

**PENGEMBANGAN MODUL PEMBELAJARAN *GREEN CHEMISTRY* BERBASIS
SUSTAINABLE-PjBL BERBANTUAN *AUGMENTED REALITY***

Cyndi Prasetya^{1*}, Maisarah², Yara Qumarani¹, Naila Wahyuni¹, Nazihan Fahira¹

¹Pendidikan Kimia, Universitas Samudra, Langsa, Indonesia

²Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Samudra, Langsa, Indonesia

*Email: prasetya.cyndi@unsam.ac.id

Article History:

Received: August 15, 2025

Revised: September 19, 2025

Accepted: October 11, 2025

Published: October 20, 2025

DOI: <https://doi.org/10.22373/q2ca1y12>

ABSTRACT

While its application in higher education is frequently limited by the lack of contextual and interactive teaching materials and engaging visualization of abstract concepts, green chemistry education is crucial for developing environmental awareness and sustainable attitudes among pre-service chemistry teachers. The objective of this work was to create a green chemistry learning module using augmented reality (AR) and Sustainable Project-Based Learning (S-PjBL). Purposive sampling was used to choose 28 pre-service chemistry teachers for the study, which used the ADDIE development model. Expert validation and user response questionnaires were used to collect data, and percentage average scores were used for quantitative analysis. The module received a 92.22% validation score from material experts and a 90.56% (very feasible) validation score from educational technology experts, according to the results. Lecturers scored 94.44% on practicality assessments, while students scored 90.12% (very practical). Students' comprehension of green chemistry, sustainable project implementation, and connections to actual environmental challenges were all bolstered by the program. To sum up, the AR-assisted S-PjBL green chemistry program is very realistic and useful for educating aspiring chemistry teachers. According to the results, combining S-PjBL with AR improves student engagement, fortifies 21st-century abilities, increases knowledge of green chemistry, and promotes high-quality education.

Keywords: *augmented reality, green chemistry, learning module, pre-service chemistry teachers, sustainable project-based learning*

PENDAHULUAN

Pendidikan kimia memiliki peran strategis dalam mempersiapkan generasi yang mampu memahami fenomena sains, berpikir kritis, serta menerapkan perilaku berkelanjutan dalam menghadapi tantangan global abad ke-21. Salah satu isu utama adalah penguasaan konsep *Green Chemistry*, yang bertujuan mengurangi dampak negatif bahan kimia terhadap lingkungan, meminimalkan limbah, dan mempromosikan proses kimia yang aman serta

berkelanjutan (Anastas & Warner, 1998). Di Indonesia, integrasi *Green Chemistry* dalam pendidikan telah dilakukan melalui berbagai inisiatif: pengembangan modul praktikum ramah lingkungan (Wahyuningsih dkk., 2017), penerapan prinsip *Green Chemistry* dalam praktik laboratorium untuk pencegahan pencemaran (Putri, 2019), hingga pelatihan modul berbasis *Green Chemistry* bagi guru-guru MGMP Kimia (Aminah dkk., 2023). Pendekatan pembelajaran efektif seperti *project-based learning*, *problem-based learning*, dan *inquiry-based learning* juga efektif mengintegrasikan *Green Chemistry* dalam praktik pembelajaran (Ni'mah, 2024). Selain itu, *Green Chemistry* turut mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*), khususnya dalam pencapaian SDG 12 (*Responsible Consumption and Production*) melalui pendidikan kimia berkelanjutan (Mitarlis dkk., 2023). Dengan demikian, penguasaan konsep ini tidak hanya relevan sebagai fondasi pedagogis, tetapi juga sebagai kontribusi penting calon guru kimia sebagai agen perubahan untuk transformasi kurikulum yang berorientasi keberlanjutan lingkungan dan pembangunan global.

Meskipun urgensinya tinggi, berbagai studi menunjukkan bahwa pembelajaran *Green Chemistry* di perguruan tinggi belum sepenuhnya efektif. Hambatan yang umum ditemui antara lain keterbatasan bahan ajar yang kontekstual dan interaktif, rendahnya keterlibatan mahasiswa dalam proses pembelajaran, serta kesulitan dalam memvisualisasikan konsep abstrak seperti mekanisme reaksi ramah lingkungan dan siklus material. Misalnya, analisis kemampuan awal mahasiswa menunjukkan bahwa penguasaan 12 prinsip *Green Chemistry* masih di bawah 50 %, mencakup aspek seperti penggunaan bahan baku terbarukan dan minimisasi limbah (Idrus dkk., 2020). Selain itu, banyak institusi pendidikan masih menggunakan modul cetak dan media presentasi statis (PPT), sementara metode yang dominan berupa ceramah dan tanya jawab menyebabkan mahasiswa bersikap pasif dan kesulitan mengaitkan konsep dengan isu lingkungan nyata (Lisdiana dkk., 2023). Dengan demikian, belum diadopsinya metode pembelajaran interaktif dan modul berbasis praktik nyata menjadi penghalang utama bagi efektivitas *Green Chemistry* dalam pendidikan tinggi. Observasi awal yang dilakukan di salah satu Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan (LPTK) di Aceh menunjukkan bahwa pembelajaran *Green Chemistry* umumnya masih menggunakan modul cetak dan media presentasi statis (PPT) yang berorientasi pada penyampaian materi, bukan pada pengalaman belajar aktif. Dosen cenderung menggunakan metode ceramah dan tanya jawab, sedangkan mahasiswa berperan pasif, yang berdampak pada rendahnya kemampuan mereka mengaitkan konsep dengan masalah lingkungan nyata.

Salah satu pendekatan yang potensial untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah *Sustainable-Project Based Learning* (S-PjBL), pengembangan dari *Project-Based Learning* yang secara eksplisit mengintegrasikan prinsip keberlanjutan dalam perancangan dan pelaksanaan proyek. Melalui model ini, mahasiswa tidak hanya mempelajari konsep secara teoretis, tetapi juga mengaplikasikannya dalam proyek yang relevan dengan isu lingkungan, seperti pembuatan produk ramah lingkungan dan proses industri berkelanjutan, yang selaras dengan filosofi *Green Chemistry* (Hakim, 2024). Penerapan *Project-Based Learning* telah terbukti meningkatkan motivasi belajar, kreativitas, kemampuan berpikir kritis, dan kemampuan kognitif siswa dalam pembelajaran, sebagaimana dilaporkan dalam studi pada pembelajaran biologi (Insyasiska dkk., 2017). Oleh karena itu, S-PjBL menjadi pendekatan efektif yang dapat memperkuat peran calon guru kimia sebagai agen perubahan dalam pendidikan berkelanjutan.

Untuk memperkuat efektivitas *Sustainable Project-Based Learning* (S-PjBL), diperlukan dukungan pembelajaran yang inovatif dan interaktif. Salah satu teknologi yang memiliki potensi besar dalam pembelajaran kimia adalah *Augmented reality* (AR). AR memungkinkan pengguna mengintegrasikan objek virtual tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata secara *real-time*, sehingga mahasiswa dapat memvisualisasikan struktur molekul, mekanisme reaksi, diagram alir proses, atau skema pengolahan limbah dengan lebih jelas dan menarik (Chusna dkk., 2021). Misalnya, dalam mempelajari prinsip *Green Chemistry* “*Design for Degradation*”, mahasiswa dapat menggunakan AR untuk mengamati simulasi degradasi molekul tertentu di lingkungan, sehingga konsep yang abstrak menjadi lebih konkret dan mudah dipahami (Fitriana dkk., 2025). Beberapa studi melaporkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran kimia dapat meningkatkan keterlibatan mahasiswa, memperbaiki pemahaman konseptual, dan mendorong pembelajaran mandiri (Hikmah dkk., 2025).

Integrasi S-PjBL dengan teknologi AR diharapkan menghasilkan modul pembelajaran yang tidak hanya menyajikan materi *Green Chemistry* secara menarik, tetapi juga mengarahkan mahasiswa untuk terlibat dalam proyek-proyek berkelanjutan yang nyata. Modul ini dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih kaya, menggabungkan aspek kognitif, afektif, dan psikomotor melalui kombinasi teori, simulasi interaktif, dan penerapan proyek di lapangan. Selain itu, modul berbantuan AR dapat diakses melalui perangkat *smartphone* atau *tablet*, sehingga fleksibel digunakan baik di dalam maupun di luar kelas (Saputra & Indah, 2024). Namun demikian, sejauh penelusuran peneliti, pengembangan modul pembelajaran *Green Chemistry* berbasis S-PjBL yang mengintegrasikan teknologi AR masih jarang dilakukan, Lantanida Journal, 13(2): 219-236

khususnya di konteks pendidikan calon guru kimia di Indonesia. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada pengembangan media AR untuk topik kimia umum atau kimia organik, tanpa menggabungkannya dengan pendekatan pembelajaran berbasis proyek yang berorientasi keberlanjutan (Irma dkk., 2022). Hal ini menimbulkan kesenjangan penelitian (*research gap*) yang penting untuk diisi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan modul pembelajaran berorientasi *Sustainable Project-Based Learning* berbantuan *Augmented reality* pada materi *Green Chemistry*, serta menguji tingkat kelayakan dan kepraktisannya sebagai inovasi pembelajaran inovatif di perguruan tinggi. Modul ini diharapkan dapat menjadi solusi atas keterbatasan bahan ajar konvensional dan berkontribusi pada peningkatan kualitas pembelajaran *Green Chemistry* di Indonesia.

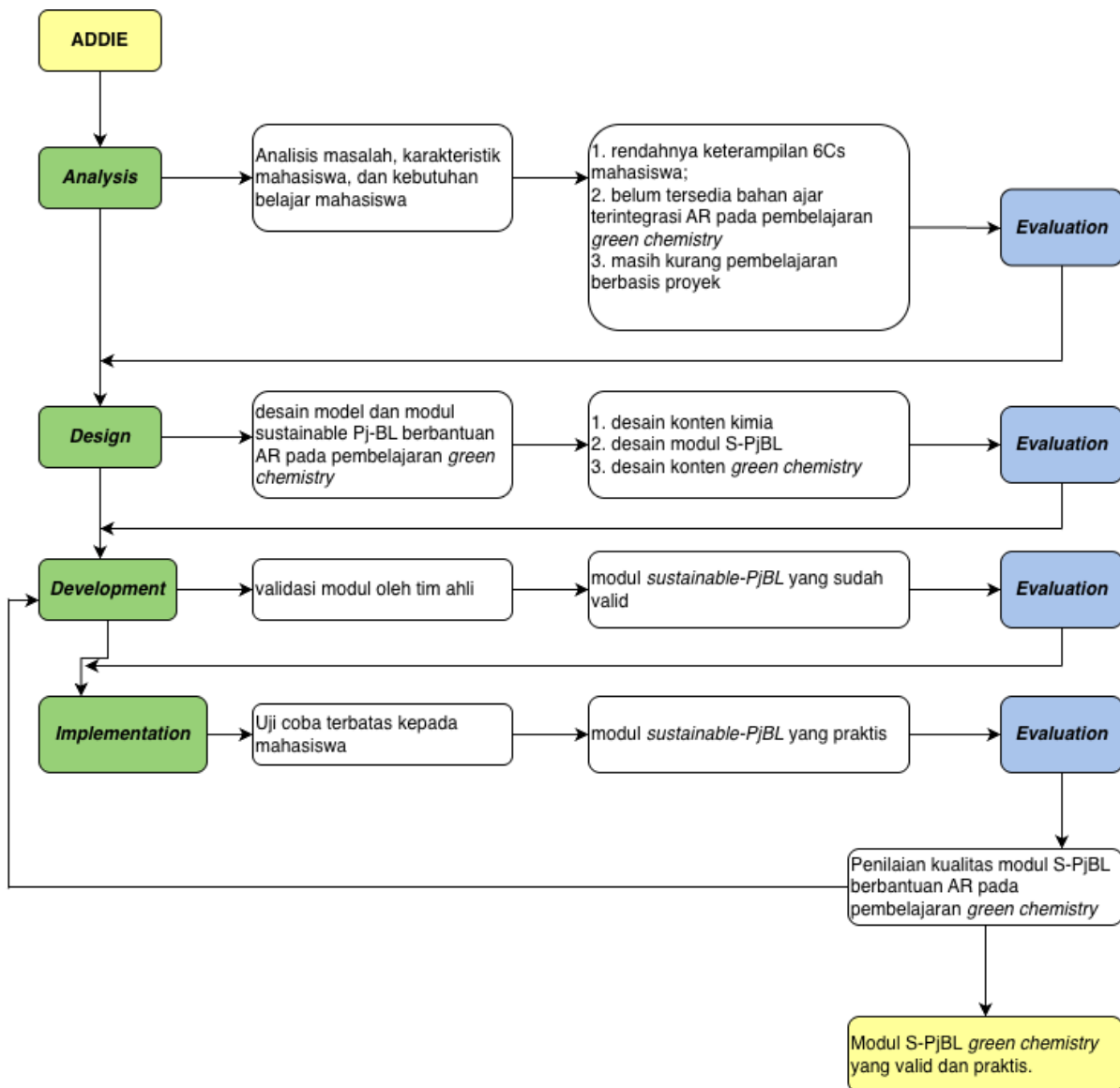
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian pengembangan. Penelitian pengembangan dilakukan dengan tujuan untuk menghasilkan inovasi produk melalui proses penelitian dan menguji daya guna produk tersebut (Prasetya dkk., 2024). Penelitian ini menghasilkan produk berupa modul pembelajaran *Green Chemistry* berbasis S-PjBL berbantuan *Augmented reality*. Inovasi produk yaitu menggunakan *augmented reality* yang menghidupkan konsep abstrak melalui interaksi objek virtual dengan dunia nyata (Hamilton, 2016), dan penggunaan produk sudah didesain mengikuti sistematika S-PjBL. Sehingga mahasiswa calon guru kimia lebih mudah memahami konsep *green chemistry* dan mempraktikkannya.

Pengembangan produk dilakukan melalui langkah-langkah model ADDIE yaitu *analysis, design, development, implementation, evaluation* (Niekrenz & Spreckelsen, 2024). Penggunaan model ADDIE dalam penelitian ini sejalan dengan penelitian Rahma dkk. (2024) yang menghasilkan modul ajar terintegrasi *Green Chemistry* berorientasi PjBL yang terbukti dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMA. Penelitian Margandaa (2022) yang mengembangkan e-LKPD berbasis *Green Chemistry* menggunakan tahapan ADDIE. Hal ini memperkuat relevansi penggunaan model ADDIE pada penelitian ini. Gambar 1 mengilustrasikan prosedur pengembangan yang dilakukan pada penelitian ini.

Subjek penelitian adalah mahasiswa semester V dan VII Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Samudra. Pemilihan subjek dilakukan dengan teknik *purposive sampling*, mempertimbangkan bahwa mahasiswa pada semester ini telah menempuh mata kuliah kimia

dasar dan kimia lingkungan, sehingga memiliki pengetahuan awal yang memadai untuk mempelajari *Green Chemistry*. Dengan demikian, jumlah subjek penelitian yaitu sebanyak 28 orang mahasiswa calon guru kimia.



Gambar 1. Tahapan Penelitian sesuai Model ADDIE

Teknik pengumpulan data yang digunakan yaitu kuesioner atau angket. Lembar angket yang digunakan dalam penelitian ini berupa lembar angket validasi dan lembar angket respon pengguna. Lembar angket validasi diberikan kepada validator ahli yang mempunyai kepakaran materi dan teknologi pembelajaran (Maisarah & Yusnita, 2024). Validator ahli memberikan penilaian dan komentar perbaikan agar produk memenuhi kriteria kelayakan. Indikator penilaian yang digunakan dalam lembar angket validasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Indikator Penilaian Pada Lembar Validasi Produk

No	Aspek atau Pakar	Aspek Penilaian	Indikator
1	Substansi Materi	Kelayakan isi	a. Ketepatan materi b. Ketercapaian tujuan pembelajaran c. Relevansi karakteristik pengguna
		Kesesuaian S-PjBL	a. Langkah-langkah S-PjBL b. Relevansi evaluasi
		Kebahasaan	a. Menggunakan bahasa Indonesia sesuai kaidah b. Tidak ambigu c. Bahasa komunikatif
2	Teknologi Pembelajaran	Tampilan Modul	a. Kemenarikan tampilan b. Kekhasan
		Interaktivitas	a. Mengandung unsur Fleksibilitas b. Kemudahan Aksesibilitas c. Ketepatan navigasi d. Bahasa komunikatif dua arah
		Kualitas konten <i>Augmented reality</i>	a. Kejelasan manfaat visualisasi realistik b. Ketepatan penggunaan unsur digital c. Penambahan daya tarik

Selanjutnya lembar angket respon pengguna diberikan kepada mahasiswa calon guru kimia selaku subjek yang menggunakan produk. Dari lembar angket respon pengguna akan dianalisis tingkat kepraktisan produk. Indikator penilaian yang digunakan dalam lembar angket validasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Indikator Penilaian Pada Lembar Angket Respon

No	Aspek	Indikator
1	Kemudahan pengguna	a. Pengguna dapat menggunakan modul secara mandiri b. Navigasi modul dan AR mudah digunakan c. Petunjuk mendukung proses penggunaan dalam pembelajaran
2	Kemenarikan tampilan	a. Tampilan menarik sehingga memotivasi pengguna b. Ketepatan visual AR mendukung grafis c. Desain visual konsisten dan profesional
3	Keterpaduan materi	a. Materi disusun secara sistematis b. Kesesuaian materi dengan kompetensi c. Kesesuaian materi dengan topik <i>Green Chemistry</i>
4	Dukungan terhadap proyek (S-PjBL)	a. Modul memfasilitas pelaksanaan proyek yang relevan dengan prinsip keberlanjutan

No	Aspek	Indikator
		b. Modul mendukung pelaksanaan sesuai tahapan S-PjBL
		c. Modul mendorong terjadinya kolaborasi dan pemecahan masalah

Data yang diperoleh dari lembar angket selanjutnya dianalisis menggunakan teknik analisis kuantitatif. Adapun rumus yang digunakan yaitu persentase rerata skor (PRS) seperti ditunjukkan dalam persamaan di bawah ini (Jannah & Putra, 2024).

$$PRS = \frac{\text{Skor yang diperoleh}}{\text{Skor maksimum}} \times 100$$

Tahap selanjutnya adalah interpretasi tingkat kelayakan maupun kepraktisan produk. Tabel 3 dapat digunakan sebagai pedoman interpretasi analisis skor tersebut (Khadijah dkk., 2022; Maisarah dkk., 2024).

Tabel 3. Klasifikasi Kevalidan dan Kepraktisan Produk

Persentase Rerata Skor	Kriteria Kevalidan	Kriteria Kepraktisan
PRS > 81,25%	Sangat layak	Sangat praktis
62,50% < PRS ≤ 81,25%	Layak	Praktis
43,75% < PRS ≤ 62,50%	Kurang layak	Kurang praktis
PRS ≤ 43,75%	Tidak layak	Tidak praktis

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan Modul Pembelajaran *Green Chemistry* berbasis *Sustainable-PjBL* Berbantuan *Augmented reality*

Penelitian ini menghasilkan modul S-PjBL berbantuan *Augmented reality* yang dikembangkan melalui lima tahapan model ADDIE, yakni: *Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*. Tahapan *analysis* dilakukan melalui tiga kegiatan untuk memenuhi standar kebutuhan dan fondasi pengembangan, yaitu: identifikasi kebutuhan pembelajaran, tujuan pembelajaran, dan karakteristik pengguna.

Tabel 4. Hasil Tahapan *Analysis* Kebutuhan Modul

No	Aspek	Temuan
1	Identifikasi Kebutuhan Pembelajaran	<ul style="list-style-type: none"> a. 85% mahasiswa calon guru kimia belum dapat mengaitkan teori <i>Green Chemistry</i> dengan praktik nyata dan isu keberlanjutan. b. 90% belum pernah menggunakan <i>Augmented reality</i> dalam pembelajaran. c. 80% menginginkan model pembelajaran berbasis proyek yang mengacu pada isu lingkungan dan keberlanjutan. d. 92% menyatakan bahwa evaluasi yang dilakukan saat ini belum mengukur keterampilan abad 21 secara komprehensif
2	Tujuan Pembelajaran	<ul style="list-style-type: none"> a. difokuskan pada kognitif (C4-C6), afektif (A3), dan psikomotor (P3-P4). b. 80% mahasiswa calon guru kimia mencapai nilai ≥ 80.
3	Karakteristik Pengguna	<ul style="list-style-type: none"> a. 70% memiliki pengalaman menggunakan laboratorium kimia konvensional, tetapi belum terlibat dalam proyek riset berkelanjutan. b. 95% memiliki dasar teori kimia yang cukup baik. c. 60% belum memiliki pengalaman terkait proyek berkelanjutan yang dikaitkan dengan pembelajaran di kelas maupun penelitian dosen. d. 95% memiliki perangkat smartphone Android/iOS, maupun laptop. e. 60% aktif mengikuti seminar atau workshop lingkungan sehingga menunjukkan motivasi yang tinggi akan isu lingkungan.

Berdasarkan temuan dari Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa mahasiswa calon guru kimia membutuhkan adanya modul ajar yang menekankan pendekatan *Sustainable-Project based Learning* (SPjBL) yang mengacu pada isu lingkungan dan berkelanjutan agar memberikan dampak nyata bagi kehidupan manusia. Bahkan mahasiswa calon guru kimia sangat mendukung penggunaan *Augmented reality* agar mereka tidak sekadar menguasai keilmuan kimia tetapi juga tanggap akan kemajuan teknologi yang semakin pesat. Dari tahapan *analysis* dirumuskan pentingnya dilakukan pengembangan modul S-PjBL berbantuan *augmented reality*.

Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa mahasiswa calon guru kimia masih mengalami kesulitan dalam mengaitkan konsep *Green Chemistry* dengan praktik nyata, belum terbiasa menggunakan teknologi *Augmented reality* (AR), serta memerlukan model pembelajaran yang menekankan pada proyek berkelanjutan berbasis isu lingkungan. Penelitian Deviana (2018) menyatakan bahwa analisis kebutuhan yang menyeluruh dan akurat menjadi dasar dalam pengembangan produk, seperti pengembangan modul pembelajaran sesuai kebutuhan lapangan. Dengan demikian, hasil analisis ini menegaskan urgensi pengembangan

modul *Sustainable-Project Based Learning (S-PjBL)* berbantuan AR untuk menjawab tantangan pembelajaran kimia di era digital dan berorientasi pada keberlanjutan.

Peta kebutuhan yang disusun kemudian diterjemahkan ke dalam indikator tujuan dan rancangan konten modul sesuai daftar isi. Struktur modul terdiri atas enam bab yang mencakup pendahuluan, konsep *Green Chemistry*, model pembelajaran S-PjBL, integrasi AR, kegiatan pembelajaran berbasis proyek, serta evaluasi keterampilan abad ke-21 (6C). Hal ini sejalan dengan teori Dick dkk. (2009) dalam model desain pembelajaran sistematis, yang menekankan pentingnya keterpaduan antara kebutuhan, tujuan, dan konten pembelajaran. Dengan demikian, rancangan modul tidak hanya menjawab kebutuhan mahasiswa calon guru kimia, tetapi juga dirancang agar selaras dengan capaian pembelajaran yang menekankan aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik.

Pada tahapan *design* dilakukan tiga kegiatan penelitian, yakni: *media selection*, *format selection*, dan *initial design*. *Media selection* berarti dilakukan pemilihan platform dan aplikasi digital yang mendukung untuk perancangan modul. Dari hasil diskusi ditentukan beberapa platform yang mempunyai peran dan fungsi berbeda. Microsoft word untuk *template* naskah modul, canva untuk *desain layout*, assemblr edu untuk desain konten *augmented reality* dan *barcode* untuk penggunaan visualisasi isu lingkungan terkini, dan google drive sebagai wadah pengumpulan tugas. Pemilihan media ini sesuai dengan pendapat Smaldino dkk. (2019) yang menekankan bahwa keberhasilan pembelajaran berbasis teknologi bergantung pada kesesuaian media dengan tujuan dan karakteristik pengguna. Penelitian oleh Septhiani dkk. (2025) juga membuktikan bahwa penggunaan media digital interaktif dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterlibatan aktif pengguna.

Kegiatan *format selection*, yaitu pemilihan format huruf, tulisan, layout, dan gambar yang digunakan. Menurut Mayer (2020) desain visual yang konsisten dan menarik akan membantu mengurangi *cognitive load* serta meningkatkan pemahaman. Kegiatan *initial design* yakni mendesain *storyboard* sesuai peta kebutuhan, mendesain tugas beserta template dan rubrik sesuai tahapan S-PjBL, desain konten *augmented reality* dan *barcode* untuk memudahkan calon guru kimia mengakses sumber digital maupun *template* penugasan. *Project based learning* yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kolaborasi, dan kreativitas mahasiswa (Zahara & Silitonga, 2023; Samosir & Ardila 2025). Penelitian Eka dkk. (2024) menunjukkan bahwa integrasi AR dalam pembelajaran kimia mampu meningkatkan pemahaman konsep dan memberikan visualisasi yang lebih nyata.

Tabel 5. Peta Kebutuhan dan Rancangan Konten Modul S-PjBL

No	Hasil Tahapan Analisis	Indikator	Desain Konten Modul S-PjBL
1	Mahasiswa membutuhkan pemahaman yang jelas tentang latar belakang, tujuan, manfaat, dan cara penggunaan modul.	a. Latar belakang pentingnya <i>Green Chemistry</i> dengan pendekatan S-PjBL berbantuan AR. b. Tujuan dan manfaat modul. c. Penggunaan modul.	Bab 1. Pendahuluan 1.1 Latar Belakang 1.2 Tujuan Pengembangan Modul 1.3 Manfaat Modul 1.4 Petunjuk Penggunaan Modul
2	Mahasiswa kesulitan mengaitkan teori <i>Green Chemistry</i> dengan praktik nyata dan isu keberlanjutan lingkungan.	a. Definisi dan 12 prinsip <i>Green Chemistry</i> . b. Penerapan <i>Green Chemistry</i> dalam kehidupan sehari-hari. c. Peran <i>Green Chemistry</i> dalam menjaga keberlanjutan lingkungan.	Bab 2: Konsep Dasar <i>Green Chemistry</i> 2.1 Definisi dan Prinsip <i>Green Chemistry</i> 2.2 Penerapan <i>Green Chemistry</i> dalam Kehidupan Sehari-hari 2.3 Peran <i>Green Chemistry</i> dalam Keberlanjutan Lingkungan
3	Pembelajaran kimia di kelas dominan ceramah, minim proyek berkelanjutan dan integrasi keterampilan abad 21.	a. Konsep S-PjBL. b. Langkah-langkah implementasi S-PjBL. c. Hubungan S-PjBL dengan pengembangan keterampilan abad ke-21	Bab 3: Model Pembelajaran S-PjBL dalam <i>Green Chemistry</i> 3.1 Konsep S-PjBL 3.2 Langkah-langkah Implementasi S-PjBL 3.3 Hubungan S-PjBL dengan Keterampilan Abad ke-21 (6C)
4	Mahasiswa belum familiar menggunakan <i>Augmented reality</i> (AR) untuk pembelajaran kimia.	a. Teknologi AR dan assembly. b. Peran AR dalam visualisasi konsep <i>Green Chemistry</i> . c. Penggunaan AR dalam kegiatan pembelajaran.	Bab 4: Integrasi <i>Augmented reality</i> dalam Modul 4.1 Pengenalan Teknologi AR dan Assembly 4.2 Peran AR dalam Pembelajaran <i>Green Chemistry</i> 4.3 Penggunaan AR dalam Modul
5	Mahasiswa membutuhkan panduan praktis untuk	a. Eksperimen <i>Green Chemistry</i> yang memanfaatkan AR.	Bab 5: Kegiatan Pembelajaran Berbasis S-PjBL

No	Hasil Tahapan Analisis	Indikator	Desain Konten Modul S-PjBL
	melaksanakan eksperimen dan proyek <i>Green Chemistry</i> berbasis keberlanjutan dengan bantuan AR.	b. Desain proyek berbasis <i>Green Chemistry</i> untuk keberlanjutan. c. Refleksi dan evaluasi pembelajaran proyek.	5.1 Eksperimen <i>Green Chemistry</i> dan Implementasi AR 5.2 Proyek Berbasis <i>Green Chemistry</i> untuk Keberlanjutan 5.3 Refleksi dan Evaluasi Pembelajaran
6	Diperlukan evaluasi pembelajaran yang mengukur aspek kognitif, psikomotor, afektif, dan keterampilan 6C.	a. Instrumen evaluasi pembelajaran berbasis proyek. b. Pengukuran keterampilan 6C mahasiswa secara kuantitatif dan kualitatif.	Bab 6: Evaluasi Pembelajaran dan Pengukuran Keterampilan 6C 6.1 Instrumen Evaluasi Pembelajaran 6.2 Pengukuran Keterampilan 6C

Dengan demikian, hasil analisis, peta kebutuhan, dan desain modul menunjukkan kesinambungan yang kuat. Modul yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai sumber belajar, tetapi juga sebagai inovasi pembelajaran berbasis proyek berkelanjutan dengan dukungan teknologi AR. Hal ini sejalan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21, yaitu menumbuhkan keterampilan *Critical Thinking, Creativity, Collaboration, Communication, Citizenship*, dan *Character (6C)*. Keterampilan 6C merupakan fondasi penting bagi calon guru kimia untuk menghadapi tantangan global, termasuk dalam konteks isu lingkungan dan keberlanjutan (Astuti, 2024; Redhana, 2019).

Kelayakan Modul Pembelajaran *Green Chemistry* berbasis *Sustainable-PjBL* Berbantuan *Augmented reality*

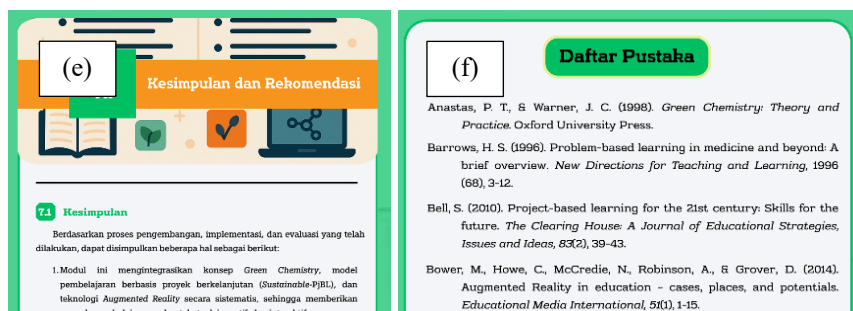
Kelayakan modul diteliti pada pelaksanaan tahapan *development*. Pada tahapan ini dilakukan dua kegiatan, yaitu: penyusunan produk awal berbentuk modul digital dan menguji kelayakan produk melalui penilaian validasi ahli. Penyusunan produk awal berbentuk modul mengikuti langkah-langkah S-PjBL yang relevan dengan peta kebutuhan. Uji kelayakan produk dilakukan melalui penilaian validasi ahli yang hasilnya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Validasi Ahli Materi dan Ahli Teknologi Pembelajaran

Ahli	Aspek Penilaian	PRS (%)	Rata-rata (%)	Kriteria
Materi	Kelayakan Isi	93,33	92,22	Sangat layak
	Kesesuaian dengan S-PjBL	90,00		
	Kebahasaan	93,33		
Teknologi Pembelajaran	Tampilan Modul	90,00	90,56	Sangat layak
	Interaktivitas	95,00		
	Kualitas Konten AR	86,67		

Berdasarkan Tabel 6, skor rata-rata validasi ahli materi adalah 92,22% dan ahli teknologi pembelajaran 90,56%, keduanya berada pada kategori sangat layak. Modul pembelajaran *Green Chemistry* berbasis S-PjBL berbantuan *Augmented reality* yang telah direvisi berdasarkan saran validator ahli disajikan pada Gambar 2.





Gambar 2. Tampilan Modul Pembelajaran *Green Chemistry* berbasis S-PjBL berbantuan AR Bagian: (a) Halaman Judul; (b) Daftar Isi; (c) Konten Materi; (d) Langkah-Langkah S-PjBL; (e) Kesimpulan dan Rekomendasi; dan (f) Daftar Pustaka

Dari sisi isi, modul ini memuat materi *Green Chemistry* yang telah disesuaikan dengan prinsip-prinsip pembelajaran berkelanjutan. Pendekatan S-PjBL memungkinkan mahasiswa calon guru kimia untuk mengintegrasikan konsep *Dkimia* hijau ke dalam proyek nyata, seperti pengolahan limbah laboratorium, pemanfaatan bahan kimia ramah lingkungan, dan perancangan produk dengan jejak karbon rendah. Dari sisi teknologi pembelajaran, pemanfaatan *Augmented reality* membuat konsep yang bersifat mikroskopis atau sulit diamati secara langsung menjadi lebih mudah dipahami. Misalnya, prinsip *prevention* dan *atom economy* divisualisasikan dalam bentuk simulasi 3D yang dapat dipindai menggunakan gawai, sehingga membantu mahasiswa calon guru kimia melihat alur reaksi, dampak limbah, atau perbandingan efisiensi bahan secara interaktif. Temuan ini sejalan dengan penelitian Kurniawati dkk. (2023) yang melaporkan bahwa integrasi AR dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan pemahaman konsep, membantu mahasiswa calon guru kimia memahami materi, dan menambah minat belajar. Penelitian lain oleh Muzanni dkk. (2023) juga menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran IPA dasar secara signifikan meningkatkan pemahaman konseptual siswa dibanding metode konvensional. Dengan demikian, modul yang dikembangkan tidak hanya memenuhi aspek kelayakan akademis, tetapi juga memiliki kekuatan inovasi teknologi untuk mendukung pembelajaran abad ke-21.

Kepraktisan Modul Pembelajaran *Green Chemistry* berbasis *Sustainable-PjBL* Berbantuan *Augmented reality*

Kepraktisan modul diteliti pada pelaksanaan tahapan *implementation*. Pada tahapan ini dilakukan dua kegiatan, yaitu: modul digunakan oleh mahasiswa calon guru kimia dan

penyebaran angket respon pengguna mengenai kepraktisan modul. Aspek penilaian pada angket respon pengguna dan hasil pengukurannya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji Kepraktisan Modul

Aspek Penilaian	Dosen (%)	Kriteria	Mahasiswa (%)	Kriteria
Kemudahan Penggunaan	93,33	Sangat Praktis	89,52	Sangat Praktis
Kemenarikan Tampilan	91,11	Sangat Praktis	90,71	Sangat Praktis
Keterpaduan Materi	95,56	Sangat Praktis	89,05	Sangat Praktis
Dukungan terhadap Proyek	97,78	Sangat Praktis	91,19	Sangat Praktis
Rata-rata	94,44	Sangat Praktis	90,12	Sangat Praktis

Berdasarkan Tabel 8, baik dosen maupun mahasiswa calon guru kimia memberikan penilaian rata-rata di atas 90%, masuk kategori sangat praktis. Dosen menyoroti bahwa modul memudahkan mereka merancang pembelajaran berbasis proyek tanpa harus mencari banyak sumber tambahan, karena materi, panduan proyek, dan AR sudah terintegrasi. Mahasiswa calon guru kimia mengapresiasi tampilan visual yang menarik dan kemudahan memahami materi yang abstrak berkat simulasi AR. Mereka juga merasa lebih termotivasi karena proyek yang diberikan memiliki relevansi nyata dengan isu lingkungan.

Integrasi *Sustainable-Project Based Learning* (S-PjBL) dan *Augmented reality* (AR) terbukti menciptakan pengalaman belajar yang mendalam dan interaktif. S-PjBL mendorong mahasiswa calon guru kimia untuk aktif merancang solusi terhadap permasalahan lingkungan berdasarkan prinsip *Green Chemistry* yang menekankan pencegahan limbah, penggunaan pelarut aman, dan keselamatan kerja. Sementara itu, AR memberikan dimensi visual yang mampu meningkatkan keterlibatan kognitif serta membantu memahami konsep abstrak secara lebih nyata. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Inggaswana dkk. (2023) yang membuktikan bahwa penerapan AR pada pembelajaran berbasis proyek dapat meningkatkan pemahaman konseptual, motivasi belajar, kemampuan kolaborasi, dan keterampilan berpikir kritis siswa.

Hasil serupa dilaporkan oleh Aisah dkk. (2023) yang mengembangkan modul kimia hijau berbasis PjBL dengan tingkat validitas tinggi (3,64), konsistensi antar-penilai sempurna (1,00), serta kepraktisan dan efektivitas yang tinggi dengan N-Gain mencapai 0,89. Penelitian Ratnawati dan Praptomo (2023) juga menemukan bahwa penerapan PjBL berbasis *Green*

Chemistry mampu meningkatkan hasil belajar secara signifikan, dengan 92% peserta didik berada pada kategori baik dan sangat baik setelah pembelajaran. Selain itu, Panjaitan dkk. (2024) mengungkapkan bahwa e-LKPD berbasis PjBL terintegrasi *Chemo-Entrepreneurship* layak digunakan, praktis, dan mendapatkan respon positif dari guru maupun siswa.

Dengan tingkat kelayakan dan kepraktisan yang tinggi, modul pembelajaran yang mengintegrasikan S-PjBL dan AR dinyatakan layak untuk digunakan dalam pendidikan calon guru kimia. Modul ini tidak hanya memenuhi kebutuhan akademis, tetapi juga menjawab tantangan pendidikan abad ke-21 dengan menghasilkan guru yang mampu memadukan teknologi interaktif dan kesadaran lingkungan dalam proses pembelajaran, sehingga selaras dengan tuntutan inovasi pendidikan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Modul pembelajaran *Green Chemistry* berbasis S-PjBL berbantuan *Augmented reality* terbukti sangat layak dan sangat praktis untuk digunakan oleh mahasiswa calon guru kimia. Modul ini dikembangkan melalui tahapan model ADDIE dengan mempertimbangkan analisis kebutuhan mahasiswa calon guru kimia yang mencakup kesulitan mengaitkan konsep *Green Chemistry* dengan praktik nyata, minimnya pengalaman proyek berkelanjutan, serta keterbatasan penggunaan teknologi AR dalam pembelajaran. Hasil validasi ahli materi (92,22%) dan ahli teknologi pembelajaran (90,56%) menunjukkan bahwa modul ini berada pada kategori sangat layak, baik dari segi isi, kesesuaian dengan prinsip S-PjBL, kebahasaan, tampilan, interaktivitas, maupun kualitas konten AR. Hasil uji kepraktisan yang melibatkan dosen (94,44%) dan mahasiswa (90,12%) menunjukkan kategori sangat praktis, sehingga modul dinilai memudahkan proses pembelajaran, menarik, relevan dengan isu lingkungan, serta mendukung keterampilan abad ke-21 (6C).

DAFTAR PUSTAKA

- Aisah, S., Yolanda, Y., & Wardani, S. (2023). Pengembangan modul pembelajaran kimia hijau berbasis *project-based learning* untuk meningkatkan kesadaran lingkungan mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 11(2), 89–98.
- Aminah, S., Rahmawati, S., Ijirana, N., Nurbaya, N., Magfirah, M., & Abram, P. H. (2023). Pelatihan pengembangan modul praktikum berbasis green chemistry bagi guru-guru di MGMP Kimia Kota Palu. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara*, 4(4), 5179–5186.
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.

- Aqilatun Ni'mah. (2024). *A scoping review* pembelajaran kimia berwawasan green chemistry: Strategi dan lingkup materi. *Jurnal Kajian Pendidikan IPA*, 5(1), 1–12.
- Astuti, M.L. (2024). Peran Kecakapan 6C dalam Pembelajaran Abad ke-21 untuk Siswa Sekolah Dasar, *Didaktika: Jurnal Pendidikan Sekolah Dasar*, 7(2), 154-161.
- Chusna, A., Setiadi, A. D., Amalia, E., & Fajaroh, P. F. (2021). Studi literatur penerapan *Augmented reality* dalam pembelajaran kimia: Keunggulan, manfaat, dan aplikasinya. *Lomba Karya Tulis Ilmiah*, 2(1), 71–84.
- Deviana, T. (2018). Analisis Kebutuhan Pengembangan Modul Pembelajaran Berbasis Kearifan Lokal Kabupaten Tulungagung untuk Kelas IV SD Tema Bangga sebagai Bangsa Indonesia, *Jurnal Pemikiran dan Pengembangan SD*, 6(1), 47-56.
- Dick, W., Carey, L., & Carey, J. O. (2009). *The Systematic Design of Instruction* (7th ed.). New Jersey: Pearson.
- Eka, S.D., Nurjannah, D.F., Amalia, V.N., Ramaulita, T.N., Nusyahbana, G.L., Rohman, I., Suhandha, H., & Rahmawati, T. (2024). Efektivitas Flipbook Nanoteknologi Berbasis Etnosains terintegrasi *Augmented reality* dalam Mendukung Program SDGs untuk Siswa SMA, *Lantanida Journal*, 12(2), 97-112.
- Fitriana, N., Ikhwaningrum, D. U., & Rahayu, B. R. F. (2025). *Augmented reality* sebagai media pembelajaran: Peningkatan berpikir kritis mahasiswa dengan *Assemblr Edu*. *Edukasi: Jurnal Pendidikan*.
- Hamilton, B. (2015). *Integrating technology in the classroom: Tools to meet the needs of every student*. Eugene, OR: ISTE.
- Hakim, F. (2024). *Project-Based Learning-Oriented Worksheet Based on Local Wisdom and Green Chemistry*. *Journal of Educational Chemistry (JEC)*, 6(1), 27–36.
- Hikmah, M. M., Yamtinah, S., & Mahardiani, L. (2025). CHEMAR (*Chemistry Augmented reality*) pada sistem periodik unsur sebagai media interaktif untuk meningkatkan kemampuan berpikir abstrak siswa. *Jurnal Pendidikan Kimia (JPKim)*.
- Idrus, S. W. al, Purwoko, A. A., Hadisaputra, S., & Junaedi, E. (2020). Analisis kemampuan awal konsep Green Chemistry sebagai upaya meningkatkan kreativitas mahasiswa dalam praktikum kimia lingkungan. *Jurnal PIJAR MIPA*, 15(3), 305–311.
- Inggaswana, A. C., Cahyani, S. S., & Zaqiah, N. (2023). Penerapan *Augmented reality* dalam pembelajaran berbasis proyek untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *Jurnal Pendidikan Dasar Nusantara*, 9(1), 15–27.
- Insyasiska, D., Zubaidah, S., & Susilo, H. (2017). Pengaruh *project based learning* terhadap motivasi belajar, kreativitas, kemampuan berpikir kritis, dan kemampuan kognitif siswa pada pembelajaran biologi. *Jurnal Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang*, 9(2), 95–104.

- Irma, W., Okra, R., Musril, H. A., & Derta, S. (2022). Perancangan media pembelajaran *Augmented reality* pada mata pelajaran kimia menggunakan Unity di SMA Negeri 1 Bukittinggi. *Jurnal Manajemen Informatika (JAMIKA)*, 14(1).
- Jannah, R. R., & Putra, G. M. C. (2024). Feasibility of *Augmented reality* Integrated E-Comics to Improve Learning Outcomes. *Mimbar Sekolah Dasar*, 11(3), 557–571.
- Kurniawati, H., Fatwa Dhini, B., Kusumaningrum, E. N., & Diki, D. (2023). Persepsi mahasiswa terhadap *Augmented reality* terintegrasi dengan modul fisiologi hewan. *BEST Journal (Biology Education, Sains and Technology)*.
- Lisdiana, H., Suryani, E., Nurrohmah, A. S., Apriliani, L., & Saputra, R. (2023). Analisis keefektifan lingkungan pembelajaran kimia berbasis web pada mahasiswa pendidikan kimia. *Jurnal Riset Pendidikan Kimia (JRPK)*, 13(1), 16–29.
- Maisarah & Yusnita, N.S. (2024). Development of Canva Multimedia-Assisted Interactive Learning Videos in Grade IV Science Lessons in Elementary Schools, Madako Elementary School, 3(1), 1-14.
- Maisarah., Prasetya, C., Lailissa'adah., Nazwa, F & Ain, I.N. (2024). The SIAR Book (Interactive Science with *Augmented reality*) for Enhancing Science Process Skills of Students in Indonesia, *Mimbar Sekolah Dasar*, 11(4), 659-676.
- Margandaa, F. (2022). Pengembangan e-LKPD berbasis *Green Chemistry* pada Materi Asam Basa. Skripsi. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Mayer, R.E. (2020). *Multimedia Learning (Third Edition)*. New York: Cambridge University Press.
- Mitarlis, M., Azizah, U., & Yonata, B. (2023). *The integration of green chemistry principles in basic chemistry learning to support achievement of sustainable development goals (SDGs) through education. Journal of Technology and Science Education*, 13(1), 233–254.
- Muzanni, A., Wartha Chandra Wira Kusuma, D., & Muliadi, A. (2023). Pemanfaatan *Augmented reality* sebagai media pembelajaran interaktif untuk meningkatkan pemahaman konsep IPA siswa sekolah dasar. *JPIIn: Jurnal Pendidik Indonesia*.
- Niekrenz, L., & Spreckelsen, C. (2024). How to design effective educational videos for teaching evidence-based medicine to undergraduate learners – systematic review with complementing qualitative research to develop a practicable guide. *Medical Education Online*, 29(1).
- Panjaitan, G. L. O., Rahmawati, R., & Mulyadi, E. (2024). Pengembangan e-LKPD berbasis *project-based learning* terintegrasi *Chemo-Entrepreneurship* pada materi kimia hijau. *Jurnal Riset Kimia dan Pendidikan Kimia*, 10(1), 45–56.
- Prasetya, C., Maisarah., Tanjung, R.A. & Faradilla, M. (2024). Pengembangan LKPD Interaktif Berbantuan *Liveworksheets* Pada Materi Wujud Zat dan Perubahannya, *Lantanida Journal*, 12(1).

- Putri, A. C. (2019). Pengaplikasian prinsip-prinsip green chemistry dalam pelaksanaan pembelajaran kimia sebagai pendekatan untuk pencegahan pencemaran akibat bahan-bahan kimia dalam kegiatan praktikum di laboratorium. *Journal of Creativity Student*, 2(2), 45–52.
- Rahma, R., Jusniar & Auliah, A. (2024). Pengembangan Modul Ajar terintegrasi Green Chemistry berorientasi Project Based Learning untuk meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA (Studi pada Materi Pokok Keseimbangan Kimia), *ChemEdu (Jurnal Ilmiah Pendidikan Kimia)*, 5(3), 15-26.
- Ratnawati, E., & Praptomo, S. (2023). Implementasi model pembelajaran *project-based learning berbasis green chemistry* untuk meningkatkan hasil belajar siswa SMA. *Journal of Chemical Education*, 12(1), 55–64.
- Redhana, I.W. (2019). Mengembangkan Keterampilan Abad Ke-21 dalam Pembelajaran Kimia. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 13(1), 2239-2253.
- Samosir, R.A., & Ardila, M. (2025). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Project Based Learning Pada Materi Titrasi Kompleksometri, *Lantanida Journal*, 13(1), 85-106.
- Saputra, D., & Indah, S. M. (2024). Efektivitas media *Augmented reality* dalam pembelajaran struktur atom di sekolah menengah. *Jurnal Pendidikan Kimia, Fisika dan Biologi*, 1(1), 29–39.
- Septhiani, S., Rosa, N.M., Nursa'adah, F.P. (2025). Inovasi Model Pembelajaran Interaktif pada Mata Kuliah Kimia Dasar untuk Meningkatkan Pemahaman Konseptual Mahasiswa, *Jurnal Penelitian Ilmu Pendidikan Indonesia*, 4(3), 1513-1519.
- Smaldino, S.E., Lowther, D.L., & Mims, C. (2019). *Instructional Technology and Media for Learning*. New York: Pearson Education.
- Supiandi, M. I., & Saharuddin, S. (2022). Pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi dengan model ADDIE untuk meningkatkan hasil belajar peserta didik. *Cendekia: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 16(1), 124–136.
- Wahyuningsih, A. S., Poedjiastoeti, S., & Suyono, S. (2017). *The effect of green chemistry laboratory learning on pre-service chemistry teachers' environmental value orientations and creative thinking skill*. *Jurnal Penelitian Pendidikan Sains (JPPS)*, 5(1), 848–858.
- Zaharah, Z., & Silitonga, M. (2023). Meningkatkan Kreativitas Peserta Didik Melalui Model Pembelajaran Berbasis Proyek (*Project Based Learning*) di SMP Negeri 22 Kota Jambi, *Biodik: Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi*, 9(3), 139-150.