tiga aspek utama kesesuaian konten, kesesuaian presentasi, dan kesesuaian bahasa digunakan untuk mengevaluasi validitas *E-modul* tersebut. **Tabel 4.** memberikan gambaran umum temuan validator untuk *E-modul* Inkuiri Terbimbing menggunakan AR pada materi Jaringan Tumbuhan.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil validasi oleh 3 validator

No.	Aspek Kelayakan	Total Hasil Validator			Total	Rata-rata
		V1	V2	V3		
1.	Kelayakan penyajian	89	92	77	258	93,1 (valid)
2.	Kelayakan isi	156	162	123	441	90,5 (valid)
3.	Kelayakan bahasa	32	32	24	88	91,7 (valid)
Total Keseluruhan					812	
Rata-rata keseluruhan					91,8 (valid)	

Tabel 4. menunjukkan bahwa para validator memberikan nilai memuaskan pada *E-modul* Inkuiri Terbimbing berbantuan *Augmented Reality* yang dihasilkan, dengan persentase 93,1% untuk kompatibilitas konten, 90,5% untuk presentasi, dan 91,7% untuk bahasa, yang semuanya termasuk dalam kategori valid. Secara keseluruhan, nilai rata-rata untuk ketiga faktor ini adalah 91,8%, diklasifikasikan sebagai valid, yang berarti bahwa *E-modul* tersebut memenuhi persyaratan kelayakan dan dapat digunakan sebagai alat pengajaran untuk jaringan tumbuhan, dengan beberapa penyesuaian kecil seperti yang direkomendasikan oleh para validator.

Menurut **Tabel 4.**, komponen kesesuaian konten *E-modul* Inkuiri Terbimbing dengan *Augmented Reality* dianggap sah dengan nilai validasi rata-rata 90,5%. Kesesuaian dengan tujuan dan sasaran pembelajaran, struktur materi, kemutakhiran, kelengkapan komponen, dan integrasi sintaksis penyelidikan terbimbing dan indikator berpikir kritis termasuk di antara komponen yang dievaluasi. Temuan tersebut menandakan bahwa *E-modul* dapat membantu murid meningkatkan keterampilan berpikir kritis mereka dan memiliki komponen pembelajaran yang sistematis (Ginting *et al.*, 2023).

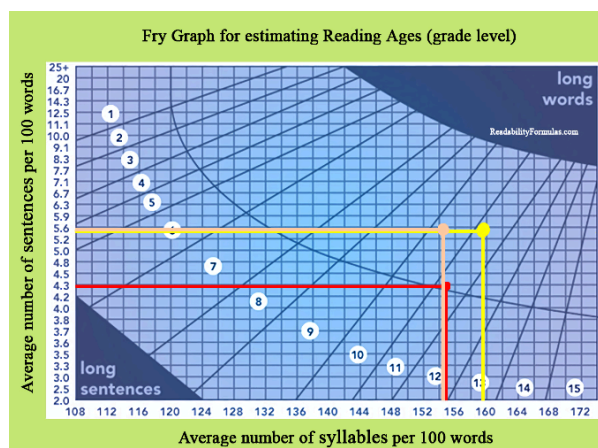
Dengan skor rata-rata 93,1%, komponen kelayakan presentasi dianggap valid. Penampilan, desain, konsistensi format, dan pemanfaatan materi termasuk foto, film, dan realitas ditambah semuanya diperiksa dalam evaluasi. Menurut Wardhani *et al.* (2022), yang menekankan pentingnya presentasi konten yang konsisten dan terintegrasi, temuan ini menunjukkan bahwa *E-modul* diorganisir secara metodis, menarik, dan interaktif, sehingga memudahkan murid untuk mengikuti alur pembelajaran secara koheren.

Sementara itu, komponen kelayakan linguistik menerima skor rata-rata valid sebesar 91,7%. Evaluasi mempertimbangkan kesesuaian bahasa untuk pertumbuhan murid, kaidah bahasa Indonesia, dan penggunaan bahasa yang jelas, efektif, dan komunikatif. Temuan ini menunjukkan bahwa *E-modul* idealnya mendukung proses pembelajaran menggunakan bahasa lugas dan sesuai tingkat pemahaman murid (Ginting *et al.*, 2023).

Uji keterbacaan dengan Grafik *Fry* dapat digunakan untuk mengevaluasi kegunaan *E-modul* Inkuiri Terbimbing (*Guided Inquiry*) dengan *Augmented Reality*. Tes membaca dilakukan sebelum uji coba terbatas dengan 36 murid. Sampel bacaan digunakan untuk menentukan hasil tes keterbacaan untuk *E-modul* yang dihasilkan, yang ditunjukkan pada **Tabel 5.** di bawah ini.

Tabel 5. Hasil perhitungan keterbacaan *E-modul*

Sampel Bacaan	Hlmn	Σ Kalimat	Σ Suku Kata	Σ Suku Kata (0,6)	Level
Awal	2	4	259	155,4	11
Tengah	9	5	264	158,4	11
Akhir	17	5	258	154,8	10
Rata-rata		4,7	260	156,2	11



Gambar 1. Hasil Grafik Fry

Tiga sampel bacaan masing-masing berisi 100 kata, yang mewakili bagian awal, tengah, dan akhir *E-modul*, digunakan pada uji keterbacaan. Jumlah kalimat dan suku kata dalam setiap sampel kemudian dihitung menggunakan Grafik Fry. (Fatin dan Yunianti, 2018).. Sampel diambil dari submateri jaringan tumbuhan, jaringan meristem, dan jaringan dewasa. Hasil uji menunjukkan bahwa bagian awal dan tengah berada pada level 11, sedangkan bagian akhir pada level 10, sehingga *E-modul* dinyatakan sesuai untuk murid kelas XI SMA dan memenuhi kriteria praktis dari segi keterbacaan (Fatin dan Yunianti, 2018).

Tabel 6. Hasil perhitungan angket respon

No.	Aspek yang Dinilai	Persentase Jawaban “Ya”	Kategori
1.	Aspek isi	93,45%	Positif
2.	Aspek penyajian dan tampilan <i>E-modul</i>	89,58%	Positif
3.	Aspek bahasa	97,22%	Positif
Persentase keseluruhan		93,06%	Positif

Berdasarkan Tabel 6. aspek isi *E-modul* memperoleh rata-rata jawaban “Ya” sebesar 93,45% (kategori positif), meskipun belum maksimal karena masih terdapat beberapa istilah yang kurang mudah dipahami oleh murid. Aspek tampilan dan penyajian memperoleh 89,58% (kategori positif), namun belum optimal akibat keterbatasan akses melalui gawai yang membuat tampilan kurang jelas dibandingkan penggunaan laptop atau komputer. Sementara itu, aspek bahasa memperoleh 97,22% (kategori positif), walaupun masih terdapat beberapa murid yang memerlukan bantuan dalam memahami beberapa istilah. Secara keseluruhan, berdasarkan uji keterbacaan dan angket respon murid, *E-modul* Inkuiri Terbimbing berbantuan *Augmented Reality* dinyatakan praktis untuk digunakan dalam pembelajaran jaringan tumbuhan kelas XI SMA.

Tabel 7. Hasil perhitungan *N-gain* keterampilan berpikir kritis

No. Absen	<i>Pre-test</i>		<i>Post-test</i>		<i>N-gain</i>	Kriteria <i>N-gain</i>
	Nilai	Kriteria	Nilai	Kriteria		
1.	63	TT	100	T	1,00	Tinggi
2.	62	TT	90	T	0,70	Tinggi
3.	62	TT	95	T	0,85	Tinggi
4.	44	TT	95	T	0,90	Tinggi
5.	67	TT	100	T	1,00	Tinggi
6.	64,5	TT	90	T	0,67	Tinggi
7.	67	TT	95	T	0,85	Tinggi
8.	67	TT	88	T	0,64	Sedang

No. Absen	<i>Pre-test</i>		<i>Post-test</i>		<i>N-gain</i>	Kriteria <i>N-gain</i>
	Nilai	Kriteria	Nilai	Kriteria		
9.	24	TT	86	T	0,82	Tinggi
10.	47	TT	86	T	0,74	Tinggi
11.	71	TT	95	T	0,83	Tinggi
12.	43	TT	83	T	0,79	Tinggi
13.	44,5	TT	88	T	0,78	Tinggi
14.	35,5	TT	93	T	0,81	Tinggi
15.	48	TT	90	T	0,81	Tinggi
16.	68,5	TT	90	T	0,68	Sedang
17.	56	TT	100	T	1,00	Tinggi
18.	67	TT	93	T	0,79	Tinggi
19.	62,5	TT	93	T	0,78	Tinggi
20.	63	TT	90	T	0,73	Tinggi
21.	64,5	TT	90	T	0,67	Tinggi
22.	52	TT	90	T	0,79	Tinggi
23.	61	TT	90	T	0,71	Tinggi
24.	41	TT	91	T	0,85	Tinggi
25.	64	TT	85	T	0,58	Sedang
26.	50	TT	90	T	0,80	Tinggi
27.	53	TT	95	T	0,89	Tinggi
28.	57	TT	86	T	0,63	Sedang
29.	61	TT	91	T	0,74	Tinggi
30.	57	TT	100	T	1,00	Tinggi
31.	58	TT	100	T	1,00	Tinggi
32.	61	TT	91	T	0,77	Tinggi
33.	44,5	TT	100	T	1,00	Tinggi
34.	60	TT	100	T	1,00	Tinggi
35.	63,5	TT	100	T	1,00	Tinggi
36.	63	TT	95	T	0,84	Tinggi
Rata-rata	56,58	TT	92,61	T	0,83	Tinggi
Σ Murid tuntas <i>pre-test</i>					0	
Persentase ketuntasan <i>pre-test</i>					0%	
Σ Murid tidak tuntas <i>pre-test</i>					36	
Σ Murid tuntas <i>post-test</i>					36	
Persentase ketuntasan <i>post-test</i>					100%	
Σ Murid tidak tuntas <i>post-test</i>					0	
Σ Murid dengan peningkatan tinggi					32	
Σ Murid dengan peningkatan sedang					4	

Keterangan :

T : Tuntas; TT : Tidak tuntas

Keterangan kriteria *N-gain* :

(<g>) > 0,70 : Tinggi; 0,70 > (<g>) > 0,30 : Sedang; (<g>) < 0,30 : Rendah

Hasil ujian keterampilan berpikir kritis yang menggunakan *pre-test* dan *post-test* digunakan guna mengevaluasi efektivitas *E-modul*, sebagaimana disajikan pada **Tabel 7**. Nilai rata-rata *N-gain* kategori tinggi adalah 0,83. Hasil ini mengindikasikan adanya peningkatan signifikan pada murid sesuai belajar menggunakan *E-modul* Inkuiri Terbimbing dengan *Augmented Reality*, menjadi lebih proaktif dalam memperoleh dan menganalisis materi sendiri. Hal ini

mendukung temuan Wulandari *et al.* (2022), yang mengemukakan bahwa *E-modul* dapat meningkatkan kebebasan dan keterlibatan belajar murid.

Data penyelesaian hasil belajar pada **Tabel 7.** mendukung efektivitas *E-modul*. Sebelum pembelajaran, tidak ada murid yang mencapai ketuntasan; namun, setelah pembelajaran, setiap murid mencapai ketuntasan. Selain itu, tidak ada murid yang termasuk dalam kategori rendah, sementara mayoritas murid (83,33%) termasuk dalam kategori peningkatan tinggi. Murid yang tersisa tergolong kategori sedang. Ini mengindikasikan bahwa semua tingkat keterampilan murid mengalami peningkatan.

Tabel 8. Hasil ketercapaian indikator berpikir kritis

Indikator Berpikir Kritis	Ketercapaian Indikator Berpikir Kritis (%)						<i>N-gain</i>	K
	No	Nilai	K	No	Nilai	K		
Analisis	1, 4	69,44	CB	2, 6	93,06	B	0,77	Tinggi
Inferensi	2, 6	73,61	CB	5, 7	88,89	B	0,58	Sedang
Evaluasi	3, 8	65,97	CB	3, 8	98,61	B	0,96	Tinggi
Eksplanasi	9, 10	30,14	KB	9, 10	86,25	B	0,80	Tinggi
Interpretasi	11, 12	51,39	KB	11, 12	90,69	B	0,81	Tinggi
Refleksi	5, 7	63,89	CB	1, 4	95,83	B	0,88	Tinggi

Keterangan :

K : Kriteria

Keterangan kriteria ketercapaian berpikir kritis :

76%-100%: B (Baik); 51%-75%: CB (Cukup Baik); 26%-50%: KB (Kurang Baik); 0%-25%: TB (Tidak Baik).

Peningkatan juga terlihat pada ketercapaian indikator berpikir kritis yang ditunjukkan pada **Tabel 8.** di mana seluruh indikator mengalami peningkatan. Indikator evaluasi menunjukkan peningkatan paling tinggi yakni sebesar 0,96 (tinggi); diikuti oleh refleksi, interpretasi, eksplanasi, dan analisis secara berurutan yakni sebesar 0,88 (tinggi); 0,81 (tinggi); 0,80 (tinggi); 0,77 (tinggi). Dengan peningkatan sedang sebesar 0,58, indikator inferensi mengalami pertumbuhan paling sedikit. Temuan tersebut menegaskan bahwa pembelajaran berbantuan *E-modul* dapat mendorong beberapa aspek berpikir kritis, seperti yang dijelaskan oleh Facione (2013).

Menurut studi Tabel 8 tentang setiap sinyal, fitur *E-modul* termasuk *Lab Sphere*, *Bio Vault*, *Query Forge*, *Hypo Spark*, *Think Quest*, dan *Self Scale* meningkatkan pengembangan keterampilan berpikir kritis. Untuk mendorong partisipasi aktif murid dalam pembelajaran, aspek-aspek ini dibuat sesuai dengan sintaksis penyelidikan terbimbing, yang terdiri dari orientasi masalah, perumusan masalah, pengajuan hipotesis, pengumpulan data, analisis data, penarikan kesimpulan, dan refleksi (Kuhlthau *et al.*, 2007; Sanjaya, 2006). Meskipun demikian, capaian indikator inferensi yang lebih rendah dipengaruhi oleh keterbatasan waktu pembelajaran dan kompleksitas dalam menyusun hipotesis (Santoso, 2024).

Tabel 9. *N-gain* pada sub materi jaringan tumbuhan

Tujuan Pembelajaran	Sub Materi	<i>N-gain</i>	Kategori
Setelah mengamati preparat jaringan tumbuhan, murid mampu menganalisis hubungan antara struktur jaringan dan fungsinya dengan menguraikan minimal dua contoh jaringan dan fungsinya secara tepat.	Jaringan dewasa (jaringan dasar, dan jaringan penyokong)	0,77	Tinggi
Berdasarkan hasil observasi dan literatur, murid mampu menyimpulkan peran jaringan dalam mendukung proses fisiologis tumbuhan dengan minimal satu kesimpulan yang logis dan didukung data.	Jaringan meristem, dan jaringan dewasa (<i>xylem</i> , dan jaringan pelindung)	0,58	Sedang

Tujuan Pembelajaran	Sub Materi	<i>N-gain</i>	Kategori
Setelah melakukan kegiatan pembelajaran, murid mampu mengevaluasi ketepatan pemahamannya tentang struktur dan fungsi jaringan tumbuhan berdasarkan bukti ilmiah dari hasil observasi dan literatur yang valid untuk menyusun perbaikan konsep secara logis dan tepat.	Jaringan meristem, jaringan penguat, dan <i>floem</i>	0,96	Tinggi
Sebelum kegiatan pembelajaran, murid mampu membangun pengetahuan awalnya tentang struktur dan fungsi jaringan tumbuhan pada organ daun, akar, dan batang menggunakan istilah biologi yang sesuai.	Fungsi dan peran jaringan tumbuhan, dan jaringan meristem	0,80	Tinggi
Setelah melakukan eksplorasi menggunakan media AR, murid mampu mengkategorikan jenis-jenis jaringan tumbuhan berdasarkan fungsi dan lokasinya dengan benar pada minimal 3 jaringan tumbuhan.	Fungsi dan peran jaringan dewasa	0,81	Tinggi
Setelah melakukan kegiatan pembelajaran, murid mampu menilai proses dan hasil belajarnya tentang jaringan tumbuhan dengan mengidentifikasi bagian konsep yang sudah dan belum dipahami serta menyadari miskonsepsi yang terjadi untuk memperbaiki pemahaman secara mandiri.	Jaringan dewasa (jaringan dasar, jaringan penyokong, jaringan pengangkut)	0,88	Tinggi

Berdasarkan **Tabel 9**, sub materi jaringan dewasa yang meliputi jaringan dasar, jaringan penyokong, dan jaringan pengangkut diperoleh nilai *N-gain* sebesar 0,77 dan 0,85 dengan kategori tinggi. Peningkatan pemahaman murid dipengaruhi oleh penggunaan *E-modul* berbantuan *Augmented Reality* yang membantu murid mengamati struktur jaringan secara lebih jelas, serta tahapan inkuiri terbimbing yang melatih murid melakukan pengamatan, analisis, dan penarikan kesimpulan. Pada sub materi jaringan meristem, Bagian jaringan dewasa dan jaringan pelindung memiliki skor *N-gain* 0,58, yang diklasifikasikan sebagai sedang. Karena murid masih kesulitan memahami hubungan antara jaringan yang lebih kompleks, namun murid masih dapat melihat posisi dan bentuk jaringan berkat *E-modul* yang dibantu AR. Selain itu, subtopik tentang jaringan meristem, jaringan penguat, dan *floem* menerima skor 0,96, yang termasuk tinggi karena murid mampu membedakan antara sifat dan fungsi jaringan melalui pengamatan dan analisis berkat visualisasi tiga dimensi dalam realitas tertambah. Subtopik tentang peran dan fungsi jaringan dewasa dan jaringan tumbuhan termasuk tinggi dengan nilai masing-masing sebesar 0,80 dan 0,81.

Selain itu, penggunaan AR dalam *E-modul* menghadirkan pengalaman belajar yang lebih autentik bagi murid dengan memvisualisasikan jaringan tumbuhan dalam tiga dimensi, yang membantu pemahaman mereka tentang ide-ide abstrak. Selain itu, penggunaan AR mendorong investigasi mandiri dan keterlibatan aktif, yang meningkatkan kemampuan analitis dan interpretatif. Hasil ini mendukung temuan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa AR dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis melalui pembelajaran berbasis pengalaman dan visualisasi interaktif (Ghifari *et al.*, 2025; Anapia *et al.*, 2024; Kuswinardi *et al.*, 2023).

PENUTUP

Simpulan

Pengembangan *E-modul* Inkuiri Terbimbing berbantuan *Augmented Reality* pada materi jaringan tumbuhan dianggap tepat untuk diterapkan berdasarkan temuan dan diskusi karena memenuhi persyaratan validitas, kepraktisan, dan efektivitas. Dengan kategori valid dan tingkat validitas 91,8%, *E-modul* ini tepat digunakan sebagai bahan pembelajaran. Secara praktis, *E-modul* ini sesuai untuk murid kelas XI SMA dengan tingkat literasi 10-11, dan 93,06% murid memberikan respons positif. Sementara itu, dapat disimpulkan bahwa *E-modul* ini efektif dalam mendukung proses pembelajaran karena mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis murid dengan nilai *N-gain* 0,83 (kategori

tinggi) dan pencapaian enam indikator keterampilan berpikir kritis, yaitu evaluasi; refleksi; analisis; interpretasi; penjelasan; dan inferensi, secara berurutan meningkat dengan hasil *N-gain* 0,96 (tinggi); 0,88 (tinggi); 0,82 (tinggi); 0,81 (tinggi); 0,80 (tinggi); dan 0,58 (sedang).

Saran

Mempertimbangkan penelitian yang dilakukan, dianjurkan agar alokasi waktu pembelajaran direncanakan lebih efektif sehingga setiap tahap inkuiri terbimbing dapat berjalan optimal. Selain itu, perlu adanya pengarahan awal terkait penggunaan *Augmented Reality* serta dukungan sarana seperti gawai dan internet yang memadai. Instruksi dalam *E-modul* juga perlu disusun lebih jelas dan sistematis, serta pengembangan lembar jawaban yang lebih interaktif selain *Google Form*. Pengembangan lanjutan pada tampilan, fitur, konten, dan kualitas visualisasi AR juga diperlukan agar lebih menarik dan realistis. Terakhir, *E-modul* disarankan untuk diuji pada jangkauan yang lebih luas agar hasil penelitian lebih general.

Ucapan Terima Kasih

Para penguji dan validator yang memeriksa dan mengevaluasi *E-modul*, Prof. Dr. Yuliani, M.Si., dan Dr. Ahmad Bashri, S.Pd., M.Si., dihormati dan diapresiasi oleh peneliti. Untuk memastikan kelancaran kegiatan penelitian, peneliti juga berterima kasih kepada SMA Negeri 1 Waru atas izin yang diberikan untuk mengumpulkan data untuk penelitian ini. Kepala SMA Negeri 1 Waru, Ibu Laila Mufida, S.Pd., M.Pd., telah mengizinkan, mendukung, dan memungkinkan pelaksanaan penelitian ini. Ibu Alifvia Dewi Pramesthi, S.Pd., yang bertugas sebagai validator dan guru biologi. Dan terima kasih kepada setiap murid kelas XI-1 di SMA Negeri 1 Waru yang telah bersedia terlibat dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Anggreani, I., Sumarni, W., Kadarwati, S. (2025). Tingkat Keterampilan Berpikir Kritis pada Siswa Sekolah Menengah Atas. *JHIP (Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan)*, 8(3), 2574-2580.
- Arni, R., Helmita, R., Haviz, M., Rizki. (2023). *E-modul* Menggunakan Aplikasi EPUB Pada Jaringan Tumbuhan Untuk Siswa Kelas XI Madrasah Aliyah. *Edusainstika: Jurnal Pembelajaran IPA*, 3(1), 24-29.
- Ervina, Muftianti, A. (2024). Penggunaan Metode Eksperimen Untuk Mengukur Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Kelas IV Tentang Pokok Bahasan Energi Panas. *COLLASE: Creative of Learning Students Elementary Educations*, 7(2), 374-381.
- Facione, P. A. (2013). *Critical Thinhking: What It and Whhy it Counts*. California: The California Academic Press.
- Fatin, I., Yuniarti, S. (2018). *Bahan Ajar Keterbacaan*. Surabaya: UM Surabaya Publishing.
- Fisher, A. (2008). *Berpikir Kritis: Sebuah Pengantar* (Hadinata, B. Penerjemah). Jakarta Timur: Penerbit Erlangga.
- Ghifari, Y., Rienovita, E., Amelia, D. (2024). Penggunaan *Augmented Reality* Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dalam Pembelajaran IPA. *Jurnal Education and Development*, 13(1), 28-36.
- Ginting, D. O. B., Argiandhini, S. R., Suwandi, S. 2023. Analisis Kualitas Buku Teks Bahasa Indonesia Kurikulum Merdeka Belajar. *RODE: Jurnal Bahasa*, 12: 107-120.
- Huda, M., Hakim, F., Zamakhsari, A., Nabil. (2025). Mengoptimalkan Pembelajaran Di Era Digital Sebagai Upaya Meningkatkan Kualitas Pendidikan Di Indonesia. *Al-Marshalah*, 9(1), 37-49.
- 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.
- Ismayani, A. (2020). *Membuat Sendiri Aplikasi Augmented Reality*. Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Khasanah, U., Indah, N. K. (2024). Pengembangan *E-modul* Berbasis *Problem Based Learning* Pada Materi Keanekaragaman Hayati Untuk Melatihkan Berpikir Kritis Peserta Didik. *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 13(3): 699-704.
- Kosasih, E. (2021). *Pengembangan Bahan Ajar*. Bumi Aksara. Jakarta Timur.

- Kuhlthau, C. C., Maniotes, L. K., Caspari, A. K. (2007). *Guided Inquiry Learning In The 21st Century*. Westport: Libraries Unlimited.
- Kuswinardi, I. W., Rachman, A., Taswin, M. Z., Pitra, D. H., Oktiawati, U. Y. 2023. Efektivitas Pemanfaatan Aplikasi *Augmented Reality* (AR) Dalam Pembelajaran Di SMA: Sebuah Tinjauan Sistematis. *Jurnal Review Dan Pengajaran*, 6(3): 556-563.
- Pramudita, I. C., Rahayu, Y. S. (2024). Validitas *E-modul* Ineraktif Berbasis *Discovery Learning* Pada Materi Jaringan dan Organ Tumbuhan Untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Kelas XI SMA. *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 13(3): 732-740.
- Pudjiastuti, R., Sumaryati, S. (2025). Penggunaan *E-modul* Berbasis Pemecahan Masalah sebagai Upaya Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik pada Mata Pelajaran Akuntansi Kelas XI AKL 3 SMK Negeri Jenawi. *Pubmedia Jurnal Penelitian Tindakan Kelas Indonesia*, 2(2): 1-11.
- Rohman, S. (2021). *Berpikir Kritis: Kaidah Penerang untuk Hidup Benar dan Selamat Menghadapi Banjir Informasi dan Hoaks*. Jakarta: Pustaka Alvabet.
- Sanjaya, W. (2006). Strategi Pembelajaran. Kencana Prenada Media Group. Jakarta.
- Santoso, H. (2024). *Efektifitas Pembelajaran Inkuiri Berbasis Kooperatif: Strategi dan Implementasinya*. Malang: Literasi Nusantara Abadi Grup.
- Sholikhah, M., Puspitawati, R. P. (2025). Tinjauan Literatur *Augmented Reality* Pada Pembelajaran Biologi dalam Melatihkan Literasi Digital Pada Artikel. *BioEdu*, 14(1), 240-248.
- Sugiharti, N., Gayatri, Y. (2021). Profil Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA Muhammadiyah Kota Surabaya Pada Pembelajaran Biologi. *Jurnal Pendago Biologi*, 9(1), 34-40.
- Susilawati, E., Agustinasari, Samsudin, A., Siahaan, P. (2020). Analisis Tingkat Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 6(1), 11-16.
- Trilling, B., Fadel, C. (2009). *21st Century Skills: Learning For Life in Our Times*. San Fransisco: Jossey-Bass.
- Wardhani, F. P., Fiamanillah, Islamiyah, H. Y., Zulfadilla, I., Pajriansyah, Mukhlis, M. (2022). Analisis Kelayakan Penyajian Buku Teks Bahasa Indonesia Kelas XI Kurikulum 2013 Edisi Revisi 2017. *SAJAK: Sastra, Bahasa, dan Pembelajaran Bahasa dan Sastra*, 1(1), 156-167.
- Wayudi, M., Suwatno, Santoso, B. (2020). Kajian Analisis Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Menengah Atas. *Jurnal Pendidikan Manajemen Perkantoran*, 5(1), 67-82.
- Wijayanto, R., Rinanto, Y., Muzzazinah. (2025). Pengembangan *E-modul* Struktur dan Fungsi Jaringan Tumbuhan Bagi Peserta Didik Kelas XI SMA. *Bio-Pedagogi: Jurnal Pembelajaran Biologi*, 12(1), 36-44.
- Wulandari, D. D., Adnyana, P. B., Santiasa, I. M. P. A. (2022). Penerapan *E-modul* Interaktif Terhadap Motivasi dan Hasil Belajar Siswa pada Pembelajaran Biologi Kelas X. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, 7(2), 66-80.