



## Pengembangan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi *Augmented Reality* (AR) pada Materi Asam Basa untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA

Erisa Putri Nurvita<sup>1)</sup>, Enggar Noviyanti Indriasari<sup>1)</sup>, Nur Candra Eka Setiawan<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Universitas Negeri Malang

\*Corresponding Author: [nur.setiawan.fmipa@um.ac.id](mailto:nur.setiawan.fmipa@um.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi efektivitas e-modul berbasis STEM terintegrasi *Augmented Reality* (AR) untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SMA pada materi asam basa. Pengembangan menggunakan model ADDIE. E-modul bernama *Acid-Base Explorer* dikembangkan menggunakan Canva Pro dengan integrasi teknologi AR berbasis penanda menggunakan library Three.js dan MindAR. Produk memuat empat sub-materi utama yang disajikan melalui 16 fitur pembelajaran terstruktur. Implementasi melibatkan 36 siswa kelas XI SMA di Kota Malang. Hasil validasi ahli materi dan media masing-masing mencapai 89,7% dan 89,2% (sangat valid), sedangkan uji keterbacaan memperoleh 91,23% (sangat layak). Efektivitas dibuktikan melalui peningkatan rerata skor berpikir kritis dari 9,69 menjadi 20,50, yang dikonfirmasi secara statistik oleh uji Wilcoxon Signed Rank Test ( $Z = -5,239$ ;  $p = 0,000$ ). Analisis N-Gain menunjukkan peningkatan pada seluruh indikator berpikir kritis Ennis (2011), dengan kategori tinggi pada Strategies and Tactics (92,06%) dan Elementary Clarification (87,97%). Respon peserta didik mencapai rata-rata 86,9% (sangat baik). E-modul berbasis STEM terintegrasi AR terbukti layak dan efektif sebagai media pembelajaran inovatif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis pada materi kimia yang bersifat abstrak.

**Kata Kunci:** e-Modul; STEM; *Augmented Reality*; Berpikir Kritis; Asam Basa

This is an open access article under the CC - BY license.



### PENDAHULUAN

Perkembangan abad ke-21 tidak dapat dipisahkan dari revolusi industri 4.0 yang menghadirkan era keterbukaan global serta mendorong perubahan mendasar pada berbagai aspek kehidupan, termasuk bidang pendidikan (Syerlita & Siagian, 2024). Salah satu kecakapan utama yang perlu dimiliki peserta didik pada abad ini adalah kemampuan berpikir kritis. Keterampilan tersebut menjadi kemampuan dasar yang penting karena membantu siswa dalam menganalisis, mengevaluasi, serta mensintesis informasi secara efektif (Nor & Sihes, 2022). Menurut (Nuraeni et al., 2019) berpikir kritis merupakan proses berpikir reflektif yang berorientasi pada pengambilan keputusan terkait hal yang diyakini maupun tindakan yang akan dilakukan. Proses ini juga melibatkan kemampuan metakognitif yang bertujuan menghasilkan kesimpulan logis (Ashari, 2023; Zarkasyi et al., 2024). Upaya pengembangan keterampilan ini dapat dilakukan dengan pengaitan materi pembelajaran dengan pengalaman nyata siswa agar pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan bermakna (Ariadila et al., 2023).

Dalam pembelajaran kimia, keterampilan berpikir kritis sangat dibutuhkan, terutama untuk memahami materi yang kompleks dan abstrak seperti asam basa. Namun, berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan guru kimia di sekolah penelitian, pembelajaran asam basa masih didominasi metode ceramah dan penggunaan media konvensional sehingga siswa kurang terlibat aktif dalam proses analisis dan pemecahan masalah. Selain itu, visualisasi konsep mikroskopik seperti transfer proton, ionisasi larutan, dan hubungan antara representasi makroskopik, simbolik, dan submikroskopik belum disajikan secara optimal. Kondisi tersebut menyebabkan siswa mengalami miskonsepsi, khususnya dalam membedakan teori asam basa Arrhenius, Brønsted-Lowry, dan Lewis (Aisy & Ardhana, 2023; Winel et al., 2023). Hasil wawancara juga menunjukkan bahwa siswa mengalami kesulitan dalam menghubungkan konsep teori dengan perhitungan pH dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Temuan ini didukung oleh data empiris yang menunjukkan bahwa hanya 20% siswa memahami teori asam basa, 79% belum memahami konsep pH, dan 71% belum mampu melakukan perhitungan pH

dengan benar (Ilmah, 2024). Menurut Ozcan et al. (2024) pembelajaran yang bersifat ekspositori cenderung membatasi keterlibatan aktif siswa sehingga kemampuan berpikir kritis dan pemahaman konseptual kurang berkembang. Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa penggunaan visualisasi interaktif dan teknologi digital dalam pembelajaran kimia dapat membantu siswa memahami konsep abstrak dan mengurangi miskonsepsi pada level submikroskopik (Lin & Wu, 2021).

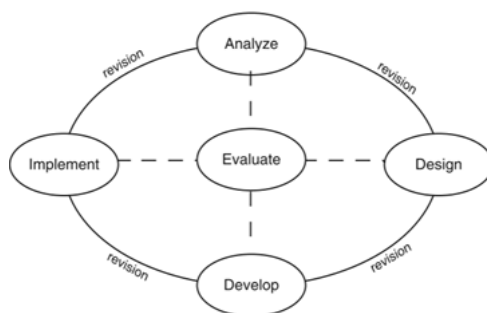
Permasalahan tersebut menunjukkan perlunya pendekatan pembelajaran yang mampu melibatkan siswa secara aktif dalam proses berpikir, pemecahan masalah, dan pengaitan konsep dengan konteks nyata (Ortiz-Revilla et al., 2022). Pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) menawarkan kerangka pembelajaran integratif yang relevan untuk menjawab tantangan tersebut. Melalui pembelajaran berbasis masalah yang memadukan keempat disiplin ilmu secara terpadu, pendekatan STEM memungkinkan siswa menerapkan pengetahuan dan keterampilan secara simultan dalam konteks nyata (Setiawan et al., 2020; Simanjuntak & Purwaningsih, 2024). Tujuan STEM tidak hanya terbatas pada penguasaan konten akademik, tetapi juga membekali siswa dengan kecakapan abad ke-21 seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, kolaborasi, dan literasi teknologi (Salsabila & Muhid, 2021).

Inovasi media pembelajaran digital dalam bentuk modul elektronik (e-modul) dikembangkan sebagai platform yang efektif untuk mengimplementasikan pembelajaran berbasis STEM (Simbolon et al., 2023). E-modul didefinisikan sebagai bahan ajar mandiri yang disajikan dalam format digital secara sistematis untuk mencapai tujuan pembelajaran tertentu (Cahyanto & Afifulloh, 2020). Diperkaya dengan elemen multimedia seperti teks, gambar, video, animasi, dan audio, e-modul menciptakan pengalaman belajar yang lebih dinamis dan interaktif (Wulandari et al., 2021). Beberapa penelitian membuktikan bahwa e-modul terintegrasi STEM mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterlibatan siswa secara signifikan (Fathiya & Asrizal, 2022; Istianah et al., 2025; Purnomo & Puspitawati, 2025). Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada penggunaan STEM tanpa integrasi teknologi *augmented reality* (AR), serta lebih banyak meninjau hasil belajar dan pemahaman konsep dibandingkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Integrasi teknologi *Augmented Reality* (AR) dalam e-modul menjadi salah satu upaya untuk mengoptimalkan visualisasi konsep abstrak dalam pembelajaran (Pohan et al., 2024). AR merupakan teknologi yang menggabungkan lingkungan nyata dengan objek virtual dua atau tiga dimensi secara *real-time* (Mendoza-Ramírez et al., 2023). AR meningkatkan kualitas pembelajaran dengan memvisualisasikan konsep-konsep abstrak dan mikroskopis yang sulit diamati secara langsung, sehingga meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan retensi pengetahuan siswa (Inayah et al., 2023; Maulida et al., 2024). Dalam pembelajaran kimia khususnya, AR memfasilitasi simulasi interaktif fenomena kimia seperti interaksi molekuler pada reaksi asam basa, yang terbukti meningkatkan pemahaman konseptual siswa secara signifikan (Ciptahadi et al., 2023; Fombona-Pascual et al., 2022). Meskipun demikian, penelitian mengenai integrasi STEM dan AR pada e-modul materi asam basa untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis masih terbatas. Selain itu, implementasi AR dalam pembelajaran kimia umumnya masih menggunakan aplikasi berbasis mobile yang memerlukan instalasi tambahan sehingga aksesibilitas pengguna menjadi terbatas (Mendoza-Ramírez et al., 2023). Berdasarkan kesenjangan penelitian yang ada, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan prototipe e-modul berbasis STEM terintegrasi *augmented reality* (AR) pada materi asam basa serta mengevaluasi peningkatan keterampilan berpikir kritis setelah menggunakan e-modul.

## METODE

Penelitian ini menerapkan model pengembangan instruksional ADDIE yang mencakup lima tahapan, yaitu *Analysis* (analisis), *Design* (perancangan), *Development* (pengembangan), *Implementation* (implementasi), dan *Evaluation* (evaluasi) menurut Branch. Model ADDIE dipilih karena sifatnya yang sistematis sehingga sangat sesuai untuk mengembangkan produk pembelajaran seperti e-modul (Hidayat & Nizar, 2021).



Gambar 1. ADDIE Framework Branch (2009)

Pada tahap *Analysis*, dilakukan analisis kebutuhan pembelajaran, karakteristik peserta didik, dan kesulitan belajar pada materi asam basa melalui angket skala Likert 1–5 kepada 5 guru kimia dan 158 peserta didik SMA di Jawa Timur. Analisis kebutuhan meliputi aspek pemahaman konsep asam basa, kemampuan berpikir kritis, kebutuhan media pembelajaran interaktif, serta penggunaan teknologi dalam pembelajaran kimia. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebanyak 61% peserta didik mengalami kesulitan dalam memahami konsep abstrak asam basa, khususnya teori asam basa, sehingga diperlukan media pembelajaran yang lebih interaktif dan visual. Berdasarkan kebutuhan tersebut, teknologi *augmented reality* (AR) dipilih karena mampu memvisualisasikan konsep abstrak secara tiga dimensi dan interaktif.

Tahap *Design* menghasilkan rancangan materi berbasis STEM, penyusunan *storyboard*, perancangan fitur e-modul, serta pengembangan instrumen penelitian yang disesuaikan dengan indikator keterampilan berpikir kritis. Tahap *Development* meliputi pengembangan e-modul menggunakan Canva Pro dengan integrasi teknologi *augmented reality* (AR) berbasis penanda menggunakan *library Three.js* dan MindAR, validasi ahli materi dan ahli media menggunakan skala Likert 1–5, uji instrumen tes kepada 36 peserta didik di luar sampel penelitian, serta uji coba terbatas kepada 10 peserta didik untuk memperoleh masukan terkait keterbacaan, tampilan, dan fungsi media.

Tahap *Implementation* dilaksanakan pada 36 peserta didik kelas XI SMA di Kota Malang menggunakan desain *one-group pretest-posttest*. Sampel penelitian terdiri atas 9 peserta didik laki-laki dan 27 peserta didik perempuan yang sedang mempelajari materi asam basa. Pemilihan sampel dilakukan berdasarkan kriteria bahwa peserta didik telah memperoleh materi prasyarat kimia dasar dan sedang mengikuti pembelajaran topik asam basa pada semester berjalan. Desain penelitian ini digunakan untuk melihat potensi peningkatan keterampilan berpikir kritis setelah penggunaan e-modul, meskipun belum melibatkan kelompok kontrol sehingga hasil penelitian masih memiliki keterbatasan pada validitas internal. Tahap *Evaluation* dilakukan secara formatif pada setiap fase pengembangan dan secara sumatif pada tahap akhir penelitian.

E-modul divalidasi oleh dosen dan guru kimia yang memiliki keahlian di bidang terkait. Data hasil uji keterbacaan, angket respon pengguna, serta observasi keterlaksanaan pembelajaran dianalisis menggunakan rumus persentase. Adapun kriteria penilaian yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Validitas Produk, Uji Keterbacaan, Angket Respon, dan Keterlaksanaan Pembelajaran

No	Persentase	Kriteria Validitas Produk	Kriteria Uji Keterbacaan	Kriteria Respon pengguna dan Keterlaksanaan Pembelajaran
1	0-20	Tidak valid	Teks sangat sulit dipahami	Sangat kurang
2	21-40	Kurang valid	Teks sulit dipahami	Kurang
3	41-60	Cukup valid	Teks cukup dipahami	Cukup
4	61-80	Valid	Teks mudah dipahami	Baik
5	81-100	Sangat valid	Teks sangat mudah dipahami	Sangat baik

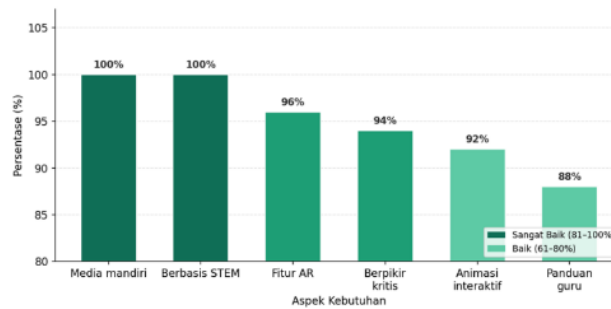
Peningkatan keterampilan berpikir kritis setelah menggunakan e-modul dianalisis melalui beberapa tahapan, yaitu: (1) analisis statistik deskriptif; (2) uji normalitas menggunakan Shapiro–Wilk karena jumlah sampel kurang dari 50 ( $n = 36$ ); (3) pengujian hipotesis menggunakan uji nonparametrik Wilcoxon Signed Rank Test dengan taraf signifikansi  $p < 0,05$ ; serta (4) perhitungan Normalized Gain (N-Gain) untuk mengetahui tingkat peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Kategori nilai N-Gain dibedakan menjadi tiga, yaitu  $g > 0,7$  termasuk kategori tinggi,  $0,3 \leq g \leq 0,7$  kategori sedang, dan  $g < 0,3$  kategori rendah. Selain analisis kuantitatif,

data hasil wawancara dianalisis menggunakan model Miles, Huberman, dan Saldana yang mencakup tahapan pengumpulan data, kondensasi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tahap *Analysis* (Analisis)

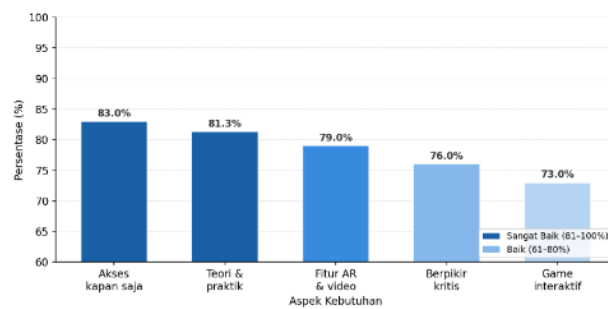
Analisis kebutuhan pembelajaran dilakukan melalui penyebaran angket kepada 5 guru kimia SMA dan 158 peserta didik dari beberapa SMA di Jawa Timur. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesenjangan antara ketersediaan media pembelajaran yang ada dengan kebutuhan.



Gambar 2. Persentase hasil angket kebutuhan guru

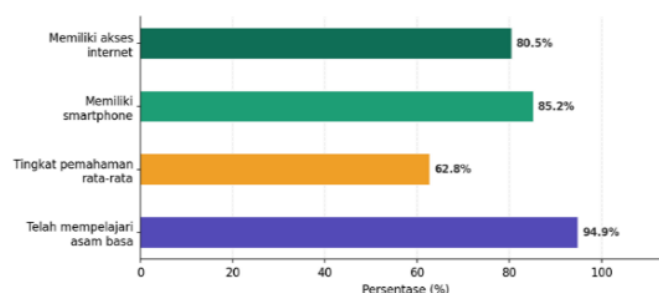
Berdasarkan Gambar 2, seluruh guru (100%) menyatakan kebutuhan terhadap media mandiri dan media berbasis STEM berada pada kategori Sangat Baik. Kebutuhan terhadap fitur AR mencapai 96%, pengembangan keterampilan berpikir kritis 94%, animasi interaktif 92%, dan panduan penggunaan media 88%. Hasil ini menunjukkan bahwa guru memandang pentingnya media pembelajaran inovatif yang mampu membantu pemahaman konsep abstrak sekaligus melatih keterampilan berpikir tingkat tinggi peserta didik.

Hasil pertanyaan terbuka menunjukkan kendala utama pembelajaran asam basa meliputi kesulitan memahami perhitungan pH, pOH, Ka, dan Kb, abstraknya konsep menurut teori Arrhenius, Brønsted-Lowry, dan Lewis, serta kurangnya keterkaitan materi dengan kehidupan sehari-hari. Guru juga mengharapkan media yang dilengkapi animasi interaktif, visualisasi AR, dan panduan penggunaan untuk mendukung pembelajaran mandiri maupun terbimbing.



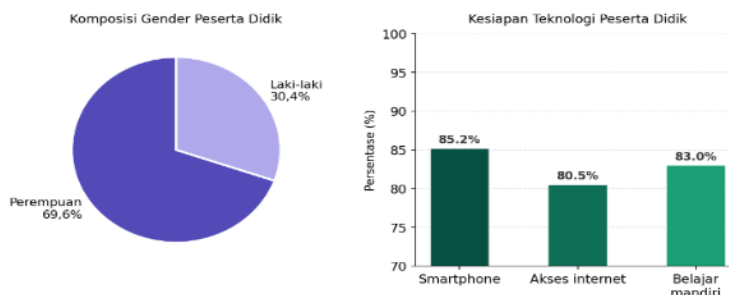
Gambar 3. persentase hasil angket kebutuhan peserta didik

Analisis karakteristik peserta didik bertujuan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kondisi akademik, gaya belajar, dan kesiapan teknologi peserta didik sebagai calon pengguna e-modul yang akan dikembangkan.



Gambar 4. Profil Akademik dan Kesiapan Teknologi Peserta Didik

Berdasarkan Gambar 4, sebanyak 94,9% peserta didik telah mempelajari materi asam basa, namun tingkat pemahaman mereka hanya mencapai rata-rata 62,8% (kategori Baik). Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran yang telah dilakukan belum sepenuhnya efektif dalam membangun pemahaman konsep. Dari aspek teknologi, 85,2% peserta didik memiliki smartphone untuk pembelajaran, 83,0% membutuhkan akses belajar mandiri kapan saja, dan 80,5% memiliki koneksi internet memadai. Mayoritas juga menggunakan smartphone dan laptop dalam kegiatan belajar, sehingga kondisi ini mendukung implementasi e-modul.



**Gambar 5.** Komposisi Gender dan Kesiapan Teknologi Peserta Didik

Gambar 5. menunjukkan bahwa dari 158 peserta didik, sebanyak 69,6% berjenis kelamin perempuan dan 30,4% laki-laki. Dominasi peserta didik perempuan mencerminkan kondisi demografis kelas kimia di lokasi penelitian dan tidak memengaruhi kebutuhan pengembangan media pembelajaran secara umum. Preferensi peserta didik terhadap fitur AR, video, infografis, dan visualisasi tiga dimensi menunjukkan kecenderungan gaya belajar visual. Selain itu, tingginya kebutuhan akses belajar mandiri kapan saja (83,0%, kategori Sangat Baik) menunjukkan bahwa peserta didik telah terbiasa dengan pembelajaran mandiri berbasis teknologi, sehingga e-modul yang fleksibel dan interaktif sesuai dengan karakteristik belajar mereka.

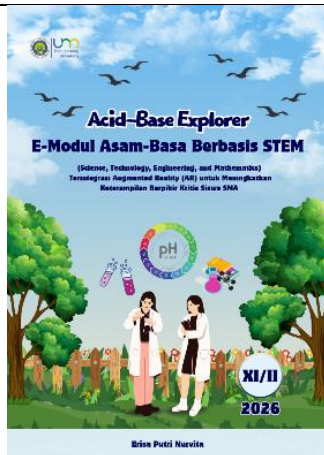
Analisis materi dilakukan untuk menentukan cakupan, kedalaman, dan urutan penyajian konten asam basa sesuai Capaian Pembelajaran Kurikulum Merdeka Fase F kelas XI SMA. Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa kesulitan utama peserta didik terletak pada level submikroskopis dan simbolik, terutama pada konsep ionisasi, kesetimbangan ion, dan perhitungan derajat keasaman. Oleh karena itu, e-modul dirancang mencakup teori asam basa, kesetimbangan ion dalam larutan, derajat keasaman (pH dan pOH), serta indikator asam basa. Materi disusun secara bertahap dari konsep sederhana ke kompleks dengan dukungan visualisasi AR untuk membantu representasi submikroskopis. Pendekatan STEM diintegrasikan melalui permasalahan kontekstual guna mendorong keterampilan berpikir kritis peserta didik.

### Tahap *Design* (Desain)

Tahap desain menghasilkan tiga komponen utama. Pertama, rancangan materi pembelajaran berbasis STEM yang mengintegrasikan konsep sains, teknologi, rekayasa, dan matematika secara terpadu dalam konteks asam basa. Pendekatan STEM dipilih karena terbukti mampu mendorong kemampuan berpikir tingkat tinggi melalui integrasi empat disiplin ilmu (Bybee, 2013). Kedua, merancang *storyboard* dan fitur e-modul yang terdiri atas 16 fitur terstruktur: pendahuluan, peta konsep, pilar STEM, *Story Chem*, *AR Chem*, *Intro Chem*, *Criti Chem*, *Watch Chem*, *Lab Chem*, *Explore Chem*, *Life Chem*, *Play Chem*, *Recall Chem*, *Reflection Chem*, *Evaluation Chem*, dan *Glosarium Chem*. Keseluruhan fitur tersebut disusun untuk mengakomodasi berbagai gaya belajar serta mendorong keterlibatan aktif siswa, sejalan dengan prinsip desain pembelajaran multimedia (Mayer, 2021). Ketiga, rancangan instrumen penelitian meliputi angket validasi ahli, angket uji keterbacaan, angket respons peserta didik, lembar observasi, pedoman wawancara terstruktur, dan soal tes uraian berbasis indikator berpikir kritis menurut Ennis.

### Tahap *Development* (Pengembangan)

E-modul dikembangkan menggunakan Canva Pro dengan tampilan yang responsif dan dapat diakses melalui laptop, tablet, dan smartphone. Integrasi AR diimplementasikan menggunakan JavaScript dengan memanfaatkan *library Three.js* sebagai pengendali objek 3D dan MindAR sebagai pendukung *marker-based* AR. Fitur *AR Chem* memuat konten AR teori asam basa Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis, serta indikator asam basa dalam format kode QR yang dapat dipindai untuk menampilkan visualisasi 3D interaktif.



Gambar 6. Cover E-Modul Acid Base Explorer



Gambar 7. Fitur AR pada E-Modul



Gambar 8. Aktivitas STEM

Berikut adalah hasil validasi produk oleh ahli materi dan ahli media.

Tabel 4. Hasil Validasi Ahli Materi E-Modul

No	Aspek yang Dinilai	Validator I (%)	Validator II (%)	Rata-Rata (%)	Kriteria
1	Kesesuaian dengan kurikulum	100	100	100	Sangat Valid
2	Keakuratan dan kedalaman materi	94,2	85,7	90,0	Sangat Valid
3	Keterkaitan dengan pendekatan STEM	92	80	86,0	Sangat Valid
4	Keterampilan berpikir kritis	92	80	86,0	Sangat Valid
5	Integrasi teknologi AR	93,3	80	86,7	Sangat Valid
Rata-Rata Keseluruhan				89,7	Sangat Valid

Berdasarkan tabel 4, hasil validasi ahli materi menunjukkan bahwa e-modul berbasis STEM terintegrasi *augmented reality* (AR) memiliki tingkat kelayakan yang sangat tinggi dengan rata-rata keseluruhan sebesar 89,7% dan termasuk dalam kategori sangat valid. Aspek kesesuaian dengan kurikulum memperoleh nilai tertinggi sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa materi, tujuan pembelajaran, dan aktivitas dalam e-modul telah selaras dengan capaian pembelajaran yang ditetapkan. Selain itu, aspek keakuratan dan kedalaman materi, keterkaitan dengan pendekatan STEM, keterampilan berpikir kritis, serta integrasi teknologi AR juga memperoleh kategori sangat valid. Hasil tersebut menunjukkan bahwa e-modul mampu mengintegrasikan unsur STEM dan teknologi AR untuk mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi asam basa

Tabel 5. Hasil Validasi Ahli Media E-Modul

No	Aspek yang Dinilai	Validator I (%)	Validator II (%)	Rata-Rata (%)	Kriteria		
1	Desain tampilan dan antarmuka	90	80	87,5	Sangat Valid		
2	Fungsionalitas dan interaktivitas	90	80	85,0	Sangat Valid		
3	Kelayakan isi dan keterpaduan STEM	90	80	85,0	Sangat Valid		
4	Bahasa dan keterbacaan	100	100	100	Sangat Valid		
5	Kelayakan teknis	95	80	87,5	Sangat Valid		
Keterampilan berpikir kritis				100	80	90,0	Sangat Valid
Rata-Rata Keseluruhan				89,7	Sangat Valid		

Hasil validasi media menunjukkan bahwa e-modul berbasis STEM terintegrasi *augmented reality* (AR) memperoleh rata-rata keseluruhan sebesar 89,7% dengan kategori sangat valid. Aspek bahasa dan keterbacaan memperoleh nilai tertinggi sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa penggunaan bahasa dalam e-modul sudah jelas, komunikatif, dan mudah dipahami oleh siswa. Selain itu, aspek desain tampilan dan antarmuka, fungsionalitas dan interaktivitas, kelayakan isi dan keterpaduan STEM, kelayakan teknis, serta keterampilan berpikir kritis juga memperoleh kategori sangat valid. Hasil tersebut menunjukkan bahwa e-modul memiliki

tampilan yang menarik, fitur yang interaktif, serta mampu mengintegrasikan pendekatan STEM dan teknologi AR untuk mendukung proses pembelajaran dan pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa

Secara keseluruhan, hasil validasi ahli pada Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan bahwa e-modul memperoleh rata-rata persentase sebesar 89,7% dari ahli materi dan 89,2% dari ahli media, keduanya termasuk kategori sangat valid. Temuan ini menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi kriteria kelayakan isi, keakuratan materi, integrasi STEM dan AR, serta kualitas tampilan dan fungsionalitas media. Hasil ini konsisten dengan penelitian [Ariani et al. \(2024\)](#) dan [Fadhilah & Nasution \(2025\)](#) yang juga melaporkan tingkat validitas tinggi pada e-modul berbasis AR dalam pembelajaran kimia.

Hasil validasi instrumen tes keterampilan berpikir kritis dilakukan terhadap 31 peserta didik kelas XII yang telah mempelajari materi asam basa dan berasal dari luar sampel penelitian. Uji validitas menggunakan korelasi Pearson Product Moment menunjukkan bahwa seluruh butir soal memiliki nilai  $r$  hitung  $>$   $r$  tabel (0,355), yaitu Soal 1 ( $r = 0,852$ ), Soal 2 ( $r = 0,822$ ), Soal 3 ( $r = 0,838$ ), Soal 4 ( $r = 0,555$ ), dan Soal 5 ( $r = 0,790$ ), sehingga seluruh butir soal dinyatakan valid. Selain itu, hasil uji reliabilitas menunjukkan nilai Cronbach's Alpha ( $\alpha$ ) sebesar 0,830 yang termasuk dalam kategori tinggi, sehingga instrumen dinyatakan reliabel untuk digunakan dalam penelitian ([Arikunto, 2018](#)).

**Tabel 6.** Hasil Uji keterbacaan

No	Aspek yang Dinilai	Persentase (%)	Kriteria
1	Tampilan dan keterbacaan media	92,67	Teks sangat mudah dipahami
2	Bahasa dan penyajian materi	92,67	Teks sangat mudah dipahami
3	Kemudahan penggunaan	90,00	Teks sangat mudah dipahami
4	Fitur <i>Augmented reality</i>	90,00	Teks sangat mudah dipahami
5	Integrasi STEM dan motivasi	90,80	Teks sangat mudah dipahami
	Rata -Rata Keseluruhan	91,23	Teks sangat mudah dipaham

Uji coba terbatas terhadap 10 peserta didik menghasilkan rata-rata keterbacaan 91,23% dengan kategori sangat mudah dipahami dan sangat layak digunakan, sejalan dengan teori pembelajaran multimedia bahwa penyajian materi yang jelas dan terintegrasi antara teks dan visual dapat meningkatkan pemahaman ([Mayer, 2021](#)).

### Tahap *Implementation* (Implementasi)

Efektivitas e-modul dianalisis melalui perbandingan nilai *pretest* dan *posttest* yang diperoleh dari 36 siswa kelas XI SMA. Instrumen *pretest-posttest* dipetakan sesuai dengan indikator Ennis. Pemetaan instrumen pada Tabel 7 menunjukkan bahwa kelima soal uraian mencakup seluruh indikator berpikir kritis Ennis pada level analisis (C4) hingga evaluasi (C5).

**Tabel 7.** Pemetaan Instrumen terhadap Indikator Berpikir Kritis Menurut Ennis

No Soal	Indikator Ennis	Sub Indikator	Materi	Level
1	<i>Elementary Clarification</i>	Menganalisis argumen	Teori Brønsted-Lowry	C4
2	<i>Basic Support</i>	Mengobservasi & mempertimbangkan hasil observasi	Indikator asam basa	C4
3	<i>Inference</i>	Membuat induksi	Keseimbangan ion & derajat ionisasi	C4
4	<i>Advanced Clarification</i>	Mengidentifikasi asumsi	Derajat keasaman	C5
5	<i>Strategies and Tactics</i>	Menentukan tindakan	pH (kontekstual)	C5

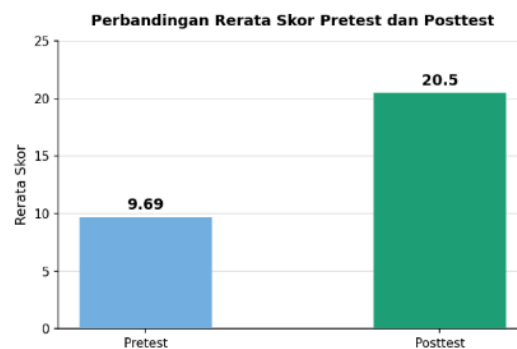
Penyusunan instrumen menunjukkan bahwa soal yang dikembangkan telah mencakup berbagai indikator keterampilan berpikir kritis menurut Ennis secara sistematis. Setiap soal dirancang untuk mengukur kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa melalui konteks materi asam basa yang beragam. Indikator *Elementary Clarification* digunakan untuk melatih kemampuan siswa dalam menganalisis argumen pada teori Brønsted-Lowry, sedangkan *Basic Support* mengarahkan siswa untuk mengobservasi dan mempertimbangkan hasil pengamatan pada indikator asam basa. Indikator *Inference* dan *Advanced Clarification* menuntut siswa membuat

kesimpulan serta mengidentifikasi asumsi melalui materi kesetimbangan ion, derajat ionisasi, dan derajat keasaman pada level kognitif C4-C5. Sementara itu, indikator *Strategies and Tactics* dirancang dalam bentuk masalah kontekstual pH untuk melatih kemampuan siswa dalam menentukan tindakan atau solusi. Dengan demikian, instrumen yang dikembangkan tidak hanya mengukur penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan analisis, evaluasi, dan pengambilan keputusan siswa

**Tabel 8.** Hasil Analisis Statistik Deskriptif *Pretest* dan *Posttest*

Variabel	N	Min	Max	Mean	SD
Skor Pretest	36	4	19	9,69	3,379
Skor Post test	36	6	22	20,50	1,363

Berdasarkan Tabel 8, Hasil analisis deskriptif menunjukkan peningkatan yang substansial pada keterampilan berpikir kritis siswa setelah menggunakan e-modul. Rerata skor *pretest* sebesar 9,69 (SD = 3,379) dengan rentang nilai 4-19 mencerminkan bahwa kemampuan awal siswa berada pada kategori rendah dan bervariasi secara signifikan antar individu. Setelah perlakuan, rerata *posttest* meningkat menjadi 20,50 (SD = 1,363) dengan rentang 6-22, yang mengindikasikan bahwa seluruh siswa mengalami peningkatan yang konsisten dan merata. Penurunan standar deviasi dari 3,379 menjadi 1,363 menunjukkan bahwa penggunaan e-modul tidak hanya meningkatkan rata-rata hasil belajar siswa, tetapi juga mengurangi perbedaan kemampuan antar siswa sehingga capaian belajar menjadi lebih merata. Adapun perbandingan rerata skor *pretest* dan *posttest* sebagai berikut.



**Gambar 9.** Perbandingan Rerata Skor *Pretest* dan *Posttest*

Selanjutnya, dilakukan uji normalitas, uji hipotesis, dan analisis N-gain yang hasilnya disajikan pada tabel berikut.

**Tabel 9.** Hasil Uji Normalitas

Variabel	Shapiro-Wilk
	Sig.
Nilai Pretest	.203
Nilai Post test	.000

**Tabel 10.** Hasil Uji Hipotesis

Statistik Uji	Nilai Posttest-Nilai Pretest
Z	-5,239
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000
Metode Uji	Wilcoxon Signed Ranks Test

**Tabel 11.** Hasil N-Gain

Indikator	Pretest	Posttest	N-Gain	N-Gain Persen (%)	Kategori
Elementary Clarification	47	164	0,880	87,97	Tinggi
Basic Support	116	139	0,359	35,94	Sedang
Inference	76	133	0,548	54,81	Sedang
Advance Clarification	56	132	0,613	61,29	Sedang
Strategies and Tactics	54	170	0,921	92,06	Tinggi

Berdasarkan hasil pada Tabel 9 dan Tabel 10, uji normalitas Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa data pretest memiliki nilai signifikansi sebesar 0,203 ( $> 0,05$ ), sehingga data dinyatakan berdistribusi normal. Sebaliknya, data posttest memperoleh nilai signifikansi 0,000 ( $< 0,05$ ) yang mengindikasikan distribusi tidak normal. Kondisi tersebut diduga dipengaruhi oleh adanya *ceiling effect*, dimana sebagian besar siswa memperoleh skor tinggi setelah perlakuan, sehingga menunjukkan bahwa e-modul berbasis STEM terintegrasi AR memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Oleh karena itu, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan uji nonparametrik Wilcoxon Signed Ranks Test. Hasil uji hipotesis pada Tabel 10 menunjukkan nilai signifikansi Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar 0,000  $< 0,05$  dengan nilai Z sebesar -5,239 sehingga  $H_0$  ditolak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada keterampilan berpikir kritis siswa sebelum dan sesudah penggunaan e-modul berbasis STEM terintegrasi AR.

Berdasarkan Tabel 11, peningkatan keterampilan berpikir kritis juga diperkuat oleh data N-Gain pada setiap indikator berpikir kritis Ennis. Indikator *Strategies and Tactics* memperoleh nilai N-Gain tertinggi sebesar 92,06% dengan kategori tinggi. Tingginya capaian pada indikator ini menunjukkan bahwa e-modul mampu membantu siswa menentukan strategi dan langkah penyelesaian masalah secara lebih sistematis. Integrasi pendekatan STEM mendorong siswa untuk terlibat dalam pemecahan masalah kontekstual, sedangkan visualisasi AR membantu siswa memahami konsep asam basa yang bersifat abstrak melalui representasi molekul secara lebih konkret. Kondisi tersebut mempermudah siswa dalam mengambil keputusan dan menentukan solusi terhadap permasalahan yang diberikan.

Indikator *Elementary Clarification* memperoleh kategori tinggi dengan nilai N-Gain sebesar 87,97%. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan e-modul mampu meningkatkan kemampuan siswa dalam mengidentifikasi dan menjelaskan masalah secara lebih jelas. Penyajian materi yang terstruktur, interaktif, dan kontekstual dalam e-modul membantu siswa memahami konsep dasar asam basa sebelum melakukan analisis lebih lanjut. Temuan ini sejalan dengan teori pembelajaran konstruktivistik yang menekankan bahwa pemahaman konsep yang baik akan mempermudah siswa dalam membangun proses berpikir tingkat tinggi. Sementara itu, indikator *Advance Clarification* (61,29%), *Inference* (54,81%), dan *Basic Support* (35,94%) berada pada kategori sedang. Capaian terendah pada indikator *Basic Support* menunjukkan bahwa kemampuan siswa dalam mengevaluasi bukti dan menyusun argumentasi ilmiah masih memerlukan penguatan lebih lanjut. Hal tersebut diduga karena indikator ini menuntut kemampuan analisis yang lebih kompleks, seperti menilai kredibilitas informasi, menghubungkan bukti dengan konsep ilmiah, serta memberikan alasan yang logis. Meskipun teknologi AR mampu membantu visualisasi konsep abstrak, siswa tetap memerlukan latihan argumentasi ilmiah dan scaffolding yang lebih intensif agar kemampuan memberikan dukungan dasar terhadap suatu argumen dapat berkembang secara optimal.

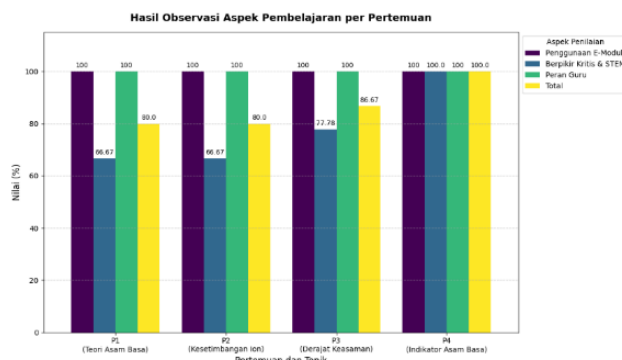
Pada tahap implementasi, peneliti menyebarkan angket respon peserta didik terhadap penggunaan e-modul. Selanjutnya, data hasil angket dianalisis untuk mengetahui tingkat kepraktisan dan penerimaan produk dalam pembelajaran.

**Tabel 12.** Hasil Angket Respon Peserta Didik

No	Aspek yang Dinilai	Persentase (%)	Kategori
1	Kejelasan materi	87,56	Sangat Baik
2	Tampilan dan daya tarik	86,39	Sangat Baik
3	Kemudahan dan kepraktisan penggunaan	85,00	Sangat Baik
4	Integrasi STEM dan keterkaitan kontekstual	87,50	Sangat Baik
5	Keterampilan berpikir kritis	88,47	Sangat Baik
	Rata-Rata	86,90	Sangat Baik

Hasil angket respon peserta didik pada Tabel 12 menunjukkan rata-rata keseluruhan sebesar 86,9% dengan kategori sangat baik. Tingginya penilaian pada aspek keterampilan berpikir kritis (88,47%) menunjukkan bahwa e-modul mampu membantu peserta didik melatih kemampuan berpikir kritis melalui penyajian materi dan aktivitas berbasis STEM. Tingginya skor aspek tampilan dan daya tarik mengindikasikan bahwa desain e-modul yang interaktif mampu meningkatkan minat belajar, sejalan dengan prinsip desain antarmuka yang ramah pengguna (Skulmowski & Xu, 2022).

Selama proses pembelajaran berlangsung, observer melakukan observasi untuk menilai keterlaksanaan pembelajaran serta aktivitas siswa selama menggunakan e-modul. Adapun hasil observasi sebagai berikut.



Gambar 10. Hasil Observasi Aspek Pembelajaran per Pertemuan

Berdasarkan Gambar 10, aspek penggunaan e-modul dan peran guru sebagai fasilitator mencapai keterlaksanaan 100% pada seluruh pertemuan. Hal ini menunjukkan bahwa guru telah menjalankan pembelajaran secara konsisten sesuai prinsip *student-centered learning*. Sementara itu, aspek keterampilan berpikir kritis dan integrasi STEM menunjukkan peningkatan bertahap pada setiap pertemuan, dari 66,67% pada pertemuan 1 dan 2, meningkat menjadi 77,78% pada pertemuan 3, hingga mencapai 100% pada pertemuan 4. Kendala utama pada awal pembelajaran terdapat pada indikator *elementary clarification*, *strategy and tactics*, serta aspek *engineering* dan *mathematics* karena siswa masih beradaptasi dengan penggunaan e-modul dan pendekatan STEM. Pada pertemuan terakhir, seluruh indikator berhasil terlaksana secara optimal, didukung oleh penggunaan fitur AR yang membantu visualisasi perubahan warna indikator secara interaktif sehingga meningkatkan keterlibatan kognitif dan pemahaman konseptual siswa.

Berdasarkan catatan observer, hasil analisis keterampilan berpikir kritis berdasarkan indikator Ennis menunjukkan bahwa indikator *basic support*, *inference*, dan *advanced clarification* berkembang secara konsisten selama pembelajaran. Siswa mampu menganalisis data derajat ionisasi, menghubungkan nilai  $K_a$  dengan kekuatan asam, menyimpulkan konsep asam-basa, serta menjelaskan istilah ilmiah secara tepat. Perkembangan indikator *inference* dan *advanced clarification* yang konsisten menunjukkan bahwa aktivitas berbasis STEM dalam e-modul dapat melatih penalaran induktif dan penguasaan kosakata ilmiah sebagai dasar berpikir kritis tingkat lanjut (Maulida et al., 2024; Tohir et al., 2024). Indikator *inference* terlaksana secara penuh pada seluruh pertemuan, menunjukkan efektivitas aktivitas berbasis STEM dalam melatih penalaran induktif siswa. Namun, indikator *strategy and tactics* masih menjadi aspek yang paling sulit, terutama pada kemampuan mengevaluasi argumen. Meskipun demikian, pada pertemuan terakhir siswa telah mampu merancang strategi pemilihan indikator secara logis saat praktikum, yang menunjukkan adanya peningkatan kemampuan berpikir kritis tingkat tinggi secara bertahap selama penggunaan e-modul.

### Tahap *Evaluation* (Evaluasi)

Evaluasi formatif dilakukan pada setiap fase ADDIE untuk memastikan kualitas e-modul sebelum implementasi. Pada fase *Analysis* dan *Design*, evaluasi menunjukkan bahwa pengembangan e-modul berbasis STEM terintegrasi AR relevan dengan kebutuhan pembelajaran serta memiliki rancangan materi, fitur, dan storyboard yang sistematis sesuai tujuan pembelajaran. Pada fase *Development*, validasi ahli materi memperoleh skor 89,7% dan ahli media 89,2% dengan kategori sangat valid, sedangkan uji coba terbatas pada 10 peserta didik menghasilkan keterbacaan sebesar 91,23% (sangat layak digunakan). Revisi produk dilakukan berdasarkan masukan validator, seperti penyeragaman istilah, penguatan integrasi STEM, dan penambahan latihan berpikir kritis. Pada fase *Implementation*, observasi keterlaksanaan pembelajaran meningkat dari 66,67% menjadi 100%, sementara respon peserta didik mencapai 86,9% dengan kategori sangat baik, meskipun masih diperlukan optimalisasi aksesibilitas fitur AR pada beberapa perangkat.

Evaluasi sumatif dilakukan melalui analisis *pretest-posttest* dan wawancara terstruktur untuk menilai efektivitas e-modul secara menyeluruh. Hasil analisis menunjukkan peningkatan rerata skor keterampilan berpikir kritis dari 9,69 menjadi 20,50 dengan penurunan standar deviasi dari 3,379 menjadi 1,363, yang mengindikasikan bahwa kemampuan siswa meningkat secara lebih merata setelah penggunaan e-modul. Uji Wilcoxon Signed Rank Test menghasilkan nilai  $Z = -5,239$  dan  $p = 0,000 (< 0,05)$ , sehingga terdapat perbedaan signifikan antara sebelum dan sesudah penggunaan e-modul. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi STEM dan *augmented reality* (AR) dalam e-modul mampu memfasilitasi siswa untuk memahami konsep asam basa yang

abstrak melalui visualisasi interaktif dan penyelesaian masalah kontekstual. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa integrasi AR dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan berpikir kritis siswa karena mampu menghadirkan visualisasi yang lebih konkret dan interaktif (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018).

Analisis N-Gain menunjukkan peningkatan pada seluruh indikator berpikir kritis Ennis, dengan kategori tinggi pada *Strategies and Tactics* (92,06%) dan *Elementary Clarification* (87,97%). Tingginya capaian pada kedua indikator tersebut menunjukkan bahwa pendekatan STEM dalam e-modul mendorong siswa untuk lebih aktif dalam mengidentifikasi masalah, menentukan strategi, dan mengambil keputusan secara sistematis. Hasil ini didukung oleh teori pembelajaran konstruktivistik yang menekankan bahwa keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran dapat meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Sementara itu, indikator *Advanced Clarification* (61,29%), *Inference* (54,81%), dan *Basic Support* (35,94%) berada pada kategori sedang. Rendahnya capaian pada *Basic Support* diduga karena kemampuan mengevaluasi bukti dan menyusun argumentasi ilmiah memerlukan latihan serta *scaffolding* yang lebih intensif. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa keterampilan argumentasi ilmiah memerlukan pembiasaan melalui aktivitas analisis dan evaluasi secara berkelanjutan (Luo et al., 2020).

Secara keseluruhan, integrasi STEM dan AR dalam e-modul menunjukkan adanya peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik secara komprehensif. Namun, hasil wawancara menunjukkan perlunya penguatan *scaffolding* dalam integrasi STEM, optimalisasi akses teknologi terkait perangkat dan internet, serta pengembangan soal berbasis HOTS agar kemampuan analisis, evaluasi, dan kreasi siswa dapat berkembang lebih optimal.

## SIMPULAN

E-modul berbasis STEM yang terintegrasi dengan *Augmented Reality* (AR) pada materi asam basa telah berhasil dikembangkan melalui tahapan ADDIE yang meliputi *analysis, design, development, implementation, dan evaluation*. Produk yang dihasilkan dilengkapi fitur pembelajaran interaktif berbasis STEM dengan visualisasi AR berbasis marker serta memperoleh tingkat validitas sangat tinggi dari ahli materi sebesar 89,7% dan ahli media sebesar 89,2%. Implementasi dilakukan kepada 36 siswa kelas XI SMA menggunakan desain one-group pretest-posttest. Efektivitas dibuktikan melalui peningkatan rerata skor berpikir kritis dari 9,69 menjadi 20,50, yang dikonfirmasi secara statistik oleh uji Wilcoxon Signed Rank Test ( $Z = -5,239$ ;  $p = 0,000$ ). Analisis N-Gain menunjukkan peningkatan pada seluruh indikator berpikir kritis Ennis (2011) yaitu indikator *Strategies and Tactics* (92,06%) dan *Elementary Clarification* (87,97%) berada pada kategori tinggi, serta kategori sedang pada *Advanced Clarification* (61,29%), *Inference* (54,81%), dan *Basic Support* (35,94%). Selain itu, persentase respon peserta didik mencapai 86,9% dengan kategori sangat baik. Temuan tersebut menunjukkan adanya peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi asam basa setelah menggunakan e-modul. Penelitian berikutnya disarankan melibatkan jumlah sampel yang lebih besar serta menggunakan kelompok kontrol agar pengaruh e-modul terhadap aspek keterampilan berpikir tingkat tinggi lainnya dapat dikaji lebih mendalam.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Malang atas dukungan pendanaan berdasarkan nomor Kontrak 14.04.1019/UN32.14.1/LT/2026.

## Daftar Pustaka

- 'Aisy, S. R., & Ardhana, I. A. (2023). Analisis Tingkat Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Kelas XI IPA SMA PGRI 1 Jombang pada Materi Asam Basa Ditinjau dari Perbedaan Gender. *Jurnal Pendidikan Kimia Undiksha*, 7(2), 17–26. <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJPK>
- Ariadila, S. N., Silalahi, Y. F. N., Fadiyah, F. H., Jamaludin, U., & Setiawan. Sigit. (2023). Analisis Pentingnya Keterampilan Berpikir Siswa Terhadap Pembelajaran Bagi Siswa. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.8436970>
- Ariani, S., Hidayanti, E., Adiguna, S. P., & Supriadi, S. (2024). Pengembangan Modul Ajar Larutan Asam Basa Terintegrasi Etnokimia Berbasis Augmented Reality. *Chemistry Education Practice*, 7(1), 200–207. <https://doi.org/10.29303/cep.v7i1.6083>

- Arikunto, S. (2018). *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan Edisi 3* (3rd ed.). Bumi Aksara.
- Ashari, D. (2023). Analisis Pemanfaatan Media Pembelajaran Augmented Reality (AR) Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis. *Khazanah Pendidikan*, 17(1), 176. <https://doi.org/10.30595/jkp.v17i1.16040>
- Bybee, R. W. (2013). *The Case for Education STEM Education Challenges and Opportunities*. National Science Teacher Association. [www.nsta.org/permissions](http://www.nsta.org/permissions).
- Cahyanto, B., & Afifulloh, M. (2020). Electronic Module (E-Module) Berbasis Component Display Theory (CDT) Untuk Matakuliah Pembelajaran Terpadu. *JINOTEP (Jurnal Inovasi Dan Teknologi Pembelajaran): Kajian Dan Riset Dalam Teknologi Pembelajaran*, 7(1), 49–56. <https://doi.org/10.17977/um031v7i12020p049>
- Ciptahadi, K. G. O., Prasasta, I. B. G., Kusuma, T. M., Suwirmayanti, N. L. G. P., & Hadi, R. (2023). Augmented Reality Pengenalan Senyawa Kimia Untuk Siswa SMAN 1 Semarang Berbasis Android. *NARATIF: Jurnal Ilmiah Nasional Riset Aplikasi Dan Teknik Informatika*, 05. <https://doi.org/10.53580/naratif.v5i2.202>
- Fadhilah, N. F., & Nasution, H. A. (2025). Development of Chemistry E-Modules Based on Augmented Reality Technology on Hydrocarbon Material. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Kimia*, 124–133. <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/jipk>
- Fathiya, N., & Asrizal, A. (2022). Development of STEM Education Integrated Sound and Light Waves E-Module For Critical and Creative Thinking Skills. *Pillar Of Physics Education*, 276(4), 276–286.
- Fombona-Pascual, A., Fombona, J., & Vicente, R. (2022). Augmented Reality, a Review of a Way to Represent and Manipulate 3D Chemical Structures. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 62(8), 1863–1872. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.1c01255>
- Hidayat, F., & Nizar, M. (2021). Model Addie (Analysis, Design, Developments and Evaluation) Pembelajaran Pendidikan Agama Development, Implementation. *Jurnal Inovasi Pendidikan Agama Islam*.
- Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Ilmah, M. (2024). Analisis Pemahaman Konsep Siswa Pada Materi Asam Basa Menggunakan Instrumen Tes Diagnostik Two Tier. *Jurnal Kependidikan, Pembelajaran, Dan Pengembangan*, 06(02), 26–31. <https://doi.org/10.55273/karangan.v3i1.223>
- Inayah, Dwita Hardianti, R., & Diah Pamelasari, S. (2023). ExploraCell: Modul Terintegrasi Augmented Reality Materi Organel Sel untuk Menunjang Kualitas Pembelajaran IPA SMP. *Seminar Nasional IPA XIII*.
- Istianah, F., Wijayanti, A. Y., & Widodo, W. (2025). The Effectiveness of STEM-Based E-Modules in Enhancing Critical Thinking Skills of Elementary School Students. *Attadrib: Jurnal Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah*, 8(3), 679–694. <https://doi.org/10.54069/attadrib.v8i3.1053>
- Lin, C.-Y., & Wu, H.-K. (2021). Effects of different ways of using visualizations on high school students' electrochemistry conceptual understanding and motivation towards chemistry learning. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(3), 786–801. <https://doi.org/10.1039/D0RP00308E>
- Luo, X., Wei, B., Shi, M., & Xiao, X. (2020). Exploring the impact of the reasoning flow scaffold (RFS) on students' scientific argumentation: based on the structure of observed learning outcomes (SOLO) taxonomy. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(4), 1083–1094. <https://doi.org/10.1039/C9RP00269C>
- Maulida, A. S., Wahyudin, Turmudi, & Nurlaelah, E. (2024). The Effect Of Experiential Learning And Directed Instruction Assisted By Augmented Reality On Students' Self-Regulated learning. *Infinity Journal*, 13(2), 553–568. <https://doi.org/10.22460/infinity.v13i2.p553-568>
- Mayer, R. E. . (2021). *Multimedia learning*. Cambridge University Press.
- Mendoza-Ramírez, C. E., Tudon-Martínez, J. C., Félix-Herrán, L. C., Lozoya-Santos, J. de J., & Vargas-Martínez, A. (2023). Augmented Reality: Survey. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/app131810491>

- Nor, M. N., & Sihes, A. J. (2022). Critical Thinking in Teaching Arabic as a Foreign Language; Teacher's Competence. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 12(8). <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v12-i8/14209>
- Nuraeni, S., Feronika, T., & Yunita, D. L. (2019). Implementasi Self-Efficacy dan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Pada Pembelajaran Kimia di Abad 21. *Jambura Journal of Educational Chemistry*, 1(2).
- Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M., & Arriasec, I. (2022). A Theoretical Framework for Integrated STEM Education. *Science & Education*, 31(2), 383-404. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00242-x>
- Ozcan, O., Bayrakceken, S., Oktay, O., & Canpolat, N. (2024). Implementation of Peer Instruction Method on Teaching of Acids and Bases to 12th Grade Students: An Action Research. *Science Insights Education Frontiers*, 23(1), 3637-3673. <https://doi.org/10.15354/sief.24.or590>
- Pohan, H. M., Syaputra, A., Harahap, F. S., Yunita, D., Siregar, R. A., & Mabrouk, A. Ben. (2024). Development of an Augmented Reality-Based Practicum E-Module Integrated with Local Wisdom of Salak Fruit. *JTK (Jurnal Tadris Kimiya)*, 9(2), 124-135. <https://doi.org/10.15575/jtk.v9i2.39486>
- Purnomo, A. P., & Puspitawati, R. P. (2025). Pengembangan E-Modul Berbasis STEM Pada Materi Pencemaran Udara Untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa. *Bio Edu Ilmiah Pendidikan Biologi*, 14(3).
- Salsabila, N., & Muhid, A. (2021). Efektivitas Pendekatan STEAM Berbasis Parental Support untuk Meningkatkan Kreativitas Anak Belajar Dari Rumah selama masa Pandemi Covid-19. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 6(2), 247-253. <https://doi.org/10.29303/jipp.v6i2.194>
- Setiawan, N. C. E., Sutrisno, S., Munzil, M., & Danar, D. (2020). Pengenalan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) dan Pengembangan Rancangan Pembelajarannya untuk Merintis Pembelajaran Kimia dengan Sistem SKS di Kota Madiun. *Lambung Inovasi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 56. <https://doi.org/10.36312/linov.v5i2.465>
- Simanjuntak, Y. I. W., & Purwaningsih, D. (2024). STEM Integrated Problem Based Learning: The Implementation and Roles in Science Learning. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 25(2), 686-700. <https://doi.org/10.23960/jpmipa/v25i2.pp686-700>
- Simbolon, J., Sakti, I., Wikrama, R., & Nursaadah, E. (2023). Pengembangan E-Modul Berbasis STEM Pada Materi Suhu dan Perubahannya Untuk Siswa Kelas VII SMP. *Jurnal Pendidikan Sains*, 3.
- Skulmowski, A., & Xu, K. M. (2022). Understanding Cognitive Load in Digital and Online Learning: a New Perspective on Extraneous Cognitive Load. In *Educational Psychology Review* (Vol. 34, Number 1, pp. 171-196). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09624-7>
- Syerlita, R., & Siagian, I. (2024). Dampak Perkembangan Revolusi Industri 4.0 Terhadap Pendidikan Di Era Globalisasi Saat Ini. *Journal on Education*, 07(01). <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/joe.v7i1.6945>
- Tohir, A., Handayani, F., Sulistiana, R., Wiliyanti, V., Arifianto, T., & Husnita, L. (2024). Analisis Penerapan Augmented Reality dalam Proses Pemahaman Pembelajaran. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran*, 7(3).
- Winel, K. M., Rasmawan, R., Ulfah, M., Junanto, T., & Harun, A. I. (2023). Pengembangan VOLTA (Video Lagu Teori Kimia) pada Materi Teori Asam Basa dengan Strategi Chunking. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 11(6), 941. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v11i6.9200>
- Wulandari, F., Yogica, R., & Darussyamsu, R. (2021). Analisis Manfaat Penggunaan E-Modul Interaktif Sebagai Media Pembelajaran Jarak Jauh di Masa Pandemi Covid-19. *Khazanah Pendidikan*, 15(2), 139. <https://doi.org/10.30595/jkp.v15i2.10809>
- Zarkasyi, A., Firmansah, D., & Rahmadias, T. M. (2024). Development of Critical Thinking Skills in Modern Islamic Boarding School. *JIE (Journal of Islamic Education)*, 9(2), 679-701. <https://doi.org/10.52615/jie.v9i2.400>