

Pengembangan E-Modul Kimia Lingkungan Berbasis Engineering Design Process Terintegrasi Socio-Scientific Issues untuk Meningkatkan Karakter Peduli Lingkungan Mahasiswa

Anik Pujiati*, Kasih Haryo Basuki, Silvia Septhiani, Anita Febrianti

Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta, Indonesia

*Email Korespondensi: anikunindra@gmail.com

Pujiati, A., Basuki, K. H., Septhiani, S., & Febrianti, A. (2026). Pengembangan E-Modul Kimia Lingkungan Berbasis Engineering Design Process (EDP) Terintegrasi Socio-Scientific Issues (SSI) Untuk Meningkatkan Karakter Peduli Lingkungan Mahasiswa. *Varied Knowledge Journal*, 3(4), 278–288. <https://doi.org/10.71094/vkj.v3i4.165>

Diterima: 18-04-2026

Direvisi: 07-05-2026

Disetujui: 19-05-2026

Publish: 24-05-2026



Copyright © 2026, The Author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.

Abstract: This study aimed to develop an environmental chemistry e-module based on the Engineering Design Process (EDP) integrated with Socio-Scientific Issues (SSI) to improve students' environmental care character. This study employed a Research and Development (R&D) method using a modified Borg and Gall model. The sample consisted of 19 students selected through purposive sampling. The research instruments included expert validation sheets, student response questionnaires, and pretest and posttest instruments for measuring environmental care character. The data were analyzed using descriptive statistics, N-gain, normality tests, and the Wilcoxon Signed Rank Test. The expert validation results showed that the e-module obtained an average score of 3.57, which was categorized as highly valid. The student response questionnaire obtained an average score of 4.22, which indicated a highly practical category. The average score of students' environmental care character increased from 73.68 in the pretest to 82.37 in the posttest. The N-gain score was 0.33, indicating a moderate improvement. The Wilcoxon Signed Rank Test showed a significance value of 0.001, or $p < 0.05$, indicating a significant difference between the scores before and after the use of the e-module. These findings indicate that the EDP-based environmental chemistry e-module integrated with SSI is valid, practical, and effective in improving students' environmental care character.

Keywords: E-Module, Engineering Design Process, Environmental Chemistry, Environmental Care Character, Socio-Scientific Issues

Abstrak: Penelitian ini bertujuan mengembangkan e-modul kimia lingkungan berbasis Engineering Design Process (EDP) terintegrasi Socio-Scientific Issues (SSI) untuk meningkatkan karakter peduli lingkungan mahasiswa. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model Borg dan Gall yang dimodifikasi. Sampel penelitian terdiri atas 19 mahasiswa yang dipilih melalui teknik purposive sampling. Instrumen penelitian meliputi lembar validasi ahli, angket respons mahasiswa, serta instrumen pretest dan posttest karakter peduli lingkungan yang sebelumnya sudah diuji validitas dan reliabilitasnya. Analisis data menggunakan statistik deskriptif, N-gain, uji normalitas, dan Wilcoxon Signed Rank Test. Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa e-modul memperoleh skor rata-rata 3,57 dengan kategori sangat valid. Hasil angket respons mahasiswa memperoleh skor rata-rata 4,22 dengan kategori sangat praktis. Skor rata-rata karakter peduli lingkungan meningkat dari 73,68 pada pretest menjadi 82,37 pada posttest. Nilai N-gain sebesar 0,33 menunjukkan peningkatan pada kategori sedang. Hasil uji Wilcoxon menunjukkan nilai signifikansi 0,001 atau $p < 0,05$, sehingga terdapat perbedaan signifikan antara skor sebelum dan sesudah penggunaan e-modul. Temuan ini menunjukkan bahwa e-modul kimia lingkungan berbasis EDP terintegrasi SSI valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan karakter peduli lingkungan mahasiswa.

Kata Kunci: E-Modul, Engineering Design Process, Socio-Scientific Issues, Kimia Lingkungan, Karakter Peduli Lingkungan

PENDAHULUAN

Kimia lingkungan merupakan bidang kajian yang penting dalam pendidikan sains karena berperan dalam membekali mahasiswa dengan pemahaman tentang permasalahan lingkungan serta dampaknya terhadap kehidupan manusia dan keberlanjutan ekosistem. Pembelajaran kimia lingkungan tidak hanya menuntut penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan menerapkan konsep tersebut dalam menganalisis dan menyelesaikan permasalahan lingkungan yang kompleks. Namun, berbagai penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran kimia lingkungan di perguruan tinggi masih cenderung bersifat teoretis dan kurang kontekstual, sehingga mahasiswa mengalami kesulitan dalam mengaitkan konsep kimia dengan fenomena lingkungan nyata (Barman, et al., 2020; Sadiku et al., 2020).

Perkembangan teknologi digital membuka peluang untuk mengembangkan bahan ajar inovatif yang mendukung pembelajaran mandiri dan kontekstual. Salah satu bentuk bahan ajar digital yang banyak dikembangkan adalah e-modul. E-modul, sebagai komponen e-learning, menawarkan keuntungan signifikan dalam hal fleksibilitas, interaktivitas, dan pembelajaran yang dipersonalisasi, yang dapat meningkatkan keterlibatan peserta didik dan hasil pembelajaran. Integrasi strategi e-learning, telah terbukti meningkatkan hasil pembelajaran dengan meningkatkan kemandirian pelajar dan memungkinkan siswa untuk mengakses materi dengan kecepatan mereka sendiri, sehingga mendorong inklusivitas dan partisipasi yang lebih besar pada pendidikan tinggi (Bachtiar et al., 2025; Berkian & Rajab, 2025; Rini & Cholifah, 2020). Namun, banyak e-modul kimia masih berfokus pada penyajian konsep dan latihan soal, sehingga belum secara optimal mengarahkan mahasiswa untuk menganalisis masalah lingkungan, merancang solusi, dan mengambil keputusan berdasarkan pertimbangan ilmiah.

Salah satu *framework* yang berpotensi mengatasi permasalahan tersebut adalah *Engineering Design Process* (EDP). EDP adalah pendekatan terstruktur yang memiliki potensi dalam mengatasi tantangan pendidikan yang kompleks dengan mendorong pemikiran sistematis dan aplikatif. EDP menempatkan mahasiswa dalam proses berpikir sistematis melalui tahapan identifikasi masalah, eksplorasi informasi, perancangan solusi, pengujian, evaluasi, dan perbaikan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi EDP dalam pembelajaran sains memberi dampak positif pada pengalaman belajar siswa di berbagai disiplin ilmu, meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, berpikir kritis, kreativitas sehingga mempersiapkan peserta didik untuk bisa menghadapi tantangan era modern (Johnson et al., 2022; Winarno et al. (2020); Lie & Moore, 2019). Dalam konteks kimia lingkungan, EDP memungkinkan mahasiswa tidak hanya memahami penyebab permasalahan lingkungan, tetapi juga merancang solusi yang berbasis konsep kimia.

Selain EDP, pendekatan *Socio-Scientific Issues* (SSI) juga memiliki relevansi kuat dalam pembelajaran kimia lingkungan. SSI semakin diakui sebagai komponen penting dari pendidikan kimia lingkungan karena kemampuannya untuk mengintegrasikan konsep ilmiah dengan pertimbangan sosial, ekonomi, dan etika. Dalam konteks kimia lingkungan, isu seperti pencemaran air, pencemaran udara, pengelolaan sampah, dan dampak limbah terhadap masyarakat dapat digunakan untuk melatih mahasiswa memahami hubungan antara pengetahuan kimia dan tanggung jawab sosial. Pembelajaran berbasis SSI mendorong mahasiswa untuk menilai bukti, membandingkan alternatif solusi, serta menyusun keputusan yang didukung oleh argumen ilmiah. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa SSI dapat meningkatkan literasi sains, pemahaman konseptual, kesadaran lingkungan, dan kemampuan berpikir kritis siswa (Cheng, 2025; Auliah et al., 2025; Çalik & Wiyarsi, 2020).

Meskipun EDP dan SSI telah banyak digunakan dalam pembelajaran sains, penelitian yang mengintegrasikan kedua pendekatan tersebut dalam e-modul kimia lingkungan masih terbatas. Sebagian penelitian lebih banyak mengkaji e-modul sebagai media digital, tanpa menempatkan mahasiswa dalam proses desain solusi. Penelitian lain membahas EDP atau SSI secara terpisah, sehingga belum menunjukkan bagaimana keduanya dapat dipadukan untuk mengembangkan karakter peduli lingkungan. Kesenjangan ini penting karena pembelajaran kimia lingkungan membutuhkan bahan ajar yang tidak hanya menyampaikan konsep, tetapi juga melatih mahasiswa

mengidentifikasi masalah lingkungan, menganalisis penyebab, merancang solusi, dan mengevaluasi dampaknya berdasarkan prinsip ilmiah.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengembangkan e-modul kimia lingkungan berbasis EDP yang terintegrasi dengan SSI. E-modul ini dirancang untuk menghubungkan materi kimia lingkungan dengan isu nyata, seperti pengelolaan sampah, pencemaran air, dan pencemaran udara di wilayah Jabodetabek. Penelitian ini menguji tingkat validitas, kepraktisan, dan efektivitas e-modul dalam meningkatkan karakter peduli lingkungan mahasiswa. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan bahan ajar kimia yang lebih aplikatif, kontekstual, dan berorientasi pada pemecahan masalah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model Borg dan Gall (1983) yang dimodifikasi. Penelitian bertujuan untuk mengembangkan dan menguji kelayakan e-modul kimia lingkungan berbasis EDP terintegrasi SSI. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan produk, pengembangan e-modul, validasi ahli, revisi, dan uji coba terbatas.

Subjek penelitian berjumlah 45 mahasiswa program studi pendidikan yang mengambil mata kuliah Kimia di Universitas Indraprasta PGRI Jakarta pada semester ganjil 2025/2026. Subjek berasal dari dua kelas yang relevan dengan kebutuhan penelitian. Peneliti menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu teknik pengambilan sampel berdasarkan kriteria tertentu. Kriteria sampel dalam penelitian ini meliputi mahasiswa yang sedang mengikuti mata kuliah Kimia, mempelajari topik kimia lingkungan, mengikuti kegiatan pembelajaran menggunakan e-modul, serta mengikuti rangkaian *pretest*, *posttest*, dan pengisian angket respons. Dengan kriteria tersebut sampel akhir dari penelitian menjadi 19 mahasiswa.

Instrumen penelitian meliputi lembar validasi ahli, tes *pretest* dan *posttest* yang terintegrasi dengan indikator karakter peduli lingkungan, serta angket respons mahasiswa terhadap penggunaan e-modul. Peneliti menguji validitas instrumen melalui validasi ahli untuk menilai kesesuaian isi, konstruksi, bahasa, tampilan, dan keterpaduan materi dengan pendekatan EDP dan SSI. Selain itu, peneliti menguji validitas butir instrumen menggunakan analisis korelasi item terhadap skor total. Peneliti juga menguji reliabilitas instrumen menggunakan koefisien Cronbach's Alpha untuk mengetahui konsistensi internal instrumen sebelum digunakan dalam uji coba terbatas.

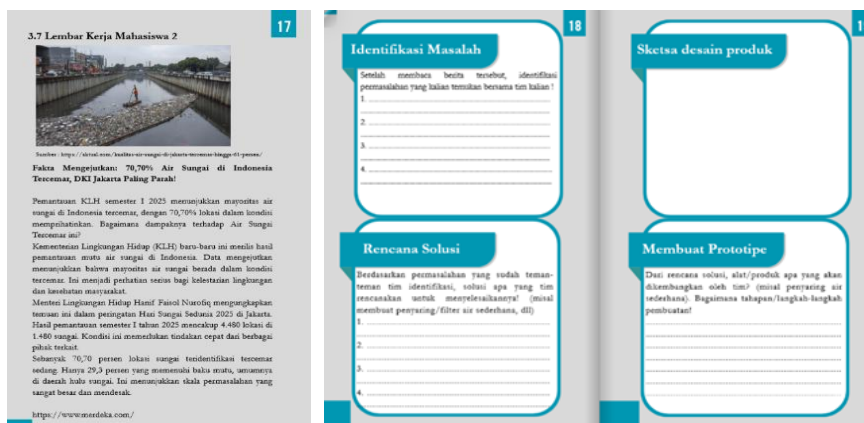
Data penelitian dianalisis menggunakan analisis deskriptif untuk menentukan tingkat validitas, kepraktisan, dan respons mahasiswa terhadap e-modul. Peneliti menguji efektivitas e-modul menggunakan *Wilcoxon Signed Rank Test* karena data tidak berdistribusi normal. Selain itu, peneliti menggunakan analisis N-gain untuk mengetahui peningkatan hasil belajar atau karakter peduli lingkungan mahasiswa setelah menggunakan e-modul kimia lingkungan berbasis EDP terintegrasi SSI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini berupa e-modul kimia lingkungan berbasis EDP terintegrasi SSI. E-modul ini dirancang dalam bentuk digital berbasis flipbook agar mahasiswa dapat mengakses materi, aktivitas pembelajaran, dan evaluasi secara mandiri. Isi e-modul memuat materi kimia lingkungan yang dikaitkan dengan isu pencemaran air, pencemaran udara, pengelolaan limbah, dan permasalahan lingkungan di wilayah Jabodetabek. E-modul ini disusun dengan mengikuti tahapan EDP, yaitu mengidentifikasi masalah, mengumpulkan informasi, merancang solusi, menguji gagasan, mengevaluasi hasil, dan memperbaiki solusi. Integrasi SSI

dilakukan dengan menyajikan masalah lingkungan yang dekat dengan kehidupan mahasiswa, sehingga mahasiswa dapat menghubungkan konsep kimia dengan persoalan sosial dan lingkungan yang nyata. Tampilan e-modul hasil pengembangan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan E-Modul Kimia Lingkungan Berbasis EDP Terintegrasi SSI

Gambar 1 menunjukkan tampilan bagian dari e-modul yang dikembangkan dalam penelitian ini. Setiap aktivitas dalam e-modul diarahkan untuk membantu mahasiswa memahami konsep kimia lingkungan sekaligus menganalisis masalah lingkungan secara kontekstual. Dengan struktur tersebut, e-modul tidak hanya berfungsi sebagai bahan bacaan digital, tetapi juga sebagai media pembelajaran yang membimbing mahasiswa dalam proses pemecahan masalah lingkungan.

Validasi e-modul dalam penelitian ini dilakukan oleh empat validator ahli yang terdiri atas ahli materi dan pembelajaran serta ahli media dan bahasa. Validasi ini bertujuan untuk menilai kelayakan e-modul sebelum digunakan dalam uji coba kepada mahasiswa. Aspek yang dinilai meliputi kelayakan isi, kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran, keterpaduan tahapan EDP dan SSI, kebahasaan, penyajian, tampilan media, serta kemudahan penggunaan.

Interpretasi hasil validasi mengacu pada kriteria validitas menurut (Akbar, 2013), sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Validitas

Rentang Skor	Kategori Validitas	Keterangan
3,26–4,00	Sangat valid	Dapat digunakan tanpa revisi atau dengan revisi kecil
2,51–3,25	Valid	Dapat digunakan dengan revisi sesuai saran
1,76–2,50	Kurang valid	Perlu revisi cukup besar
1,00–1,75	Tidak valid	Tidak layak digunakan

Berdasarkan hasil penilaian validator, e-modul memperoleh skor rata-rata sebesar 3,57. Skor tersebut berada pada rentang 3,26–4,00, sehingga e-modul termasuk dalam kategori sangat valid. Hasil ini menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi kriteria kelayakan sebagai bahan ajar digital untuk pembelajaran kimia lingkungan.

Efektivitas e-modul dianalisis melalui perbandingan skor pretest dan posttest karakter peduli lingkungan mahasiswa. Pretest diberikan sebelum mahasiswa menggunakan e-modul, sedangkan posttest diberikan setelah mahasiswa menyelesaikan pembelajaran menggunakan e-modul kimia lingkungan berbasis EDP terintegrasi SSI. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa skor rata-rata pretest mahasiswa sebesar 73,68, sedangkan skor rata-rata posttest sebesar 82,37. Data tersebut menunjukkan adanya peningkatan skor setelah mahasiswa menggunakan e-modul. Peningkatan skor dianalisis menggunakan rumus N-gain sebagai berikut:

$$N\text{-gain} = \frac{\text{Skor posttest} - \text{Skor pretest}}{\text{Skor maksimum} - \text{Skor pretest}}$$

Interpretasi nilai N-gain mengacu pada kriteria (Hake, 2007) sebagaimana disajikan pada Tabel 2. berikut :

Tabel 2. Kriteria Interpretasi N-Gain

Nilai N-gain	Kategori
$g \geq 0,70$	Tinggi
$0,30 \leq g < 0,70$	Sedang
$g < 0,30$	Rendah

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai N-gain sebesar 0,33. Nilai tersebut berada pada rentang $0,30 \leq g < 0,70$, sehingga termasuk dalam kategori sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan e-modul kimia lingkungan berbasis EDP terintegrasi SSI mampu meningkatkan karakter peduli lingkungan mahasiswa pada tingkat sedang.

Sebelum melakukan uji perbedaan skor pretest dan posttest, peneliti melakukan uji normalitas untuk mengetahui distribusi data. Uji normalitas dilakukan menggunakan Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk. Hasil uji normalitas disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji Normalitas

Data	Kolmogorov-Smirnov Statistic	df	Sig.	Shapiro-Wilk Statistic	df	Sig.
Pretest	0,403	19	0,000	0,616	19	0,000
Posttest	0,392	19	0,000	0,599	19	0,000

Berdasarkan Tabel 3, nilai signifikansi pada data pretest dan posttest, baik melalui uji Kolmogorov-Smirnov maupun Shapiro-Wilk, menunjukkan nilai 0,000. Nilai tersebut lebih kecil dari 0,05, sehingga data pretest dan posttest tidak berdistribusi normal. Karena data tidak memenuhi asumsi normalitas, peneliti tidak menggunakan uji parametrik seperti paired sample t-test. Peneliti menggunakan uji nonparametrik, yaitu Wilcoxon Signed Rank Test.

Uji Wilcoxon Signed Rank Test digunakan untuk mengetahui signifikansi perbedaan antara skor pretest dan posttest. Hasil uji Wilcoxon disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Uji Wilcoxon

Test Statistics ^a	
	Posttest - Pretest
Z	-3.407 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.001

Berdasarkan Tabel 4, hasil uji Wilcoxon menunjukkan nilai $Z = -3,407$ dengan nilai Asymp. Sig. (2-tailed) = 0,001. Nilai signifikansi tersebut lebih kecil dari 0,05, sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antara skor pretest dan posttest. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa terdapat terjadi perubahan karakter peduli lingkungan mahasiswa. Nilai Z negatif menunjukkan arah perbedaan berdasarkan perhitungan peringkat dalam uji Wilcoxon, bukan menunjukkan penurunan skor. Karena skor rata-rata posttest lebih tinggi daripada skor rata-rata pretest, hasil tersebut menunjukkan adanya peningkatan karakter peduli lingkungan setelah mahasiswa menggunakan e-modul.

Kepraktisan e-modul dianalisis melalui angket respons mahasiswa setelah mereka menggunakan e-modul dalam pembelajaran. Angket respons berisi penilaian mahasiswa terhadap kemudahan penggunaan, kejelasan materi, tampilan e-modul, keterarahan aktivitas, serta relevansi isi e-modul dengan pembelajaran kimia lingkungan. Kriteria kepraktisan diadaptasi dari konversi skala lima menurut (Widoyoko, 2016), seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Kriteria Kepraktisan E-Modul

Rentang Skor	Kategori Kepraktisan
4,21–5,00	Sangat praktis
3,41–4,20	Praktis
2,61–3,40	Cukup praktis
1,81–2,60	Kurang praktis
1,00–1,80	Tidak praktis

Berdasarkan hasil angket respons mahasiswa, e-modul memperoleh skor rata-rata sebesar 4,22. Skor tersebut berada pada rentang 4,21–5,00, sehingga e-modul termasuk dalam kategori sangat praktis. Hasil ini menunjukkan bahwa mahasiswa menilai e-modul mudah digunakan, menarik, dan membantu mereka memahami materi kimia lingkungan.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul kimia lingkungan berbasis EDP terintegrasi SSI dinilai layak oleh validator. Kelayakan tersebut menunjukkan bahwa struktur isi, aktivitas pembelajaran, tampilan, dan keterpaduan pendekatan dalam e-modul telah sesuai dengan karakteristik pembelajaran kimia lingkungan. Temuan ini penting karena materi kimia lingkungan tidak cukup disampaikan melalui penjelasan konsep, tetapi perlu dikaitkan dengan persoalan nyata seperti pencemaran air, pencemaran udara, pengelolaan limbah, dan perilaku peduli lingkungan.

EDP berperan dalam membangun alur berpikir sistematis mahasiswa. EDP mengarahkan mahasiswa untuk mengidentifikasi masalah, mengumpulkan informasi, merancang solusi, menguji gagasan, mengevaluasi hasil, dan memperbaiki rancangan. Proses ini menjelaskan mengapa e-modul dapat memperkuat keterkaitan antara konsep kimia dan penerapannya dalam konteks nyata. Mahasiswa tidak hanya diminta memahami konsep pencemaran atau pengelolaan limbah, tetapi juga menggunakan konsep tersebut untuk menyusun alternatif penyelesaian terhadap masalah lingkungan. Temuan ini sejalan dengan (Lie & Moore, 2019) yang menegaskan bahwa penerapan EDP dalam pembelajaran sains mendorong mahasiswa berpikir sistematis, kreatif, dan berorientasi solusi terhadap permasalahan kontekstual.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, hasil penelitian ini memperkuat bukti bahwa EDP efektif digunakan dalam pendidikan sains. Arshad et al, (2021) menemukan bahwa integrasi EDP secara signifikan meningkatkan pemahaman dan prestasi siswa dalam pendidikan sains dengan effect size 3,26. Hasil tersebut menunjukkan bahwa EDP memiliki dampak yang kuat terhadap proses belajar dibandingkan metode pembelajaran berbasis desain lainnya. Namun, penelitian ini memberikan kontribusi yang lebih spesifik karena EDP diterapkan pada e-modul kimia lingkungan yang diarahkan untuk meningkatkan karakter peduli lingkungan. Artinya, penggunaan EDP dalam penelitian ini tidak hanya menargetkan pemahaman konsep atau prestasi belajar, tetapi juga mendorong mahasiswa mengembangkan kepedulian terhadap persoalan lingkungan melalui aktivitas pemecahan masalah.

Temuan ini juga sejalan dengan Winarno et al, (2020) yang mengidentifikasi manfaat kognitif, prosedural, dan sikap dari penerapan EDP dalam pendidikan sains. Manfaat kognitif terlihat dari meningkatnya kemampuan mahasiswa memahami konsep dan menghubungkannya dengan fenomena lingkungan. Manfaat prosedural tampak pada keterlibatan mahasiswa dalam mengikuti tahapan desain solusi secara sistematis. Manfaat sikap muncul ketika mahasiswa mulai menilai dampak masalah lingkungan dan pentingnya tindakan peduli lingkungan. Dengan demikian, EDP dalam e-modul ini bekerja melalui tiga jalur, yaitu memperkuat pemahaman konsep, melatih proses pemecahan masalah, dan membangun orientasi sikap terhadap lingkungan. Hasil ini juga sejalan dengan Aini et al. (2024) yang menyatakan bahwa EDP dapat meningkatkan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kreatif dan komunikasi. Vistara et al. (2022) juga menunjukkan bahwa penggunaan EDP dalam pembelajaran berbasis proyek dapat meningkatkan keterampilan berpikir kreatif siswa yang relevan dengan kebutuhan daya saing global.

Integrasi SSI dalam e-modul memperkuat makna pembelajaran karena SSI menghadirkan isu sains yang terkait dengan dimensi sosial, lingkungan, etika, dan pengambilan keputusan. Dalam konteks penelitian ini, SSI membantu mahasiswa melihat bahwa masalah lingkungan tidak hanya berkaitan dengan konsep kimia, tetapi juga berdampak pada masyarakat dan kehidupan sehari-hari. Hal ini menjelaskan mengapa integrasi SSI dinilai tepat oleh validator. SSI membuat pembelajaran lebih kontekstual karena mahasiswa mempelajari konsep kimia melalui isu yang dekat dengan kehidupan mereka. Temuan ini sejalan dengan Zeidler et al. (2019) yang menyebutkan bahwa pembelajaran berbasis SSI efektif dalam mengaitkan konsep sains dengan isu sosial dan lingkungan, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna dan relevan bagi peserta didik.

Perbandingan dengan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penelitian ini memiliki posisi yang berbeda. Arfianti et al. (2025) mengembangkan e-modul berbasis SSI yang berfokus pada air bersih dan sanitasi untuk meningkatkan kesadaran lingkungan siswa dan pemahaman kritis terhadap masalah polusi air. Ambarita & Dalimunthe, (2025) mengembangkan e-modul SSI terintegrasi HOTS pada materi kesetimbangan kimia dan menunjukkan validitas tinggi serta potensi untuk meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi siswa. Fitriani, (2023) juga menunjukkan bahwa e-modul pencemaran lingkungan valid dan efektif dalam melatih literasi ilmiah siswa. Penelitian ini memperluas arah temuan tersebut karena SSI tidak digunakan secara tunggal, tetapi dipadukan dengan EDP. Perpaduan ini membuat mahasiswa tidak hanya memahami isu sosial-lingkungan, tetapi juga diarahkan untuk menyusun solusi melalui tahapan desain yang sistematis.

Hasil angket respons mahasiswa menunjukkan skor rata-rata 4,22 dengan kategori sangat praktis. Skor ini menunjukkan bahwa mahasiswa menilai e-modul mudah digunakan, menarik, dan mendukung keterlibatan aktif dalam pembelajaran. Kepraktisan tersebut terjadi karena e-modul memiliki alur penggunaan yang jelas, tampilan yang membantu navigasi belajar, materi yang terstruktur, dan aktivitas yang menghubungkan konsep dengan masalah lingkungan nyata. Dengan kata lain, kepraktisan e-modul tidak hanya berasal dari bentuk digitalnya, tetapi dari rancangan pedagogis yang memudahkan mahasiswa mengikuti proses belajar secara mandiri dan terarah.

Temuan ini didukung oleh Al-anshori et al, (2025) yang menyatakan bahwa e-modul interaktif dapat menumbuhkan motivasi siswa dalam belajar. Jasiah, (2005) juga menunjukkan bahwa e-modul interaktif mampu mendukung keterlibatan pelajar. Tinjauan literatur sistematis yang dilakukan Dewi et al, (2025) memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa e-modul dapat meningkatkan minat, pemahaman materi, dan keterampilan berpikir kritis dalam pendidikan dasar. Namun, penelitian ini menunjukkan bahwa keterlibatan mahasiswa tidak hanya muncul karena e-modul bersifat interaktif. Keterlibatan tersebut juga muncul karena mahasiswa

menghadapi masalah lingkungan yang relevan dan mengikuti aktivitas pemecahan masalah yang menuntut mereka berpikir, menilai, dan mengambil keputusan.

Kepraktisan e-modul juga sejalan dengan temuan Arifin et al, (2024) yang menunjukkan bahwa e-modul berbasis masalah kontekstual mampu meningkatkan keaktifan dan keterlibatan mahasiswa dalam pembelajaran sains. Hasil penelitian ini memperkuat temuan tersebut karena konteks masalah yang digunakan tidak bersifat umum, tetapi berkaitan langsung dengan kimia lingkungan dan isu sosiosaintifik. Hal ini menunjukkan bahwa bahan ajar digital akan lebih efektif ketika tidak hanya menyajikan materi, tetapi juga membangun hubungan antara konsep, masalah nyata, dan aktivitas penyelesaian masalah.

Efektivitas e-modul terlihat dari peningkatan skor rata-rata mahasiswa dari 73,68 pada pretest menjadi 82,37 pada posttest. Peningkatan ini menunjukkan bahwa setelah menggunakan e-modul, mahasiswa memiliki karakter peduli lingkungan yang lebih baik dibandingkan sebelum pembelajaran. Analisis N-gain menghasilkan nilai 0,33 dengan kategori sedang menurut Hake, (2007). Kategori sedang menunjukkan bahwa e-modul memberikan dampak positif, meskipun peningkatannya belum mencapai kategori tinggi. Kondisi ini dapat dipahami karena karakter peduli lingkungan tidak hanya dibentuk melalui pemahaman materi, tetapi juga melalui kebiasaan, pengalaman langsung, nilai personal, dan praktik berulang dalam kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, e-modul dapat menjadi stimulus pembelajaran yang efektif, tetapi penguatan karakter tetap memerlukan pembiasaan dan aktivitas lingkungan secara berkelanjutan.

Hasil uji Wilcoxon Signed Rank Test menunjukkan nilai signifikansi 0,001 atau $p < 0,05$. Hasil ini menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara skor pretest dan posttest. Secara statistik, penggunaan e-modul berpengaruh terhadap peningkatan karakter peduli lingkungan mahasiswa. Secara pedagogis, peningkatan tersebut terjadi karena mahasiswa tidak hanya membaca materi, tetapi juga terlibat dalam proses berpikir melalui identifikasi masalah, analisis isu, perancangan solusi, dan evaluasi dampak. Aktivitas tersebut membuat mahasiswa membangun pemahaman melalui pengalaman belajar aktif. Dengan demikian, hasil statistik mendukung temuan bahwa integrasi EDP dan SSI dalam e-modul mampu menciptakan pembelajaran kimia lingkungan yang lebih kontekstual, aplikatif, dan berorientasi pada pembentukan karakter peduli lingkungan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keberhasilan e-modul tidak hanya ditentukan oleh penggunaan media digital, tetapi oleh kekuatan desain pembelajarannya. EDP memberikan kerangka kerja sistematis untuk memecahkan masalah, sedangkan SSI memberikan konteks sosial-lingkungan yang membuat pembelajaran lebih relevan. Integrasi keduanya membuat mahasiswa memahami konsep kimia lingkungan sekaligus menggunakannya untuk membaca dan menyelesaikan persoalan lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini memperkuat temuan terdahulu tentang manfaat EDP, SSI, dan e-modul interaktif, sekaligus memberikan kontribusi khusus berupa model e-modul kimia lingkungan yang menggabungkan pendekatan rekayasa dan isu sosiosaintifik untuk meningkatkan karakter peduli lingkungan mahasiswa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa e-modul kimia lingkungan berbasis EDP terintegrasi SSI yang dikembangkan dinyatakan valid, praktis, dan efektif untuk digunakan dalam pembelajaran kimia lingkungan. Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi kelayakan dari aspek materi, pembelajaran, media, dan kebahasaan. Respon mahasiswa yang sangat positif mengindikasikan bahwa e-modul mudah digunakan, menarik, dan

membantu pemahaman materi secara kontekstual. Selain itu, penerapan pembelajaran dengan e-modul mampu menumbuhkan karakter peduli lingkungan mahasiswa, yang ditunjukkan oleh peningkatan skor pretest ke posttest dengan nilai N-gain kategori sedang. Integrasi EDP dan SSI dalam e-modul juga berpotensi menumbuhkan karakter peduli lingkungan mahasiswa melalui pembelajaran yang menekankan analisis permasalahan lingkungan dan perancangan solusi berbasis konsep kimia. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi EDP dan SSI dalam e-modul dapat memperkuat pembelajaran kimia lingkungan yang kontekstual, sistematis, dan berorientasi pada pemecahan masalah. EDP membantu mahasiswa mengidentifikasi masalah, menganalisis penyebab, merancang solusi, dan mengevaluasi alternatif penyelesaian. SSI membantu mahasiswa menghubungkan konsep kimia dengan isu sosial dan lingkungan yang nyata. Oleh karena itu, e-modul ini memiliki implikasi praktis untuk diterapkan dalam pembelajaran kimia lingkungan pada skala yang lebih luas, baik di program studi pendidikan sains, pendidikan kimia, maupun mata kuliah lain yang memuat isu lingkungan dan keberlanjutan. Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji e-modul pada jumlah sampel yang lebih besar, cakupan institusi yang lebih beragam, dan desain eksperimen yang melibatkan kelas kontrol. Penelitian berikutnya juga dapat mengembangkan fitur interaktif yang lebih kuat, seperti simulasi, video eksperimen, kuis adaptif, dan proyek lingkungan berbasis komunitas. Selain itu, implementasi e-modul dalam jangka waktu yang lebih panjang perlu dilakukan untuk mengetahui dampaknya terhadap perubahan perilaku peduli lingkungan secara lebih mendalam dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, S. N., Munahefi, D. N., Pramasdyahsari, A. S., & Setyowati, R. D. (2024). Engineering design process STEM: Proyek miniatur gazebo joglo. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 7, 37–43. <https://proceeding.unnes.ac.id/prisma>
- Akbar, S. (2013). *Instrumen perangkat pembelajaran*. PT Remaja Rosdakarya.
- Al-Anshori, D. B., Maslahah, S., Muinah, E. B., & Anugrah, R. S. (2025). Penggunaan e-modul interaktif mata kuliah Perkembangan Anak Berkebutuhan Khusus terhadap peningkatan motivasi belajar mahasiswa pada kelas inklusi. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pendidikan*, 2(1), 72–86. <https://doi.org/10.62951/prosemnasipi.v2i1.130>
- Ambarita, P. T., & Dalimunthe, M. (2025). Pengembangan e-modul berbasis Socio-Scientific Issue (SSI) terintegrasi HOTS pada materi kesetimbangan kimia. *Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, 5(4), 1036–1049. <https://doi.org/10.36312/panthera.v5i4.683>
- Arfianti, A., Suhartini, E., Haerani, R. P. R., & Septika, H. D. (2025). E-modul berbasis socio-scientific issues “AquaWise” dalam mendukung SDGs clean water and sanitation. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, 13 (Special Issue), 46–60. https://doi.org/10.21831/jpms.v13iSpecial_issue.88329
- Arshad, A. M., Halim, L., & Nasri, N. M. (2021). Impact of integrating science and engineering teaching approach on students’ achievement: A meta-analysis. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(2), 159–170. <https://doi.org/10.15294/jpii.v10i2.29839>
- Auliah, A., Allo, E. L., Fadly, D., Islawati, Halisah, N., & Rahma, R. (2025). Improving students’ understanding of chemistry concepts and environmental sensitivity through the implementation of the project-based learning (PjBL) model based on the socio-scientific issue (SSI) approach. *East Asian Journal of Multidisciplinary Research*, 4(9), 4499–4514. <https://doi.org/10.55927/eajmr.v4i9.377>

- Bachtiar, Y. (2025). The role of e-learning in improving teaching and learning interactions in higher education. *Mauve Journal De Leardu*, 2(2), 84–95. <https://doi.org/10.37899/mjdl.v2i2.208>
- Barman, B., Banjare, B. S., Baghel, D., Sahu, B. L., Gupta, S., & Banjare, S. (Eds.). (2025). *Environmental chemistry: Volume II*. Deep Science Publishing. <https://doi.org/10.70593/978-93-7185-254-8>
- Berkian, N., & Rajab, A. (2025). Blended learning strategies: Integrating e-learning to improve teaching and learning outcomes. *Mauve Journal De Leardu*, 2(3), 150–159. <https://doi.org/10.37899/mjdl.v2i3.207>
- Çalık, M., & Wiyarsi, A. (2021). A systematic review of the research papers on chemistry-focused socio-scientific issues. *Journal of Baltic Science Education*, 20(3), 360–372. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.360>
- Cheng, X. (2025). Socio-scientific issue-based instruction in science education necessitates unconventional approaches. *Science Insights Education Frontiers*, 30(1), 4821–4823. <https://doi.org/10.15354/sief.25.co508>
- Dewi, K. R., Raharjo, T. J., Harianingsih, Subali, B., & Widiarti, N. (2025). Implementation of e-modules in primary school student learning: A systematic literature. *PIONIR: Jurnal Pendidikan*, 14(2), 355–368. <https://doi.org/10.22373/f166hy31>
- Fitriani, R., & Amalia, A. V. (2023). Development of environmental pollution e-module containing socio scientific issue to train students' scientific literacy. *Journal of Environmental and Science Education*, 3(1), 14–20. <https://doi.org/10.15294/jese.v3i1.59915>
- Hafiz, N. R. M., & Ayop, S. K. (2019). Engineering design process in STEM education: A systematic review. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 9(5), 676–697. <https://doi.org/10.6007/IJARBS/v9-i5/5998>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Jasiah, J., & Ramadhan, S. A. O. (2025). Development of an interactive digital e-module based on the ADDIE model with Thaharah material for PAI students at UIN Palangka Raya as MTs level learners. *ANWARUL*, 5(6), 751–763. <https://doi.org/10.58578/anwarul.v5i6.7876>
- Johnson, C. A. N., Daud, M. F. B., Arsat, M. B., & Hussin, W. N. W. (2022). An enhanced engineering design process incorporating computational thinking: A conceptual framework for engineering education. *Computational Engineering, Finance, and Science*, 2, Article 19. <https://doi.org/10.4203/ccc.2.19.2>
- Lie, R., Aranda, M. L., Guzey, S. S., & Moore, T. J. (2021). Students' views of design in an engineering design-based science curricular unit. *Research in Science Education*, 51(3), 663–683. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9813-9>
- Rini, T. A., & Cholifah, P. S. (2020). Electronic module with project-based learning: Innovation of digital learning product on 4.0 era. *Edcomtech: Jurnal Kajian Teknologi Pendidikan*, 5(2), 155–161. <https://doi.org/10.17977/um039v5i22020p155>
- Sadiku, M. N. O., Fagbohunge, O. I., Musa, S. M., & Perry, R. G. (2020). Essence of environmental chemistry. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*, 6(12), 56–62. <https://doi.org/10.31695/IJERAT.2020.3671>
- Vistara, M. F., Rochmad, R., & Wijayanti, K. (2022). Systematic literature review: STEM approach through engineering design process with project-based learning model to improve

-
- mathematical creative thinking skills. *Mathematics Education Journal*, 6(2), 140–156.
<https://doi.org/10.22219/mej.v6i2.21150>
- Widoyoko, E. P. (2016). *Teknik-teknik penyusunan instrumen penelitian*. Pustaka Pelajar.
- Winarno, N., Rusdiana, D., Samsudin, A., Susilowati, E., Ahmad, N. J., & Afifah, R. M. A. (2020). The steps of the engineering design process (EDP) in science education: A systematic literature review. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 8(4), 1345–1360.
<https://doi.org/10.17478/jegys.766201>
- Zeidler, D. L., Herman, B. C., & Sadler, T. D. (2019). New directions in socioscientific issues research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1, Article 11.
<https://doi.org/10.1186/s43031-019-0008-7>