

Pengembangan E-Modul *Case Based Learning* Berbantuan *Augmented Reality* Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik Pada Mata Pelajaran Informatika SMP

Marcel Prastiko Arthana*, I Komang Sudarma, Ni Nyoman Parwati,
Ketut Agustini, I Wayan Sukra Warpala
Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Indonesia
*marcel.prastiko@student.undiksha.ac.id

Abstract

The problem of low critical thinking skills among grade VII students in informatics at SMP Negeri 4 Singaraja is closely linked to the persistent use of conventional teaching methods. These traditional approaches often lack interactivity, limiting students' understanding of abstract technical concepts like computer networks and algorithms. To address this pedagogical gap, this study aims to develop an interactive e-module based on the case based learning model, integrated with augmented reality technology to facilitate an immersive learning experience. This research and development study adopted the ADDIE instructional model and employed a one-group pretest-posttest design. Data were collected using expert validation sheets, practicality questionnaires, and higher order thinking skills oriented critical thinking tests. The effectiveness was analyzed using the N-gain index, paired sample t-tests, and Cohen's d effect size. The results indicate that the AR based CBL e-module achieved a 100% validity score based on expert evaluations, along with excellent practicality scores of 91% from students and 100% from teachers. Furthermore, the field test showed a statistically significant improvement in students' critical thinking skills ($p < 0.001$) with a large effect size of 3.955, reflecting a strong positive impact on learning outcomes. In conclusion, the AR assisted CBL e-module is a highly valid, practical, and effective educational tool. This study contributes to the educational technology literature by demonstrating how integrating 3D visual scaffolding with authentic case scenarios successfully overcomes cognitive barriers and fosters higher-order thinking.

Keywords: *Augmented Reality; Case-based Learning; Critical Thinking; E-module; Informatics*

Abstrak

Permasalahan rendahnya keterampilan berpikir kritis siswa kelas VII pada mata pelajaran Informatika di SMP Negeri 4 Singaraja berkaitan erat dengan penggunaan metode pembelajaran konvensional. Pendekatan tradisional ini kerap membatasi pemahaman siswa terhadap konsep teknis yang abstrak, seperti jaringan komputer dan algoritma. Untuk mengatasi celah pedagogis tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan e-modul interaktif berbasis *case based learning* yang diintegrasikan dengan teknologi *augmented reality*. Penelitian *research and development* ini menggunakan model instruksional ADDIE dengan rancangan *one-group pretest-posttest*. Pengumpulan data dilakukan melalui lembar validasi ahli, angket kepraktisan, dan tes berpikir kritis berorientasi *higher order thinking skills*. Analisis data efektivitas menggunakan indeks *N-gain*, *paired sample t-test*, dan *effect size Cohen's d*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul CBL berbantuan AR mencapai skor kevalidan 100% ("Sangat Valid") berdasarkan evaluasi pakar, serta skor kepraktisan yang sangat memuaskan sebesar 91% dari siswa dan 100% dari guru. Selanjutnya, uji lapangan

menunjukkan peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa yang signifikan secara statistik ($p < 0,001$) dengan perolehan nilai *effect size* sebesar 3,955, yang merepresentasikan dampak positif yang kuat terhadap hasil belajar. Disimpulkan bahwa e-modul CBL berbantuan AR terbukti sangat valid, praktis, dan efektif sebagai instrumen pendidikan. Penelitian ini berkontribusi pada literatur teknologi pendidikan dengan menunjukkan bagaimana integrasi visualisasi 3D dan skenario kasus nyata mampu mengatasi hambatan kognitif serta mendorong pemikiran tingkat tinggi.

Kata Kunci: *Augmented Reality; Case Based Learning; Berpikir Kritis; E-Modul; Informatika*

Pendahuluan

Transformasi sistem pendidikan saat ini menuntut perubahan paradigma yang berorientasi pada kompetensi abad ke-21, di mana siswa dituntut untuk menguasai keterampilan berpikir kritis, kolaborasi, dan pemecahan masalah (Tymchuk et al., 2021). Keberhasilan transformasi ini sangat bergantung pada pemanfaatan teknologi pendidikan yang inovatif untuk menyeimbangkan penguasaan konten teori dan keterampilan praktis (Utama et al., 2024). Namun, realitas di SMP Negeri 4 Singaraja menunjukkan adanya kesenjangan antara harapan kurikulum dan implementasi di kelas, khususnya pada mata pelajaran informatika kelas VII. Observasi lapangan mengungkap bahwa capaian praktik dan kemampuan berpikir kritis siswa masih berada di bawah rata-rata. Akar permasalahan tersebut bermula pada rutinitas pembelajaran yang masih didominasi oleh metode konvensional berbasis media cetak dan presentasi searah, sehingga memicu kebosanan dan rendahnya interaktivitas (Darmawan et al., 2024).

Karakteristik materi informatika yang penuh dengan konsep teknis dan abstrak, seperti jaringan komputer, analisis data, dan algoritma, menjadi beban kognitif yang sangat berat bagi siswa tanpa adanya visualisasi konkret (Suciani et al., 2022). Kondisi ini bertentangan dengan teori *flow* dan teori kondisi pembelajaran (Ramma et al., 2025), di mana keterbatasan variasi media menyebabkan siswa yang cepat paham menjadi lekas bosan, sementara siswa yang lambat merasa frustrasi. Akibatnya, motivasi intrinsik menurun dan fokus belajar di dalam kelas menjadi terpecah. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, langkah dasar yang diusulkan adalah transisi menuju pemanfaatan e-modul interaktif. Sebagai wujud transformasi, e-modul menawarkan fleksibilitas yang lebih adaptif untuk mengakomodasi pembelajaran mandiri yang berpusat pada peserta didik (Sudarma & Sukmana, 2022).

Akan tetapi, e-modul konvensional belum cukup untuk memecahkan masalah abstraksi materi spasial dan prosedural pada keilmuan informatika. Oleh karena itu, e-modul ini diintegrasikan dengan teknologi *augmented reality* untuk memberikan proyeksi visual 3D yang nyata (Agustini et al., 2023). Agar teknologi imersif ini berdampak langsung pada pengasahan daya nalar, penggunaannya dibingkai secara pedagogis menggunakan model *case based learning* (Parwati et al., 2022). Keterpaduan antara pemecahan studi kasus nyata pada CBL dan visualisasi AR ini sejalan dengan *cognitive theory of multimedia learning* yang dikemukakan oleh Mayer (2005), yang memastikan keseimbangan pemrosesan informasi tanpa menimbulkan beban kognitif berlebih. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada sintesis holistik antara e-modul, teknologi AR, dan sintaks CBL. Berbagai studi empiris terdahulu telah membuktikan bahwa AR efektif menurunkan tingkat miskonsepsi, dan model CBL mampu melatih pemecahan masalah secara kontekstual (Warpala, 2006). Namun, belum ada penelitian yang meramu ketiganya secara terintegrasi untuk membidik kemampuan berpikir kritis secara komprehensif.

Berpijak pada analisis kebutuhan yang didasarkan pada pendekatan *need based research* bersama pihak sekolah, terdapat urgensi yang tinggi untuk segera merumuskan solusi atas permasalahan yang teridentifikasi. Secara spesifik, rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada bagaimana tingkat kevalidan, kepraktisan, serta keefektifan media yang dikembangkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengembangkan e-modul interaktif berbasis *case based learning* berbantuan *augmented reality* pada mata pelajaran informatika SMP, (2) menguji tingkat kevalidan produk berdasarkan pengujian ahli, (3) mengevaluasi tingkat kepraktisan media bagi pendidik dan peserta didik, serta (4) menganalisis dan membuktikan efektivitas e-modul secara empiris dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik.

Metode

Penelitian ini merupakan *research and development* menggunakan model ADDIE yang terdiri dari tahap analisis, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Subjek penelitian terdiri atas tiga validator yaitu ahli materi, ahli desain, ahli media, dan dua pendidik mata pelajaran informatika, serta siswa kelas VII SMP Negeri 4 Singaraja. Uji coba produk melibatkan 3 siswa untuk uji coba perorangan, 8 siswa untuk uji coba kelompok kecil, dan 30 siswa untuk uji coba lapangan dengan rancangan *one-group pretest-posttest*. Penentuan informan dan subjek dilakukan secara *purposive sampling* dengan kriteria inklusi berupa peserta didik berstatus aktif yang mampu mengoperasikan gawai. Instrumen penelitian terdiri atas lembar validasi ahli berbasis *learning object review instrument* (LORI), angket kepraktisan *system usability scale* (SUS), serta 30 butir soal pilihan ganda pretest dan posttest yang berorientasi pada *higher order thinking skills*. Teknik pengumpulan data meliputi observasi, penyebaran kuesioner, dan pemberian tes. Analisis data dilakukan melalui tiga pengujian utama, yaitu uji kevalidan menggunakan formula *Gregory* dengan kriteria valid (koefisien $\geq 0,71$), uji kepraktisan melalui konversi skor SUS dengan kriteria minimal praktis, serta uji keefektifan menggunakan hitungan *n-gain* untuk melihat peningkatan dari *pretest* ke *posttest*. Selain itu, untuk memperkuat signifikansi dan magnitudo dampak dari penggunaan e-modul, dilakukan pengujian prasyarat normalitas *shapiro-wilk*, uji hipotesis *paired sample t-test*, serta perhitungan *effect size Cohen's d*.

Hasil dan Pembahasan

1. Hasil Pengembangan E-Modul Berbantuan *Augmented Reality*

a. Analisis Kebutuhan dan Perancangan

Berdasarkan tahapan analisis kebutuhan, pengembangan difokuskan pada transformasi materi jaringan computer, analisis data dan algoritma ke dalam format e-modul interaktif. Sebagai solusi, e-modul ini dirancang menggunakan pendekatan *case based learning* yang mengintegrasikan teknologi *augmented reality* dan simulasi 3D *WebGL*. Struktur antarmuka didesain secara sistematis agar siswa dapat mengeksplorasi materi secara mandiri, sementara interaksi pedagogis utama antara guru dan siswa tetap dipertahankan secara luring.

b. Pengembangan dan Uji Kelayakan

Tahap ini menghasilkan produk akhir e-modul yang telah disesuaikan dengan kebutuhan pembelajaran peserta didik SMP pada mata pelajaran informatika. Produk yang dikembangkan memuat integrasi materi, aktivitas pemecahan kasus, media interaktif, serta visualisasi AR yang dirancang untuk mendukung proses pembelajaran secara lebih kontekstual dan interaktif. Adapun hasil pengembangan media diwujudkan dalam beberapa komponen interaktif berikut:



Gambar 1. Poster Akses E-Modul Informatika

Sebagai pintu gerbang akses utama pembelajaran di kelas, dirancang sebuah poster terintegrasi pada gambar 1. Keunggulan poster ini terletak pada kepraktisannya dalam menghimpun berbagai sumber daya digital, di mana siswa dapat memindai tautan untuk mengeksplorasi e-modul sekaligus mengunduh aplikasi AR pendukung. Pemanfaatan poster ini mempercepat transisi dari instruksi guru menuju aktivitas mandiri, memastikan kesiapan infrastruktur digital siswa terpenuhi secara efisien sebelum memasuki materi inti (Sudarma et al., 2015).



Gambar 2. Antarmuka E-Modul Informatika

Implementasi awal dari rancangan sistem berwujud antarmuka utama e-modul pada gambar 2. Tampilan ini dikembangkan dengan mengedepankan prinsip desain UI/UX yang bersih dan sistematis. Hal ini bertujuan untuk memastikan peserta didik tingkat SMP dapat menavigasi materi secara mandiri tanpa mengalami *cognitive overload* saat pertama kali berinteraksi dengan media pembelajaran (Arthana et al., 2025).



Gambar 3. Video Pembelajaran Terintegrasi Pada E-Modul

Melalui halaman utama, peserta didik dapat mengakses berbagai sajian multimedia pendukung, salah satunya adalah video pembelajaran yang terlihat pada gambar 3. Fitur ini dikembangkan untuk mengakomodasi keragaman gaya belajar visual dan auditori. Penjelasan teoretis dikemas dalam tayangan dinamis guna memperkuat pemahaman konsep dasar sebelum siswa dihadapkan pada aktivitas yang menuntut pemecahan masalah.



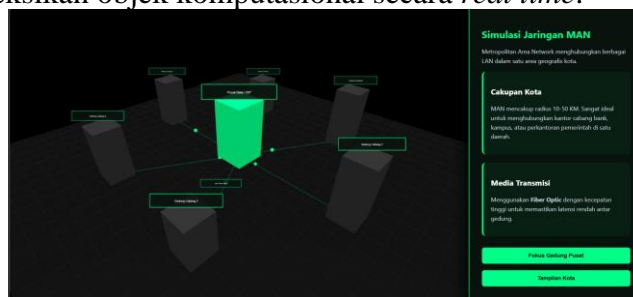
Gambar 4. Integrasi *Augmented Reality*

Memasuki tahap eksplorasi yang lebih mendalam, integrasi AR disematkan langsung di dalam e-modul yang dapat dilihat pada gambar 4. Pengembangan fitur ini secara spesifik difokuskan untuk memvisualisasikan objek-objek keilmuan informatika yang abstrak menjadi model tiga dimensi di lingkungan nyata siswa, menciptakan pengalaman belajar murni yang imersif.



Gambar 5. *Augmented Reality*

Guna merealisasikan pengalaman simulasi 3D tersebut secara personal, dikembangkan aplikasi AR berbasis mobile yang dapat dijalankan langsung melalui gawai siswa yang terlihat pada gambar 5. Keunggulan utama dari media ini adalah tingkat *aksesibilitas* dan *portabilitasnya* yang tinggi. Tanpa memerlukan peralatan laboratorium khusus yang mahal, siswa dapat mengubah perangkat mereka menjadi jendela interaktif untuk memproyeksikan objek komputasional secara *real time*.



Gambar 6. Website 3D Pembelajaran pada E-Modul

Selain pemanfaatan aplikasi AR, perluasan dimensi visual juga direalisasikan melalui tautan simulasi 3D berbasis web yang dapat dilihat pada gambar di atas. Komponen ini memungkinkan siswa untuk berinteraksi dengan pemodelan spasial dan menyimulasikan logika prosedural secara langsung melalui peramban, memberikan alternatif eksplorasi tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan. Integrasi fitur ini juga mendukung pembelajaran mandiri karena siswa dapat mengaksesnya kapan saja dan di berbagai perangkat. Dengan demikian, pengalaman belajar menjadi lebih fleksibel, interaktif, dan kontekstual sesuai dengan kebutuhan pembelajaran abad ke-21 (Arthana et al., 2024).

Sebelum diimplementasikan kepada peserta didik, kelayakan e-modul dievaluasi secara komprehensif oleh tiga validator ahli yang terdiri dari ahli materi, ahli media, dan ahli desain (Parwati et al., 2021). Penilaian ini bertujuan untuk memastikan bahwa materi yang disajikan akurat secara keilmuan, fungsionalitas media berjalan optimal, serta desain antarmuka disusun sesuai dengan prinsip pedagogis. Berdasarkan akumulasi penilaian dari ketiga pakar tersebut, hasil akhir uji validasi mengonfirmasi bahwa e-modul mencapai kriteria “Sangat Valid” dengan tingkat pencapaian persentase yang baik pada hampir seluruh aspek penilaian. Rincian perolehan skor dari masing-masing uji ahli dapat dilihat tabel-tabel berikut.

Tabel 1. Nilai Kevalidan Uji Ahli Materi

No.	Aspek Penilaian	Jumlah Item	Skor Diperoleh	Skor Maksimal	%	Kriteria
1	Kualitas isi materi	4	20	40	100	Sangat Valid
2	Pembelajaran	4	20	40	100	Sangat Valid
3	Umpan Balik dan Adaptasi	1	10	10	100	Sangat Valid
4	Motivasi	1	10	10	100	Sangat Valid
Total				100	100	Sangat Valid

Tabel 2. Nilai Kevalidan Uji Ahli Media

No.	Aspek Penilaian	Jumlah Item	Skor Diperoleh	Skor Maksimal	%	Kriteria
1	Desain Presentasi	1	10	10	100	Sangat Valid
2	Interaksi Penggunaan	3	30	30	100	Sangat Valid
3	Aksesibilitas	2	20	20	100	Sangat Valid
4	Penggunaan Kembali	1	10	10	100	Sangat Valid
Total				70	100	Sangat Valid

Pengujian ahli materi dan ahli media menggunakan instrument LORI karena instrumen ini mampu memberikan evaluasi yang komprehensif terhadap kualitas media pembelajaran digital. Penggunaan LORI membantu memastikan bahwa e-modul yang dikembangkan efektif digunakan dalam mendukung pengalaman belajar peserta didik.

Tabel 3. Nilai Kevalidan Uji Ahli Desain

No.	Aspek Penilaian	Jumlah Item	Skor Diperoleh	Skor Maksimal	%	Kriteria
1	Tujuan	2	20	20	100	Sangat Valid
2	Strategi	4	40	40	100	Sangat Valid
3	Evaluasi	3	30	30	100	Sangat Valid
Total				100	100	Sangat Valid

Selain memvalidasi produk media, instrumen pengukur keberhasilan yang berupa tes kemampuan berpikir kritis yang terdiri dari 30 butir soal pilihan ganda, juga melalui tahapan kalibrasi secara empiris. Uji coba instrumen ini melibatkan 38 siswa di luar kelas eksperimen guna menghindari bias penelitian. Hasil analisis butir soal menunjukkan bahwa instrumen tersebut sangat valid ($r > 0,320$) dan memiliki tingkat reliabilitas yang sangat tinggi (0,93). Kemudian, instrumen ini terbukti memiliki proporsi tingkat kesukaran dan daya beda yang ideal, sehingga dipastikan sangat layak untuk mengukur kemampuan kognitif siswa.

Tabel 4. Rincian Hasil Uji Instrumen

No.	rHitung	Reabilitas (pq)	Tingkat Kesukaran	Daya Beda
KESIMPULAN				
Ket.	Sangat Valid (r hitung > 0,320)	Sangat Tinggi (0.93)	Ideal	Sangat Baik

Tabel 5. Rincian Hasil Kepraktisan Siswa

Kriteria Penilaian	Indikator Pertanyaan	Penilaian Siswa									Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Learnability</i>	2	10	9	7	7	9	10	10	10	10	82
<i>Simplicity & Complexity</i>	2	10	9	7	8	8	10	10	10	10	82
<i>Usability</i>	2	9	10	7	8	10	10	9	10	10	83
<i>Consistency & Integration</i>	2	9	8	8	9	9	10	9	10	10	82
<i>Confidence</i>	1	5	5	4	1	5	5	5	5	5	40
<i>Support Need</i>	1	4	5	3	5	4	5	4	5	5	40
Total											409
											91%

Tabel 6. Rincian Hasil Kepraktisan Guru

Kriteria Penilaian	Indikator Pertanyaan	Penilaian Guru		Total
		1	2	
<i>Learnability</i>	2	10	10	20
<i>Simplicity & Complexity</i>	2	10	10	20
<i>Usability (Kemudahan Penggunaan)</i>	2	10	10	20
<i>Consistency & Integration</i>	2	10	10	20
<i>Confidence</i>	1	5	5	10
<i>Support Need</i>	1	5	5	10
Total				100
				100%

Berdasarkan pemaparan data pada tabel uji kepraktisan di atas, hasil konversi pengukuran menggunakan instrumen *system usability scale* menunjukkan tingkat kebergunaan yang sangat memuaskan. Penilaian dari peserta didik menghasilkan persentase kepraktisan sebesar 91%, sementara evaluasi dari pendidik mencapai angka yang baik yakni 100%. Tingginya skor pada indikator esensial seperti kemudahan penggunaan, kemudahan untuk dipelajari, dan kesederhanaan sistem membuktikan bahwa antarmuka e-modul dirancang dengan sangat intuitif. Hal ini mengonfirmasi bahwa baik siswa maupun guru dapat mengoperasikan fitur *augmented reality* dan navigasi *flipbook* secara efisien tanpa memerlukan panduan teknis yang rumit, sehingga media ini sangat praktis untuk memfasilitasi pembelajaran secara mandiri.

c. Implementasi dan Uji Keefektifan

Uji lapangan dilaksanakan dengan melibatkan 30 siswa kelas VII di SMP Negeri 4 Singaraja, menggunakan rancangan *one group pretest-posttest design*. Sebagai prasyarat pengujian hipotesis parametrik, data hasil tes terlebih dahulu diuji asumsi normalitasnya menggunakan teknik *shapiro wilk*. Data terbukti berdistribusi normal, sehingga analisis dilanjutkan untuk mengukur signifikansi efektivitas intervensi. Hasil pengujian membuktikan terjadinya lonjakan kemampuan berpikir kritis siswa yang sangat signifikan pasca-penggunaan e-modul. Hal ini terlihat secara nyata dari nilai rata-rata kelas yang meningkat drastis, dari 44,47 pada saat *pre-test* menjadi 89,81 pada saat *post-*

test. Kemudian tidak hanya peningkatan nilai rata-rata, pemerataan pemahaman antarsiswa di dalam kelas juga semakin membaik. Kondisi ini ditandai dengan penyusutan rentang simpangan baku atau *standard deviation* dari 14,86 menjadi 6,13. Secara inferensial, hasil uji *paired sample t-test* menghasilkan nilai signifikansi < 0,001 yang secara mutlak menolak hipotesis nol (H0). Hal ini mengonfirmasi bahwa peningkatan hasil belajar tersebut terbukti bermakna secara statistik. Untuk menegaskan seberapa besar magnitudo keberhasilan media ini, dilakukan pengukuran *effect size* menggunakan formula *Cohen's d* dengan rincian perhitungan sebagai berikut:

Tabel 7. Uji Normalitas Data

	Uji Normalitas Data					
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PreTest	.099	30	.200*	.977	30	.739
PostTest	.121	30	.200*	.966	30	.437

Tabel 8. Hasil Analisis Deskriptif

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
PreTest	30	17.00	83.00	44.4667	14.85733
PostTest	30	76.67	100.00	89.8113	6.13007
Valid N (listwise)	30				

Berdasarkan paparan data deskriptif di atas, terlihat dengan jelas pergeseran positif pada pencapaian kognitif peserta didik. Peningkatan nilai rata-rata yang masif diiringi dengan penyusutan standar deviasi, yang mengindikasikan bahwa tingkat pemahaman antarsiswa di kelas eksperimen menjadi jauh lebih merata dan konsisten setelah memanfaatkan e-modul (Warpala, 2023). Untuk mengetahui magnitudo keefektifan intervensi e-modul berbantuan *augmented reality* ini terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis secara kuantitatif, dilakukan perhitungan *effect size* menggunakan formula *cohen's d* dengan penjabaran matematis sebagai berikut:

$$d = \frac{\bar{X}_{pre} - \bar{X}_{post}}{SD_{selisih}} = \frac{43,22 - 89,44}{11,466} = \frac{-46,22}{11,466} = 3,955$$

Berdasarkan keluaran komputasi berbantuan SPSS tersebut, nilai *effect size* diperoleh dengan membagi rata-rata selisih skor sebesar 45,34 atau -46,22 bergantung pada arah pengurangan dengan standar deviasi dari selisih tersebut yakni 11,46. Dari pembagian ini, diperoleh nilai *point estimate* untuk *Cohen's d* sebesar 3,955. Angka ini mengklasifikasikan intervensi e-modul ke dalam kategori dampak "Sangat Besar".

Tabel 9. Hasil Uji Paired Sample t-Test

Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper	t	df	Sig. (2-tailed)
-45.34467	11.46566	2.09333	-49.62601	-41.06332	-21.661	29	.000

d. Evaluasi dan Respons Pengguna

Tahap evaluasi pada model ADDIE dimanfaatkan untuk memfinalisasi perbaikan teknis minor, guna memastikan e-modul dapat beroperasi dengan stabil, bebas dari kendala sistem, dan siap diakses secara daring oleh pengguna. Selain itu, dilakukan evaluasi pada setiap tahapan ADDIE, termasuk saat pelaksanaan implementasi, agar hasil pengolahan data yang diperoleh bersumber dari data yang akurat. Kemudian, pada akhir implementasi lapangan, e-modul menerima respons afektif yang sangat positif dari para pengguna di kelas eksperimen.

Tabel 10. Rincian Hasil Uji Respon Siswa

Siswa	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Total
Siswa 1	3	4	5	3	4	3	4	5	3	4	38
Siswa 2	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	49
Siswa 3	4	5	5	4	5	4	3	5	4	4	43
Siswa 4	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5	47
Siswa 5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 6	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	49
Siswa 7	4	5	4	4	5	5	4	5	5	4	45
Siswa 8	4	4	5	4	5	5	4	5	5	5	46
Siswa 9	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	47
Siswa 10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 11	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	48
Siswa 12	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5	47
Siswa 13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 14	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 15	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	44
Siswa 16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 17	5	5	4	4	4	4	3	3	4	3	39
Siswa 18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 19	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 20	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	49
Siswa 21	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 22	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	47
Siswa 23	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 24	5	3	5	5	3	5	5	5	5	3	44
Siswa 25	4	4	4	5	4	4	4	4	4	5	42
Siswa 26	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 27	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Siswa 28	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	49
Siswa 29	5	5	5	3	5	4	4	5	5	5	46
Siswa 30	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Total											1419
Rata-rata											94,6%

Tabel 11. Rincian Hasil Uji Respon Guru

Siswa	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Total
Guru 1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Guru 2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Total											100
Rata-rata											100%

Berdasarkan tabulasi data pada tabel diatas, implementasi e-modul mendapatkan penerimaan afektif yang positif. Akumulasi penilaian dari 30 siswa menghasilkan persentase kepuasan 94,6%, sementara respons dari pendidik menunjukkan angka 100%. Angka ini merepresentasikan bahwa desain visual dan interaktivitas proyeksi 3D terbukti memicu atensi siswa dan membantu guru dalam memvisualisasikan konsep abstrak. Namun, berdasarkan fakta bahwa tingginya respons afektif ini berpotensi dipengaruhi oleh *novelty effect*, di mana antusiasme siswa dan guru cenderung memuncak saat pertama kali berinteraksi dengan teknologi imersif yang belum pernah diterapkan sebelumnya di sekolah tersebut.

2. Pembahasan Hasil Penelitian

a. Pengembangan Media E-Modul Informatika

Pengembangan e-modul ini dirancang untuk mendukung implementasi *case based learning* melalui navigasi *flipbook* yang sistematis sehingga siswa dapat mengikuti alur penyelesaian masalah secara lebih terarah. Struktur navigasi yang terorganisasi membantu mengurangi potensi disorientasi ketika siswa mengeksplorasi konsep jaringan komputer, analisis data, dan algoritma secara mandiri. Integrasi *augmented reality* juga berperan sebagai media visualisasi yang menjembatani pemahaman abstrak menuju representasi spasial tiga dimensi yang lebih konkret (Agustini et al., 2021). Dengan demikian, pengalaman belajar tidak hanya berfokus pada penyampaian teori, tetapi juga pada pembentukan pengalaman eksploratif yang lebih kontekstual dan interaktif.

Meskipun demikian, implementasi media ini masih menghadapi tantangan dari aspek aksesibilitas perangkat. Implementasi media ini masih dipengaruhi oleh kesiapan perangkat digital pengguna, terutama dalam menjalankan fitur *augmented reality* secara optimal. Kondisi tersebut berpotensi menjadi hambatan dalam pemerataan penggunaan media, khususnya bagi siswa yang memiliki keterbatasan akses perangkat digital di luar lingkungan sekolah.

b. Validitas Media

Tingginya validitas media menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi aspek kelayakan isi, desain pembelajaran, dan kualitas media secara pedagogis. Capaian tersebut didukung oleh penerapan pendekatan *bite sized content* yang memungkinkan materi disajikan dalam unit-unit pembelajaran yang lebih ringkas sehingga membantu meminimalkan beban kognitif siswa saat mempelajari konsep informatika yang kompleks (Parwati et al., 2023). Selain itu, integrasi multimedia dan visualisasi interaktif turut mendukung terciptanya pengalaman belajar yang lebih terstruktur dan mudah dipahami.

Namun demikian, validitas teoretis yang tinggi belum sepenuhnya merepresentasikan kesiapan teknis media dalam implementasi skala luas. Aplikasi *augmented reality* yang dikembangkan masih terbatas pada sistem operasi *android* dan memerlukan kapasitas memori perangkat yang relatif besar untuk menjalankan aset visual 3D secara optimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa efektivitas implementasi media tetap dipengaruhi oleh kesiapan infrastruktur dan spesifikasi perangkat yang dimiliki siswa.

c. Kepraktisan Media

Hasil evaluasi kepraktisan menunjukkan bahwa e-modul memiliki tingkat *usability* yang tinggi bagi siswa maupun pendidik. Antarmuka yang sederhana dan navigasi yang sistematis membantu pengguna mengoperasikan fitur-fitur pembelajaran secara mandiri tanpa memerlukan pendampingan teknis yang kompleks (Puniatmaja et al., 2024). Dari sudut pandang pedagogis, kondisi ini mengindikasikan bahwa media mampu mendukung proses pembelajaran yang lebih fleksibel dan berpusat pada siswa.

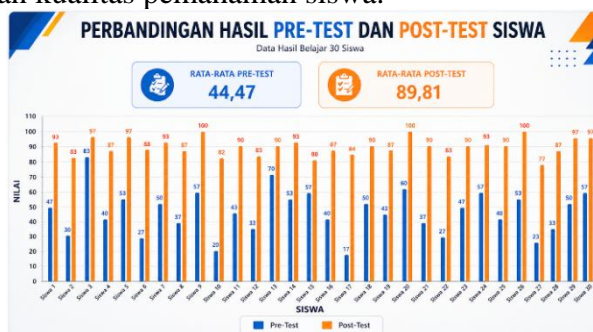
Tingginya tingkat *usability* tersebut juga mengindikasikan bahwa desain antarmuka e-modul telah berhasil menekan hambatan adaptasi teknologi pada pengguna pemula (Sudarma et al., 2024). Dengan demikian, siswa dapat lebih memfokuskan perhatian pada proses pemecahan masalah dibandingkan pada upaya memahami mekanisme penggunaan media itu sendiri. Di sisi lain, keberlangsungan kepraktisan media sangat dipengaruhi oleh kondisi teknis saat implementasi. Pengoperasian aset *augmented reality* dan simulasi *WebGL* memerlukan koneksi internet yang stabil agar proses pemuatan objek visual dapat berjalan optimal. Ketika kualitas jaringan tidak memadai, pengalaman belajar berpotensi terganggu karena keterlambatan pemuatan media interaktif dapat mengurangi fokus dan kontinuitas aktivitas belajar siswa.

d. Keefektifan Media

Implementasi e-modul berbantuan *augmented reality* menunjukkan kontribusi yang kuat terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa. Secara teoretis, visualisasi tiga dimensi pada media *augmented reality* berfungsi sebagai jembatan kognitif yang membantu siswa memahami konsep abstrak jaringan komputer, analisis data dan algoritma secara lebih konkret. Integrasi elemen visual, simulasi, dan pemecahan kasus mendorong siswa untuk melakukan eksplorasi, analisis, serta pengambilan keputusan secara lebih aktif selama proses pembelajaran.

Peningkatan hasil belajar yang tinggi menunjukkan bahwa kombinasi *case based learning* dan visualisasi imersif mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih bermakna dibandingkan pendekatan konvensional. Nilai *effect size Cohen's d* yang berada pada kategori sangat besar juga membuktikan bahwa media yang dikembangkan memberikan efek perbaikan kognitif yang masif dan relatif merata bagi hampir seluruh peserta didik. Temuan ini menunjukkan bahwa intervensi tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga memiliki signifikansi praktis yang tinggi dalam konteks pembelajaran informatika. Akan tetapi, interpretasi efektivitas tersebut tetap perlu dilakukan secara hati-hati karena penggunaan rancangan *one-group pretest-posttest* belum sepenuhnya mampu mengontrol faktor eksternal di luar perlakuan penelitian.

Selain menunjukkan peningkatan rata-rata hasil belajar, nilai *effect size* yang sangat tinggi juga mengindikasikan bahwa dampak intervensi tidak hanya terjadi pada sebagian kecil siswa, melainkan tersebar secara relatif konsisten pada hampir seluruh peserta didik di kelas eksperimen. Kondisi ini memperlihatkan bahwa integrasi *augmented reality* dan pendekatan *case based learning* memiliki potensi untuk mendukung pemerataan kualitas pemahaman siswa.



Gambar 7. Perbandingan Hasil *Pre-Test* dan *Post-Test* Siswa

e. Respons Pengguna

Respons pengguna menunjukkan bahwa e-modul memperoleh tingkat penerimaan yang sangat positif dari siswa maupun guru. Desain visual yang interaktif serta integrasi objek tiga dimensi dinilai mampu meningkatkan perhatian dan keterlibatan siswa selama proses pembelajaran (Kollmorgen et al., 2024). Kehadiran media ini juga membantu guru dalam memvisualisasikan konsep abstrak yang sebelumnya sulit dijelaskan hanya melalui metode ceramah atau media konvensional.

Di sisi lain, respons positif pengguna juga menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis visual interaktif memiliki potensi untuk meningkatkan motivasi intrinsik siswa selama proses pembelajaran berlangsung. Peningkatan keterlibatan ini penting karena keterikatan emosional terhadap aktivitas belajar sering kali berkontribusi terhadap keberlangsungan fokus dan partisipasi siswa di dalam kelas.

Meskipun demikian, tingginya respons afektif pengguna tidak dapat sepenuhnya dijadikan indikator bahwa seluruh siswa telah memahami materi secara mendalam. Pada jenjang SMP, ketertarikan terhadap visualisasi animasi dan teknologi interaktif dapat memengaruhi kecenderungan siswa dalam memberikan penilaian positif terhadap media

pembelajaran (Hadju et al., 2024). Oleh karena itu, evaluasi terhadap penggunaan e-modul dalam jangka panjang tetap diperlukan untuk mengetahui konsistensi pengaruhnya terhadap retensi pemahaman dan pembentukan keterampilan berpikir kritis siswa.

3. Implikasi dan Keterbatasan Penelitian

a. Implikasi Teoretis & Kelembagaan

Penelitian ini tidak hanya memperkuat *cognitive theory of multimedia learning* dengan membuktikan secara empiris bahwa integrasi AR mampu mereduksi beban kognitif ekstrinsik pada materi komputasional (Annisa, 2024), tetapi juga memberikan implikasi strategis terhadap kebijakan pendidikan skala luas. Dalam konteks kelembagaan, temuan ini dapat dijadikan rujukan empiris bagi pemangku kebijakan seperti dinas pendidikan atau pengembang kurikulum dalam merumuskan standarisasi dan pengadaan bahan ajar digital berbasis pemecahan masalah. Fleksibilitas desain e-modul berbantuan AR ini sangat berpotensi untuk diimplementasikan secara massal sebagai suplemen kurikulum wajib guna mengakselerasi pemerataan literasi digital dan keterampilan HOTS, sejalan dengan visi transformasi kurikulum merdeka di berbagai sekolah menengah

b. Implikasi Praktis

Kehadiran e-modul ini berhasil mentransformasi ekosistem belajar siswa dari pola penerimaan pasif menjadi *self paced learning* yang kritis dan tangguh. Bagi pendidik, e-modul ini secara efektif mengambil alih peran instruksional dasar sebagai tutor visual. Implikasi praktisnya, energi dan alokasi waktu guru di dalam kelas dapat dialihkan sepenuhnya untuk tugas pedagogis yang lebih esensial, yakni memfasilitasi ruang diskusi, membimbing kolaborasi, dan memberikan pendampingan penyelesaian kasus secara langsung. Hal ini membuat jam tatap muka di kelas menjadi jauh lebih bermakna dan berpusat pada siswa.

c. Keterbatasan dan Saran Pengembangan

Secara teknis, optimalisasi pengalaman pengguna pada media ini menuntut penggunaan perangkat keras yang spesifik, seperti akses monitor melalui layar lebar untuk membaca *flipbook* dan gawai bersistem operasi *android* untuk memindai objek AR, serta sangat bergantung pada stabilitas koneksi internet.

Dari sudut pandang metodologis, keterbatasan mendasar dari penelitian ini terletak pada validitas eksternalnya. Karena uji efektivitas dan kepraktisan hanya dilaksanakan pada skala terbatas dengan menggunakan desain *one-group pretest-posttest* tanpa kelas kontrol, temuan signifikansi dan *effect size* yang sangat besar ini belum tentu dapat digeneralisasikan secara mutlak ke populasi yang lebih luas. Respons afektif dan dampak kognitif yang dihasilkan berpotensi memberikan hasil yang berbeda jika media ini diimplementasikan pada sekolah dengan karakteristik demografis, latar belakang sosial dan ekonomi siswa, dan kesiapan infrastruktur teknologi yang berbeda.

Oleh karena itu, untuk pengembangan lanjutan, sangat disarankan untuk merancang arsitektur e-modul AR dengan kapabilitas luring guna mengatasi masalah kesenjangan infrastruktur jaringan. Selain itu, diperlukan studi eksperimental semu lanjutan dengan cakupan sampel berskala besar dan melibatkan kelompok kontrol untuk memvalidasi kekokohan eksternal dari efektivitas media pembelajaran ini di berbagai kondisi yang heterogen.

Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa pengembangan e-modul interaktif berbasis *case based learning* berbantuan *augmented reality* menghasilkan inovasi media pembelajaran yang valid, praktis, dan secara empiris

sangat efektif untuk mata pelajaran informatika SMP. Keberhasilan ini dibuktikan melalui capaian validitas yang sempurna dari evaluasi pakar, tingkat kepraktisan penggunaan yang tinggi di lapangan, serta adanya lonjakan kemampuan berpikir kritis siswa yang signifikan secara statistik dengan magnitudo dampak *effect size* berskala besar. Bukti empiris menunjukkan bahwa perpaduan antara skenario pemecahan kasus kontekstual dan perancah visual 3D di dalam e-modul sukses memfasilitasi siswa dalam mengonstruksi pemahaman, sekaligus memecahkan hambatan kognitif mereka saat memproses materi teknis yang abstrak. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah membuktikan bahwa keterpaduan yang sistematis antara pedagogi pemecahan masalah dan teknologi imersif mampu memberikan dampak transformatif terhadap peningkatan daya nalar tingkat tinggi peserta didik guna menyongsong tuntutan kompetensi abad ke-21. Sebagai bentuk transparansi data dan akuntabilitas ilmiah dalam penelitian pengembangan ini, seluruh rekapitulasi data mentah beserta rincian perhitungan statistik komprehensif yang mendasari keseluruhan temuan telah didokumentasikan secara terpusat. Lampiran ini memuat sajian data lengkap yang mencakup hasil tabulasi uji kevalidan ahli, persentase uji kepraktisan instrumen, analisis butir soal tes berpikir kritis, hingga rincian kalkulasi komputasi untuk uji efektivitas yang meliputi uji normalitas, *n-gain*, *paired sample t-test*, dan *effect size*. Seluruh hasil perhitungan empiris terkait keefektifan intervensi e-modul berbantuan *augmented reality* ini dapat ditinjau dan diakses secara terbuka melalui tautan repositori berikut: <https://s.id/2429071012>-Lampiran

Daftar Pustaka

- Agustini, K., Wahyuni, D. S., Mertayasa, I. N. E., Ratminingsih, N. M., & Ariadi, G. (2023). The Effect of Augmented Reality Mobile Application on Visitor Impact Mediated by Rational Hedonism: Evidence from Subak Museum. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(1).
- Agustini, K., Wahyuni, D. S., Ratminingsih, N. M., & Mertayasa, I. N. E. (2021). Augmented Reality Applied in Subak Museum: Preserving Local Wisdom Subak Concept. *KARMAPATI (Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika)*, 14(3), 359-369.
- Annisa, J. S. (2024). *Pengembangan Augmented Reality Pembelajaran Pemrograman Dasar dengan Metode Marker Based*. (Doctoral dissertation, Politeknik Caltex Riau).
- Arthana, M. P., Agustini, K., & Suartama, I. K. (2025). Systematic Literature Review: Optimizing the Use of Case Based Learning Models in Augmented Reality Media to Enhance Student Engagement and Critical Thinking. *Thinking Skills and Creativity Journal*, 8(1), 11–21.
- Arthana, M. P., Agustini, K., & Sudatha, I. G. W. (2024). System Literature Review: Peran Penggunaan Media Pembelajaran Interaktif dalam Melatih Keterampilan Higher Order Thinking Skills. *Jurnal Riset dan Inovasi Pembelajaran*, 4(3), 2351–2365.
- Darmawan, G. E. B., Parwati, N. N., Warpala, I. W. S., & Divayana, D. G. H. (2024). Augmented Reality Media to Improve Concepts Understanding and Biomotor Skills. *Jurnal Pedagogi dan Pembelajaran*, 7(1), 155–165.
- Hadju, S. Y., Novian, D., Arafat, M. Y., & Dwinanto, A. (2024). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality pada Mata Pelajaran Informatika. *Inverted: Journal of Information Technology Education*, 4(1), 37–49.

- Kollmorgen, J., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2024). *Selecting the Appropriate User Experience Questionnaire and Guidance for Interpretation: The UEQ Family*.
- Parwati, N. N., Suharta, I. G. P., & Tisna, G. D. (2022). Pelaksanaan Pembelajaran Daring Interaktif Berbantuan Aplikasi Edpuzzle di SDN 1 Baktiseraga. *Proceeding Senadimas Undiksha 2022*.
- Parwati, N. N., Suryawan, I. P. P., & Apsari, R. A. (2023). *Belajar dan Pembelajaran*. PT. RajaGrafindo Persada-Rajawali Pers.
- Parwati, N. P. A., Redhana, I. W., & Suardana, I. N. (2021). Effect of Gender on Environmental Literacy of High School Students in Bali, Indonesia. *Proceedings of the First International Conference on Science, Technology, Engineering and Industrial Revolution (ICSTEIR 2020)*, 536.
- Puniatmaja, G. A., Parwati, N. N., Tegeh, I. M., & Sudatha, I. G. W. (2024). The Effect of E-Learning and Students' Digital Literacy Towards Their Learning Outcomes. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 14(1), 348–356.
- Ramma, Y., Bholoa, A., & Watts, M. (2025). Guided Discovery—Robert Gagné. In *Science Education in Theory and Practice: An Introductory Guide to Learning Theory* (pp. 189–213). Springer Nature Switzerland.
- Suciani, N. K., Sudarma, I. K., & Bayu, G. W. (2022). The Impact of Learning Style and Learning Motivation on Students' Science Learning Outcomes. *MIMBAR PGSD Undiksha*, 10(2).
- Sudarma, I. K., Sujana, I. W., Dewantara, K. A. K., Ardiyasa, I. N. S., & Sudiartini, N. P. K. D. (2024). Breaking Barriers: Empowering Visual Impaired Students with Audioassisted Balinese Script Relief Media for Enhanced Literacy at a Special Public School. *International Journal of Language Education*, 8(2), 307–321.
- Sudarma, I. K., & Sukmana, A. I. W. I. Y. (2022). Improving Children's Cognitive Ability Through Information Processing Theory-Based Digital Content. *International Journal of Elementary Education*, 6(1), 118–126.
- Sudarma, I. K., Tegeh, I. M., & Prabawa, D. G. A. P. (2015). *Desain Pesan: Kajian Analitis Desain Visual Teks dan Image*. Graha Ilmu.
- Tymchuk, L., Grytsyk, N., Yahupov, V., Syvokhop, Y., Hrinchenko, T., & Svystun, V. (2021). Andragogy: Theory and Practice of Adult Education Development in Ukraine. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 13(2).
- Utama, N., Ade Darman, R., & Nurdin, B. (2024). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Game Edukasi pada Mata Pelajaran Informatika Kelas X TJKT SMK Negeri 1 Sintuk Toboh Gadang. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(5).
- Warpala, I. W. S. (2006). *Pengaruh Pendekatan Pembelajaran dan Strategi Belajar Kooperatif yang Berbeda terhadap Pemahaman dan Keterampilan Berpikir Kritis dalam Pembelajaran IPA SD*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Warpala, I. W. S. (2023). Development of Muscle Strength Training Media Through Fitness Training Videos in Porprov Karate Athletes in 2022. *Proceedings of the 2nd International Conference on Physical Education, Sport, and Health (ICoPESH 2022)*, 715, 104.