



E-Modul Pencemaran Mikroplastik Berbasis PBL: Upaya Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Lingkungan Kontekstual pada Siswa

(PBL-Based E-Module on Microplastic Pollution: An Effort to Improve Students Contextual Environmental Problem-Solving Skills)

Eka Aghnia Syarif^{1*}, Saparuddin², Husmayani Muny Putri³

Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jambi
Muaro Jambi, Jambi, Indonesia

* Corresponding Author: ekaaghnia.syarif@unja.ac.id

Article Information	ABSTRACT
Submitted: 11 – 03 – 2025 Accepted: 20 – 05 – 2025 Published: 30 – 06 – 2025	<p><i>This study aims to examine the effectiveness of a Problem-Based Learning (PBL)-based e-module on microplastic pollution in the Sengguruh Reservoir in improving students' problem-solving skills. This research employed a quasi-experimental design involving two classes selected through purposive sampling. The experimental class was taught using the e-module integrated with the PBL model, while the control class used a conventional textbook and direct instruction model. The results revealed that the use of the PBL-based e-module on microplastic pollution in the Sengguruh Reservoir was more effective in enhancing students' problem-solving skills compared to traditional teaching methods. Therefore, the PBL-based e-module on microplastic pollution can serve as an effective alternative learning media to foster students' problem-solving skills in biology education.</i></p> <p>Key words: e-module, Problem-Solving Skills, Problem-Based Learning (PBL), Microplastic Pollution</p>
Publisher	ABSTRAK
Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jambi, Jambi- Indonesia	<p>Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji keefektifan e-modul pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh berbasis PBL dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa. Penelitian ini merupakan penelitian kuasi eksperimen, dengan menggunakan dua kelas yang dipilih dengan <i>purposive sampling</i>. Kelas eksperimen belajar menggunakan e-modul dan model PBL, sedangkan kelas kontrol menggunakan buku paket dan model pembelajaran langsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan e-modul pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh berbasis PBL lebih efektif dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa dibandingkan dengan menggunakan bahan ajar dan model pembelajaran langsung. Oleh karena itu, e-modul pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh berbasis PBL dapat menjadi alternatif yang efektif untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa dalam pembelajaran biologi.</p> <p>Kata kunci: e-modul, Keterampilan Pemecahan Masalah, <i>Problem-based Learning (PBL)</i>, Pencemaran Mikroplastik</p>



This Biodik : Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi is licensed under a [CC BY-NC-SA \(Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

PENDAHULUAN

Keterampilan pemecahan masalah menjadi kompetensi esensial yang harus dimiliki siswa untuk menghadapi tantangan lingkungan hidup saat ini. Siswa dihadapkan pada berbagai permasalahan lingkungan seperti pencemaran, perubahan iklim, dan kerusakan ekosistem yang menuntut kemampuan berpikir kritis dan kreatif untuk mencari solusi (Apps & Kassulke, 2023). Permasalahan lingkungan yang berdampak secara global merupakan akumulasi permasalahan yang terjadi secara lokal seperti pencemaran air, udara, dan tanah (Frumkin, 2016). Keterampilan pemecahan masalah juga sejalan dengan tuntutan kurikulum merdeka yang menekankan pada penguatan profil pelajar Pancasila, termasuk dalam dimensi bernalar kritis dan peduli lingkungan (BSKAP, 2022). Pendidikan kontekstual berbasis lingkungan sekitar dapat menjadi pendekatan yang strategis untuk menumbuhkan keterampilan ini secara lebih bermakna dan aplikatif (Sumintono, 2018).

Mikroplastik merupakan salah satu isu lingkungan aktual dan kontekstual yang sangat penting dipahami oleh siswa, khususnya siswa yang tinggal dekat dengan wilayah perairan. Mikroplastik berasal dari limbah plastik berukuran kecil yang masuk ke badan air dan berdampak buruk terhadap ekosistem serta kesehatan manusia (Ziani et al., 2023). Siswa yang tinggal di daerah aliran sungai sangat dekat dengan sumber-sumber pencemaran mikroplastik, baik dari aktivitas domestik maupun industri (Mahmod et al., 2022). Namun, pemahaman siswa terhadap isu ini masih rendah karena keterbatasan akses informasi dan bahan ajar yang sesuai (Mabsutsah et al., 2021). Pengenalan mikroplastik dalam konteks lokal dengan bahan ajar dapat menjadi pintu masuk yang efektif untuk membangun kepedulian dan keterampilan pemecahan masalah lingkungan pada siswa (Pramaningsih et al., 2025).

Modul merupakan bentuk bahan ajar yang dapat mendukung pembelajaran terkait permasalahan lingkungan kontekstual. Peranannya esensial dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah terutama jika disusun berdasarkan isu yang relevan dengan kehidupan siswa yang tinggal di wilayah perairan seperti mikroplastik. Modul yang dapat diakses secara elektronik atau yang disebut e-modul memungkinkan penyajian materi secara sistematis dan interaktif, serta mendukung pembelajaran mandiri (Sujaya et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa e-modul dengan konten berbasis isu lingkungan aktual dan kontekstual dapat mendorong pemikiran kritis siswa (Endaryati et al., 2023). E-modul yang disusun berdasarkan tahapan model pembelajaran yang tepat akan memaksimalkan pengalaman belajar siswa dalam proses pemecahan masalah terkait lingkungan (Setiawan & Rahayu, 2024).

Penelitian telah menunjukkan keunggulan model *problem-based learning* (PBL) dalam memberdayakan keterampilan pemecahan masalah siswa dalam konteks isu lingkungan. PBL menempatkan siswa sebagai subjek aktif dalam memecahkan permasalahan autentik, yang mendorong mereka untuk berpikir kritis dan kreatif (Khodijah & Rohaeti, 2025). Ketika diterapkan dalam isu mikroplastik, model ini memungkinkan siswa untuk menganalisis sumber pencemaran, dampaknya, dan merancang solusi yang realistis dan aplikatif (Maulida et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa PBL secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi, termasuk kemampuan menganalisis, mengevaluasi, dan menyintesis informasi dalam konteks lingkungan (Gultom et al., 2021). Model PBL yang menjadi dasar penyusunan e-modul terkait isu lingkungan sekitar siswa memungkinkan pembelajaran menjadi bermakna yang berkontribusi membentuk masyarakat yang sadar lingkungan pada masa yang akan datang (Meldrawati et al., 2023).

Hasil analisis kebutuhan terhadap siswa sekolah menengah atas (SMA) yang tinggal di daerah aliran sungai Brantas dan sungai Lesti, Jawa Timur, menunjukkan adanya kebutuhan terhadap bahan ajar yang memuat permasalahan lingkungan kontekstual seperti pencemaran mikroplastik di perairan

dekat dengan tempat tinggal siswa (Syarif et al., 2022). Berdasarkan kajian ini, e-modul pencemaran mikroplastik berbasis problem-based learning (PBL) telah dikembangkan serta dinyatakan valid dan praktis untuk digunakan dalam pembelajaran. Integrasi PBL dalam e-modul ini bertujuan untuk membangun keterampilan pemecahan masalah melalui studi kasus mikroplastik (Syarif et al., 2024). Namun, belum dilakukan pengujian efektivitas secara empiris terhadap dampak e-modul tersebut terhadap keterampilan pemecahan masalah siswa.

Akademisi telah melaporkan pembelajaran dalam meningkatkan kemampuan pemecahan masalah terkait isu lingkungan pada siswa SMA. Kemampuan ini menunjukkan peningkatan melalui penerapan model PBL yang diintegrasikan dengan pendekatan STEM (Parno et al., 2024), strategi metakognisi (Cahyadi et al., 2024), metode eksplorasi lingkungan alami (Abdillah et al., 2021), metode flipped-classroom (Suhartini & Marianti, 2023), dan model double-loop problem solving (Kholifah et al., 2024). Kemampuan ini juga efektif diberdayakan dengan penerapan model PBL yang didukung bahan ajar e-book (Ningsih et al., 2023), dan e-LKPD (Nisak & Susantini, 2023). Siswa juga menunjukkan peningkatan kemampuan pemecahan masalah melalui pembelajaran berbasis masalah pada topik lingkungan yang khusus seperti polusi non-logam (Simunza et al., 2020), dan permasalahan sungai secara umum (Kholifah et al., 2024). Namun, masih terbatas laporan kajian peningkatan kemampuan pemecahan masalah pada siswa dengan implementasi e-modul pencemaran mikroplastik sebagai isu kontekstual berbasis PBL. Oleh karena itu, penelitian ini membahas pertanyaan penelitian yaitu "apakah penerapan e-modul pencemaran mikroplastik berbasis PBL dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah siswa SMA?".

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen semu (*quasi-experiment*). Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2021/2022, bulan Maret-April 2022. Populasi dalam penelitian ini yaitu seluruh siswa kelas X MIPA SMAN 1 Gondanglegi, sedangkan sampel penelitian terdiri dari dua kelas yang dipilih dengan teknik *purposive sampling*. Desain penelitian yang digunakan adalah *nonrandomized control group pretest-posttest design* dengan dua kelas. Satu kelas diberi perlakuan pembelajaran menggunakan e-modul berbasis PBL tentang pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh. Waduk ini merupakan muara sungai Brantas dan sungai Lesti, Jawa Timur. Pembelajaran di kelas kontrol dilakukan dengan menggunakan buku paket dan penerapan model pembelajaran langsung. Kemampuan awal diukur dengan soal *pretest* dan kemampuan akhir diukur menggunakan *posttest*. Desain penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Kelas	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O ₁	X ₁	O ₂
Kontrol	O ₃	X ₂	O ₄

Keterangan:

O₁ dan O₃ : *Pretest* keterampilan pemecahan masalah

O₂ dan O₄ : *Posttest* keterampilan pemecahan masalah

X₁ : Pembelajaran menggunakan e-module pencemaran mikroplastik berbasis PBL

X₂ : Pembelajaran menggunakan buku paket dengan model pembelajaran langsung

Gambar 1. Desain Penelitian.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah soal tes keterampilan pemecahan masalah berbentuk essay yang terdiri dari 6 soal. Tiga indikator utama yang dianalisis dalam penelitian ini

mencakup kemampuan mengidentifikasi masalah, mengidentifikasi solusi, dan mempertahankan solusi (Greenstein, 2012). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan inferensial.

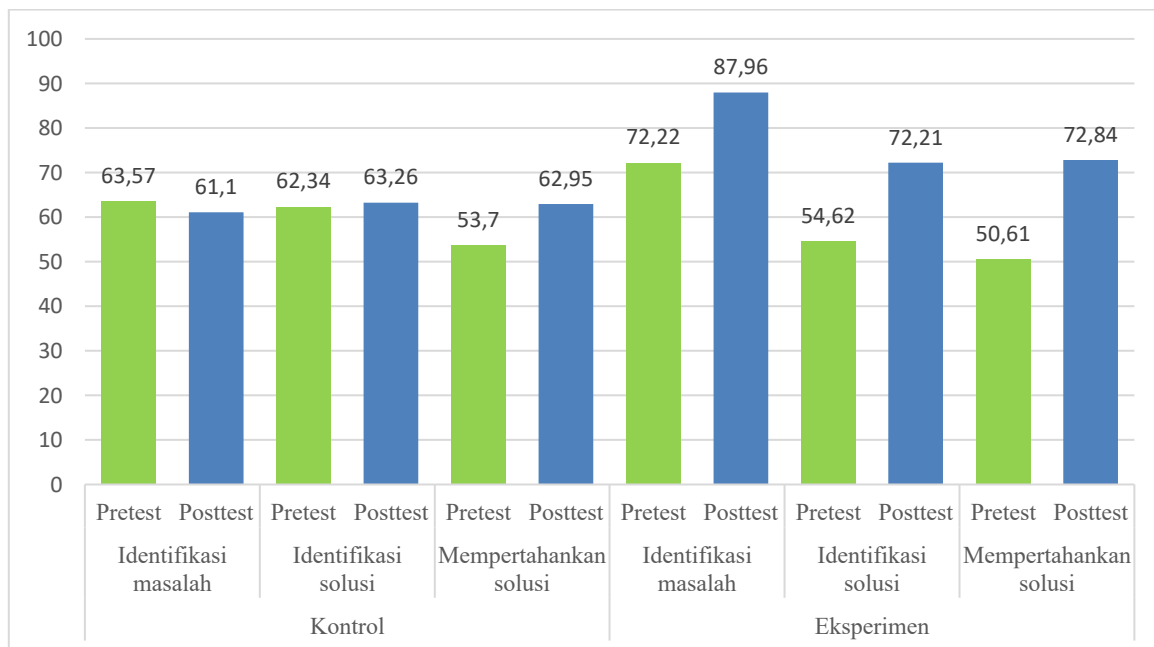
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis data yang dilakukan, hasil *pretest* dan *posttest* keterampilan pemecahan masalah siswa disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil *Pretest* dan *Posttest* Keterampilan Pemecahan Masalah Siswa

Kelas	Perlakuan	Pretest	Standar Deviasi	Posttest	Standar Deviasi	Perubahan
Kontrol	Buku paket	59,77	7,52	62,64	8,09	2,87
Eksperimen	E-modul	59,15	5,85	77,67	7,29	18,52

Hasil *pretest* pada kelas kontrol dan kelas eksperimen relatif setara. Nilai ini menunjukkan bahwa kedua kelompok memiliki kemampuan awal keterampilan pemecahan masalah yang sebanding. Selain itu, standar deviasi nilai *pretest* pada kelas kontrol dan kelas eksperimen menunjukkan bahwa tingkat keragaman skor antar siswa di masing-masing kelas relatif rendah, hal ini berarti kemampuan awal siswa dalam masing-masing kelas cenderung homogen. Homogenitas ini mendukung validitas internal penelitian, karena memperkecil kemungkinan bahwa perbedaan hasil *posttest* disebabkan oleh variasi kemampuan awal yang terlalu besar di dalam kelompok. Setelah kegiatan pembelajaran dilaksanakan terjadi peningkatan rerata hasil *posttest* di kedua kelas, namun kelas eksperimen menunjukkan peningkatan yang jauh lebih signifikan dibanding kelas kontrol. Peningkatan nilai *pretest* dan *posttest* ini juga ditunjukkan lebih lanjut pada perolehan nilai setiap indikator keterampilan pemecahan masalah tiap kelas pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil *Pretest* dan *Posttest* Setiap Indikator Keterampilan Pemecahan Masalah pada Kelas Kontrol dan Kelas Eksperimen (Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025).

Analisis hasil *pretest* dan *posttest* keterampilan pemecahan masalah di kelas kontrol dan eksperimen memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai dampak perlakuan terhadap peningkatan keterampilan pemecahan masalah siswa. Pada indikator identifikasi masalah, kelas eksperimen

menunjukkan peningkatan rerata skor yang cukup baik dengan selisih rerata sebesar 15,74, sedangkan kelas kontrol justru mengalami penurunan. Pada indikator mengidentifikasi solusi, rerata hasil tes di kelas eksperimen mengalami peningkatan yang cukup tinggi dengan selisih sebesar 17,59, sedangkan rerata hasil tes di kelas kontrol juga mengalami peningkatan namun selisih rerata skor *pretest* dan *posttest* hanya 0,92. Pada indikator mempertahankan solusi, rerata hasil tes di kelas eksperimen mengalami peningkatan yang signifikan dengan selisih rerata sebesar 22,23, sedangkan di kelas kontrol hanya meningkat secara moderat yakni dengan selisih rerata sebesar 9,25.

Nilai *pretest* dan *posttest* keterampilan pemecahan masalah kemudian diuji normalitas menggunakan uji normalitas *kolmogorov-smirnov*. Hasil uji normalitas ini menunjukkan nilai signifikansi yang lebih besar dari 0,05 ($p > \alpha$), sehingga disimpulkan nilai *pretest* dan *posttest* kedua kelas berdistribusi normal. Nilai *pretest* dan *posttest* keterampilan pemecahan masalah ini kemudian diuji homogenitasnya menggunakan *levene's test*. Hasil uji menunjukkan nilai signifikansi yang lebih besar dari 0,05 ($p > \alpha$), sehingga disimpulkan nilai *pretest* dan *posttest* kedua kelas terdistribusi homogen dan dilanjutkan dengan melakukan uji Ancova. Hasil uji hipotesis menggunakan uji Ancova disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Ancova

Source	df	Mean Square	F	Sig
Corrected Model	2	1785.042	35.463	.000
Intercept	1	1179.300	23.429	.000
Pretest Keterampilan Pemecahan Masalah	1	520.271	10.336	.002
Perlakuan	1	3161.880	62.815	.000
Error	51	50.336		

Berdasarkan Tabel 2 diketahui nilai signifikansi antar kelas sebesar 0,000 ($p < \alpha$), hal ini menunjukkan terdapat perbedaan keterampilan pemecahan masalah siswa antara kelas yang dibelajarkan menggunakan e-modul pencemaran mikroplastik berbasis PBL dan kelas yang dibelajarkan menggunakan buku teks dan model pembelajaran langsung. Nilai signifikansi sebesar 0,002 ($p < \alpha$) pada *pretest* keterampilan pemecahan masalah menunjukkan bahwa *pretest* berpengaruh terhadap *posttest*. Hasil uji ini selaras dengan hasil perhitungan selisih rerata nilai *posttest* keterampilan pemecahan masalah siswa di kelas eksperimen yang lebih signifikan daripada siswa di kelas kontrol. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penerapan e-modul pencemaran mikroplastik berbasis PBL berperan penting dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa.

Keterampilan pemecahan masalah siswa yang meningkat dengan pembelajaran menggunakan e-modul pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh, dapat dijelaskan melalui karakteristik e-modul yang secara spesifik mengangkat isu lingkungan aktual, yakni pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh. Uraian materi memuat profil waduk, sumber dan penyebab pencemaran, jenis serta kelimpahan mikroplastik yang ditemukan, potensi risiko dan dampaknya, pengelolaan lingkungan, serta upaya daur ulang yang merupakan tahapan awal dalam penanggulangan pencemaran mikroplastik. Penyajian masalah kontekstual yang disusun secara sistematis dengan mengaitkan konsep pencemaran lingkungan dengan fenomena pencemaran mikroplastik yang terjadi di sekitar siswa ini tidak hanya memberikan konteks autentik bagi siswa, tetapi juga menstimulasi keterlibatan kognitif dan afektif dalam memecahkan permasalahan lingkungan yang kompleks. Pemanfaatan isu lingkungan lokal dalam pembelajaran berbasis masalah dapat meningkatkan motivasi belajar, keterlibatan emosional, dan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa (Shafamarwa et al., 2024; Hujjatusnaini et al., 2022). Penelitian

oleh Sagitaa et al., (2019) dan Mahmudah et al., (2022) juga menunjukkan bahwa ketika siswa dihadapkan pada permasalahan nyata yang terjadi di lingkungan sekitarnya, mereka cenderung menunjukkan keterlibatan belajar yang lebih tinggi karena merasa permasalahan tersebut relevan dan penting untuk mereka pahami serta selesaikan. Konteks lokal seperti Waduk Sengguruh ini tidak hanya menjembatani teori dengan praktik, tetapi juga menumbuhkan kesadaran ekologis siswa secara lebih mendalam. Aufa et al., (2021) menyatakan bahwa e-modul yang mengintegrasikan data nyata, hasil observasi lingkungan, dan visualisasi tentang permasalahan menjadikan pembelajaran tidak bersifat abstrak, melainkan aplikatif dan bermakna.

Peningkatan keterampilan pemecahan masalah siswa juga dikarenakan e-modul pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh memuat kegiatan pembelajaran yang disusun sesuai tahapan model PBL, meliputi mengorientasikan masalah, mengorganisasikan siswa untuk belajar, investigasi/penyelidikan, mengembangkan dan mempresentasikan hasil investigasi, serta menganalisis dan mengevaluasi proses untuk mengatasi permasalahan. Melalui tahapan pembelajaran model PBL ini, siswa mengidentifikasi permasalahan, merumuskan solusi, dan mempertahankan argumennya berdasarkan informasi ilmiah yang tersedia. Integrasi antara e-modul dan model PBL ini sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa pendekatan berbasis masalah dan penggunaan bahan ajar digital interaktif dapat secara signifikan meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa (Asih et al., 2022; Najib et al., 2023; Annam et al., 2024).

Pembelajaran menggunakan e-modul terdiri dari tiga kegiatan pemecahan masalah. Kegiatan pembelajaran 1 mengangkat permasalahan meningkatnya debit air Sungai Brantas saat curah hujan tinggi, kegiatan pembelajaran 2 berfokus pada pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh, dan kegiatan pembelajaran 3 menyoroti masalah penumpukan sampah plastik di Kota Malang. Siswa memahami fenomena-fenomena tersebut guna menemukan akar permasalahan dan isu-isu yang muncul sehingga meningkatkan keterampilannya dalam mengidentifikasi masalah. Menurut Tawfik et al. (2021) kegiatan ini mendorong siswa untuk menelaah dan mengidentifikasi permasalahan dari fenomena yang disajikan yang bertujuan untuk mengasah keterampilan mereka dalam mengidentifikasi masalah.

Setiap kegiatan pembelajaran menggunakan sintaks PBL pada e-modul juga melatih siswa agar mampu mengidentifikasi solusi untuk menyelesaikan masalah. Siswa mengorganisasikan kegiatan belajarnya secara kolaboratif, merumuskan pertanyaan terkait permasalahan, menetapkan langkah penyelidikan, dan mencari informasi yang relevan sesuai dengan masalah kontekstual di masing-masing kegiatan pembelajaran pada e-modul untuk menyusun beberapa alternatif solusi pemecahan masalah. Hernández-Ramos et al., (2021) menyatakan bahwa tahapan PBL ini mendorong siswa untuk mengkaji sumber-sumber informasi ilmiah, mengumpulkan data pendukung, serta mendiskusikan alternatif pemecahan masalah secara kolaboratif.

Pada sintaks penyelidikan dan pengembangan solusi yang dirancang dalam kegiatan pembelajaran di e-modul, siswa merumuskan solusi berdasarkan pemahaman konseptual dan fakta lapangan, mengidentifikasi dan membandingkan berbagai argumen dalam merumuskan solusi, serta memilih satu solusi yang paling memungkinkan untuk diterapkan. Siswa juga mengkomunikasikan solusi dari pemecahan masalah yang dipilih dengan cara mempresentasikan di depan kelas secara berkelompok, lalu mengevaluasi bersama dengan mempertimbangkan berbagai sudut pandang secara cermat dalam menilai suatu permasalahan sesuai sintaks PBL yang disajikan dalam e-modul, yakni mengembangkan dan mempresentasikan hasil investigasi, serta sintaks menganalisis dan mengevaluasi proses untuk mengatasi permasalahan. Siswa tidak hanya menyampaikan hasil pemikirannya, tetapi juga

belajar menerima umpan balik, mempertimbangkan sudut pandang lain, dan memperkuat argumen dengan bukti yang valid. Kegiatan pembelajaran siswa pada tahapan tersebut dan dilakukan berulang inilah yang meningkatkan keterampilan pemecahan siswa di indikator mempertahankan solusi. Penelitian Anesa (2021) dan Maftuh et al. (2023) menunjukkan bahwa tahap pengembangan dan presentasi solusi dalam model PBL memberikan ruang bagi siswa untuk mempertimbangkan berbagai sudut pandang dalam memecahkan masalah dan mengembangkan keterampilan argumentatif saat mempertahankan solusi yang dipilih (Aladin et al., 2024; Kharomah et al., 2024; dan Rosidi et al., 2023). Kegiatan pada tahap ini memberikan ruang yang luas bagi siswa untuk menginternalisasi proses ilmiah secara utuh, sekaligus membekali mereka dengan keterampilan komunikasi dan argumentasi yang esensial dalam konteks pembelajaran abad ke-21 serta tantangan dunia nyata yang semakin kompleks (Saragih et al., 2024; Asih et al., 2022).

Kegiatan pembelajaran yang termuat pada e-modul berbeda dengan kegiatan pembelajaran langsung (*direct instruction*) di kelas kontrol. Guru menjadi satu-satunya sumber informasi dalam kegiatan pembelajaran langsung. Keterlibatan siswa dalam mengidentifikasi permasalahan, mencari solusi, dan mempertahankan argumen tidak mendapatkan ruang yang cukup, sehingga pembelajaran cenderung menekankan pada aspek kognitif dasar tanpa mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Pembelajaran di kelas kontrol yang menggunakan bahan ajar berupa buku teks, juga kurang memberikan ruang yang luas bagi kegiatan eksplorasi, inkuiri, atau pemecahan masalah yang menantang, sehingga belum efektif untuk menstimulus perkembangan keterampilan pemecahan masalah siswa. Akibatnya, potensi siswa dalam mengembangkan kemampuan pemecahan masalah yang kompleks menjadi kurang terfasilitasi secara optimal.

E-modul pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh berbasis PBL ini juga dapat menjadi alternatif media pembelajaran yang inovatif dan responsif terhadap kebutuhan peserta didik di era digital. Karakteristik e-modul yang memungkinkan integrasi materi dan aktivitas investigatif dalam satu *platform* serta dapat diakses secara fleksibel ini tidak hanya meningkatkan kemandirian belajar siswa, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang autentik, kontekstual, dan memfasilitasi keterampilan abad 21 (Hudawati et al., 2024). E-modul pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh berbasis PBL dapat menjadi salah satu bahan ajar biologi yang inovatif dan berkelanjutan karena tidak hanya efektif memberdayakan keterampilan pemecahan masalah, tetapi juga relevan dengan tantangan pendidikan masa kini yang menuntut kolaborasi antara penguasaan konten, keterampilan berpikir, dan penggunaan teknologi secara bijak (Annam et al., 2024). Selain itu, penggunaan e-modul pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh berbasis PBL ini juga mendukung pelaksanaan Kurikulum Merdeka yang menekankan pada penyelesaian masalah berbasis kehidupan nyata (*real-life problems*). Pengembangan e-modul berbasis PBL yang kontekstual dapat direkomendasikan sebagai pendekatan pedagogis yang efektif untuk menjawab tantangan pembelajaran sains abad ke-21, khususnya dalam mengembangkan keterampilan pemecahan masalah yang kompleks dan relevan dengan kehidupan nyata siswa. Lebih jauh, temuan ini dapat menjadi dasar bagi inovasi kurikulum dan pengembangan perangkat ajar yang mengusung prinsip keberlanjutan dan literasi lingkungan di tingkat pendidikan menengah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan e-modul pencemaran mikroplastik di Waduk Sengguruh berbasis *Problem-Based Learning* (PBL) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan keterampilan pemecahan masalah siswa. Integrasi e-

modul dengan model PBL merupakan strategi pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa dalam materi perubahan lingkungan, dan dapat dijadikan sebagai alternatif model pembelajaran inovatif dan berkelanjutan di era digital.

ACKNOWLEDGEMENT

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat yang telah memberikan bantuan dana untuk pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh siswa dan guru di SMAN 1 Gondanglegi yang telah berpartisipasi dan memberikan dukungan selama proses pengumpulan data. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan pembelajaran biologi yang inovatif dan kontekstual.

REFERENSI

- Abdillah, R. R., Al-Muhdhar, M. H. I., & Biruni, I. B. (2021). Fostering students' problem solving skills and environmental literacy through PBL with natural environmental exploration approach. *AIP Conference Proceedings*, 2330 (1): 030009. <https://doi.org/10.1063/5.0043190>
- Aladin, Asrowi, & Santosa, E. B. (2024). Problem Based Learning-Oriented E-Module to Innovate Learning Activities in High School. *Journal of Education Research and Evaluation*, 8(4), 622–632. <https://doi.org/10.23887/jere.v8i4.78567>
- Anesa, D. R. (2021). The Effectiveness of Problem Based Learning (PBL) Based E-Module on the Classic Genetic Materials to Improve the Student's Critical Thinking Skills. *International Journal of Social Science and Human Research*, 04(07). <https://doi.org/10.47191/ijsshr/v4-i7-30>
- Annam, S., Ramdani, A., Makhrus, M., & Sarkingobir, Y. (2024). Development and Validation of e-Modules Integrated with PBL and Local Wisdom to Enhance Critical Thinking and Problem-Solving Skills. *Bulletin of Social Studies and Community Development*, 3(2), 104–115.
- Apps, J., & Kassulke, N. (2023). *Planting an Idea: Critical Thinking and Creative Thinking about Environmental Issues*. Fulcrum Publishing.
- Asih, T. L. B., Prayitno, B. A., & Ariani, S. R. D. (2022). Improving the Problem-Solving Skill of Students using Problem-Based Learning-Based E-Modules. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(3), 1447–1452. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i3.1696>
- Aufa, M. N., Rusmansyah, R., Hasbie, M., Jaidie, A., & Yunita, A. (2021). The Effect of Using e-module Model Problem Based Learning (PBL) Based on Wetland Environment on Critical Thinking Skills and Environmental Care Attitudes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(3), 401–407. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i3.732>
- BSKAP. (2022). *Dimensi, Elemen, dan Subelemen Profil Pelajar Pancasila pada Kurikulum Merdeka*. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia. <https://kurikulum.kemdikbud.go.id/wp-content/uploads/2022/07/V.2-Dimensi-elemen-subelemen-Profil-Pelajar-Pancasila-pada-Kurikulum-Merdeka.pdf>
- Cahyadini, A., Isfaeni, H., & Komala, R. (2024). The impact of problem-based learning and metacognition on solving environmental pollution issues. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 10(1), 123–130. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i1.26560>
- Endaryati, S. A., Slamet, S. Y., & Suryandari, K. C. (2023). Problem-based learning flipbook module in improving students' critical thinking skills in "Always Save Energy" thematic learning. *International Journal of Elementary Education*, 7(1), 115–123. <https://doi.org/10.23887/ijee.v7i1.58306>
- Frumkin, H. (2016). Introduction to Environmental Health. In H. Frumkin (Ed.), *Environmental Health: From Global to Local* (3rd ed.). Jossey-Bass.
- Greenstein, L. (2012). *Assessing 21st Century Skills: A Guide to Evaluating Mastery Authentic Learning*. Corwin.

- Gultom, S. T., Siahaan, P., & Suhandi, A. (2021). Effect of PBL Hybrid Learning on the Higher Order Thinking Skills of Seventh Grade Students in Global Warming and Their Environmental Care Attitudes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(SpecialIssue), 272–280. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7iSpecialIssue.1012>
- Hernández-Ramos, J., Perna, J., Cáceres-Jensen, L., & Rodríguez-Becerra, J. (2021). The effects of using socio-scientific issues and technology in problem-based learning: A systematic review. In *Education Sciences* (Vol. 11, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/educsci11100640>
- Hudawati, N., Prayitno, B. A., & Indrowati, M. (2024, December). Needs Analysis for Developing PjBL-STEM-Based E-Modules on the Circulatory System to Enhance Critical Thinking Skills. In *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Environmental, and Learning* (Vol. 21, No. 1, pp. 158-161). <https://jurnal.uns.ac.id/prosbi/article/view/97382/48245>
- Hujjatusnaini, N., Corebima, A. D., Prawiro, S. R., & Gofur, A. (2022). The Effect of Blended Project-Based Learning Integrated with 21st-Century Skills on Pre-Service Biology Teachers' Higher-Order Thinking Skills. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(1), 104–118. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i1.27148>
- Kharomah, S., Mulyati, Y., Marsuki, M. F., Fardhani, I., Hamimi, E., Hannats, M., Ichsan, H., Hasan, S., & Sugiyanto, S. (2024). Enhancing students' science outcomes through problem-based interactive flipbook e-module. *Research and Development in Education (RaDEn)*, 4(2), 788-803. <https://doi.org/10.22219/raden.v4i2 /34572>
- Khodijah, S. A., & Rohaeti, E. (2025). Teaching Strategies for Microplastic Material in Science Learning : Literature Review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(1), 351–358. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i1.9193>
- Kholifah, Evalia Nurul, Alfyananda Kurnia Putra, and Batchuluun Yembuu. "Environmental Problem-Based Learning Boots Skills in River Problem Solving and Ecological Awareness." *Paedagogia: Jurnal Kajian, Penelitian dan Pengembangan Kependidikan* 15, no. 4 (2024): 436-446. <https://journal.ummat.ac.id/index.php/paedagogia/article/view/25866>
- Mabsutsah, N., Sudarti, & Wachju Subchan. (2021). Analisis Kemampuan Literasi Sains Siswa SMP Ibrahimy 3 pada Isu Pencemaran Lingkungan di Pelelangan Ikan Mimbo. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 11(2), 29–36. <https://doi.org/10.37630/jpm.v11i2.471>
- Mahmod, N. A. I., Saipolbahri, N., Subki, N. S., & Fauzi, N. M. (2022). Assessment of Risk Perception on Microplastics Pollution in Drinking Water Sources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1102(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1102/1/012078>
- Mahmudah, S., Kirana, T., & Rahayu, Y. S. (2022). Profile of Students' Critical Thinking Ability: Implementation of E-Modul Based On Problem-Based Learning. *IJORER : International Journal of Recent Educational Research*, 3(4), 478–488. <https://doi.org/10.46245/ijorer.v3i4.231>
- Maftuh, M. S. J., Lawal, U. S., Ade, M., Lama, A. V., & Adzim, A. F. (2023). Understanding Learning Strategies: A Comparison Between Contextual Learning and Problem-Based Learning. *Educazione: Journal of Education and Learning*, 1(1), 54–65. <https://doi.org/10.61987/educazione.v1i1.496>
- Maulida, F., Farida, I., & Windayani, N. (2023). How To Improve Students' Environmental Literacy on Plastic Waste Issues: Problem-Based Flipped Classroom. *Chemistry Education Study Program*, 8(2), 187–201. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v8i2.76086>
- Meldrawati, M., Amri, E., & Rosba, E. (2023). Validitas E-Modul Berbasis Problem Based Learning pada Materi Perubahan Lingkungan Kelas X SMA/MA. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, 11(1), 263. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v11i1.7326>
- Najib, I. A., Sari, M. S., Hastuti, U. S., & Balqis, B. (2023). Development of PBL-Based Lichens Diversity E-Module to Improve Students' Problem-Solving Skills. *Edubiotik : Jurnal Pendidikan, Biologi Dan Terapan*, 8(02), 106–117. <https://doi.org/10.33503/ebio.v8i02.3465>
- Ningsih, W., Prayitno, B. A., & Santosa, S. (2023). The Effectiveness of Environment-Oriented E-Books Based on Problem-Based Learning for Problem-Solving Skills. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 9(3), 511–520. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v9i3.25603>

- Nisak, E. F. K., & Susantini, E. (2023). Development of Problem Based Learning Based Environmental Change e-LKPD to Improve Students' Problem Solving Skills. *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 12(3), 683–694. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/bioedu>
- Parno., Pratiwi, N., Putri, F. A., & Ali, M. (2024). The Effect of STEM Approach in Problem-based Learning for Increasing Students' Problem-solving Ability in the Topic of Environmental Pollution. *KnE Social Sciences*, 1063–1073. <https://doi.org/10.18502/kss.v9i13.16032>
- Pertiwi, N. P., Saputro, S., Yamtinah, S., & Kamari, A. (2024). Enhancing Critical Thinking Skills Through STEM Problem-Based Contextual Learning: An Integrated E-Module Education Website with Virtual Experiments. *Journal of Baltic Science Education*, 23(4), 739–766. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.739>
- Pramaningsih, V., Rusdi, Farehah, R. N., & Kumalasari, V. P. (2025). Edukasi bahaya sampah plastik, mikroplastik, dan Pengelolaannya bagi siswa SMK Istiqomah Muhammadiyah 4, Samarinda. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 9(3), 1231–1237. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v9i3.30195>
- Rosidi, A., Rohman, F., Novianti, V., & Hariadi, I. (2023). Pengembangan E-Module Keanekaragaman Makhluk Hidup Berbasis PBL Bermuatan Kearifan Lokal dan Pengaruhnya terhadap Keterampilan Berpikir Kritis, Pemecahan Masalah, dan Sikap Lingkungan. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 11(2), 1662. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v11i2.9414>
- Sagitaa, D. D., Asni, Nofrizza, F., Fitriwilis, burhendi, F. C. A., & Siswanto, R. D. (2019). Students' digital literacy skill to solve learning problems. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 5(6), 112–122. <https://doi.org/10.35965/bje.v3i2.2628>
- Setiawan, H., & Rahayu, E. S. (2024). Development of E-Modules Based on Problem Based Learning Assisted by Flipbook on Environmental Change Material in High School to Improve Problem Solving Ability. *Journal of Biology Education*, 13(1), 29–35.
- Shafamarwa, S., Thahir, A., Puspita, A., Pirka, F. I., Wiliyanti, V., & Dhanny, D. R. (2024). The Implementation of Problem-Based Learning to Improve Students' Writing Achievement in Argumentative Essay: Global Warming. *E3S Web of Conferences*, 482. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448204023>
- Simunza, J., Banda, A., & Hayumbu, P. (2020). Impact of Problem-Based Learning on Learner Achievement and Problem-Solving Skills on Environmental Non-Metal Pollution. *International Journal of Research and Innovation in Social Science (IJRISS)*, 4(8), 522–533.
- Suhartini, A., & Marianti, A. (2023). The Effect of Flipped-Problem Based Learning on Curiosity, Creative Thinking and Problem-Solving Ability in Environmental Change Substance. *Journal of Biology Education*, 12(3), 379–389. <https://doi.org/10.15294/jbe.v12i3.71844>
- Sujaya, K.D.A., Herlambang, A.D, & Afirianto, T. (2023). Pengembangan media pembelajaran e-modul interaktif untuk meningkatkan hasil belajar siswa pada mata pelajaran dasar program keahlian jurusan Desain Komunikasi Visual (DKV) di SMK Negeri 5 Malang. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(4), 2001–2009.
- Sumintono, B. (2018). Contextual Learning in Environmental Education Program and Students' Attitude on Health Effects of Mercury: A Rasch Modeling Analysis. *Jurnal Pengajaran MIPA*, 23(2). <https://doi.org/10.18269/jpmipa.v23i2.8997>
- Tawfik, A. A., Gish-Lieberman, J. J., Gatewood, J., & Arrington, T. L. (2021). How K-12 Teachers Adapt Problem-Based Learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 15(1). <https://doi.org/10.14434/ijpbl.v15i1.29662>
- Saragih, N. V., Simamora, A. H., & Sukmana, A. I. W. I. Y. (2024). E-Modules with A Contextual Approach to Natural Science Content Improve Student Learning Outcomes. *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar*, 7(4), 730–739. <https://doi.org/10.23887/jisd.v7i4.60915>

- Syarif, E. A., Dharmawan, A., & Sueb, S. (2022). Pencemaran Mikroplastik di Waduk Sengguruh: Analisis Kebutuhan Pengembangan E-module Berbasis PBL. *Jurnal Pendidikan Sains*, 10(1). <https://doi.org/10.17977/jps.v10i1.15845>
- Syarif, E. A., Dharmawan, A., & Sueb, S. (2024). Development of microplastics pollution e-module in Sengguruh reservoir based on problem-based learning. *AIP Conference Proceedings*, 3106 (1): 030014. <https://doi.org/10.1063/5.0215242>
- Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C.-B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., & Preda, O.-T. (2023). Microplastics: A Real Global Threat for Environment and Food Safety: A State of the Art Review. *Nutrients*, 15(3), 617. <https://doi.org/10.3390/nu15030617>