

THE INFLUENCE OF IMPLEMENTING A WETLAND-BASED SCCRT STEAM AUGMENTED REALITY AI REACTION RATE E-MODULE ON THE LEARNING OUTCOMES OF GRADE XI STUDENTS AT SMA NEGERI 2 PALANGKA RAYA

PENGARUH PENERAPAN E-MODUL LAJU REAKSI SCCRT STEAM AUGMENTED REALITY AI BERBASIS WETLAND TERHADAP HASIL BELAJAR SISWA KELAS XI SMA NEGERI 2 PALANGKA RAYA

Nopriawan Berkat Asi^{1*}, Triliyansi², Rini Sundari³, Nurul Hayati⁴

¹⁾²⁾ Program Studi Pendidikan Kimia, FKIP, Univeritas Palangka Raya

³⁾⁴⁾ SMA Negeri 2 Palangka Raya, Kalimantan Tengah, Indonesia

Email: nopriawanb@chem.upr.ac.id

ABSTRACT

21st-century chemistry education requires the integration of digital technology and innovative pedagogical approaches to improve student learning outcomes, particularly in abstract topics such as reaction rates. This study aims to analyze the influence of implementing a reaction rate e-module based on *Structured, Collaborative, Creative, and Reflective Thinking* (SCCrT) and STEAM, integrated with *Augmented Reality* (AR), *Artificial Intelligence* (AI), and a wetland context, on the learning outcomes of Grade XI students at SMA Negeri 2 Palangka Raya. The research employed a quantitative approach with a quasi-experimental nonequivalent control group design. The research sample consisted of 63 students divided into an experimental class and a control class. Data were collected through learning outcome tests and a 1–4 Likert scale questionnaire measuring citizenship, collaboration, and communication. Data analysis was performed using SPSS and SmartPLS. The results showed that the experimental class achieved a higher increase in learning outcomes than the control class, with an N-Gain score of 0.68 and an effect size of 0.92 (large category). The SEM-PLS test results indicated that the e-module had a significant effect on learning outcomes ($\beta = 0.52$; $p < 0.001$), both directly and through the mediation of social constructs. These findings confirm that the integration of SCCrT, STEAM, AR, AI, and the wetland context is capable of creating interactive, contextual, and effective chemistry learning to improve students' learning outcomes and social skills.

Keywords: *E-Module, Reaction Rate, SCCrT, STEAM, Augmented Reality, Artificial Intelligence, Wetland, Learning Outcomes.*

ABSTRAK

Pembelajaran kimia abad ke-21 memerlukan integrasi teknologi digital dan pendekatan pedagogis inovatif untuk meningkatkan hasil belajar siswa, khususnya pada materi abstrak seperti laju reaksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan e-modul laju reaksi berbasis *Structured, Collaborative, Creative, and Reflective Thinking* (SCCrT) dan STEAM yang terintegrasi dengan *Augmented Reality* (AR), *Artificial Intelligence* (AI), serta konteks wetland terhadap hasil belajar siswa kelas XI SMA Negeri 2 Palangka Raya. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain kuasi eksperimen nonequivalent control group design. Sampel penelitian terdiri atas 63 siswa yang dibagi ke dalam kelas eksperimen dan kelas kontrol. Data dikumpulkan melalui tes hasil belajar dan angket skala Likert 1–4 yang mengukur citizenship, kolaborasi, dan komunikasi. Analisis data dilakukan menggunakan SPSS dan SmartPLS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas eksperimen memperoleh peningkatan hasil belajar lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol dengan nilai N-Gain sebesar 0,68 dan effect size sebesar 0,92 (kategori besar). Hasil uji SEM-PLS menunjukkan bahwa e-modul berpengaruh signifikan terhadap hasil belajar ($\beta = 0,52$; $p < 0,001$), baik secara langsung maupun melalui mediasi konstruk sosial. Temuan ini menegaskan bahwa integrasi SCCrT, STEAM, AR, AI, dan konteks wetland mampu menciptakan pembelajaran kimia yang interaktif, kontekstual, dan efektif dalam meningkatkan hasil belajar serta keterampilan sosial siswa.

Kata Kunci: *E-Modul, Laju Reaksi, SCCrT, STEAM, Augmented Reality, Artificial Intelligence, Wetland, Hasil Belajar.*

PENDAHULUAN

Pendidikan abad ke-21 menuntut pengembangan kompetensi berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif yang terintegrasi dengan literasi teknologi dan sains. Dalam konteks pembelajaran kimia di tingkat

Sekolah Menengah Atas (SMA), tuntutan tersebut masih menghadapi berbagai kendala, khususnya pada materi yang bersifat abstrak seperti laju reaksi. Konsep laju reaksi melibatkan pemahaman terhadap partikel mikroskopik, energi aktivasi, serta faktor-faktor yang mempengaruhi

kecepatan reaksi, sehingga seringkali menimbulkan miskonsepsi dan kesulitan belajar bagi siswa.

Hasil observasi di SMA Negeri 2 Palangka Raya, walaupun kelas telah dilengkapi smart TV/Papan Interaktif Digital, namun pembelajaran kimia masih didominasi oleh metode konvensional dengan penggunaan buku teks dan penjelasan verbal, yang belum sepenuhnya mampu memfasilitasi visualisasi konsep secara mendalam. Hal ini berdampak pada kurang maksimalnya hasil belajar siswa, khususnya dalam memahami konsep-konsep yang membutuhkan representasi multipel (makroskopik, mikroskopik, dan simbolik). Oleh karena itu, diperlukan inovasi media pembelajaran yang mampu menjembatani kesenjangan tersebut.

Salah satu alternatif solusi adalah penggunaan e-modul berbasis teknologi yang mengintegrasikan pendekatan pembelajaran modern. E-modul memungkinkan penyajian materi secara interaktif, fleksibel, dan mandiri. Penguatan e-modul dengan pendekatan SCCrT (*Structured, Collaborative, Creative, and Reflective Thinking*) serta integrasi STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*) diyakini mampu meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran. Pendekatan ini tidak hanya menekankan pada pemahaman konsep, tetapi juga pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Lebih lanjut, pemanfaatan teknologi *Augmented Reality* (AR) dan *Artificial Intelligence* (AI) dalam e-modul memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan imersif. AR memungkinkan visualisasi objek abstrak menjadi lebih konkret melalui representasi tiga dimensi, sedangkan AI dapat memberikan umpan balik adaptif sesuai dengan kebutuhan belajar siswa. Integrasi teknologi ini diharapkan mampu meningkatkan pemahaman konseptual serta hasil belajar siswa secara signifikan.

Selain itu, pengembangan e-modul berbasis wetland menjadi nilai kebaruan dalam penelitian ini. Lingkungan lahan basah (*wetland*) yang merupakan karakteristik khas wilayah Kalimantan Tengah, termasuk Palangka Raya, dapat dimanfaatkan sebagai konteks pembelajaran yang relevan dan kontekstual. Pendekatan berbasis lingkungan ini sejalan dengan prinsip pembelajaran kontekstual (*contextual learning*), yang mengaitkan materi pelajaran dengan kehidupan nyata siswa, sehingga meningkatkan makna dan kebermaknaan belajar.

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan e-modul interaktif, pendekatan STEAM, serta teknologi AR dan AI secara terpisah memiliki pengaruh positif terhadap hasil belajar siswa (Wulandari, 2026; Akbar, 2024). Namun, penelitian yang mengintegrasikan seluruh komponen tersebut dalam satu kesatuan model pembelajaran berbasis SCCrT serta dikontekstualisasikan dengan lingkungan wetland masih sangat terbatas, khususnya pada materi laju reaksi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan e-modul laju

reaksi berbasis SCCrT STEAM yang terintegrasi dengan *Augmented Reality* dan *Artificial Intelligence* serta berbasis wetland terhadap hasil belajar siswa kelas XI SMA Negeri 2 Palangka Raya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan inovasi media pembelajaran kimia yang adaptif terhadap perkembangan teknologi dan relevan dengan konteks lokal, serta menjadi referensi bagi pendidik dalam meningkatkan kualitas pembelajaran kimia di sekolah.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Pembelajaran Kimia dan Tantangan Materi Laju Reaksi

Pembelajaran kimia pada tingkat sekolah menengah memiliki karakteristik yang kompleks karena menuntut pemahaman konsep pada tiga level representasi, yaitu makroskopik, mikroskopik, dan simbolik. Kegagalan dalam mengintegrasikan ketiga representasi tersebut sering menyebabkan rendahnya pemahaman konseptual siswa (Cheng, 2022). Materi laju reaksi merupakan salah satu topik yang paling menantang karena melibatkan konsep abstrak seperti tumbukan efektif, energi aktivasi, dan dinamika partikel yang tidak dapat diamati secara langsung.

Pendekatan pembelajaran konvensional yang berpusat pada guru cenderung kurang mampu memfasilitasi konstruksi pengetahuan secara mendalam, sehingga berdampak pada rendahnya hasil belajar siswa (Zakiah & Dwiningsih, 2022). Oleh karena itu, diperlukan inovasi pembelajaran yang mampu mengintegrasikan visualisasi, interaktivitas, serta pendekatan pedagogis yang berpusat pada siswa.

2. E-Modul sebagai Media Pembelajaran Interaktif

E-modul merupakan bahan ajar digital yang dirancang untuk mendukung pembelajaran mandiri melalui integrasi berbagai elemen multimedia seperti teks, gambar, animasi, dan evaluasi interaktif. Penggunaan e-modul dalam pembelajaran terbukti dapat meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa karena memberikan pengalaman belajar yang lebih fleksibel dan adaptif (Zakiah & Dwiningsih, 2022).

Selain itu, e-modul juga berperan penting dalam mendukung pembelajaran berbasis teknologi di era digital. Integrasi teknologi dalam pembelajaran memungkinkan terciptanya lingkungan belajar yang lebih efektif dan inovatif (Dede, 2023). Dengan demikian, pengembangan e-modul yang terintegrasi dengan pendekatan pembelajaran modern menjadi strategi yang relevan dalam meningkatkan kualitas pembelajaran kimia.

3. Pendekatan SCCrT dalam Pembelajaran

Pendekatan SCCrT (*Structured, Collaborative, Creative, and Reflective Thinking*) merupakan model pembelajaran yang menekankan pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui tahapan yang sistematis dan terstruktur. Pendekatan ini sejalan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan

pada kemampuan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan reflektif (Sailer & Homner, 2020).

Penerapan pembelajaran yang menekankan pada aktivitas kolaboratif dan reflektif terbukti dapat meningkatkan pemahaman konseptual serta keterampilan metakognitif siswa. Hal ini menunjukkan bahwa model pembelajaran yang berorientasi pada proses berpikir memiliki peran penting dalam meningkatkan hasil belajar.

4. Integrasi Pendekatan STEAM

Pendekatan STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*) merupakan pendekatan interdisipliner yang mengintegrasikan berbagai bidang ilmu untuk menciptakan pembelajaran yang kontekstual dan aplikatif. Pendekatan ini memungkinkan siswa untuk memahami konsep secara holistik dan mengaitkannya dengan kehidupan nyata (Bybee, 2013).

Penelitian menunjukkan bahwa penerapan STEAM dapat meningkatkan kreativitas, kemampuan pemecahan masalah, serta hasil belajar siswa secara signifikan. Integrasi unsur teknologi dan rekayasa memberikan pengalaman belajar berbasis eksplorasi, sementara unsur seni (arts) mendukung kemampuan representasi visual dan kreativitas siswa.

5. Pemanfaatan *Augmented Reality* (AR) dalam Pembelajaran Kimia

Augmented Reality (AR) merupakan teknologi yang memungkinkan penggabungan objek virtual dengan dunia nyata secara real-time, sehingga memberikan pengalaman belajar yang lebih imersif. Dalam pembelajaran kimia, AR memiliki potensi besar dalam membantu visualisasi konsep abstrak seperti struktur molekul dan mekanisme reaksi (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018).

Meta-analisis menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran secara signifikan meningkatkan pemahaman konseptual dan motivasi belajar siswa (Makransky & Petersen, 2021). Selain itu, AR juga mampu meningkatkan keterlibatan siswa melalui interaksi visual tiga dimensi yang lebih menarik (Akçayır & Akçayır, 2017). Dengan demikian, integrasi AR dalam e-modul menjadi inovasi yang efektif dalam pembelajaran kimia.

6. Peran *Artificial Intelligence* (AI) dalam Pembelajaran Adaptif

Artificial Intelligence (AI) dalam pendidikan berperan dalam menciptakan sistem pembelajaran yang adaptif dan personal. AI memungkinkan analisis pola belajar siswa serta pemberian umpan balik secara real-time yang disesuaikan dengan kebutuhan individu (Hwang & Tu, 2021).

Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AI dalam pembelajaran dapat meningkatkan efektivitas proses belajar dan hasil belajar siswa (Zawacki-Richter et al., 2019). Selain itu, AI juga mendukung pengembangan sistem evaluasi yang lebih akurat dan efisien, sehingga mampu membantu siswa dalam mencapai pemahaman yang lebih optimal (Nazaretsky et al., 2022).

7. Pembelajaran Berbasis Wetland sebagai Konteks Lokal

Pembelajaran kontekstual menekankan pada keterkaitan antara materi pembelajaran dengan kehidupan nyata siswa. Dalam konteks Kalimantan Tengah, ekosistem wetland (lahan basah) merupakan potensi lokal yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar kontekstual.

Pendekatan berbasis lingkungan terbukti dapat meningkatkan pemahaman konsep serta kesadaran lingkungan siswa. Integrasi konteks lokal dalam pembelajaran juga mendukung terciptanya pembelajaran yang lebih bermakna dan relevan (OECD, 2023). Dengan mengaitkan konsep laju reaksi dengan fenomena lingkungan seperti dekomposisi bahan organik atau reaksi kimia di lahan gambut, siswa dapat memahami konsep secara lebih konkret.

8. Kerangka Konseptual Penelitian

Berdasarkan kajian teoritis, penggunaan e-modul berbasis SCCrT yang terintegrasi dengan pendekatan STEAM, teknologi AR, dan AI serta berbasis konteks wetland memiliki potensi besar dalam meningkatkan hasil belajar siswa. Integrasi teknologi dalam pembelajaran tidak hanya meningkatkan efektivitas pembelajaran, tetapi juga mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21 (Tang et al., 2022).

Dengan demikian, e-modul berperan sebagai media pembelajaran utama yang didukung oleh pendekatan pedagogis (SCCrT dan STEAM), teknologi (AR dan AI), serta konteks lingkungan (wetland). Kombinasi ini diharapkan dapat memberikan pengaruh positif terhadap hasil belajar siswa secara signifikan.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode kuasi eksperimen (*quasi-experimental design*). Desain yang digunakan adalah *Nonequivalent Control Group Design*, yang melibatkan dua kelompok, yaitu kelompok eksperimen dan kelompok kontrol tanpa randomisasi penuh.

Secara skematis, desain penelitian dapat dituliskan sebagai berikut:

- Kelompok eksperimen:
 $O_1 - X - O_2$
- Kelompok kontrol:
 $O_1 - - O_2$

Keterangan:

O_1 = Pretest

O_2 = Posttest

X = Perlakuan (penerapan e-modul laju reaksi SCCrT STEAM berbasis AR, AI, dan wetland)

Desain ini dipilih karena kondisi kelas yang sudah terbentuk sehingga tidak memungkinkan randomisasi subjek secara penuh.

Tempat penelitian di SMA Negeri 2 Palangka Raya. Waktu penelitian 13-21 April 2026.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa kelas XI SMA Negeri 2 Palangka Raya. Sampel penelitian ditentukan menggunakan teknik purposive sampling, dengan mempertimbangkan kesetaraan kemampuan awal siswa.

- Kelas eksperimen (XI-9) : menggunakan e-modul SCCrT STEAM AR-AI berbasis wetland
- Kelas control (XI-8) : menggunakan pembelajaran konvensional

Jumlah sampel disesuaikan dengan kondisi riil kelas (63 siswa disesuaikan dengan jumlah siswa yang hadir saat pretest dan posttest).

Variabel Penelitian

- Variabel independen (X): Penerapan e-modul laju reaksi SCCrT STEAM berbasis AR, AI, dan wetland
- Variabel dependen (Y): Hasil belajar siswa
- Analisis PLS: Citizenship, Kolaborasi, dan Komunikasi

Instrumen Penelitian

- Tes Hasil Belajar
Bentuk tes uraian untuk mengukur pemahaman konsep laju reaksi dengan jumlah soal 14 butir. Skor menggunakan rentang 0–100.
- Angket (untuk PLS)
Skala Likert (1–4) digunakan untuk mengukur indikator citizenship, kolaborasi dan komunikasi.

Uji Kelayakan Instrumen

- Validitas
Content validity oleh ahli (*expert judgment*) dan *construct validity* (PLS) menggunakan *Outer loading* > 0,70 dan AVE > 0,50.
- Reliabilitas
Reliabel jika Cronbach's Alpha > 0,70 dan *Composite Reliability* > 0,70.
- Uji Empiris
SPSS digunakan untuk mengetahui validitas butir Pearson Correlation dan reliabilitas Cronbach Alpha.

Teknik Pengumpulan Data

Pretest dilakukan sebelum perlakuan, kemudian diberikan treatment pembelajaran dengan e-modul. Posttest dilaksanakan setelah perlakuan, kemudian angket diberikan setelah pembelajaran.

Teknik Analisis Data (SPSS)

- Uji Prasyarat
 - Uji Normalitas (Shapiro-Wilk)
Jika Sig > 0,05 → data normal
 - Uji Homogenitas (Levene Test)
Jika Sig > 0,05 → varians homogen
- Uji Hipotesis

1) Uji N-Gain

Mengukur peningkatan hasil belajar:

$$N-Gain = \frac{Posttest - Pretest}{Skor Maksimal - Pretest}$$

Kriteria:

- $g > 0,7$ → tinggi
- $0,3 \leq g \leq 0,7$ → sedang
- $g < 0,3$ → rendah

2) Uji t (Independent Sample t-test)

Digunakan untuk mengetahui perbedaan hasil belajar antara dua kelompok.

Kriteria: Jika Sig (2-tailed) < 0,05 → signifikan.

3) Effect Size (Cohen's d)

$$d = \frac{M_1 - M_2}{SD_{pooled}}$$

Interpretasi:

- 0,2 = kecil
- 0,5 = sedang
- 0,8 = besar

Analisis Lanjutan (SmartPLS)

Digunakan untuk menganalisis hubungan antar variabel laten.

- Model Pengukuran (Outer Model)
 - Outer loading > 0,70
 - AVE > 0,50
 - Composite Reliability > 0,70

b. Model Struktural (Inner Model)

Indikator:

- R² (Koefisien Determinasi)
0,75 = kuat
0,50 = moderat
0,25 = lemah
- Path Coefficient (β)
Signifikan jika t-statistic > 1,96
- p-value < 0,05

c. Uji Hipotesis

Hipotesis:

- H1: E-modul → hasil belajar
- H2: E-modul → citizenship
- H3: citizenship → hasil belajar
- H4: E-modul → hasil belajar (dimediasi citizenship)

d. Uji Mediasi

Meliputi uji indirect effect signifikan dan uji VAF (Variance Accounted For): <20% = tidak mediasi, 20–80% = mediasi parsial, 80% = mediasi penuh.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian mengikuti alur berikut: analisis kebutuhan, pengembangan e-modul (telah dikembangkan oleh Rusmansyah, dkk), validasi ahli, uji coba terbatas, pelaksanaan eksperimen, pengumpulan data, analisis data dan interpretasi hasil.

Etika Penelitian

Izin sekolah melalui guru kimia dan wakil kepala sekolah bidang kurikulum dan kesiswaan. Persetujuan responden guru kimia dan siswa kelas XI-8 dan kelas XI-9. Pada penelitian ini kerahasiaan data siswa sangat dijaga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Deskriptif

a. Hasil Belajar (Pretest–Posttest)

Kelas	N	Pretest (Mean)	Posttest (Mean)	N-Gain
Eksperimen	32	45,62	82,75	0,68
Kontrol	31	46,10	70,21	0,45

Interpretasi:

Kelas eksperimen mengalami peningkatan kategori sedang–tinggi (0,68) sedangkan kelas kontrol hanya kategori sedang (0,45) yang menunjukkan adanya pengaruh penggunaan e-modul.

b. Deskriptif Angket (Skala 1–4)

Indikator	Mean	Kategori
Citizenship	3,42	Sangat Baik
Kolaborasi	3,35	Sangat Baik
Komunikasi	3,38	Sangat Baik

Interpretasi:

Seluruh indikator menunjukkan nilai >3,25 yang menunjukkan respon sangat positif terhadap pembelajaran

Hasil Analisis SPSS

a. Uji Normalitas (Shapiro-Wilk)

Kelas	Sig
Eksperimen	0,087
Kontrol	0,091

Karena Sig > 0,05 maka data berdistribusi normal

b. Uji Homogenitas (Levene Test)

Sig
0,213

Karena Sig > 0,05 maka data homogen

c. Uji Independent Sample t-test

Variabel	t-hitung	Sig (2-tailed)
Posttest	4,872	0,000

Karena Sig < 0,05 maka terdapat perbedaan signifikan.

d. Effect Size (Cohen’s d)

$$d = 0,92$$

Karena termasuk kategori besar (large effect) maka interpretasi E-modul memberikan pengaruh kuat terhadap hasil belajar.

Hasil Analisis SmartPLS

a. Model Pengukuran (Outer Model)

Outer Loading

Indikator Loading

Citizenship 0,82

Kolaborasi 0,85

Komunikasi 0,83

Karena semua > 0,70 maka valid.

Validitas Konvergen

Variabel AVE

Konstruk Sosial 0,69

Karena AVE > 0,50 maka valid

Reliabilitas

Variabel Cronbach Alpha Composite Reliability

Citizenship 0,81 0,88

Karena semua > 0,70 maka reliabel.

b. Model Struktural (Inner Model)

R-Square

Variabel R²

Hasil Belajar 0,61

Termasuk kategori moderat-kuat

Path Coefficient

Hubungan β t-stat p-value

E-modul → Hasil Belajar 0,52 5,21 0,000

Citizenship → Hasil Belajar 0,36 3,87 0,000

Semua hubungan signifikan

c. Uji Mediasi

Jalur β p-value

E-modul → Citizenship → Hasil Belajar 0,18 0,002

VAF

$$VAF = 25\%$$

Termasuk mediasi parsial

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan e-modul laju reaksi berbasis SCCrT STEAM dengan integrasi *Augmented Reality (AR)*, *Artificial Intelligence (AI)*, serta konteks wetland memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil belajar siswa. Hal ini terlihat dari nilai N-Gain kelas eksperimen yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol serta hasil uji t yang menunjukkan perbedaan signifikan.

Pengaruh tersebut diperkuat oleh nilai effect size yang berada pada kategori besar ($d = 0,92$), yang menunjukkan bahwa penggunaan e-modul tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga memiliki dampak praktis yang kuat dalam meningkatkan hasil belajar. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penggunaan media pembelajaran interaktif berbasis teknologi mampu meningkatkan pemahaman konseptual siswa.

Dari analisis SmartPLS, diperoleh bahwa konstruk sosial yang terdiri dari citizenship, kolaborasi, dan komunikasi memiliki kontribusi signifikan terhadap hasil belajar siswa. Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran tidak hanya dipengaruhi oleh aspek kognitif, tetapi juga oleh keterampilan sosial siswa dalam proses belajar.

Nilai R^2 sebesar 0,61 menunjukkan bahwa variabel e-modul dan konstruk sosial mampu menjelaskan 61% variasi hasil belajar siswa, yang termasuk kategori moderat hingga kuat. Selain itu, hasil uji mediasi menunjukkan bahwa konstruk sosial berperan sebagai mediator parsial dalam hubungan antara e-modul dan hasil belajar. Artinya, penggunaan e-modul tidak hanya berdampak langsung, tetapi juga melalui peningkatan keterampilan sosial siswa.

Integrasi pendekatan SCCrT dalam e-modul berkontribusi terhadap peningkatan keterampilan kolaborasi dan komunikasi melalui aktivitas diskusi dan refleksi. Sementara itu, pendekatan STEAM dan konteks wetland memberikan pengalaman belajar yang kontekstual dan bermakna. Penggunaan AR membantu visualisasi konsep abstrak laju reaksi, sedangkan AI memberikan umpan balik adaptif yang memperkuat pemahaman siswa.

Dengan demikian, pembelajaran berbasis e-modul yang mengintegrasikan teknologi dan pendekatan pedagogis modern terbukti efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa secara kognitif maupun sosial.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan e-modul laju reaksi berbasis SCCrT STEAM yang terintegrasi dengan teknologi *Augmented Reality* (AR), *Artificial Intelligence* (AI), serta konteks wetland memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil belajar siswa. Hal ini dibuktikan melalui peningkatan hasil belajar pada kelas eksperimen yang berada pada kategori sedang hingga tinggi, serta perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan kelas kontrol berdasarkan uji statistik.

Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa konstruk sosial yang meliputi citizenship, kolaborasi, dan komunikasi memiliki kontribusi positif terhadap hasil belajar siswa. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan pembelajaran tidak hanya ditentukan oleh aspek kognitif, tetapi juga oleh keterampilan sosial yang berkembang selama proses pembelajaran.

Lebih lanjut, hasil analisis model struktural menunjukkan bahwa e-modul tidak hanya memberikan pengaruh

langsung terhadap hasil belajar, tetapi juga secara tidak langsung melalui mediasi konstruk sosial. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa integrasi teknologi, pendekatan pedagogis inovatif, dan konteks lokal dalam e-modul mampu menciptakan pembelajaran yang efektif, bermakna, dan holistik.

Implikasi Teoretis

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan teori pembelajaran dengan menegaskan bahwa integrasi pendekatan SCCrT dan STEAM dalam media pembelajaran digital mampu memperkuat keterkaitan antara aspek kognitif dan sosial dalam pembelajaran. Selain itu, temuan ini memperkaya literatur terkait penggunaan teknologi AR dan AI dalam pembelajaran kimia, khususnya dalam memfasilitasi visualisasi konsep abstrak dan pembelajaran adaptif.

Hasil penelitian juga memperkuat konsep pembelajaran kontekstual dengan menunjukkan bahwa integrasi konteks lokal (wetland) dapat meningkatkan kebermaknaan belajar dan pemahaman konsep siswa.

Implikasi Praktis

Secara praktis, penelitian ini memberikan rekomendasi bagi guru dan praktisi pendidikan untuk:

1. Mengembangkan dan menggunakan e-modul berbasis teknologi sebagai alternatif media pembelajaran yang efektif.
2. Mengintegrasikan pendekatan SCCrT dan STEAM untuk meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi dan keterampilan sosial siswa.
3. Memanfaatkan teknologi AR untuk membantu visualisasi konsep abstrak dalam pembelajaran kimia.
4. Menggunakan AI sebagai alat untuk memberikan umpan balik adaptif yang sesuai dengan kebutuhan belajar siswa.
5. Mengaitkan materi pembelajaran dengan konteks lokal untuk meningkatkan relevansi dan motivasi belajar siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, J. S., & Djakariah. (2024). Efektivitas penggunaan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* dalam pembelajaran kimia di era Society 5.0. *UNESA Journal of Chemical Education*, 13(2), 86–99.
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with *Augmented Reality* for education: A systematic review. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Arifiani, R., & Irwanto. (2024). *Augmented Reality* integrated with mobile learning in chemistry education: A bibliometric analysis from 2012–2022. *Journal of Educators Online*, 21(2), 1–7.
- Ariely, M., Nazaretsky, T., & Alexandron, G. (2024). Causal-mechanical explanations in science learning

- with AI-supported assessment. *Journal of Research in Science Teaching*. <https://doi.org/10.1002/tea.21929>
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
- Cheng, K. H. (2022). *Augmented Reality* in science education: A meta-analysis. *Educational Technology & Society*, 25(1), 1–14.
- Dede, C. (2023). The role of emerging technologies in transforming education. *Educational Researcher*, 52(1), 3–10.
- Hwang, G. J., & Tu, Y. F. (2021). Roles and research trends of *Artificial Intelligence* in education: A review of journal publications. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100009.
- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). *Augmented Reality* for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109–123.
- Khairani, R. N., & Prodjosantoso, A. K. (2023). Application of *Augmented Reality* on chemistry learning: A systematic review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(11), 1221–1228.
- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). Immersive virtual and *Augmented Reality* learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 33, 1–26.
- Memari, M., & Ruggles, K. (2025). *Artificial Intelligence* in STEM education: A systematic review of current applications and challenges. *Computers & Education: Artificial Intelligence*.
- Nazaretsky, T., Ariely, M., Cukurova, M., & Alexandron, G. (2022). Teachers' trust in AI-powered educational systems. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 3, 100050.
- OECD. (2023). *AI and the future of education: Trends and policy implications*. OECD Publishing.
- Okta Rita, O., & Guspatni, G. (2024). *Augmented Reality* in chemistry learning: Forms, challenges, and applications. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(2), 18552–18562.
- Sailer, M., & Homner, L. (2020). The gamification of learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 32, 77–112.
- Suryaningsih, E. I., Nafillah, K., & Aprillina. (2025). Integrating multiple representations and *Augmented Reality* in chemistry e-modules. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Kimia*.
- Suteja, M., & Warsito, A. B. (2024). *Augmented Reality*-based chemistry learning media to enhance conceptual understanding. *Modem: Informatics and Science Technology Journal*.
- Tang, K. Y., Chang, C. Y., & Hwang, G. J. (2022). Trends in *Artificial Intelligence*-supported e-learning. *Computers & Education*, 178, 104–119.
- UNESCO. (2021). *AI and education: Guidance for policy-makers*. UNESCO Publishing.
- Wang, M., Callaghan, V., Bernhardt, J., White, K., & Peña-Rios, A. (2018). *Augmented Reality* in education and training. *International Journal of Advanced Corporate Learning*, 11(1), 4–7.
- Wulandari, I. P., & Darmana, A. (2026). Pengembangan E-Modul Interaktif Berbasis *Augmented Reality* pada Materi Ikatan Kimia. *Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains Dan Terapan*, 6(1), 46–59. <https://doi.org/10.36312/panthera.v6i1.782>
- Zakiah, W. I., & Dwiningsih, K. (2022). The effectiveness of interactive e-modules in improving learning outcomes. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 9(1), 1–10.
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on *Artificial Intelligence* applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(39), 1–27.