

Pengembangan E-Modul Kimia Berbasis Proyek Terintegrasi Pendekatan *Green Chemistry* untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep dan Keterampilan Berpikir Kritis

^{1*} Ria Zulfa, ² Aliefman Hakim, ³ Lalu Rudyat Telly Savalas

¹ Program Studi Magister Pendidikan IPA, Pascasarjana, Universitas Mataram, Indonesia

*Corresponding Author e-mail: riaazulfaa@gmail.com

Received: May 2026; Revised: June 2026; Published: July 2026

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul kimia berbasis proyek terintegrasi green chemistry untuk meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik serta menguji kelayakannya ditinjau dari kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan. Prinsip green chemistry yang dikaji terbatas pada prinsip preventif (prinsip nomor 1). Jenis penelitian ini termasuk penelitian pengembangan (R&D) dengan model ADDIE (*Analysis, Design, Develop, Implementation, dan Evaluation*). Pengembangan e-modul dinyatakan layak ditinjau dari tiga aspek dengan hasil persentase $\geq 61\%$. Hasil uji kelayakan pada aspek validitas oleh tiga validator memperoleh persentase 82% dengan kriteria sangat valid. Kepraktisan e-modul ditinjau dari observasi aktivitas dan angket respon peserta didik dan guru memperoleh hasil rata-rata persentase sebesar 81,56% dan 91% dengan kategori sangat praktis. Keefektifan e-modul ditinjau dari hasil N-gain pre-test dan post-test peserta didik dengan nilai 86,8% untuk pemahaman konsep dan 70,45% untuk keterampilan berpikir kritis. Berdasarkan hasil tersebut, e-modul kimia berbasis Project Based Learning (PjBL) terintegrasi pendekatan green chemistry pada materi hukum dasar kimia yang dikembangkan layak digunakan.

Kata kunci: E-Modul, Kimia, Pjbl, Green Chemistry, Pemahaman Konsep, Keterampilan Berpikir Kritis.

Development of a Project-Based Chemistry E-Module Integrating the Green Chemistry Approach to Enhance Conceptual Understanding and Critical Thinking Skills

Abstract

This study aims to develop a project-based chemistry e-module integrated with a green chemistry approach to enhance students' conceptual understanding and critical thinking skills, as well as to assess its feasibility in terms of validity, practicality, and effectiveness. The green chemistry principles examined in this study are limited to the first principle, namely the precautionary principle. This research falls under the category of research and development (R&D) and utilises the ADDIE development model (*Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation*). The development of the e-module was deemed feasible based on three aspects, with the required percentage score being $\geq 61\%$. The results of the e-module feasibility test regarding validity, conducted by three validators, yielded a percentage of 82%, meeting the criteria for 'highly valid'. The practicality of the e-module was assessed through observations of activities and questionnaires completed by students and teachers, yielding practical results with average percentages of 81.56% and 91%, respectively, both categorised as 'highly practical'. The effectiveness of the e-module itself was assessed based on the students' pre-test and post-test N-gain scores, with a value of 86.8% for conceptual understanding and 70.45% for critical thinking skills. Based on these results, the Project-Based Learning (PjBL)-based chemistry e-module, which integrates the green chemistry approach into the subject matter of the fundamental laws of chemistry, is deemed suitable for use.

Keywords: E-module, chemistry, PjBL, green chemistry, conceptual understanding, critical thinking skills.

How to Cite: Zulfa, R., Hakim, A., & Savalas, L. R. T. (2026). Pengembangan E-Modul Kimia Berbasis Proyek Terintegrasi Pendekatan Green Chemistry untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep dan Keterampilan Berpikir Kritis. *Journal of Authentic Research*, 5(3), 5572–5583. <https://doi.org/10.36312/jar.v5i3.6338>



<https://doi.org/10.36312/jar.v5i3.6338>

Copyright© 2026, Zulfa et al.

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



PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) pada abad ke-21 memberi pengaruh yang besar terhadap pendidikan saat ini. Hal ini ditandai dengan perubahan kurikulum, media, dan metode pembelajaran yang digunakan di kelas (Erdi & Padwa, 2021). Digitalisasi pendidikan mendorong perubahan metode pembelajaran dari yang sebelumnya bersifat konvensional menjadi lebih interaktif, fleksibel, dan berbasis teknologi (Ghazy et al., 2025). Penggunaan media pembelajaran digital seperti e-modul menjadi salah satu alternatif yang dapat meningkatkan kualitas pembelajaran serta membantu peserta didik memahami materi secara lebih efektif (Latri, 2023). Dalam konteks pembelajaran IPA di sekolah, penggunaan media digital dinilai mampu meningkatkan motivasi belajar serta memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan bermakna bagi peserta didik. Selain itu, tuntutan pendidikan abad ke-21 menekankan pentingnya penguasaan keterampilan berpikir kritis dan literasi digital sebagai bekal bagi peserta didik dalam menghadapi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (Anisa et al., 2021).

Penelitian pengembangan merupakan jenis penelitian yang bertujuan untuk merancang, mengembangkan, menguji coba, dan memvalidasi produk sehingga sangat sesuai untuk mengembangkan bahan ajar (Waruwu, 2024). Pengembangan bahan ajar saat ini banyak dikombinasikan dengan teknologi digital sebagai alternatif untuk mengatasi keterbatasan pembelajaran konvensional (Nilawati & Oktaviani, 2025). Teknologi digital perlu diterapkan dalam pendidikan dengan tujuan untuk mengoptimalkan pemahaman siswa, serta dapat menjangkau keterbatasan yang dimiliki indera, ruang, dan waktu sehingga pembelajaran menjadi lebih efisien dan efektif (Fitriya et al., 2022). Salah satu bahan ajar yang dapat dikombinasikan melalui multimedia interaktif dan menarik adalah e-modul (Belanisa et al., 2022). E-modul adalah bahan ajar elektronik yang dirancang untuk memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan menarik dengan fitur-fitur seperti animasi, simulasi, video pembelajaran, serta latihan soal interaktif yang dapat membantu siswa memahami konsep-konsep kimia yang abstrak secara lebih mudah dan menyenangkan (Masrida & Supiarti, 2024).

Model pembelajaran yang dapat digunakan yaitu model pembelajaran yang berpusat pada siswa seperti model *Project Based Learning* (PjBL) (Saputro & Rahayu, 2020). PjBL merupakan suatu model pembelajaran yang membantu siswa dalam memberikan pemahaman yang lebih interaktif dengan mendorong peserta didik untuk berpartisipasi dalam kegiatan pembelajaran dan membantu memperoleh pengetahuan dan wawasan baru berdasarkan pengalaman (Simangungsong et al., 2024). Model pembelajaran PjBL dapat membuat peserta didik menjadi lebih aktif, kreatif dan inovatif karena dituntut untuk merancang suatu proyek sendiri dengan menyusun kelompok kecil, menghasilkan suatu produk, dan mendiskusikan permasalahan yang berhubungan dengan produk yang disajikan (Fatmah et al., 2021). Pada prosesnya peserta didik harus mampu menyusun rancangan, menyelesaikan proyek, menyusun presentasi dan evaluasi yang dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis (Erdi & Padwa, 2021).

Pendekatan *green chemistry* merupakan salah satu pendekatan yang berkaitan erat dengan pembelajaran kimia terutama pada penggunaan bahan-bahan kimia

berbahaya dalam proses pembelajaran. Pendekatan *green chemistry* dalam kajian bidang pendidikan kimia masih dalam kategori relatif baru dengan fokus pada penerapan prinsip-prinsip kimia dalam merancang, menggunakan atau memproduksi bahan kimia untuk mengurangi pemakaian atau produksi bahan berbahaya yang dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup dan pelestarian lingkungan (Idrus et al., 2020). Pembelajaran dengan menggunakan prinsip-prinsip *green chemistry* diharapkan dapat mengatasi masalah lingkungan yang mendesak seperti polusi, kekurangan energi, pengelolaan limbah, serta keselamatan dan keamanan tempat kerja (Zulfa et al., 2025). Pendekatan *green chemistry* tidak hanya menanamkan nilai keberlanjutan tetapi mendorong siswa untuk berpikir kritis, mencari solusi inovatif dan menerapkan pengetahuan ilmiah yang nyata (Nurdiyati et al., 2025).

Berdasarkan hasil wawancara dengan guru kimia MAN 2 Mataram, didapatkan data bahwa sumber atau bahan ajar utama yang digunakan adalah buku paket. Kegiatan pembelajaran di MAN 2 Mataram sudah menerapkan metode dan model pembelajaran yang berpusat pada siswa seperti pembelajaran berbasis proyek. Namun berdasarkan hasil angket kebutuhan peserta didik, didapatkan data sebanyak 68,2% peserta didik masih kesulitan menerima pembelajaran dari guru karena materi dalam sumber belajar sulit dipahami dan pembelajaran masih cenderung monoton serta kurang menyenangkan karena guru jarang menggunakan media ajar interaktif seperti e-modul. Akibatnya masih banyak siswa yang kesulitan memahami konsep kimia yang diajarkan. Pemahaman konsep yang rendah berbanding lurus dengan masih rendahnya keterampilan berpikir kritis yang dimiliki siswa. Berdasarkan hasil penelitian *Program for International Student Assessment (PISA) 2022*, Indonesia menempati peringkat yang rendah yaitu posisi ke-72 dari 77 dalam analisis informasi melalui literasi dan numerasi yang menjadi dasar keterampilan berpikir kritis (Anisa et al., 2021).

Salah satu materi kimia yang membutuhkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis yang mendalam adalah materi kimia hijau. Materi kimia hijau masih tergolong baru dalam Kurikulum Merdeka sehingga masih butuh banyak penyesuaian metode pembelajaran yang digunakan. Kimia hijau merupakan konsep pembelajaran yang menekankan pada penerapan prinsip-prinsip kimia yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Tegatorop et al., 2025). Tujuan dari pemberian materi ini agar peserta didik dapat memahami dan mengaplikasikan prinsip-prinsip kimia hijau untuk mengurangi dampak bahan kimia pada lingkungan sekitar. Pengembangan e-modul dengan model pembelajaran berpusat pada siswa seperti PBL dan PjBL sudah mulai banyak dilakukan pada lima tahun terakhir, namun belum banyak bahan ajar terutama e-modul yang dikembangkan melalui pendekatan berwawasan *green chemistry* ([Dimention.ai](https://www.dimention.ai), 2025). Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan bahan ajar yang sesuai dengan masalah-masalah yang ada, salah satunya adalah pengembangan e-modul berbasis proyek terintegrasi pendekatan *green chemistry* yang dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan atau *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk menghasilkan produk dan kemudian diuji keefektifannya. Model pengembangan yang digunakan mengacu pada model pengembangan ADDIE dengan beberapa tahapan meliputi: *Analyze* (Analisis), *Design* (Perancangan), *Develop* (Pengembangan), *Implement* (Implementasi) dan *Evaluate* (Evaluasi). Alasan peneliti menggunakan model ADDIE karena langkah-langkah pengembangan yang bersifat deskriptif dan sistematis sehingga lebih mudah diikuti. Adapun produk yang dikembangkan berupa e-modul kimia berbasis proyek terintegrasi pendekatan *green chemistry* untuk meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Prosedur Pengembangan

Prosedur pengembangan pada penelitian ini mengacu pada model pengembangan ADDIE. Pada tahap analisis (*Analyze*) dilakukan tiga kegiatan yaitu analisis awal melalui wawancara dengan guru kimia, analisis peserta didik melalui angket kebutuhan, dan analisis materi berdasarkan capaian pembelajaran (CP) kurikulum Merdeka. Tahap perancangan (*Design*) meliputi penyusunan bahan ajar, pemilihan format produk, dan rancangan awal produk berupa *storyboard*. Tahap pengembangan (*Develop*) terdiri dari pengembangan produk, validasi produk oleh tiga validator ahli, dan revisi produk berdasarkan saran validator. Tahap implementasi (*Implement*) dilakukan uji coba produk pada 30 siswa kelas X MAN 2 Mataram untuk mengukur kepraktisan dan keefektifan. Tahap evaluasi (*Evaluate*) dilakukan secara formatif pada setiap tahapan pengembangan.

Uji Coba Produk

Subjek uji pada penelitian ini adalah 30 siswa kelas X MAN 2 Mataram. Uji coba produk dilakukan secara terbatas pada satu kelas untuk mengukur tingkat kepraktisan dan keefektifan e-modul yang dikembangkan. Jenis data yang dikumpulkan meliputi data kualitatif berupa hasil wawancara, saran, kritik, dan tanggapan dari validator, peserta didik, dan guru; serta data kuantitatif berupa nilai dari hasil validasi ahli, angket respon peserta didik dan guru, serta nilai hasil tes evaluasi pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan meliputi: (1) dokumentasi untuk memperoleh informasi terkait jenis bahan ajar yang digunakan dan hasil belajar peserta didik; (2) wawancara dengan guru kimia untuk mengetahui proses pembelajaran dan penggunaan bahan ajar; (3) angket kebutuhan peserta didik, lembar validasi produk, instrumen tes *pretest* dan *posttest*, serta angket respon guru dan peserta didik.

Teknik Analisis Data

Analisis data kevalidan dilakukan berdasarkan hasil uji validasi produk menggunakan instrumen lembar validasi dengan skala penilaian 1-5. Besarnya validitas produk dihitung dengan menggunakan rumus Aiken's V (1985):

$$V = \frac{\sum S}{n(C - 1)}$$

Keterangan: V = Indeks validitas isi, S = r - I₀, r = Skor total yang diperoleh, I₀ = Skor penilaian terendah, n = Jumlah validator, C = Skor penilaian tertinggi. Hasil perhitungan nilai V dikonversikan dengan kriteria: 0,81-1,00 (Sangat Valid), 0,61-0,80 (Valid), 0,41-0,60 (Cukup Valid), 0,21-0,40 (Kurang Valid), 0,00-0,20 (Tidak Valid).

Uji kepraktisan dilakukan dengan menyebar angket respon guru dan siswa menggunakan skala Likert. Persentase respon dihitung dengan rumus:

$$X_i = \frac{\sum s}{S_{max}} \times 100\%$$

dengan kriteria: 81-100% (Sangat Praktis), 61-80% (Praktis), 41-60% (Cukup Praktis), 21-40% (Kurang Praktis), 0-20% (Tidak Praktis).

Uji keefektifan dilakukan dengan menghitung peningkatan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis siswa menggunakan uji N-gain skor:

$$N\text{-gain} = \frac{\text{Skor posttest} - \text{skor pretest}}{\text{Skor maks} - \text{skor pretest}} \times 100\%$$

dengan kriteria: $g \geq 70\%$ (Efektif), $30\% < g < 70\%$ (Cukup Efektif), $g < 30\%$ (Tidak Efektif).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengembangan E-Modul

Penelitian ini menghasilkan produk berupa e-modul kimia berbasis proyek terintegrasi pendekatan *green chemistry* yang dikembangkan melalui model ADDIE. Karakteristik e-modul yang dikembangkan meliputi: (1) disusun sesuai sintak model pembelajaran PjBL; (2) menekankan aktivitas pembelajaran berbasis *green chemistry*; (3) memuat materi kimia hijau dengan kegiatan proyek sesuai Capaian Pembelajaran; dan (4) disusun menggunakan aplikasi digital dengan tampilan menarik dan interaktif yang dapat diakses secara online melalui simplebooklet.com.

Tabel 1. Storyboard E-Modul Kimia Berbasis PjBL Terintegrasi *Green Chemistry*

Bagian E-Modul	Keterangan
Cover	Memuat logo perguruan tinggi, logo sekolah, judul e-modul, materi pokok, sasaran peserta didik, nama penyusun, dan gambar pendukung
Informasi Penyusun	Memuat judul e-modul, nama peneliti, nama pembimbing, lembaga/instansi
Kata Pengantar	Memuat pembuka, gambaran umum e-modul, ucapan terima kasih, kritik dan saran
Daftar Isi	Memuat nomor halaman tiap bagian e-modul

Bagian E-Modul	Keterangan
Petunjuk Penggunaan	Memuat pedoman dalam menggunakan e-modul untuk pembelajaran
Peta Konsep	Memuat bagan hubungan antar konsep
Pendahuluan	Memuat deskripsi e-modul, capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran
Pendalaman Materi	Memuat materi kimia hijau dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari
Kegiatan Pembelajaran/Proyek	Memuat enam sintak PjBL: pertanyaan mendasar, perencanaan proyek, jadwal, monitoring, evaluasi, dan refleksi
Rangkuman	Memuat rangkuman materi kimia hijau dan kegiatan proyek
Daftar Pustaka	Memuat sumber referensi yang digunakan
Glosarium	Memuat daftar istilah dan penjelasannya

Hasil Uji Validitas

E-modul yang dikembangkan selanjutnya diuji kelayakannya berdasarkan uji validasi dari tiga validator ahli. Penilaian kualitas produk menggunakan instrumen penilaian berupa lembar validasi yang berisi aspek-aspek yang telah ditentukan. Hasil uji validasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Validasi Ahli E-Modul

No.	Aspek Penilaian	Nilai Validitas (V)	Kategori
1.	Kelayakan Isi	0,82	Sangat Valid
2.	Kelayakan Penyajian	0,83	Sangat Valid
3.	Kelayakan Bahasa	0,83	Sangat Valid
4.	Tahapan PjBL	0,80	Valid
5.	Muatan Green Chemistry	0,875	Sangat Valid
6.	Tampilan E-Modul	0,82	Sangat Valid
	Rata-Rata	0,82	Sangat Valid

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata penilaian e-modul oleh ahli mendapatkan kategori sangat valid dengan nilai validitas sebesar 0,82. Uraian nilai kelayakan isi diperoleh dari rata-rata nilai tiap aspek yang dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Aspek Penilaian Kelayakan Isi

No	Aspek Penilaian	Nilai V	Kategori
1.	Kesesuaian dengan CP dan ATP	0,92	Sangat Valid
2.	Keakuratan Materi	0,75	Valid
3.	Kemutakhiran Materi	0,75	Valid
4.	Kesesuaian dengan Kebutuhan Peserta Didik	0,75	Valid
5.	Manfaat untuk Menambah Wawasan Pengetahuan	0,92	Sangat Valid

Aspek kelayakan penyajian memperoleh nilai validitas sebesar 0,83 dengan kategori sangat valid dengan rincian teknik penyajian (0,83), penyajian pembelajaran (0,83), dan pendukung penyajian (0,83). Penilaian kelayakan bahasa mendapat nilai 0,83 dengan kategori sangat valid yang terdiri dari kejelasan informasi (0,75) dan keterbacaan (0,92). Tahapan PjBL yang disajikan dalam e-modul mendapat nilai rata-rata 0,80 dengan kategori valid yang meliputi penyajian masalah sebagai basis proyek (0,75), pelaksanaan kegiatan PjBL (0,83), dan keterpaduan langkah-langkah pembelajaran PjBL (0,83). Penilaian terhadap wacana *green chemistry* mendapat nilai 0,875 dengan kategori sangat valid. Terakhir, penilaian terhadap tampilan e-modul mendapat nilai rata-rata 0,82 dengan kategori sangat valid.

Hasil Uji Kepraktisan

Uji kepraktisan produk didapat dari hasil penilaian guru dan peserta didik terhadap e-modul yang dikembangkan melalui angket respon. Hasil perhitungan penilaian oleh guru dan peserta didik sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Angket Respon Guru

Aspek Penilaian	Skor	Rata-rata	% Respon	Kategori
Kualitas Isi	14	4,67	93,4	Sangat Praktis
Tampilan	23	4,60	92	Sangat Praktis
Bahasa	13	4,33	86,6	Sangat Praktis
Kebermanfaatan	14	4,67	93,4	Sangat Praktis
Penggunaan	9	4,50	90	Sangat Praktis
Daya Tarik E-modul	9	4,50	90	Sangat Praktis
Rata-rata skor	4,55			
Rata-rata % respon	91%			
Kategori	Sangat Praktis			

Tabel 5. Hasil Angket Respon Peserta Didik

Aspek Penilaian	Skor	Rata-rata	% Respon Siswa	Kategori
Kualitas Isi	728	4,044	80,89	Sangat Praktis
Tampilan	509	4,241	84,85	Sangat Praktis
Kebermanfaatan	496	4,133	82,67	Sangat Praktis
Minat Belajar	452	3,767	79,33	Praktis
Penggunaan	202	3,367	80,35	Praktis
Rata-rata jawaban siswa	4,178			
Rata-rata % respon siswa	81,56%			
Kategori	Sangat Praktis			

Data pada Tabel 4 menunjukkan rata-rata penilaian guru terhadap e-modul secara keseluruhan sebesar 91% dengan kategori sangat praktis, sementara penilaian

respon siswa (Tabel 5) mendapat nilai sebesar 81,56% dengan kategori sangat praktis. Berdasarkan hasil wawancara, beberapa peserta didik menyatakan bahwa e-modul berbasis PjBL dengan pendekatan *green chemistry* mudah dipahami, tampilannya sangat menarik karena desainnya bagus dan berwarna, serta terdapat gambar, ilustrasi dan video di dalamnya. Peserta didik mengungkapkan e-modul sangat bermanfaat dan menambah wawasan mereka, mudah dan praktis dalam penggunaannya.

Hasil Uji Keefektifan

Hasil uji coba produk dilakukan dalam skala terbatas bertujuan untuk mengetahui efektivitas e-modul terhadap pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Uji coba dilakukan pada satu kelas X-7 dengan 30 siswa. Data keefektifan diperoleh dari hasil *pretest* dan *posttest* yang dianalisis menggunakan perhitungan N-gain.

Tabel 6. Hasil Uji N-Gain Pemahaman Konsep

Kelas	Rata-Rata			Kategori	Tafsiran
	Pretest	Posttest	N-Gain (%)		
X-7	62	95	86,8	Tinggi	Efektif

Tabel 7. Hasil Uji N-Gain Keterampilan Berpikir Kritis

Kelas	Rata-Rata			Kategori	Tafsiran
	Pretest	Posttest	N-Gain (%)		
X-7	56	87	70,45	Tinggi	Efektif

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, terjadi peningkatan yang signifikan pada kelas eksperimen setelah menggunakan e-modul berbasis PjBL dengan pendekatan *green chemistry*. Pemahaman konsep meningkat dari rata-rata pretest 62 menjadi 95 dengan N-gain 86,8% (kategori efektif), sementara keterampilan berpikir kritis meningkat dari 56 menjadi 87 dengan N-gain 70,45% (kategori efektif). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan e-modul berbasis PjBL terintegrasi *green chemistry* efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Kevalidan E-Modul

Hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan memiliki tingkat kevalidan yang sangat baik ($V = 0,82$). Aspek kelayakan isi mendapat nilai 0,82 dengan kategori sangat valid. Hal ini menunjukkan bahwa materi yang disajikan dalam e-modul sesuai dengan capaian pembelajaran dan alur tujuan pembelajaran (CP dan ATP) yang telah ditetapkan. Nilai tertinggi pada aspek ini adalah kesesuaian dengan CP dan ATP serta manfaat untuk menambah wawasan pengetahuan yang keduanya memperoleh nilai 0,92 dengan kategori sangat valid. Keakuratan materi, kemutakhiran materi, dan kesesuaian dengan kebutuhan peserta didik memperoleh nilai 0,75 dengan kategori valid. Hal ini sejalan dengan penelitian Anisa dan Mitarlis (2020) yang memperoleh nilai validasi 0,79 untuk kelayakan isi bahan ajar yang dikembangkan.

Kelayakan penyajian memperoleh nilai 0,83 dengan kategori sangat valid, menunjukkan bahwa teknik penyajian e-modul sudah sistematis, runtut, dan saling berkaitan. Penyajian pembelajaran dan pendukung dalam e-modul dinilai sangat baik karena dapat merangsang keterlibatan dan partisipasi peserta didik untuk belajar mandiri. Aspek kelayakan bahasa mendapat nilai 0,83 dengan kategori sangat valid, dengan kejelasan informasi (0,75) dan keterbacaan (0,92). Penggunaan bahasa yang komunikatif dan sesuai dengan kaidah Bahasa Indonesia menjadikan e-modul mudah dipahami oleh peserta didik (Febriyanti & Hakim, 2023).

Tahapan PjBL yang disajikan dalam e-modul mendapat nilai rata-rata 0,80 dengan kategori valid. Hal ini menunjukkan bahwa sintak model PjBL telah terintegrasi dengan baik dalam e-modul, mulai dari penentuan pertanyaan mendasar, perencanaan proyek, penyusunan jadwal, monitoring, hingga evaluasi hasil proyek. Muatan *green chemistry* mendapat nilai 0,875 dengan kategori sangat valid, menunjukkan bahwa wacana *green chemistry* yang disajikan sesuai dengan materi dan dapat menambah wawasan pengetahuan serta membantu peserta didik mengembangkan gagasan (Nurbaity, 2011). Tampilan e-modul mendapat nilai 0,82 dengan kategori sangat valid, didukung oleh desain yang menarik, tata letak yang proporsional, serta kualitas gambar dan ilustrasi yang baik (Amali et al., 2019).

Kepraktisan E-Modul

Hasil uji kepraktisan menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan sangat praktis digunakan dalam pembelajaran. Respon guru memperoleh persentase 91% dengan kategori sangat praktis, sedangkan respon peserta didik memperoleh 81,56% dengan kategori sangat praktis. Aspek tampilan memperoleh persentase tertinggi dari peserta didik (84,85%), menunjukkan bahwa e-modul memiliki tampilan yang menarik dan atraktif sehingga peserta didik tertarik membaca dan mempelajarinya. Hal ini sejalan dengan penelitian Wanosowati et al. (2014) bahwa penggunaan bahan ajar yang menarik dapat membangun minat dan keaktifan siswa.

Berdasarkan hasil wawancara, peserta didik menyatakan bahwa e-modul mudah dipahami, tampilannya menarik karena desain bagus dan berwarna, serta terdapat gambar, ilustrasi dan video di dalamnya. Peserta didik juga mengungkapkan e-modul sangat bermanfaat dan menambah wawasan, mudah dan praktis dalam penggunaannya. Nilai kepraktisan produk hasil pengembangan dinyatakan praktis apabila mendapat nilai > 61% (Anisa & Mitarlis, 2020). Hasil ini hampir sama dengan penelitian Ummah et al. (2022) dengan hasil uji sebesar 80,50% yang terkategori praktis.

Keefektifan E-Modul

Hasil uji keefektifan menunjukkan bahwa e-modul berbasis PjBL terintegrasi *green chemistry* efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Nilai N-gain untuk pemahaman konsep sebesar 86,8% (kategori efektif) dan keterampilan berpikir kritis sebesar 70,45% (kategori efektif). Peningkatan ini terjadi karena e-modul dirancang dengan sintak

PjBL yang menuntut peserta didik untuk terlibat aktif dalam kegiatan proyek, mulai dari mengidentifikasi masalah, merancang proyek, melaksanakan proyek, hingga mengevaluasi hasil proyek.

Pembelajaran berbasis proyek memberikan pengalaman belajar yang bermakna bagi peserta didik karena mereka belajar melalui pengalaman langsung (Chu et al., 2023). Keterlibatan aktif siswa dalam PjBL mendorong mereka untuk lebih aktif terlibat dalam pembelajaran, meningkatkan kreativitas dan inovasi dalam mencari solusi terhadap permasalahan kimia, serta mengaitkan materi kimia dengan aplikasi dunia nyata (Matilainen et al., 2021). Pendekatan *green chemistry* yang diintegrasikan dalam e-modul membuat peserta didik lebih sadar akan bahan kimia berbahaya dalam produk sehari-hari dan menciptakan produk kimia yang aman (Sari & Atun, 2023).

Hal ini sejalan dengan penelitian Ratnawati dan Praptomo (2023) yang menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran kimia hijau melalui PjBL dapat meningkatkan hasil belajar siswa dengan kategori baik dan sangat baik. Penelitian Hakim et al. (2016) juga menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan laboratorium proyek mini produk alami dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis mahasiswa. Dengan demikian, e-modul berbasis PjBL terintegrasi *green chemistry* yang dikembangkan terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pengembangan e-modul kimia berbasis proyek terintegrasi pendekatan *green chemistry* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa e-modul yang dikembangkan memiliki karakteristik berupa penggunaan model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL) yang terintegrasi pendekatan *green chemistry* dengan memuat kegiatan proyek kontekstual untuk meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik serta dapat diakses secara online dimana pun dan kapan pun. E-modul ini dinyatakan layak digunakan berdasarkan rerata nilai kevalidan sebesar 0,82 dengan kategori sangat valid, kepraktisan berdasarkan respon guru dan peserta didik dengan masing-masing skor sebesar 91% dan 81,56% dengan kategori sangat praktis, serta keefektifan berdasarkan uji N-Gain hasil *pretest* dan *posttest* peserta didik dengan nilai 86,8% untuk pemahaman konsep dan 70,45% untuk keterampilan berpikir kritis dengan kategori efektif.

REKOMENDASI

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti merekomendasikan agar e-modul berbasis PjBL terintegrasi pendekatan *green chemistry* perlu diujicobakan pada pembelajaran skala luas untuk mengetahui keefektifan dari bahan ajar yang telah dikembangkan secara lebih komprehensif, serta perlu dikembangkan lebih lanjut pada materi kimia yang lain agar pemanfaatannya dapat lebih luas dan bermanfaat bagi pembelajaran kimia secara umum. Selain itu, penyajian latihan soal

pada e-modul perlu diperbanyak sehingga dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik lebih efektif, dan bagi peneliti selanjutnya disarankan untuk menambahkan variabel lain seperti motivasi belajar, kemandirian belajar, dan kreativitas peserta didik serta memperluas lokasi penelitian dan jumlah sampel agar hasil penelitian lebih komprehensif dan dapat digeneralisasikan.

REFERENSI

- Belanisa, F., Amir, F. R., & Sudjani, D. H. (2022). E-modul interaktif sebagai media pembelajaran bahasa Arab untuk meningkatkan motivasi siswa. *Tatsqifiy: Jurnal Pendidikan Bahasa Arab*, 3(1), 1-12.
- Fitriya, Y., Satiantoro, A. F. R. N., Sari, N., & Pratama, M. D. (2022). Media Pembelajaran Tata Surya Berbasis Virtual Reality Sebagai Inovasi Teknologi Era Society 5.0. *EDUTECH: Jurnal Inovasi Pendidikan Berbantuan Teknologi*, 2(3), 234-242.
- Ghazy, A. C., Ghozali, G., & Wibowo, K. A. (2025). Transformasi pendidikan: Pengembangan metodologi dan media pembelajaran di era digital. *Action Research Journal Indonesia (ARJI)*, 7(4), 2974-2997.
- Hakim, A., Kadarohman, A., & Maolana Syah, Y. (2016). Improvement of Student Critical Thinking Skills with the Natural Product Mini Project Laboratory Learning. *Indonesia. J. Chem*, 16(3), 322-328. <https://doi.org/10.22146/ijc.21149>
- Idrus, S. W. Al, Hadisaputra, S., & Junaidi, E. (2020). Pendekatan Green Chemistry dalam Modul Praktikum Kimia Lingkungan untuk Meningkatkan Kreatifitas Mahasiswa Calon Guru Kimia. *Chemistry Education Practice*, 3(2), 69-73. <https://doi.org/10.29303/cep.v3i2.2110>
- Lastri, Y. (2023). Pengembangan dan pemanfaatan bahan ajar e-modul dalam proses pembelajaran. *Jurnal Citra Pendidikan*, 3(3), 1139-1146. <https://doi.org/10.38048/jcp.v3i3.1914>
- Masrida, M., & Supiarti, T. (2024). Penggunaan E-Modul Berbasis Android untuk Meningkatkan Pemahaman Siswa dalam Mata Pelajaran Kimia di SMKN 1 Bonai Darussalam. *EduSpirit: Jurnal Pendidikan Kolaboratif*, 01(04), 142-148.
- Matilainen, R., Nuora, P., & Valto, P. (2021). Student experiences of project-based learning in an analytical chemistry laboratory course in higher education. *Chemistry Teacher International*, 3(3), 229-238. <https://doi.org/10.1515/cti-2020-0032>
- Nilawati, N., & Oktaviani, C. (2025). Optimalisasi Pembelajaran Kimia Melalui Pengembangan Bahan Ajar Berupa E-Modul. *Chemistry Education Practice*, 8(1), 11-19. <https://doi.org/10.29303/cep.v8i1.8486>
- Nurbaity, N. (2011). Pendekatan Green Chemistry dalam Pembelajaran Kimia. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 3(2), 1-10. <https://doi.org/10.21009/JRPK.011.02>
- Nurdityati, N., Novita, M., & Patonah, S. (2025). Analisis Keterampilan Berpikir Kritis Siswa dalam Pengembangan Modul Ajar Berdiferensiasi Berorientasi Education for Sustainable Development pada Materi Green Chemistry. *Didaktika: Jurnal Kependidikan*, 14(1), 167-178.

- Ratnawati, E., & Praptomo, S. (2023). Penerapan Pembelajaran Kimia Hijau Melalui Project Based Learning (PjBL) pada Mata Pelajaran Kimia SMA. *UNESA Journal of Chemical Education*, 12(2), 141-147. <https://doi.org/10.26740/ujced.v12n2.p141-147>
- Saputro, O. A., & Rahayu, T. S. (2020). Perbedaan Pengaruh Penerapan Model Pembelajaran Project Based Learning (PJBL) dan Problem Based Learning (PBL) Berbantuan Media Monopoli terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dan Pembelajaran*, 4(1), 185-193. <https://doi.org/10.23887/jipp.v4i1.24719>
- Sari, W. P. P., & Atun, S. (2023). Integration Green Chemistry into Learning Process. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(10), 921-928. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i10.5012>
- Simangungsong, A. P. W., Islami, A. A., Asiyah, M. N., Ridwansyah, M., & Rahmadani, A. (2024). Kajian Literatur: Project Based Learning (PjBL) Pada Pembelajaran Kimia Dalam Meningkatkan Hasil Belajar. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*, 8(2), 270-279.
- Tegatorop, H., Silitonga, M., & Sinaga, M. (2025). Implementasi Green Chemistry dalam Pembelajaran Kimia di SMA. *Jurnal Pendidikan Kimia Indonesia*, 9(1), 1-10.
- Ummah, S. K., Hakim, A., & Savalas, L. R. T. (2022). Pengembangan E-Modul Berbasis Project Based Learning pada Materi Laju Reaksi. *Chemistry Education Practice*, 5(2), 112-123.
- Wanosowati, S., Suardana, I. N., & Widiyanti, I. A. (2014). Pengembangan Lembar Kerja Siswa (LKS) Berbasis Inkuiri Terbimbing pada Materi Hukum Dasar Kimia. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 4(1), 1-8.
- Waruwu, M. (2024). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220-1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>
- Zulfa, R., Muntari, M., & Anwar, Y. A. S. (2025). Pengembangan LKPD Berbasis Proyek Terintegrasi Green Chemistry Pada Materi Hukum Dasar Kimia. *Chemistry Education Practice*, 8(1), 37-48. <https://doi.org/10.29303/cep.v8i1.8294>