

Integrasi Konteks Mikroplastik dalam Modul Ajar Pencemaran Lingkungan Berbasis *Problem Based Learning* untuk Meningkatkan Sikap Peduli Lingkungan Siswa

Niken Dwi Pratiwi¹, Shefa Dwijayanti Ramadani^{*2}, Setiyo Prajoko³
¹²³ Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Kota Magelang, Indonesia
Email: shefa@untidar.ac.id

ABSTRACT

The issue of environmental pollution calls for fostering environmental attitude through biology education. A preliminary study at SMA Negeri 1 Bandongan show that 23% of students were categorized as having moderate environmental attitude, due to teacher-centered materials that fail to address current environmental issues such as microplastics. This study aims to test the feasibility and analyze the influence of a Problem-Based Learning (PBL)-based environmental pollution teaching module with a microplastics context on students' environmental attitudes. The R&D method employing the ADDIE model was used, with validation conducted by subject matter and instructional material development experts, followed by practicality and effectiveness tests using the Environmental Attitude Scale (EAS). Results indicate the module was deemed highly suitable by subject matter experts (82%) and instructional material development experts (90%), practical by teachers (80%), and highly practical by students (83.8%). The module was also proven to significantly improve students' environmental attitudes (sig. <0.001; N-Gain = 0.15, low category). Therefore, this module is suitable as an alternative learning tool for microplastic-related environmental pollution, though further development is needed by enriching students' learning experiences within the PBL context.

Keywords: Microplastic, Problem Based Learning, Teaching Module

ABSTRAK

Permasalahan pencemaran lingkungan menuntut penanaman sikap peduli lingkungan melalui pembelajaran biologi. Pembelajaran biologi materi pencemaran lingkungan seharusnya mampu membentuk sikap peduli lingkungan siswa, tetapi hasil pra-penelitian di SMA N 1 Bandongan menunjukkan 23% siswa masih berada pada kategori sedang, akibat perangkat ajar yang bersifat *teacher-centered* dan belum mengangkat isu lingkungan terkini seperti mikroplastik. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan dan menganalisis pengaruh modul ajar pencemaran lingkungan berbasis *Problem Based Learning* dengan konteks mikroplastik terhadap sikap peduli lingkungan siswa. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE meliputi tahap analisis, disain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Validasi dilakukan oleh ahli materi dan ahli pengembangan bahan ajar, dilanjutkan uji kepraktisan serta uji efektivitas menggunakan instrumen *Environmental Attitude Scale* (EAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul ajar dinyatakan sangat layak oleh ahli materi (82%) dan ahli pengembangan bahan ajar (90%), serta dinilai praktis oleh guru (80%) dan sangat praktis oleh siswa (83,8%). Modul ajar juga terbukti berpengaruh terhadap sikap peduli lingkungan siswa dibuktikan oleh nilai sig <0,001 dan nilai *N-Gain* sebesar 0,15. Dengan demikian, modul ajar layak digunakan sebagai alternatif perangkat pembelajaran pencemaran lingkungan bermuatan mikroplastik untuk meningkatkan sikap peduli lingkungan siswa, meski peningkatan masih tergolong rendah sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut dengan memperkaya aktivitas belajar siswa.

Kata Kunci: Mikroplastik, Modul Ajar, *Problem Based Learning*

Cara sitasi: Pratiwi, N.D., Ramadhani, S.D., Prajoko, S. (2026). Integrasi Konteks Mikroplastik dalam Modul Ajar Pencemaran Lingkungan Berbasis Problem Based Learning untuk Meningkatkan Sikap Peduli Lingkungan Siswa.. *Bioed: Jurnal Pendidikan Biologi*, 14 (2), 148-163. DOI: <http://dx.doi.org/10.25157/jpb.v14i2.24818>

PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan hidup menjadi perhatian global termasuk di Indonesia, yang ditandai dengan meningkatnya degradasi dan pencemaran akibat berbagai aktivitas manusia (Rahardjanto et al., 2022). Kondisi ini terus mengancam keseimbangan ekologi serta mengganggu keberlangsungan hidup manusia. Di antara berbagai bentuk permasalahan lingkungan, polusi plastik menjadi persoalan yang kian mendesak terutama ketika keberadaannya di lingkungan terus terdegradasi menjadi mikroplastik. Mikroplastik merupakan fragmen plastik berukuran <5mm yang mencemari air, tanah, dan udara, serta membawa dampak serius bagi ekosistem dan kesehatan manusia (Raab & Bogner, 2021; Ahmet Miraç & Fatoş, 2024; Rushdi et al., 2023).

Peningkatan kesadaran dan tanggung jawab masyarakat terhadap lingkungan merupakan salah satu upaya penting yang dapat dilakukan dalam mengatasi persoalan lingkungan (Saro et al., 2025). Kesadaran tersebut perlu diwujudkan dalam bentuk sikap peduli lingkungan yakni sikap dan tindakan individu untuk berusaha memperbaiki keadaan lingkungan alam sekitarnya (Narut & Nardi, 2019). Pendidikan merupakan salah satu sarana utama dalam membentuk sikap tersebut yang idealnya berlangsung secara berkelanjutan sejak dini. Dalam hal ini siswa sekolah menengah atas menjadi sasaran yang krusial mengingat siswa menjadi bagian dari masyarakat dan agen pembuat kebijakan, calon ilmuwan, serta pemimpin yang akan turut berkontribusi atas penyelesaian berbagai masalah lingkungan di masa depan (Rahardjanto et al., 2022). Sikap dan perilaku manusia akan menentukan baik buruknya kondisi suatu lingkungan. Lingkungan yang tidak dipelihara akan menimbulkan kerugian bagi manusia, sebaliknya jika lingkungan ini dipelihara maka akan memberikan kesejahteraan bagi manusia.

Salah satu bidang pendidikan yang berperan dalam membentuk sikap peduli lingkungan adalah pembelajaran biologi karena berhubungan langsung dengan kehidupan sehari-hari dan lingkungan sekitar guna membangun pengetahuan lingkungan (Laelasari & Rahmawati, 2020; Novitasari, 2025). Melalui pembelajaran biologi siswa berinteraksi dengan makhluk hidup serta permasalahan lingkungan nyata di sekitarnya sehingga memahami pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem, serta menyadari dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Kemudian pengalaman belajar yang melibatkan interaksi langsung dengan isu lingkungan inilah yang berpotensi membentuk sikap peduli lingkungan karena siswa tidak hanya memperoleh pengetahuan, tetapi juga mengembangkan kepedulian terhadap kondisi lingkungan yang dihadapinya. Dengan bekal tersebut, siswa diharapkan dapat mengambil tindakan yang bertanggung jawab demi menjaga kelestarian lingkungan.

Dalam Capaian Pembelajaran (CP) mata pelajaran Biologi Fase E kelas X Kurikulum Merdeka, materi pencemaran lingkungan tercakup dalam pokok bahasan Perubahan Lingkungan. Materi pencemaran lingkungan memiliki peran dalam pembentukan sikap peduli lingkungan siswa karena dinilai dekat dengan masalah di kehidupan sehari-hari yang disebabkan oleh kurangnya kesadaran manusia akan pentingnya pengelolaan sumber daya alam (Laelasari & Rahmawati, 2020). Dengan demikian, proses pembelajaran pencemaran lingkungan perlu diarahkan tidak hanya pada penguasaan konsep, tetapi juga pada kemampuan siswa mengaitkan konsep dengan permasalahan lingkungan nyata. Salah satu konteks aktual yang dapat digunakan untuk memperkuat pembelajaran tersebut adalah pencemaran mikroplastik.

Namun kondisi ideal yang diharapkan tidak selalu sejalan dengan fakta di lapangan. Penelitian Lubis et al., (2020) menemukan bahwa sikap peduli lingkungan siswa berada pada kategori baik 62,87%, sementara Wibowo et al., (2021) melaporkan berada pada kategori sedang 46,35%, serta di sisi lain Gaol et al., (2024) mengungkapkan kategori sikap peduli lingkungan siswa masih berada pada kategori kurang 68,34%. Meskipun ketiga penelitian tersebut menggunakan jenjang kelas, jumlah sampel, dan instrumen yang berbeda, hasilnya secara umum menggambarkan bahwa di Indonesia, kondisi sikap peduli lingkungan siswa masih bervariasi dan belum sepenuhnya optimal. Adapun kesenjangan sikap juga ditemukan di SMA Negeri 1 Bandongan. Hasil pra-penelitian sikap peduli

lingkungan terhadap 92 siswa kelas X menunjukkan sebagian besar siswa berada dalam kategori tinggi (75%), sementara sisanya dalam kategori sedang (23%), dan sangat tinggi (2%).

Keberadaan 23% siswa di kategori sedang menegaskan bahwa sikap peduli lingkungan belum terbentuk secara optimal pada sebagian siswa. Hal ini terkonfirmasi pula oleh pernyataan guru biologi bahwa perhatian siswa mengenai menjaga kebersihan dan pengelolaan sampah masih kurang khususnya anorganik. Pengelolaan sampah anorganik seperti plastik yang tidak diperhatikan menjadi permasalahan serius karena keberadaannya akan berakhir di TPA, di ekosistem laut hingga terdegradasi menjadi mikroplastik yang berdampak bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Albazoni et al., 2024). Kondisi ini menunjukkan pentingnya penguatan sikap peduli lingkungan, terutama dalam membangun perilaku bertanggung jawab terhadap penggunaan dan pengelolaan sampah plastik. Persoalan sampah plastik tersebut relevan dengan isu pencemaran mikroplastik yang lebih luas, sehingga penguatan sikap peduli lingkungan siswa perlu diupayakan melalui pembelajaran pencemaran lingkungan. Meskipun materi ini berpotensi untuk meningkatkan sikap peduli lingkungan, dalam praktiknya terdapat kendala pembelajaran yang menghambat pencapaian tujuan tersebut.

Belum optimalnya sikap kepedulian lingkungan siswa SMA N 1 Bandongan salah satunya disebabkan oleh proses pembelajaran pencemaran lingkungan yang belum mendukung sisi sikap secara maksimal. Perangkat pembelajaran utama yakni modul ajar yang digunakan guru bersifat *teacher-centered* yang lebih berfokus pada penyampaian guru daripada keterlibatan aktif siswa dalam pembelajaran. Sumber belajar yang tersedia berupa buku paket dan media *power point* belum mengakomodasi informasi pencemaran lingkungan secara lengkap. Kondisi yang demikian turut mempengaruhi kurangnya optimalisasi aktivitas dan peran siswa selama proses pembelajaran, sehingga pembentukan sikap peduli lingkungan siswa juga tidak maksimal (Syaputri & Devianty, 2023). Lebih lanjut, guru juga menyampaikan kesulitan dalam menyajikan permasalahan lingkungan yang menarik bagi siswa, topik pencemaran lingkungan yang disampaikan berfokus pada masalah umum menyangkut pencemaran air, tanah, dan udara, sementara isu lingkungan terkini jarang diangkat meskipun relevan. Akibatnya, siswa hanya mengetahui konsep pencemaran lingkungan, tetapi kesadaran terhadap pentingnya menjaga lingkungan belum terbentuk secara optimal (Awaluddin, 2025).

Merujuk pada permasalahan di atas, maka perlu adanya perangkat pembelajaran yang menggunakan pendekatan *student-centered* guna memfasilitasi guru dan mengoptimalkan pembentukan sikap peduli lingkungan siswa. Perangkat pembelajaran utama yang dapat melancarkan proses pembelajaran adalah modul ajar pencemaran lingkungan. Modul ajar merupakan rancangan pembelajaran yang disusun secara sistematis memenuhi standar kompetensi yang ada dan berguna untuk menunjang guru dalam proses pembelajaran (Agusty et al., 2023). Modul ajar membutuhkan basis model pembelajaran yang mendorong partisipasi siswa, salah satunya yakni model *Problem Based Learning* (PBL) (Sitanggang et al., 2024). PBL merupakan model pembelajaran inovatif yang diperkenalkan Howard Barrows (1969) dimana masalah nyata di lingkungan sekitar siswa dijadikan stimulus investigasi guna memperoleh pemecahan masalah (Kuvac & Koc, 2019). Penggunaan model ini mampu menumbuhkan antusiasme siswa dalam mengumpulkan informasi dan mengatasi isu lingkungan secara tepat sekaligus membuat pembelajaran lebih bermakna serta secara konsisten membentuk sikap kepedulian lingkungan siswa (Susanti et al., 2017; Amin et al., 2020).

Selain menggunakan model pembelajaran aktif, modul ajar dapat diperkuat dengan mengangkat isu cecaran mikroplastik sebagai konteks pembelajaran. Mikroplastik merupakan fragmen plastik berukuran <5mm yang ditemukan di air, darat, dan udara serta mampu berpindah ke tubuh manusia melalui rantai makanan (Aksak & Önal, 2023). Keberadaannya berdampak serius pada pencemaran ekosistem dan kesehatan manusia seperti imunorepresif dan gangguan penyerapan nutrisi (Raab & Bogner, 2021; Ahmet Miraç & Fatoş, 2024; Rushdi et al., 2023).

Mengingat dampaknya yang kian meluas, masyarakat khususnya siswa SMA dituntut untuk memiliki pengetahuan mengenai mikroplastik (Azmi et al., 2023). Oleh karena itu, lembaga pendidikan

perlu mengintegrasikan isu ini ke dalam pembelajaran, khususnya topik pencemaran lingkungan. Hal ini sejalan dengan Singh et al., (2024) yang menyatakan bahwa integrasi mikroplastik dalam pembelajaran sains dapat menumbuhkan kesadaran lingkungan yang lebih mendalam sekaligus mendorong partisipasi aktif siswa dalam menjaga keberlanjutan lingkungan. Kemudian efektivitas model PBL dalam membentuk sikap peduli lingkungan pada topik pencemaran lingkungan telah banyak dibuktikan pada penelitian-penelitian sebelumnya (Laelasari & Rahmawati, 2020; Amin et al., 2020; Aufa et al., 2021). Di sisi lain, upaya mengintegrasikan konteks mikroplastik ke dalam pembelajaran masih berfokus pada aspek keterampilan pemecahan masalah seperti pengembangan e-modul mikroplastik berbasis PBL oleh (Syarif et al., 2025). Studi Khodijah & Rohaeti (2025) melaporkan bahwa PBL dan *Guided Inquiry* adalah model pembelajaran yang paling sering digunakan dalam menyampaikan isu lingkungan, sedangkan *Discovery Learning* jarang digunakan.

Berdasarkan penelusuran penelitian terdahulu yang digunakan dalam penelitian ini, belum ditemukan kajian yang secara khusus mengembangkan modul ajar pencemaran lingkungan berbasis PBL dengan konteks mikroplastik untuk membentuk sikap peduli lingkungan siswa. Dengan demikian penelitian ini membawa kebaruan integrasi produk berupa modul ajar, model *Problem Based Learning*, dan konteks mikroplastik terhadap sikap peduli lingkungan siswa SMA. Merujuk uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan dan menganalisis pengaruh modul ajar Pencemaran Lingkungan berbasis *Problem Based Learning* dengan konteks mikroplastik terhadap sikap peduli lingkungan siswa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE yang terdiri dari 5 tahapan diantaranya analisis (*analysis*), perancangan (*design*), pengembangan (*development*), implementasi (*implementations*), dan evaluasi (*evaluations*). Prosedur penelitian dimulai dari tahap analisis yang mencakup analisis kebutuhan, analisis kurikulum, dan analisis materi. Tahap perancangan berisi kegiatan pembuatan rancangan modul ajar terdiri dari struktur modul ajar, sintaks model PBL, cakupan materi, serta pemilihan format produk. Tahap pengembangan berisi kegiatan validasi oleh masing-masing 1 orang validator ahli materi dan ahli pengembangan bahan ajar. Selanjutnya dilakukan implementasi modul ajar berupa uji coba produk dengan disain *pre-experiment* skema *one group pretest and post-test design*. Uji coba produk modul ajar dilaksanakan di kelas X E1 Fase E SMA N 1 Bandongan yang berisi 36 siswa. Tahap evaluasi dilakukan secara menyeluruh yaitu perbaikan dilakukan sejak tahap awal pengembangan kemudian dilakukan revisi akhir terhadap produk yang dikembangkan berdasarkan hasil penilaian validator, serta saran atau masukan dari guru yang diberikan selama tahap implementasi.

Penelitian ini menggunakan lima instrumen penelitian. Lembar validasi ahli diantaranya lembar validasi ahli materi digunakan untuk menilai kesesuaian materi pada modul ajar yang dikembangkan berdasarkan aspek kesesuaian isi, aspek keilmuan dan keakuratan konsep, aspek keterpaduan, serta aspek kebahasaan. Lembar validasi ahli pengembangan bahan ajar digunakan untuk menilai kelayakan modul ajar dari aspek format, organisasi, daya tarik, bentuk dan ukuran huruf, ruang kosong, dan konsistensi. Kemudian, instrumen uji kepraktisan menggunakan angket uji respon guru untuk mengetahui kepraktisan modul ajar yang dikembangkan berdasarkan aspek materi, media, bahasa, kegiatan pembelajaran, dan motivasi untuk menggunakan. Angket uji respon siswa ditujukan kepada siswa kelas X yang menjadi sampel uji coba produk untuk mengetahui kepraktisan modul ajar berdasarkan aspek tampilan, bahasa, materi, dan kegiatan pembelajaran *Problem Based Learning*. Pengukuran sikap peduli lingkungan siswa menggunakan kuesioner sikap peduli lingkungan *Environmental Attitude Scale* (EAS). Instrumen ini mencakup empat indikator utama, yakni (1) kesadaran lingkungan (*environmental awareness*), (2) sikap terhadap pemulihan lingkungan (*attitudes towards recovery*), (3) sikap terhadap daur ulang (*attitudes towards recycling*), (4) kesadaran dan perilaku lingkungan (*environmental consciousness and behavior*).

Data yang dikumpulkan dianalisis sesuai dengan jenis datanya, uji kelayakan dan kepraktisan menggunakan lembar kriteria penilaian skala Likert 1-5. Perolehan total skor kelayakan dan kepraktisan dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif sesuai pedoman **Tabel 1**.

Tabel 1. Interpretasi Skor Kelayakan dan Kepraktisan Modul Ajar

Skor Persentase	Kategori Penilaian Kelayakan	Kategori Penilaian Kepraktisan
$80 < x \leq 100$	Sangat Layak	Sangat Praktis
$60 < x \leq 80$	Layak	Praktis
$40 < x \leq 60$	Cukup Layak	Cukup Praktis
$20 < x \leq 40$	Kurang Layak	Kurang Praktis
$0 < x \leq 20$	Tidak Layak	Tidak Praktis

Sumber: (Wijaya et al., 2023)

Analisis data sikap peduli lingkungan dilakukan secara deskriptif kuantitatif menggunakan skala Likert 1-5, kemudian dikategorikan berdasarkan pedoman konversi data kuantitatif ke kualitatif yang tersaji pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Pedoman Konversi Data Kuantitatif ke Kualitatif

Rumus	Rentang Skor	Klasifikasi
$X > X_i + 1,8 S_{bi}$	$X > 84$	Sangat Tinggi
$X_i + 0,6 S_{bi} < X \leq X_i + 1,8 S_{bi}$	$68 < X \leq 84$	Tinggi
$X_i - 0,6 S_{bi} < X \leq X_i + 0,6 S_{bi}$	$52 < X \leq 68$	Sedang
$X_i - 1,8 S_{bi} < X \leq X_i - 0,6 S_{bi}$	$36 < X \leq 52$	Rendah
$X \leq X_i - 1,8 S_{bi}$	$X \leq 36$	Sangat Rendah

Sumber: Rahmatih et al., (2020)

Potensi modul ajar terhadap sikap peduli lingkungan diuji menggunakan uji *Wilcoxon Signed - Rank Test* dengan taraf signifikansi 5%. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian uji prasyarat yang menunjukkan bahwa *pretest* belum terdistribusi normal ($0,014 < 0,05$) dan *post-test* terdistribusi normal ($0,432 > 0,05$). Kemudian, untuk mengetahui tingkat efektivitas dari pembelajaran yang menggunakan modul ajar juga diukur melalui uji *N-Gain* dengan rumus (1).

$$N - Gain = \frac{Skor\ posttest - Skor\ pretest}{Skor\ maksimal - Skor\ pretest} \quad (1)$$

Kategori *N-gain* untuk mengetahui peningkatan maupun penurunan nilai siswa tersaji dalam **Tabel 3**. Kategori Nilai Uji *N-Gain*.

Tabel 3. Kategori Nilai Uji *N-Gain*

Nilai Normalitas Gain	Kriteria
$0,70 \leq n \leq 1,00$	Tinggi
$0,30 \leq n < 0,70$	Sedang
$0,00 \leq n < 0,30$	Rendah

Sumber: (Oktapia, 2024)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelayakan Modul Ajar

Pengembangan modul ajar pencemaran lingkungan berbasis *Problem Based Learning* (PBL) dengan konteks mikroplastik diawali melalui analisis kebutuhan, analisis kurikulum, analisis kondisi awal siswa. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembelajaran pencemaran lingkungan di SMA Negeri 1 Bandongan masih didominasi penggunaan modul ajar berpendekatan *teacher-centered* sehingga

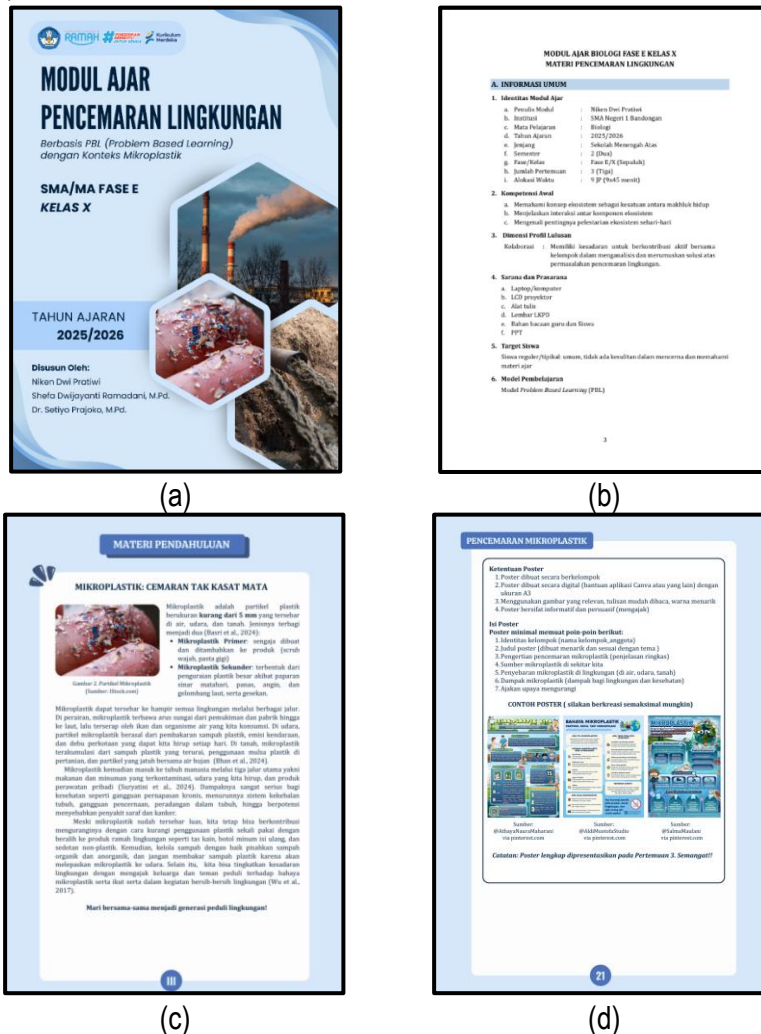
keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran belum optimal. Selain itu, materi pencemaran lingkungan yang digunakan berfokus pada pencemaran secara umum dan belum mengintegrasikan isu lingkungan terkini, seperti mikroplastik. Lebih lanjut, analisis kondisi awal sikap peduli lingkungan siswa menunjukkan masih terdapat 23% siswa yang berada pada kategori sedang. Hal ini mengindikasikan sikap peduli lingkungan belum terbentuk secara optimal pada seluruh siswa. Oleh karena itu, penguatan sikap peduli lingkungan diperlukan melalui pembelajaran yang dirancang lebih berpusat pada siswa dan mengangkat konteks isu lingkungan relevan.

Berdasarkan kebutuhan tersebut dikembangkan modul ajar pencemaran lingkungan berbasis *Problem Based Learning* dengan konteks mikroplastik yang disusun sesuai Capaian Pembelajaran Biologi Fase E yakni siswa mampu merumuskan solusi atas permasalahan lingkungan lokal, nasional, maupun global. Capaian ini dirumuskan ke dalam empat tujuan pembelajaran diantaranya (1) mengidentifikasi jenis pencemaran lingkungan berdasarkan media persebarannya beserta faktor penyebabnya, (2) mengidentifikasi bentuk cemar di lingkungan yang bersumber dari mikroplastik, (3) menganalisis dampak berbagai jenis pencemaran lingkungan terhadap makhluk hidup dan ekosistem, (4) merumuskan upaya atau solusi atas permasalahan pencemaran lingkungan. Modul ajar yang dirancang memuat komponen informasi umum, komponen inti, bahan bacaan, LKPD, asesmen, glosarium, dan daftar pustaka serta pengintegrasian konteks cemar mikroplastik dalam kegiatan belajar PBL selama tiga kali pertemuan. **Tabel 4** menunjukkan rincian setiap komponen yang ada dalam modul ajar.

Tabel 4. Struktur Modul Ajar

Bagian	Isi
Cover	Logo kemendikdasmen, logo ramah, logo pendidikan bermutu untuk semua, logo kurikulum merdeka, judul modul ajar, jenjang sekolah, tahun ajaran, penyusun, dan ilustrasi yang berkaitan dengan materi.
Daftar Isi	Bab, sub bab, dan nomor halaman.
Informasi Umum	Identitas modul ajar, kompetensi awal, dimensi profil lulusan, sarana dan prasarana, target siswa, serta model pembelajaran.
Komponen Inti	Capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, pemahaman bermakna, pertanyaan pemantik, asesmen, kegiatan pembelajaran, refleksi, remedial dan pengayaan.
Lampiran	Bahan bacaan materi pencemaran lingkungan, LKPD, PPT.
Glosarium	Penjelasan kata-kata sulit.
Daftar Pustaka	Referensi yang digunakan dalam penyusunan modul ajar.

Produk modul ajar disusun menggunakan bantuan media *Microsoft Word* dan *Canva*. Website *Canva* digunakan untuk menyusun cover depan dan belakang, serta LKPD. Media *Microsoft Word* digunakan untuk menyusun isi modul ajar bagian dalam. Bagian format modul ajar dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. (a) Cover depan modul ajar, (b) Isi modul ajar, (c) LKPD Materi pendahuluan, (d) LKPD Aktivitas siswa

Kelayakan modul ajar yang dikembangkan ditinjau melalui validasi ahli materi dan ahli pengembangan bahan ajar. Hasil uji kelayakan menunjukkan produk modul ajar pencemaran lingkungan berbasis *Problem Based Learning* dengan konteks mikroplastik dinyatakan “Sangat Layak” dengan skor 82% dan 90% berdasarkan penilaian ahli materi serta ahli pengembangan bahan ajar seperti pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Uji Kelayakan Modul Ajar

Validator	Aspek yang Dinilai	Total Nilai	Kategori
Ahli Materi	Kesesuaian isi, kegiatan pembelajaran, keilmuan dan keakuratan konsep, keterpaduan, dan kebahasaan.	82%	Sangat Layak
Ahli Pengembangan Bahan Ajar	Format, organisasi, daya tarik, bentuk dan ukuran huruf, ruang kosong, serta konsistensi.	90%	Sangat Layak

Hasil penilaian di atas menggambarkan bahwa isi modul ajar sudah sesuai dengan capaian pembelajaran Fase E. Selaras dengan Carolina et al., (2024) dan Meldrawati et al., (2023) bahwa kelayakan isi bahan ajar dikatakan baik apabila materi yang disajikan sesuai dengan capaian dan tujuan pembelajaran, substansi materi, serta berguna dalam menambah wawasan siswa. Integrasi konteks mikroplastik juga menjadi keunggulan utama modul, karena pengenalan isu mikroplastik

dalam bahan ajar dapat menjadi pintu masuk yang efektif untuk membangun kepedulian siswa terhadap permasalahan lingkungan (Syarif et al., 2025).

Lebih lanjut, produk modul ajar memiliki keruntutan kegiatan pembelajaran PBL yang dapat mendukung keterlibatan aktif siswa. Temuan ini sejalan dengan Uki et al., (2024) dan Daud et al., (2025) yang menunjukkan bahwa kegiatan pembelajaran yang disusun sesuai sintaks PBL mendorong siswa untuk aktif berdiskusi dan merumuskan solusi atas permasalahan pencemaran lingkungan, serta turut menjadi wahana pengembangan sikap peduli lingkungan (Handayani & Sopandi, 2016). Nilai kelayakan selanjutnya terletak pada aspek keilmuan dan keakuratan konsep yang mengonfirmasi bahwa konten bebas dari miskonsepsi dan menggunakan istilah ilmiah yang tepat, hal ini penting untuk mencegah kesalahpahaman konsep pada siswa (Rohmah et al., 2023). Selain itu, tingkat keterpaduan antarkomponen modul mencerminkan sistematika penyajian materi sudah disusun secara runtut dari konsep umum pencemaran lingkungan menuju konteks spesifik mikroplastik, sehingga alur belajar siswa terbangun secara bertahap (Akbar et al., 2024). Di samping itu, kelengkapan dan keterpaduan modul ajar membantu mewujudkan pembelajaran yang terstruktur (Salsabilla et al., 2023). Terakhir adalah aspek kebahasaan menunjukkan bahwa bahasa yang digunakan efektif dan komunikatif dalam menyampaikan instruksi PBL maupun materi pencemaran lingkungan dengan konteks mikroplastik. Bahasa yang lugas, komunikatif, dan sesuai tingkat perkembangan siswa menjadikan bahan ajar mudah dipahami oleh penggunanya (Imam et al., 2024; Kumala et al., 2024).

Dari sisi pengembangan bahan ajar, modul memperoleh penilaian keseluruhan kategori "Sangat Layak". Format modul ajar menggunakan ukuran kertas A4 yang konsisten, tata letak terstruktur, dan elemen visual yang seragam di seluruh bagian modul membantu mewujudkan kenyamanan baca dan kemudahan navigasi (Nazila, 2023). Kemudian, penyisipan *QR code* yang mengarah pada video pembelajaran memperkuat nilai format modul, karena pemanfaatan *QR code* dalam bahan ajar terbukti memudahkan akses informasi secara cepat dan praktis, serta mengatasi keterbatasan media cetak dalam menyajikan konten audiovisual (Winarko et al., 2024). Kelayakan penyajian modul didukung pula aspek organisasi yang menunjukkan bahwa modul disusun secara runtut mulai dari informasi umum, komponen inti, lampiran, hingga komponen pendukung seperti glosarium serta daftar pustaka. Penyajian modul ajar yang terorganisasi dan terstruktur membantu guru dalam menjalankan proses pembelajaran di kelas (Oktapia, 2024).

Sementara itu, dari segi daya tarik visual tampilan modul sudah memadai namun masih dapat disempurnakan lebih lanjut. Penggunaan platform Canva dalam proses perancangan memfasilitasi penyusunan tampilan yang variatif dan menarik melalui fitur template dan pemilihan elemennya (Novita et al., 2024; Pratama, 2023). Keterbacaan modul ajar dibantu pula dengan penggunaan tipografi yang tepat terlihat dari pemilihan jenis dan ukuran huruf yang proporsional. Hal ini membantu menjaga kenyamanan baca sekaligus membuat isi modul tampak lebih terstruktur (Salfia, 2021). Kenyamanan visual modul diperkuat oleh adanya ruang kosong yakni proporsionalitas spasi dan margin di seluruh halaman sehingga tampilan modul tidak terlalu penuh maupun terlalu kosong dan memberikan jeda visual bagi pembaca. Aspek terakhir berupa konsistensi menggambarkan modul ajar telah memiliki keseragaman penggunaan huruf, spasi, nomor halaman, serta penempatan ilustrasi dari awal hingga akhir yang mempermudah keterbacaan (Ariyanto et al., 2023).

Secara keseluruhan, berdasarkan hasil penilaian ahli materi dan ahli pengembangan bahan ajar, modul ajar pencemaran lingkungan berbasis PBL dengan konteks mikroplastik dinyatakan layak digunakan baik dari segi materi maupun penyajiannya. Keunggulan modul terletak pada penerapan PBL yang dipadukan dengan isu mikroplastik sehingga siswa dapat terlibat aktif, memahami konsep pencemaran lingkungan, serta mengaitkannya dengan kehidupan sehari-hari. Lebih lanjut, konteks mikroplastik membantu meningkatkan kesadaran dan sikap peduli lingkungan siswa, sehingga modul ini layak digunakan sebagai panduan pembelajaran Biologi Fase E.

Selain layak secara muatan materi dan penyajian, modul ajar yang dikembangkan juga menunjukkan tingkat kepraktisan yang baik. Penilaian oleh guru dan siswa terhadap modul ajar tersaji pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Uji Kepraktisan Modul Ajar

Evaluator	Aspek yang Dinilai	Total Nilai	Kategori
Guru Biologi	Materi, media, bahasa, kegiatan pembelajaran, motivasi penggunaan.	80%	Praktis
Siswa	Tampilan, bahasa, materi, kegiatan pembelajaran PBL	83,8%	Sangat Praktis

Penilaian kepraktisan oleh guru mencapai 80% dengan kategori praktis, mencerminkan penilaian positif terhadap kelengkapan materi, kesesuaian tampilan, bahasa, dan keterlaksanaan sintaks PBL, serta motivasi untuk menggunakannya di kelas. Respon siswa dari 36 peserta menghasilkan skor keseluruhan 83,8% dengan kategori Sangat Praktis, yang menunjukkan bahwa modul ajar dapat digunakan dalam pembelajaran guna menambah wawasan dan mendukung keterlibatan aktif siswa. Hasil ini sejalan dengan Khoirudin et al., (2022) yang menyatakan bahwa produk pembelajaran yang diterima secara umum dan mendukung ketercapaian tujuan pembelajaran dapat dikategorikan sebagai produk yang praktis.

Kepraktisan modul didukung pula oleh integrasi PBL dengan konteks mikroplastik. Rangkaian kegiatan PBL mulai dari orientasi masalah, investigasi kelompok, penyajian hasil karya, hingga evaluasi memberikan pengalaman belajar yang bermakna sekaligus menumbuhkan kemampuan pemecahan masalah dan kesadaran lingkungan siswa (Nelvianti & Fitria, 2020). Penyajian konten mikroplastik dalam LKPD dan bahan bacaan yang diakses langsung oleh siswa menambah relevansi pembelajaran dengan kehidupan nyata, sesuai yang dipaparkan oleh Singh et al., (2024) bahwa paparan isu mikroplastik dalam pembelajaran memperluas wawasan lingkungan siswa dan meningkatkan keterhubungan antara materi sains dengan pengalaman sehari-hari.

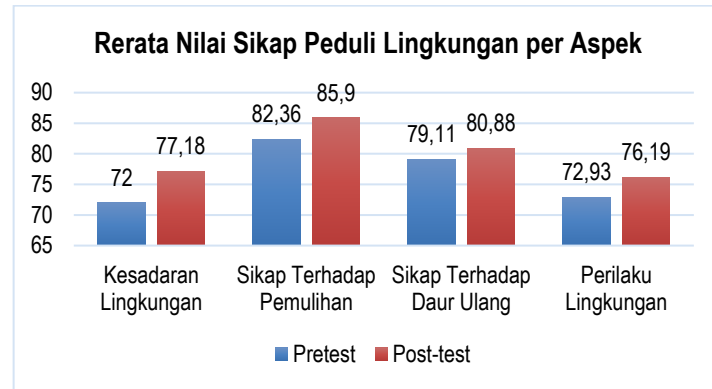
Pengaruh Modul Ajar Terhadap Sikap Peduli Lingkungan Siswa

Hasil ujicoba modul ajar pencemaran lingkungan berbasis PBL dengan konteks mikroplastik juga terbukti berpengaruh terhadap sikap peduli lingkungan siswa. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan rerata nilai sikap peduli lingkungan siswa dari 75,5 menjadi 79,5 setelah pembelajaran. Selanjutnya, merujuk pada distribusi nilai sikap peduli lingkungan siswa **Tabel 7** jumlah siswa yang berada pada kategori sangat tinggi meningkat, sementara jumlah siswa pada kategori sedang mengalami penurunan

Tabel 7. Distribusi nilai Pretest dan Post-test Sikap Peduli Lingkungan

Interval Nilai	Kategori	Pretest		Post-test	
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
X > 84	Sangat Tinggi	1	2,7	4	11,1
68 < X ≤ 84	Tinggi	30	83,3	31	86,1
52 < X ≤ 68	Sedang	5	14	1	2,8
36 < X ≤ 52	Rendah	0	0	0	0
X ≤ 36	Sangat Rendah	0	0	0	0
Total		36	100	36	100

Pola tersebut juga tampak pada sikap perbandingan skor rata-rata nilai setiap aspek sikap peduli lingkungan siswa yang mengalami kenaikan seperti pada **Gambar 2**. Diagram Rerata Nilai Sikap Peduli Lingkungan per Aspek.



Gambar 2. Diagram Rerata Nilai Sikap Peduli Lingkungan per Aspek

Intervensi pembelajaran menggunakan modul ajar berhasil meningkatkan rerata nilai pada seluruh aspek sikap peduli lingkungan siswa baik pada aspek kesadaran lingkungan, sikap terhadap pemulihan, sikap terhadap daur ulang, maupun perilaku lingkungan setelah menerima intervensi pembelajaran menggunakan modul ajar. Peningkatan tersebut diperkuat oleh hasil uji hipotesis menggunakan *Wilcoxon Signed-Rank Test* yang membuktikan bahwa terdapat perbedaan signifikan pada rata-rata nilai sikap peduli lingkungan siswa seperti yang tersaji pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Uji Hipotesis *Wilcoxon Signed-Rank Test*

Data	Nilai Sig. (2-tailed)	Keterangan
Pretest dan Post-test	<,001	Terdapat perbedaan signifikan

Tabel 8 menunjukkan perolehan nilai signifikansi *P-value* sebesar $<0,001 < \alpha = 0,05$ yang bermakna terdapat perbedaan signifikan pada nilai sikap peduli lingkungan siswa antara *pretest* dan *post-test*. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan modul ajar berkontribusi terhadap perubahan positif sikap peduli lingkungan siswa. Selanjutnya, tingkat efektivitas atau besarnya peningkatan sikap peduli lingkungan siswa setelah pembelajaran dianalisis menggunakan uji *N-Gain*. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai rata-rata *N-Gain* sebesar 0,158 (15,8%) yang termasuk dalam kategori rendah.

Secara keseluruhan temuan ini menunjukkan bahwa intervensi pembelajaran menggunakan modul ajar berbasis PBL dengan konteks mikroplastik dapat memperkuat sikap peduli lingkungan siswa. Hal ini selaras dengan penelitian-penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa intervensi berbasis PBL dapat meningkatkan sikap peduli lingkungan. Penelitian Pratama et al., (2018) berhasil meningkatkan rerata skor sikap peduli lingkungan dari 50,11 menjadi 53,95 setelah penerapan perangkat *Subject Specific Pedagogy* berbasis PBL pada materi pencemaran lingkungan. Demikian pula, Firdaus et al., (2021) dan Amin et al., (2020) melaporkan peningkatan nilai dari 71,71 menjadi 79,68 melalui penerapan model PBL pada topik yang sama. Selain penerapan PBL, penelitian yang mengintegrasikan konteks mikroplastik dalam pembelajaran juga menunjukkan hasil serupa. Penelitian Bergami et al., (2025) melaporkan peningkatan kesadaran lingkungan siswa SMA melalui kegiatan identifikasi mikroplastik, dan studi Araújo et al., (2023) menghasilkan perubahan positif pada seluruh aspek sikap peduli lingkungan melalui kegiatan pengamatan mikroplastik di kawasan pesisir. Walaupun demikian, besarnya peningkatan yang diperoleh pada setiap penelitian bervariasi tergantung pada bentuk intervensi pembelajaran, durasi pembelajaran, maupun aktivitas selama proses belajar.

Peningkatan sikap peduli lingkungan siswa melalui penerapan modul ajar berbasis *Problem Based Learning* (PBL) dengan konteks mikroplastik berkaitan erat dengan teori konstruktivisme, yang memandang bahwa pengetahuan dibangun melalui pengalaman dan interaksi aktif siswa dengan lingkungannya (Wiraningtyas, 2024). Teori ini menjadi landasan model PBL, di mana siswa

dihadapkan pada permasalahan lingkungan nyata berupa pencemaran air, udara, tanah, dan mikroplastik sebagai stimulus belajar, sehingga mendorong partisipasi aktif tidak hanya pada aspek kognitif tetapi juga afektif (Ardianti et al., 2022). Secara lebih rinci setiap tahapan PBL yang diterapkan berperan membentuk sikap peduli tersebut. Penyajian masalah autentik melalui video pencemaran lingkungan dan mikroplastik memicu kesadaran siswa terhadap urgensi masalah. Kegiatan investigasi kelompok melalui LKPD mendorong siswa menggali informasi secara mandiri, sehingga pemahaman yang terbentuk lebih bermakna dibandingkan menerima informasi secara pasif. Proses merumuskan solusi hingga penyajian hasil karya turut menuntut siswa untuk merefleksikan keterkaitan antara permasalahan lingkungan dengan perilaku sehari-hari siswa. Rangkaian tahapan inilah yang menjadikan PBL efektif sebagai sarana menanamkan sikap peduli lingkungan (Azizi & Rasyidi, 2019). Hal ini diperkuat oleh Kuvac & Koc (2019) yang membuktikan bahwa PBL lebih efektif meningkatkan sikap peduli lingkungan siswa dibandingkan pembelajaran konvensional.

Perubahan positif juga nampak pada keempat dimensi *Environmental Attitude Scale* (EAS). Kesadaran lingkungan (*Environmental awareness*) meningkat dari 72 menjadi 77,18. Aspek ini memuat indikator yang menggambarkan pentingnya keberadaan spesies dalam ekosistem, kepekaan terhadap isu pencemaran lingkungan, dan kebiasaan penggunaan plastik sehari-hari. Peningkatan tersebut didorong oleh pengenalan materi mikroplastik yang disampaikan dalam modul ajar khususnya terkait penyebaran mikroplastik di berbagai media lingkungan serta akumulasinya dalam rantai makanan hingga ke tubuh manusia. Intervensi ini sejalan dengan Martiana et al., (2025) yang menemukan bahwa kesadaran lingkungan dapat ditingkatkan dengan pengintegrasian isu lingkungan yang relevan ke dalam pembelajaran serta dengan menyampaikan pendidikan lingkungan seperti mikroplastik pada siswa SMA (Endarti et al., 2026).

Pengetahuan baru yang didapatkan siswa turut mendorong peningkatan aspek sikap terhadap pemulihan (*Attitude toward recovery*) dari 82,36 menjadi 85,9. Peningkatan pada aspek ini berkaitan dengan tahap perumusan solusi dalam PBL, di mana siswa dihadapkan pada permasalahan nyata pencemaran mikroplastik yang terdegradasi ke lingkungan dan terakumulasi dalam jangka panjang, sehingga mendorong siswa memikirkan upaya pemulihan lingkungan sebagai bagian dari solusi seperti penggunaan energi alternatif dan gaya hidup berkelanjutan. Hal ini sesuai dengan Amin et al., (2020) yang menemukan bahwa pengetahuan baru yang diperoleh dari kegiatan PBL menjadi landasan dalam pengambilan keputusan dan berperilaku pro-lingkungan.

Perubahan juga tampak pada sikap terhadap daur ulang (*Attitudes toward recycling*) yakni dari 79,11 menjadi 80,88. Aspek tersebut menggambarkan kesediaan siswa untuk melakukan pemilahan sampah, proses daur ulang, serta memilih produk yang bisa didaur ulang. Meskipun demikian, peningkatan pada aspek ini tergolong relatif kecil dibandingkan ketiga aspek lainnya. Kondisi ini berkaitan dengan kegiatan diskusi kelompok mengenai sumber-sumber limbah dan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*), serta pemahaman bahwa limbah plastik sehari-hari berkontribusi pada pembentukan mikroplastik (Calis, 2026). Studi Righi et al., (2024) menegaskan bahwa pengenalan prinsip 3R kepada generasi muda sangat penting mengingat peran mereka sebagai pengambil kebijakan lingkungan di masa depan. Penerapan modul ajar memang meningkatkan pemahaman dan sikap siswa terhadap pentingnya daur ulang, tetapi belum memberikan pengalaman praktik langsung seperti kegiatan pengelolaan sampah di sekolah.

Kesadaran dan perilaku lingkungan (*Environmental consciousness and behavior*), meskipun menjadi dimensi dengan skor terendah di kedua pengukuran, tetap mengalami peningkatan dari 72,93 menjadi 76,19 melalui kegiatan penyusunan dan presentasi poster kampanye lingkungan. Penelitian Khodijah & Rohaeti (2025) dan Martiana et al., (2025) menyampaikan strategi penggunaan *Problem Based Learning* memang mendorong siswa lebih aktif dan kritis dalam memecahkan masalah lingkungan, namun pembentukan sikap peduli lingkungan dengan PBL perlu dibarengi dengan proses pembiasaan yang jauh lebih panjang dari satu proses pembelajaran.

Meskipun seluruh aspek sikap peduli lingkungan mengalami peningkatan setelah pemberian intervensi, efektivitas modul ajar yang dikembangkan masih tergolong rendah. Rendahnya peningkatan ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Sikap peduli lingkungan termasuk dalam ranah afektif yang secara karakteristik tidak mudah berubah dalam waktu singkat. Studi Bohner & Dickel (2011) menjelaskan bahwa sikap yang telah terbentuk cenderung bertahan dan tidak mudah berubah hanya melalui satu pengalaman belajar. Kemudian Albarracin & Shavitt (2018) menyatakan pula bahwa perubahan sikap melalui intervensi umumnya menghasilkan efek yang kecil karena individu cenderung mempertahankan sikap yang sudah dimiliki. Keterbatasan jumlah pertemuan yang hanya tiga kali tatap muka juga cenderung belum cukup untuk menghasilkan perubahan afektif yang besar serta menjadi salah satu keterbatasan penelitian yang turut berpengaruh terhadap rendahnya nilai *N-Gain* yang diperoleh.

Faktor lain yang turut berkontribusi pada rendahnya *N-gain* adalah kondisi awal siswa yang sudah cukup baik. Hal yang demikian berkaitan dengan kemungkinan adanya *ceiling effect* mengingat data pretest menunjukkan bahwa 83,3% siswa telah berada pada kategori tinggi sebelum intervensi, sehingga ruang peningkatan yang tersisa menjadi terbatas (Lestari et al., 2025). Temuan Mariska et al., (2025) juga menyampaikan hal serupa dalam kondisi baseline yang sudah tinggi, ruang untuk peningkatan menjadi terbatas meskipun secara kualitatif terjadi peningkatan signifikan. Tingginya skor awal siswa dapat berhubungan dengan keikutsertaan sekolah dalam program Adiwiyata, yang melibatkan kegiatan lingkungan rutin seperti kebersihan sekolah dan pembuatan kompos. Penelitian Rushayati et al., (2023) dan Novrizal (2023) menunjukkan bahwa program Adiwiyata membentuk kepedulian lingkungan melalui budaya dan pembiasaan sekolah. Akibatnya kenaikan skor yang diperoleh tidak besar karena dari awal siswa sudah memiliki skor yang tinggi.

Selain faktor-faktor yang telah disebutkan, keterbatasan kegiatan belajar yang masih berpusat pada teori di dalam kelas turut membatasi optimalisasi internalisasi nilai peduli lingkungan. Penelitian Biney (2025) serta Syamsidah & Suryani (2018) menegaskan bahwa efektivitas PBL dalam ranah afektif sangat bergantung pada keterlibatan aktif siswa di seluruh proses pemecahan masalah. Dalam penelitian ini, keterlibatan tersebut telah diupayakan melalui analisis video kasus pencemaran air, udara, tanah, dan mikroplastik, melalui diskusi kelompok yang difasilitasi dengan penggunaan LKPD, hingga presentasi poster kampanye lingkungan. Aktivitas ini terbukti mampu meningkatkan sikap peduli lingkungan siswa. Namun, peningkatannya tergolong rendah karena analisis masalah masih bersifat teoritis di dalam kelas, sehingga siswa belum merasakan berpartisipasi lebih banyak pada kegiatan lingkungan secara langsung. Temuan ini sejalan dengan rekomendasi Biney (2025) bahwa kegiatan PBL perlu diperkaya dengan pengalaman langsung di lingkungan nyata. Hal tersebut selaras dengan studi Bergami et al., (2025) dan Araújo et al., (2023) yang berhasil mengoptimalkan pembentukan sikap melalui identifikasi langsung cemaran mikroplastik di lingkungan sekolah dan pesisir. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan untuk mengintegrasikan kegiatan berbasis lapangan seperti investigasi lingkungan sekitar sekolah serta memberikan intervensi PBL secara konsisten dan berulang guna memperkuat sikap peduli lingkungan siswa.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan modul ajar materi pencemaran lingkungan untuk kelas X SMA Negeri 1 Bandongan yang disusun berbasis model pembelajaran *Problem Based Learning* dengan konteks mikroplastik, serta terdapat bahan ajar, LKPD, dan asesmen. Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, maka didapatkan kesimpulan bahwa modul ajar yang dikembangkan memiliki tingkat kelayakan pada kategori sangat layak sesuai hasil penilaian ahli materi sebesar 82% dan ahli pengembangan bahan ajar sebesar 90%. Selain itu, modul ajar ini terbukti memberikan pengaruh terhadap peningkatan sikap peduli lingkungan siswa dibuktikan dengan nilai sig *p-value* <0,001.

Meskipun demikian, tingkat efektivitas peningkatan sikap tersebut melalui uji *N-Gain* diperoleh skor sebesar 0,15, yang menunjukkan bahwa besarnya peningkatan masih tergolong dalam kategori rendah.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diajukan beberapa saran yakni bagi peneliti selanjutnya yang ingin mengembangkan modul yang serupa, dapat mempertimbangkan aktivitas belajar yang lebih dekat dengan lingkungan keseharian siswa dan lebih mendorong keterlibatan siswa secara langsung di lingkungan. Kemudian, dalam pengembangan modul ajar selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan basis model pembelajaran lain yang relevan, serta pemilihan variabel yang lebih beragam, agar modul ajar dapat terus mengikuti kebutuhan pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusty, S. S., Afrida, I. R., & Prafitasari, A. N. (2023). Analisis Kesulitan Guru Dalam Menyusun Modul Ajar di SMA Negeri Pakusari Jember. *Jurnal Biologi*, 1(2), 1–8. <https://doi.org/10.47134/biology.v1i2.1955>
- Aksak, T., & Önal, H. T. (2023). Measuring The Awareness of University Students Educated in The Field of Health about Microplastics and its Effects on Human Health. *Eurasian Journal of Medical and Biological Sciences An International Journal Eurasian J Med Biol Sci*, 3(2), 80–86.
- Albarracin, D., & Shavitt, S. (2018). Attitudes and Attitude Change. In *Annual Review of Psychology* (Vol. 69, pp. 299–327). Annual Reviews Inc. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011911>
- Albazoni, H. J., Al-Haidarey, M. J. S., & Nasir, A. S. (2024). A Review of Microplastic Pollution: Harmful Effect on Environment and Animals, Remediation Strategies. *Journal of Ecological Engineering*, 25(2), 140–157. <https://doi.org/10.12911/22998993/176802>
- Amin, S., Utaya, S., Bachri, S., Sumarmi, & Susilo, S. (2020). Effect of Problem Based Learning on Critical Thinking Skills and Environmental Attitude. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 8(2), 743–755. <https://doi.org/10.17478/jegys.650344>
- Araújo, J. L., Morais, C., & Paiva, J. C. (2023). Students' attitudes towards the environment and marine litter in the context of a coastal water quality educational citizen science project. *Australian Journal of Environmental Education*, 39(4), 522–535. <https://doi.org/10.1017/ae.2023.14>
- Ardianti, R., Sujarwanto, E., & Surahman, E. (2022). Problem-based Learning: Apa dan Bagaimana. *Diffraction: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 3(1). <https://doi.org/10.37058/diffraction.v3i1.4416>
- Ariyanto, E. W., Handajani, S., Sutiadiningsih, A., & Widagdo. Andika Kuncoro. (2023). Pengembangan E-Modul Untuk Kompetensi Dasar Menerapkan Plain Cake Bagi Siswa SMKN 1 Cerme Gresik. *Jurnal Kajian Penelitian Pendidikan Dan Kebudayaan*, 1(3), 169–182. <https://doi.org/10.59031/jkppk.v1i3.290>
- 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>
- Awaluddin, R. (2025). Penerapan Model Problem Based Learning (PBL) Berbasis Kearifan Lokal pada Materi Pencemaran Lingkungan Untuk Meningkatkan Pemahaman Siswa Kelas X di SMAN 2 Bolo. *Jurnal Jendela Pendidikan*, 5(2), 312–321.
- Azmi, A., Rani, S. I. A., Shaifuddin, S. N. M., Rajan, S., Masngut, M. I., Mokhtar, M. A. M., Shahid, N. S. M., Norsin, E., & Rafi, S. B. M. (2023). A Preliminary Survey on Knowledge and Attitudes

- of University Students Regarding Microplastic Pollution and Its Impact on the Environment. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, 19(5). <https://doi.org/10.47836/MJMHS.19.5.24>
- Bergami, E., Ferrari, V., Scaramelli, M., Righi, S., & Prevedelli, D. (2025). Having fun and raising awareness: Italian students monitor airborne microplastic in school environments. *Current Research in Environmental Sustainability*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2025.100309>
- Biney, E. (2025). Systematic Review of Problem Based Learning in Environmental education. *Educational Point*, 2(2), e131. <https://doi.org/10.71176/edup/17292>
- Bohner, G., & Dickel, N. (2011). Attitudes and Attitude Change. *Annual Review of Psychology*, 62, 391–417. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.121208.131609>
- Calis, S. (2026). An Examination Of Knowledge, Thoughts, And Attitudes Toward Microplastics In The Context Of Science Teacher Education. *Humanities and Social Sciences Communications*. <https://doi.org/10.1057/s41599-026-07020-6>
- Carolina, A., Aisyah, R. S. S., & Wljayanti, I. E. (2024). Pengembangan Modul Ajar Kurikulum Merdeka Berbasis Socio-Scientific Issues Pada Materi Pemanasan Global. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 18(2). <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JIPK>
- Daud, D. J., Mamu, H. D., Mustaqimah, N., Nusantara, E., & Husain, I. H. (2025). Validitas Modul Ajar Berbasis Problem Based Learning Terintegrasi Google Sites pada Materi Ekosistem. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 5(4), 998–1007. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v5i4.737>
- Endarti, A. T., Anggarini, I. M., & Sekarrini, L. (2026). Raising environmental Awareness: Evaluating Microplastic Education Interventions in Jakarta's High Schools. *International Journal of Adolescent Medicine and Health*. <https://doi.org/10.1515/ijamh-2025-0231>
- Firdaus, A., Widiyanto, B., & Arfiani, Y. (2021). Pengaruh Model PBL (Problem Based Learning) Berbantuan Video Motion Graphic Materi Pencemaran Lingkungan Terhadap Sikap Peduli Lingkungan. *Jurnal Pendidikan MIPA Pancasakti*, 5(1), 17–24. <https://doi.org/10.24905/jpmp.v5i1.1691>
- Gaol, P. L., Hasrudin, & Sofia. (2024). Sikap Peduli Lingkungan Siswa Sesuai Penerapan Kurikulum Merdeka Belajar Pada Materi Perubahan Lingkungan. *Jurnal Sains Student Research*, 2(6).
- Handayani, D., & Sopandi, W. (2016). Penggunaan Model Problem Based Learning Untuk Meningkatkan Kemampuan Memecahkan Masalah Dan Sikap Peduli Lingkungan Peserta Didik. *EduHumaniora| Jurnal Pendidikan Dasar Kampus Cibiru*, 7(2), 105–114.
- Khodijah, S. A., & Rohaeti, E. (2025). Teaching Strategies for Microplastic Material in Science Learning: Literature Review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(1), 351. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i1.9193>
- Khoirudin, R., Sunarto, & Sunarso, A. (2022). Pengembangan Modul dalam PBL untuk meningkatkan Kemampuan Pemahaman Konsep IPS dan Motivasi Belajar Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(3), 4442–4450. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i3.2770>
- Kumala, D., Wardhani, S., & Astriani, M. (2024). Pengembangan Modul Ajar Elektronik Berbasis Pjbl Berbantuan Aplikasi Kodular Pada Materi Virus Untuk Kelas X Fase E SMA. *Bioedukasi*, 15(2).
- Kuvac, M., & Koc, I. (2019). The Effect of Problem Based Learning on The Environmental Attitudes of Preservice Science Teachers. *Educational Studies*, 45(1), 72–94. <https://doi.org/10.1080/03055698.2018.1443795>
- Laelasari, I., & Rahmawati, A. (2020). Analisis Penerapan Model Problem Based Learning Dalam Mengembangkan Sikap Peduli Lingkungan Siswa Pada Materi Pencemaran Lingkungan. *Symbiotic: Journal of Biological Education and Science*, 1(2).
- Lestari, A. D., Suwono, H., & Prabaningtyas, S. (2025). By-Clime: Development of PBL-SSI-based E-module on Climate Change to Enhance SA and ITS of Upper Secondary Students.

- JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 11(3), 1075–1085.
<https://doi.org/10.22219/jpbi.v11i3.41934>
- Lestari, M. P. (2019). Validitas Modul Berbasis Problem Based Learning Pada Sub Materi Pencemaran Lingkungan Untuk Melatihkan Literasi Sains Peserta Didik Kelas X SMA. *Bioedu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 8(3). <http://ejournal.unesa.ac.id/index.php/bioedu>
- Lubis, S. P. W., Muzanna, S. R., & Firdausiyah, I. (2020). Profil Sikap Peduli Lingkungan Siswa SMA Di Aceh. *Jurnal Dedikasi Pendidikan*, 4(1), 34–42.
<http://jurnal.abulyatama.ac.id/index.php/dedikasi>
- Martiana, A., Badriah, L., & Triyanto, S. A. (2025). Profil Sikap Peduli Lingkungan Peserta Didik Kelas XI SMA di Kota Tasikmalaya. *Biosintesa*, 2(1).
- 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>
- Narut, Y. F., & Nardi, M. (2019). Analisis Sikap Peduli Lingkungan Pada Siswa Kelas VI Sekolah Dasar di Kota Ruteng. *Scholaria: Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 9(3).
<https://doi.org/10.24246/j.js.2019.v9.i3.p259-266>
- Nazila, R. (2023). *Pengembangan Modul Biologi Berbasis Problem Based Learning Pada Materi Jaringan Tumbuhan Di SMA/MA*.
- Nelvianti, N., & Fitria, Y. (2020). Karakteristik Model Problem Based Learning Berbantuan E-learning Portal Rumah Belajar pada Pembelajaran IPA Tematik. *Pedagogia Jurnal Ilmu Pendidikan*, 18(02).
- Novita, R., Alfiriani, A., Irsyadunas, & Nurdin, B. (2024). Pelatihan Meningkatkan Kualitas Modul Ajar Dengan Aplikasi Canva Pada Kurikulum Merdeka Bagi Guru-Guru SMK IT Al Hidayah Pasaman Barat. *Ika Bina En Pabolo: Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1).
- Novrizal, A. (2023). Implementasi Program Adiwiyata terhadap Sikap Peduli Lingkungan pada Siswa SMAN 4 Bogor. *Sosio-Didaktika: Social Science Education Journal*, 10(2).
- Oktapia, D. (2024). *Pemanfaatan Modul Ajar Dalam Konteks Pengembangan Kreativitas Dan Inovasi Belajar Siswa Kelas V Min 04 Selama*.
- Pratama, D. N., Karyanto, P., & Ariyanto, J. (2018). Pengembangan Subject Spesific Pedagogy Berbasis Problem Based Learning Untuk Penguatan Sikap Peduli Lingkungan. *Paedagogia: Jurnal Penelitian Pendidikan*, 21(1), 14. <https://doi.org/10.20961/paedagogia.v21i1.13404>
- Raab, P., & Bogner, F. X. (2021). Conceptions of University Students on Microplastics in Germany. *Plos One*, 16(9 September). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257734>
- Rahardjanto, A., Husamah, H., Hadi, S., Lestari, N., & Fatmawati, D. (2022). The Environmental Attitude of The Prospective Biology Teachers in Indonesia. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 8(3), 255–264. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v8i3.22855>
- Rahmatih, A. N., Fauzi, A., & Ermiana, I. (2020). Hubungan Motivasi dan Kemandirian Belajar Mahasisw Calon Guru Sekolah Dasar. *Wahana Sekolah Dasar*, 28(2), 76–83.
- Righi, S., Bergami, E., Simonini, R., & Prevedelli, D. (2024). Level of Awareness and Attitudes towards Plastic Contamination by Students of an Italian University. *Sustainability (Switzerland)*, 16(11), 2–15. <https://doi.org/10.3390/su16114637>
- Rohmah, M., Priyono, S., & Sari, S. S. (2023). Analisis Faktor-Faktor Penyebab Miskonsepsi Peserta Didik Sma. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dan Ekonomi*, 7(2), 39–47.
<http://journal.unuha.ac.id/index.php/utility>
- Rushayati, S. B., Hermawan, R., & Ginoga, L. N. (2023). The Role of Adiwiyata School in The Change of Students' Knowledge, Attitude, and Behavior Towards The Environment. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 13(1), 122–128.
<https://doi.org/10.29244/jpsl.13.1.122-128>

- Salfia, E. (2021). Pengembangan Bahan Ajar Berbasis E-Modul Interaktif Menggunakan Model Pembelajaran Berbasis Masalah Pada Materi Integral SMA Kelas XII. *Jurnal Riset Ilmu Pendidikan*, 1(1), 12–18. <https://doi.org/10.30596/jcositte.v1i1.xxxx>
- Salsabilla, I. I., Jannah, E., & Juanda. (2023). Analisis Modul Ajar Berbasis Kurikulum Merdeka. *Jurnal Literasi Dan Pembelajaran Indonesia*, 3(1), 33–41.
- Saro, J. M., Taray, J. D., Cinso, J. S., Ingaling, B. S., Enguio, M. J. A., & Hayon, C. P. B. (2025). Level of attitude, behavior, and awareness of senior high school Students Toward Environmental Conservation. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 11(1), 111–124. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v11i1.37861>
- Singh, H., Kumar, R., & Singh, Chef. J. (2024). Level of Awareness of Microplastics Among Generation Z. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 5(4). <https://doi.org/10.29121/shodhkosh.v5.i4.2024.4435>
- Sitanggang, A., Husna, H., Ritonga, P., Arwita, W., & Simatupang, H. (2024). Pengaruh Model Problem Based Learning Untuk Meningkatkan Motivasi Dan Berpikir Kritis Siswa Dalam Pembelajaran Biologi. *JICC: Jurnal Intelek Insan Cendekia*, 1(4). <https://jicnusanantara.com/index.php/jiic>
- Susanti, S., Masriani, & Hadi, L. (2017). *Pengaruh Model Problem Based Learning Terhadap Sikap Peduli Lingkungan Siswa Smp Negeri 6 Pontianak* (Artikel Penelitian). Universitas Tanjungpura Pontianak.
- Syamsidah, & Suryani, H. (2018). *Buku Model Problem Based Learning (PBL)*. Deepublish.
- Syaputri, M. D., & Devianty, S. M. (2023). Meningkatkan Kesadaran Lingkungan dengan Metode Ajar Demonstrasi. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 128–140.
- Syarif, E. A., Saparuddin, & Putri, H. M. (2025). E-Modul Pencemaran Mikroplastik Berbasis PBL: Upaya Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Lingkungan Kontekstual pada Siswa. *Biodik: Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi*, 11, 2460–2612. <https://doi.org/10.22437/biodik.v11i02.45280>
- Uki, N. M., Suharta, I. G. P., & Lasmawan, I. W. (2024). Implementasi Bahan Ajar Pencemaran Lingkungan Berbasis Problem Based Learning terhadap Pemahaman Konsep Siswa. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, 12(1), 812. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v12i1.10688>
- Wibowo, N. A., Sarwono, & Yusup, Y. (2021). Environmental Care Attitude Of The Students In Senior High School At Pati Regency. *GeoEco*, 7(2), 165–177.
- Wijaya, W. D., Sofyan, D., & Sundari, F. S. (2023). Pengembangan E-Modul Berbasis Aplikasi Flip PDF Professional Pada Mata Pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam Subtema 2 Perpindahan Panas. *Didaktik : Jurnal Ilmiah PGSD FKIP Universitas Mandiri*, 9(2).
- Wiraningtyas, A. (2024). Konstruktivisme Melalui Pembelajaran Problem Based Learning (PBL) Dalam Pembelajaran Kimia Bermuatan Etnosains. *Chemistry Education Practice*, (2). <https://doi.org/10.29303/cep.v7i2.7998>