



PENGEMBANGAN MODUL REAKSI KIMIA BERBASIS *CIRCULAR ECONOMY* MELALUI BIOKONVERSI SAMPAH MENJADI PUPUK ORGANIK CAIR DALAM MENINGKATKAN KESADARAN LINGKUNGAN SISWA

Gina Salsabila¹, Meirita Sari², Khairiah³

Tadris IPA, Universitas Islam Negeri Fatmawati Sukarno Bengkulu^{1,2,3}

e-mail: Salsabilagina80@gmail.com

Diterima: 30/3/2026; Direvisi: 6/4/2026; Diterbitkan: 12/4/2026

ABSTRAK

Isu lingkungan yang semakin kompleks menuntut keterlibatan dunia pendidikan dalam membentuk kesadaran dan perilaku berkelanjutan siswa melalui pembelajaran IPA yang relevan dengan konteks kehidupan nyata. Penelitian ini bertujuan menghasilkan modul pembelajaran berbasis *circular economy* pada isi reaksi kimia melalui kegiatan biokonversi sampah organik menjadi pupuk organik cair untuk meningkatkan kesadaran lingkungan siswa SMP IT Khairunnas Kota Bengkulu. Pendekatan yang digunakan adalah *Research and Development (R&D)* dengan model ADDIE yang meliputi tahapan analisis, perancangan, pengembangan, penerapan, dan evaluasi. Subjek penelitian melibatkan 30 siswa kelas IX dan seorang guru IPA. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, wawancara, dan angket dengan instrumen berupa lembar validasi ahli, angket respons siswa, serta lembar observasi guru. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif guna menentukan tingkat kelayakan serta efektivitas produk yang dikembangkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul memperoleh skor validasi ahli isi sebesar 82,76%, ahli penyajian 79,21%, dan ahli bahasa 89,63% dengan kategori sangat layak, respons siswa terhadap kepraktisan modul sebesar 73,06% dan 92% dari respons guru. Keefektifan modul ditunjukkan oleh peningkatan hasil belajar siswa, dengan rata-rata nilai *pretest* sebesar 65,43 dan *posttest* sebesar 86,23, serta nilai N-Gain sebesar 0,61. Selain itu, hasil angket menunjukkan tingkat kesadaran lingkungan siswa sebesar 86%, dan hasil observasi menunjukkan keterampilan psikomotorik siswa sebesar 89%, yang keduanya berada pada kategori sangat baik. Modul berbasis *circular economy* efektif meningkatkan kesadaran lingkungan karena menyajikan konsep reaksi kimia melalui pengalaman langsung biokonversi sampah organik, sehingga siswa mampu memahami keterkaitan antara proses ilmiah, pengelolaan limbah, dan keberlanjutan lingkungan.

Kata kunci : *Circular Economy, Reaksi Kimia, Kesadaran Lingkungan*

ABSTRACT

Increasingly complex environmental issues demand the involvement of the educational world in shaping students' awareness and sustainable behavior through science learning that is relevant to real-life contexts. This study aims to produce a circular economy-based learning module on the content of chemical reactions through the bioconversion of organic waste into liquid organic fertilizer to increase environmental awareness of students at SMP IT Khairunnas, Bengkulu City. The approach used is Research and Development (R&D) with the ADDIE model which includes the stages of analysis, design, development, implementation, and evaluation. The research subjects involved 30 ninth-grade students and a science teacher. Data collection was carried out through observation, interviews, and questionnaires with instruments in the form of expert validation sheets, student response questionnaires, and teacher observation



sheets. Data analysis was carried out descriptively quantitatively and qualitatively to determine the level of feasibility and effectiveness of the developed product. The results showed that the module obtained a validation score of 82.76% from content experts, 79.21% from presentation experts, and 89.63% from language experts with a very feasible category, student responses to the practicality of the module were 73.06% and 92% from teacher responses. The effectiveness of the module is demonstrated by the improvement in student learning outcomes, with an average pretest score of 65.43 and a posttest score of 86.23, and an N-Gain score of 0.61. In addition, the questionnaire results showed a level of student environmental awareness of 86%, and observation results showed a level of student psychomotor skills of 89%, both of which are in the very good category. The circular economy-based module effectively increases environmental awareness because it presents the concept of chemical reactions through direct experience of organic waste bioconversion, so that students are able to understand the relationship between scientific processes, waste management, and environmental sustainability.

Keywords: *Circular Economy, Chemical Reactions, Environmental Awareness*

PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan hidup dewasa ini telah berkembang menjadi krisis global yang menuntut perhatian serius dari seluruh lapisan masyarakat, terutama melalui instansi pendidikan formal. Berbagai fenomena seperti pencemaran udara, perubahan iklim yang ekstrem, serta akumulasi sampah yang tidak terkelola dengan baik mencerminkan masih lemahnya kesadaran kolektif terhadap prinsip keberlanjutan. Dalam konteks ini, pendidikan sains atau Ilmu Pengetahuan Alam memiliki peran yang sangat strategis karena berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan konsep-konsep ilmiah yang kompleks dengan problematika nyata di lingkungan sekitar siswa. Melalui kurikulum yang progresif, sekolah diharapkan mampu mendorong peserta didik untuk memahami sekaligus mempraktikkan solusi konkret dalam pengelolaan limbah, seperti pemanfaatan sampah organik. Integrasi praktik pembuatan pupuk organik cair dari sisa makanan kantin terbukti mampu memperkuat pengetahuan teknis dan mengubah perilaku siswa secara signifikan (Irianti et al., 2023; Ismawati & Rahayu, 2024; Syahidin et al., 2022). Pendekatan ini diperluas dengan penerapan prinsip *circular economy* atau ekonomi sirkular yang menekankan siklus penggunaan kembali sumber daya. Dengan memberikan peran aktif kepada siswa sebagai agen perubahan melalui prinsip *reduce, reuse, dan recycle*, dunia pendidikan dapat menciptakan ekosistem belajar yang tidak hanya bersifat teoretis namun juga aplikatif demi kelestarian bumi di masa depan (Aprianti et al., 2024; Christanto et al., 2026; Hartanti & Wardhana, 2023; Iliyani et al., 2025).

Pada jenjang sekolah menengah pertama, integrasi pendidikan lingkungan menjadi sangat krusial karena masa remaja merupakan fase perkembangan psikologis yang sangat menentukan dalam pembentukan nilai, sikap, dan pola pikir berkelanjutan. Keputusan dan kebiasaan yang dibentuk pada masa ini cenderung akan memengaruhi perilaku individu dalam jangka panjang hingga mereka dewasa. Pendidikan lingkungan yang disisipkan secara sistematis dalam mata pelajaran sains bertujuan untuk meningkatkan keterlibatan emosional siswa sehingga mereka terdorong melakukan tindakan nyata dalam kehidupan sehari-hari. Pembelajaran yang berbasis pada konteks lingkungan terbukti lebih efektif dalam membangun kesadaran ekologis karena memberikan pengalaman sensorik dan kognitif yang konkret bagi siswa. Strategi seperti pembiasaan atau *habituation* dan metode pemecahan masalah atau *problem solving* mampu melatih ketajaman berpikir kritis siswa mengenai pengelolaan sumber daya alam. Program-program berwawasan lingkungan seperti Adiwiyata di sekolah dapat



memperkuat karakter peduli lingkungan melalui praktik positif yang dilakukan secara berulang dalam lingkungan sosial yang mendukung. Melalui integrasi nilai-nilai keberlanjutan ke dalam aktivitas belajar harian, generasi muda dipersiapkan untuk menjadi individu yang bertanggung jawab terhadap pelestarian alam sekitar mereka secara mandiri dan sadar dalam menjaga ekosistem (Fitri & Hadiyanto, 2022; Siantar & Siagian, 2025; Sitorus & Lasso, 2021; Wibowo & Erman, 2026).

Pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan atau *education for sustainable development* idealnya mencakup keseimbangan antara aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik agar siswa tidak hanya memiliki pengetahuan tentang lingkungan, tetapi juga kemauan kuat untuk bertindak menjaga ekosistem. Namun, fakta yang ditemukan di lapangan menunjukkan adanya jurang pemisah yang cukup lebar antara harapan ideal tersebut dengan praktik nyata di sekolah. Di SMP IT Khairunnas Kota Bengkulu pada tahun ajaran 2025/2026, proses pembelajaran sains masih cenderung terjebak pada pendekatan teoretis yang kaku dan jarang dikaitkan secara kontekstual dengan isu lingkungan lokal. Berdasarkan hasil pengamatan, pembelajaran berbasis lingkungan belum terfasilitasi secara optimal karena ketergantungan pada buku teks konvensional yang isinya terlalu umum. Guru sering kali kesulitan menghubungkan materi kimia atau biologi dengan masalah sampah yang ada di depan mata siswa karena ketiadaan bahan ajar yang relevan. Akibatnya, pengalaman belajar siswa menjadi kurang bermakna dan sering kali gagal menumbuhkan rasa kepedulian yang mendalam terhadap alam sekitar. Kesenjangan ini menciptakan kebutuhan mendesak akan adanya pembaruan materi ajar yang mampu menyatukan konsep ilmiah dengan aksi nyata dalam kehidupan sehari-hari di lingkungan sekolah tersebut.

Salah satu terobosan yang dapat menjembatani keterpisahan antara teori sains dan praktik lingkungan adalah penerapan konsep *circular economy* yang menekankan pentingnya menjaga nilai sumber daya melalui prinsip *recover* dan *redesign* (Lutfi, 2025; Nguyen, 2023; Yusof et al., 2025). Dalam mata pelajaran sains, konsep ini dapat diwujudkan melalui kegiatan nyata berupa biokonversi sampah organik menjadi pupuk organik cair yang sangat bermanfaat bagi tanaman. Proses biokonversi ini secara ilmiah melibatkan reaksi kimia kompleks melalui fermentasi *anaerob* oleh mikroorganisme yang menguraikan limbah menjadi senyawa nutrisi. Melalui aktivitas praktikum ini, siswa dapat mengamati secara langsung bagaimana teori reaksi kimia bekerja dalam pengelolaan limbah organik, sehingga pembelajaran menjadi jauh lebih hidup dan kontekstual. Pemanfaatan limbah sebagai sumber belajar utama merupakan implementasi nyata yang membuat siswa lebih sadar akan dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Pengolahan sampah dengan pendekatan *3R* atau *reduce, reuse, dan recycle* bukan sekadar slogan, melainkan diubah menjadi keterampilan teknis yang memperkuat pemahaman konseptual siswa mengenai siklus energi dan materi. Dengan melihat sampah sebagai sumber daya yang bernilai, siswa akan mengembangkan cara pandang baru yang lebih positif terhadap keberlanjutan ekosistem secara menyeluruh dan bertanggung jawab.

Berdasarkan berbagai tantangan tersebut, pengembangan modul pembelajaran yang mengintegrasikan prinsip *circular economy* pada materi reaksi kimia menjadi langkah strategis di SMP IT Khairunnas Kota Bengkulu untuk periode 2025/2026. Modul inovatif ini dirancang bukan hanya sebagai sumber informasi ilmiah, tetapi juga sebagai panduan praktis untuk melakukan biokonversi sampah organik secara mandiri dan kolaboratif. Inovasi penelitian ini terletak pada penggabungan konsep kimia yang abstrak dengan praktik lingkungan yang nyata, yang bertujuan untuk meningkatkan kesadaran ekologis siswa secara signifikan. Melalui pengalaman belajar yang terstruktur dalam modul ini, siswa diharapkan mampu



mengembangkan kemampuan berpikir sistemik dan keterampilan proses sains yang lebih baik. Pembelajaran yang menekankan pada efisiensi sumber daya akan secara alami menanamkan nilai-nilai tanggung jawab, kreativitas, dan kerja sama dalam diri setiap peserta didik. Pada akhirnya, penelitian ini berupaya menghasilkan sebuah perangkat pembelajaran yang transformatif di SMP IT Khairunnas Kota Bengkulu agar sains tidak lagi dipandang sebagai kumpulan teori dingin, melainkan sebagai alat yang ampuh untuk menjaga keseimbangan alam. Dengan demikian, modul ini diharapkan mampu melahirkan generasi yang tidak hanya cerdas secara akademik tetapi juga memiliki integritas moral dalam melestarikan lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode *Research and Development (R&D)* dengan model ADDIE yang mencakup lima tahapan, yaitu analisis, perancangan, pengembangan, pelaksanaan, dan evaluasi. Tujuan penelitian adalah menghasilkan modul pembelajaran berbasis *circular economy* pada materi reaksi kimia. Kegiatan penelitian dilaksanakan di SMP IT Khairunnas Kota Bengkulu pada semester genap tahun ajaran 2026 dengan melibatkan 30 siswa kelas IX C dan satu guru IPA. Tahap analisis dilakukan melalui observasi, wawancara, serta penyebaran angket. Hasilnya menunjukkan bahwa pembelajaran IPA masih berorientasi pada metode konvensional dan belum menghubungkan konsep reaksi kimia dengan pengelolaan sampah organik maupun isu pelestarian lingkungan. Temuan tersebut menjadi dasar perlunya bahan ajar yang kontekstual dan relevan dengan kehidupan sehari-hari siswa.

Pada tahap perancangan dan pengembangan, disusun modul yang mengintegrasikan prinsip *circular economy* melalui aktivitas biokonversi sampah organik menjadi pupuk cair. Sistematis modul terdiri atas bagian pendahuluan, rangkaian kegiatan belajar, latihan soal, refleksi, dan evaluasi. Produk yang dikembangkan selanjutnya divalidasi oleh ahli materi, ahli bahasa, dan ahli penyajian menggunakan angket skala Likert, kemudian disempurnakan berdasarkan rekomendasi para validator. Uji coba terbatas dilaksanakan di kelas dengan guru berperan sebagai fasilitator. Evaluasi dilakukan secara berkelanjutan untuk menilai aspek kelayakan, kemudahan penggunaan, serta dampaknya terhadap pembelajaran. Data yang terkumpul diolah melalui pendekatan deskriptif kuantitatif dan kualitatif sehingga prosedur pengembangan berjalan terstruktur.

Instrumen penilaian kognitif berupa 25 soal pilihan ganda yang disusun sesuai indikator kompetensi materi reaksi kimia kelas IX. Sebelum digunakan, instrumen ditelaah melalui *expert judgment* oleh dua dosen Pendidikan IPA dan satu guru mata pelajaran. Hasil telaah menyatakan instrumen dapat digunakan dengan revisi minor pada redaksi soal. Pengujian empiris dilakukan kepada 30 siswa. Validitas butir dianalisis menggunakan *korelasi Product Moment* pada taraf signifikansi 5%, dengan kriteria r hitung lebih besar dari r tabel. Seluruh soal memenuhi kriteria validitas. Konsistensi internal dihitung melalui rumus Cronbach's Alpha dan menghasilkan koefisien 0,81 yang tergolong tinggi. Analisis tambahan mencakup tingkat kesukaran serta daya pembeda, yang menunjukkan mayoritas soal berada pada kategori sedang dengan kemampuan membedakan yang baik.

Pengolahan hasil belajar dilakukan dengan membandingkan skor rata-rata *pretest* dan *posttest*, kemudian dihitung nilai N-Gain untuk melihat peningkatan capaian siswa. Interpretasi N-Gain mengacu pada kategori rendah ($g < 0,3$), sedang ($0,3 \leq g < 0,7$), dan tinggi ($g \geq 0,7$). Uji normalitas *Shapiro-Wilk* digunakan untuk memastikan distribusi data. Karena data berdistribusi normal, analisis dilanjutkan dengan uji t berpasangan pada taraf signifikansi 5%. Angket kesadaran lingkungan diolah menggunakan skala Likert lima tingkat dan dikonversi ke

bentuk persentase dengan klasifikasi sangat kurang hingga sangat baik. Sementara itu, keterampilan psikomotorik dinilai melalui lembar observasi berbasis rubrik, kemudian dipersentasekan untuk menentukan kategori pencapaian siswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pengembangan modul berbasis circular economy pada materi reaksi kimia dalam biokonversi sampah menjadi pupuk organik cair (POC) dilaksanakan menggunakan model ADDIE yang meliputi tahap analysis, design, development, implementation, dan evaluation. Pada tahap analisis, dilakukan identifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik siswa, serta permasalahan pembelajaran IPA di SMP IT Khairunnas Kota Bengkulu. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembelajaran reaksi kimia masih bersifat abstrak dan belum dikaitkan dengan permasalahan lingkungan di sekitar siswa. Selain itu, kesadaran lingkungan siswa belum berkembang secara optimal karena materi belum dihubungkan dengan praktik nyata pengelolaan sampah.. Tahap pengembangan dilakukan melalui proses validasi oleh ahli materi dan ahli media yang menilai aspek kelayakan isi, penyajian, dan kebahasaan.



Gambar 1 Tampilan cover modul

Gambar tersebut menunjukkan desain cover modul berbasis circular economy pada materi reaksi kimia dalam biokonversi sampah menjadi pupuk organik cair yang ditujukan untuk siswa SMP/MTs.

Hasil validasi modul disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Tingkat kelayakan modul

Aspek	Hasil Penilaian	
	Skor	Keterangan
Isi	82,76%	Sangat layak
Penyajian	79,21%	Sangat layak
Bahasa	89,63%	Sangat layak

Berdasarkan tabel 1 dapat diketahui bahwa modul pembelajaran berbasis *circular economy* berada pada kategori layak. Tahap implementasi dilakukan secara terbatas pada siswa SMP di Kota Bengkulu. Dalam proses pembelajaran, siswa terlibat dalam kegiatan diskusi, praktikum pembuatan pupuk organik cair, serta refleksi mengenai pengelolaan sampah organik. Kepraktisan modul dianalisis melalui angket respon siswa dan guru. Hasil analisis kepraktisan modul berdasarkan angket disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Data hasil analisis kepraktisan modul

Responde n	Hasil Penilaian	
	Skor	Keterangan
Siswa	73,06%	Layak
Guru	92%	Sangat layak

Berdasarkan tabel 2 hasil respon siswa dan guru menunjukkan bahwa modul berbasis *circular economy* berada pada kategori praktis.

Keefektifan modul pembelajaran dianalisis berdasarkan tiga aspek, yaitu aspek kognitif, aspek afektif, dan aspek psikomotorik. Aspek kognitif dianalisis menggunakan nilai *pretest* dan *posttest*, sedangkan aspek afektif dan psikomotorik dianalisis menggunakan angket kesadaran lingkungan siswa. Ringkasan hasil analisis keefektifan modul berdasarkan ketiga aspek tersebut disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Data hasil *pretest* dan *posttest*

Aspek	Hasil Penilaian	
	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>
Kognitif	65,43	86,23

Hasil analisis pada tabel 3 menunjukkan bahwa rata-rata nilai *posttest* meningkat dengan nilai N-Gain sebesar 0,61 yang termasuk dalam kategori sedang. sehingga menunjukkan bahwa modul efektif digunakan dalam pembelajaran. Selain peningkatan hasil belajar kognitif, keefektifan modul juga ditunjukkan oleh peningkatan kesadaran lingkungan siswa. Data hasil angket dapat dilihat tabel 4.

Tabel 4. Data hasil angket

Aspek	Hasil Penilaian	
	Skor	Keterangan
Afektif	86%	Sangat layak
Psikomotorik	89%	Sangat layak

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kesadaran lingkungan siswa berada pada kategori sangat baik pada aspek afektif dan psikomotorik.

Pembahasan

Pengembangan perangkat ajar berupa modul yang mengintegrasikan prinsip ekonomi sirkular atau *circular economy* pada materi reaksi kimia terbukti memenuhi kriteria kelayakan yang sangat tinggi. Berdasarkan hasil penilaian para validator, aspek isi mendapatkan nilai 82,76 sedangkan aspek penyajian memperoleh angka 79,21 yang menunjukkan bahwa materi telah disusun secara sistematis dan sesuai dengan kebutuhan kurikulum tingkat menengah.



Capaian ini menegaskan bahwa transformasi limbah organik menjadi pupuk cair bukan sekadar teori, melainkan aplikasi nyata yang dapat memvisualisasikan fenomena abstrak menjadi lebih konkret bagi para peserta didik. Melalui pendekatan biokonversi, siswa dapat mengamati indikator perubahan kimia secara langsung seperti munculnya aroma khas, perubahan warna cairan, hingga terbentuknya endapan organik yang stabil. Validasi ini memberikan landasan hukum teknis bahwa modul tersebut siap digunakan untuk mengatasi kejenuhan belajar serta rendahnya korelasi antara sains dan isu lingkungan lokal. Keunggulan modul ini terletak pada kemampuannya menyederhanakan proses fermentasi yang kompleks menjadi aktivitas *hands-on* yang menarik dan edukatif. Dengan skor kebahasaan mencapai 89,63, modul ini dipastikan mampu mengomunikasikan instruksi kerja secara efektif tanpa menimbulkan bias pemahaman bagi setiap peserta.

Keefektifan penggunaan modul ini dalam meningkatkan pemahaman kognitif siswa terlihat sangat nyata melalui perbandingan skor tes sebelum dan sesudah intervensi. Data menunjukkan bahwa nilai rata-rata awal atau *pretest* siswa berada pada angka 65,43 yang kemudian mengalami peningkatan signifikan menjadi 86,23 setelah mereka menggunakan modul dalam pembelajaran mandiri maupun kelompok. Perolehan nilai *n-gain* sebesar 0,61 menempatkan modul ini pada kategori efektivitas sedang yang berarti terdapat kemajuan intelektual yang stabil dan terukur pada diri peserta didik. Peningkatan ini membuktikan bahwa strategi pembelajaran yang mengintegrasikan pengolahan sampah organik ke dalam kurikulum kimia mampu merangsang daya nalar siswa dalam memahami konsep reaksi yang terjadi selama biokonversi (Rusnilawati et al., 2023; Sutisno et al., 2023; Widiastuti & Hanif, 2024). Siswa tidak lagi sekadar menghafal definisi namun mampu menganalisis bagaimana mikroorganisme bekerja memecah senyawa kompleks menjadi nutrisi bagi tanaman melalui pupuk organik cair tersebut (Andriyani et al., 2025; Izzania et al., 2024; Kurniawan et al., 2022; Sulistyono et al., 2025). Hasil belajar yang positif ini mencerminkan keberhasilan modul dalam menjembatani kesenjangan antara teori akademis dan implementasi praktis di lapangan. Dengan demikian, penguasaan materi kimia menjadi lebih bermakna karena berkaitan langsung dengan solusi atas penumpukan sampah di sekitar sekolah. Penggunaan modul inovatif ini benar-benar sangat membantu (Dalimunthe & Ginting, 2022; Dewi & Iswendi, 2025; Safira & Iryani, 2025).

Analisis kepraktisan modul berdasarkan respon guru dan siswa menunjukkan tingkat penerimaan yang sangat menggembirakan bagi implementasi di sekolah menengah pertama. Respon guru mencapai skor 92 yang membuktikan bahwa modul ini sangat layak dari segi operasional instruksional serta mendukung ketercapaian target pengajaran kimia secara efektif. Di sisi lain, siswa memberikan penilaian kepraktisan sebesar 73,06 yang mengindikasikan bahwa modul tersebut mudah dipelajari meskipun terdapat beberapa konsep kimia yang memerlukan konsentrasi tinggi. Penilaian ini juga didukung oleh skor kebahasaan 89,63 yang memastikan bahwa struktur kalimat dan pemilihan kosakata dalam modul sangat sesuai dengan perkembangan kognitif remaja. Penggunaan modul yang praktis memungkinkan terjadinya interaksi dua arah yang dinamis antara pendidik dan peserta didik melalui berbagai aktivitas diskusi kelompok yang terstruktur. Kejelasan panduan praktikum pembuatan pupuk organik menjadi faktor penentu utama bagi tingginya skor kepraktisan ini karena siswa tidak merasa kesulitan saat bekerja (Sarirah & Andromeda, 2026; Tyera et al., 2022; Yora et al., 2022). Melalui modul ini, kendala minimnya sumber belajar yang relevan dapat teratasi secara sistematis guna menciptakan atmosfer kelas yang produktif, interaktif, inklusif, inspiratif, inovatif, serta sangat menyenangkan. Modul ini benar-benar layak untuk diterapkan.



Integrasi nilai-nilai ekonomi sirkular dalam modul ini tidak hanya meningkatkan sisi akademis melainkan juga berhasil mengubah aspek afektif dan psikomotorik siswa. Skor penilaian afektif yang mencapai 86 menunjukkan bahwa kesadaran lingkungan siswa telah berkembang ke tingkat yang sangat baik melalui pemahaman terhadap siklus materi. Sementara itu, skor psikomotorik sebesar 89 membuktikan bahwa keterampilan teknis siswa dalam melakukan praktik biokonversi sampah menjadi pupuk telah terlatih dengan optimal. Keberhasilan ini mengindikasikan bahwa pembelajaran yang berorientasi pada keberlanjutan mampu membentuk karakter peduli lingkungan yang nyata pada diri remaja di Kota Bengkulu. Siswa mulai memahami pentingnya mengembalikan nutrisi organik ke alam sebagai bagian dari tanggung jawab moral mereka terhadap ekosistem global yang rentan. Melalui praktik langsung, terjadi perubahan perilaku yang konsisten dalam mengelola sampah rumah tangga menjadi sumber daya baru yang bernilai ekonomi tinggi. Aspek psikomotorik ini menjadi indikator utama bahwa siswa telah mampu menguasai kompetensi dasar kimia sekaligus memiliki keterampilan hidup atau *life skills* yang bermanfaat. Penguatan karakter ini merupakan tujuan inti dari pendidikan sains modern yang berbasis isu sosiosaintifik berkelanjutan bagi seluruh masyarakat (Afidah & Sudiby, 2025; Asih et al., 2026; Fahrurnisa et al., 2024; Rohmaya, 2022; Saragi et al., 2025; Yulita & Amelia, 2020).

Meskipun modul biokonversi sampah ini memberikan hasil yang sangat positif, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan untuk pengembangan riset selanjutnya di masa depan. Penelitian ini baru dilakukan dalam skala terbatas di Kota Bengkulu sehingga diperlukan uji coba yang lebih luas pada karakteristik wilayah yang berbeda. Selain itu, proses fermentasi dalam biokonversi memerlukan waktu pengamatan yang cukup lama, yang terkadang sulit diselaraskan dengan jadwal pelajaran sekolah yang ketat. Namun, implikasi praktis dari modul ini sangat besar bagi upaya pelestarian lingkungan melalui pendidikan pembangunan berkelanjutan atau *sustainable development*. Modul ini dapat menjadi *blueprint* bagi pengembangan bahan ajar serupa yang mengintegrasikan konsep ekonomi sirkular pada topik sains lainnya di sekolah. Penggunaan teknologi ramah lingkungan dalam pembelajaran diharapkan mampu mencetak generasi yang cerdas secara kognitif serta memiliki integritas ekologis yang tinggi. Dengan dukungan penuh dari pihak sekolah dan dinas pendidikan, modul ini berpotensi menjadi instrumen utama dalam mengatasi krisis sampah melalui jalur edukasi. Sinergi antara teori kimia dan praktik nyata merupakan kunci utama menuju peradaban hijau yang tangguh, mandiri, seimbang, serta tetap lestari. Krusial.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian modul pembelajaran reaksi kimia berbasis *circular economy* melalui kegiatan biokonversi sampah organik menjadi pupuk organik cair yang layak, praktis, dan efektif digunakan pada pembelajaran IPA di kelas IX SMP IT Khairunnas Kota Bengkulu. Hasil validasi ahli menunjukkan tingkat kelayakan sangat layak dengan persentase 82,76% pada aspek isi, 79,21% pada aspek penyajian, dan 89,63% pada aspek kebahasaan. Uji kepraktisan menunjukkan respons positif dari pengguna, yaitu 73,06% dari siswa dan 92% dari guru. Uji efektivitas pada 30 siswa menunjukkan peningkatan hasil belajar dengan rata-rata nilai pretest 65,43 menjadi 86,23 pada posttest dengan nilai N-Gain sebesar 0,61 (kategori sedang). Selain itu, penggunaan modul menunjukkan tingkat kesadaran lingkungan siswa sebesar 86% dan keterampilan psikomotorik sebesar 89% dengan kategori sangat baik. Temuan ini menunjukkan bahwa modul yang dikembangkan mampu mendukung pembelajaran reaksi



kimia yang lebih kontekstual serta meningkatkan kesadaran lingkungan siswa pada uji coba terbatas di SMP IT Khairunnas Kota Bengkulu.

DAFTAR PUSTAKA

- Afidah, N., & Sudiby, E. (2025). Penerapan model inkuiri terbimbing untuk meningkatkan kemampuan literasi sains siswa di SMP Negeri 51 Surabaya. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 4(4), 648. <https://doi.org/10.51878/science.v4i4.4121>
- Andriyani, M., Kriswantoro, K., Asrial, A., & Muhammad, D. (2025). Analisis kebutuhan pengembangan multimedia interaktif berbasis STEM-PjBL pada materi ikatan kimia. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 13, 338. https://doi.org/10.21831/jpms.v13ispecial_issue.90418
- Aprianti, K., Pratiwi, A., Mulyati, M., Sulistianingsih, S., & Ananta, A. (2024). Green education guna menumbuhkan jiwa wirausaha sejak dini berbasis business model canvas di sekolah alternatif “Tembasaleko” Kota Bima. *COMMUNITY Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 144. <https://doi.org/10.51878/community.v4i2.3336>
- Asih, T. U. S., Rohman, A. D., Prasetya, U. A., & Mahmudah, U. (2026). Transformasi pembelajaran IPAS di era digital melalui pendekatan deep learning untuk meningkatkan literasi sains dan kemandirian belajar siswa. *LEARNING Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan Dan Pembelajaran*, 6(1), 502. <https://doi.org/10.51878/learning.v6i1.8629>
- Christanto, B., Ayu, C. S., Tanzil, A. T., & Gregory, C. (2026). Hubungan green product, green room layout, dan service quality terhadap repurchase intention pada pembelajaran mahasiswa kampus X. *LEARNING Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan Dan Pembelajaran*, 6(2), 1023. <https://doi.org/10.51878/learning.v6i2.9702>
- Dalimunthe, M., & Ginting, R. J. (2022). Pengembangan modul berbasis problem based learning dengan pendekatan saintifik pada materi asam-basa. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Kimia*, 4(2), 177. <https://doi.org/10.24114/jipk.v4i2.38991>
- Dewi, E. S. C. K. H. C. I. F. K., & Iswendi, I. (2025). Pengembangan modul bermuatan etnosains berbasis GDL pada materi laju reaksi fase f kelas XI SMA/MA. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 5(4), 1968. <https://doi.org/10.51878/science.v5i4.7831>
- Fahrunnisa, H., Suyidno, S., & Haryanti, N. H. (2024). Profil keterampilan hidup dan berkarir dalam pembelajaran IPA di SMP IT Taman Cinta Al-Qur'an Banjarmasin. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 15(2), 140. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v15i2.15450>
- Fitri, R. A., & Hadiyanto, H. (2022). Kepedulian lingkungan melalui literasi lingkungan pada anak usia dini. *Jurnal Obsesi: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, 6(6), 6690. <https://doi.org/10.31004/obsesi.v6i6.3485>
- Hartanti, W., & Wardhana, K. E. (2023). Membangun literasi lingkungan dengan menerapkan 3R (reduce, reuse, recycle) di TK Nasional KPS Balikpapan. *Bocah: Jurnal Pendidikan Islam Anak Usia Dini*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.21093/bocah.v2i1.5631>
- Iliyani, S., Aripin, A., Mustofa, R. F., Hernawati, D., & Badriah, L. (2025). Analisis persepsi siswa terhadap kebutuhan modul pembelajaran IPA terintegrasi ayat Al-Qur'an



- pada materi pencemaran lingkungan. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 5(1), 234. <https://doi.org/10.51878/science.v5i1.4509>
- Irianti, N. P., Mitasari, Z., & Wicaksono, A. A. (2023). Upaya perwujudan lingkungan bersih melalui pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos. *Jurnal Pengabdian Masyarakat (Abdira)*, 3(1), 217. <https://doi.org/10.31004/abdira.v3i1.234>
- Ismawati, R., & Rahayu, R. (2024). Pemberdayaan siswa dalam pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos untuk menanamkan literasi lingkungan. *Jurnal Pengabdian KOLABORATIF*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.26623/jpk.v2i1.7442>
- Izzania, R. A., Sumarni, W., & Harjono, H. (2024). Pengembangan e-modul ajar kimia hijau bermuatan etno-STEM berbasis guided inquiry untuk membekali kemampuan berpikir kritis peserta didik. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 18(1), 7. <https://doi.org/10.15294/jipk.v18i1.46536>
- Kurniawan, E., Dewi, R., & Jannah, R. (2022). Pemanfaatan limbah cair industri kelapa sawit sebagai pupuk organik cair dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 11(1), 76. <https://doi.org/10.29103/jtku.v11i1.7251>
- Lutfi, M. (2025). Teori dan konsep circular economy (ekonomi sirkuler). *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17010052>
- Nguyen, T. P. L. (2023). Integrating circular economy into STEM education: A promising pathway toward circular citizenship development. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1063755>
- Rohmaya, N. (2022). Peningkatan literasi sains siswa melalui pembelajaran IPA berbasis socioscientific issues (SSI). *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 12(2), 107. <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i2.553>
- Rusnilawati, R., Rahman, F., Utomo, A. C., Fadlilah, U., Hening, P. P., Susanto, E., & Harmanto, B. (2023). SMART e-learning dengan pendekatan STEAM-3R bagi guru dalam mewujudkan program school well-being. *Buletin KKN Pendidikan*, 5(2), 167. <https://doi.org/23917/bkkndik.v5i2.23166>
- Safira, R., & Iryani, I. (2025). Pengaruh penggunaan e-modul larutan penyangga berbasis masalah terhadap hasil belajar peserta didik fase f SMA. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 5(3), 1304. <https://doi.org/10.51878/science.v5i3.6548>
- Saragi, F., Aisyah, N. R., Supriatno, B., & Hamdiyati, Y. (2025). Pembelajaran guided inquiry dikombinasikan dengan nearpod untuk meningkatkan literasi sains siswa pada materi perubahan lingkungan. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 4(4), 638. <https://doi.org/10.51878/science.v4i4.4169>
- Sarirah, T., & Andromeda, A. (2026). Validitas dan praktikalitas e-lkm berbasis PBL berbantuan wizer.me pada materi termokimia untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis murid SMA/MA. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 6(1), 507. <https://doi.org/10.51878/science.v6i1.9524>
- Siantar, R. M. L., & Siagian, L. (2025). Internalisasi program jumat bersih dalam pembinaan karakter peduli lingkungan di SMA Negeri 12 Medan. *SOCIAL Jurnal Inovasi Pendidikan IPS*, 5(4), 1523. <https://doi.org/10.51878/social.v5i4.7404>
- Sitorus, L., & Lasso, A. H. (2021). Pendidikan karakter peduli lingkungan melalui pembiasaan dan pembudayaan di sekolah menengah pertama. *EDUKATIF: JURNAL ILMU PENDIDIKAN*, 3(5), 2206. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v3i5.755>



- Sulistiyono, B., Kusindarto, D. H., Purwaka, A. T. A., Tuwenti, Y., Suwasto, D. G. S., Ragillia, C. S., Pari, R. R., Angeline, N. I. F., Hornay, G. Y. A. X., Gois, J. de O., Khoirunisah, N., Nainggolan, K. P. D., & Istiliani, I. (2025). Pemanfaatan limbah rumah tangga menjadi pupuk organik cair (POC) di Desa Ujungmanik. *BIOCHEPHY: Journal of Science Education*, 5(1), 251. <https://doi.org/10.52562/biocephy.v5i1.1339>
- Sutisno, A. N., Novianawati, N., & Hidayatullah, M. A. S. (2023). Domestic waste management strategy through realization of school waste banks towards students scientific behavior. *International Journal of Educational Qualitative Quantitative Research*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.58418/ijeqqr.v2i1.22>
- Syahidin, R. A., Fatimah, A. T., & Rukmini, R. (2022). Implementasi pendidikan karakter berbudaya lingkungan melalui pembuatan pupuk cair organik menggunakan mikroorganisme lokal. *Al-Khidmat*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.15575/jak.v5i1.17414>
- Tyera, L., Megawati, M., & Rusli, M. (2022). Penerapan keterampilan proses dasar berbasis lingkungan untuk meningkatkan hasil belajar siswa. *Educativo: Jurnal Pendidikan*, 1(1), 112. <https://doi.org/10.56248/educativo.v1i1.18>
- Wibowo, W. C., & Erman, E. (2026). Implementasi model pembelajaran guided inquiry bermuatan ESD (education for sustainable development) untuk membentuk sustainability awareness murid. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 6(2), 886. <https://doi.org/10.51878/science.v6i2.9956>
- Widiastuti, H., & Hanif, M. (2024). Kepemimpinan transformasional inovatif berkelanjutan melalui madrasah sociopreneurship untuk menyongsong tantangan pendidikan modern di MAN 3 Banyumas. *CENDEKIA: Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 4(2), 177. <https://doi.org/10.51878/cendekia.v4i2.2954>
- Yora, M., Elinda, F., Renfiyeni, R., Meyuliana, A., Chrisnawati, C., & Ilham, D. J. (2022). Pemanfaatan limbah urine sapi, sampah organik dan gulma sebagai pupuk organik dan pestisida nabati di kelompok tani ternak sapakek basamo. *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 1162. <https://doi.org/10.31004/cdj.v3i2.5623>
- Yulita, I., & Amelia, T. (2020). Pelatihan mengembangkan bahan ajar kimia berbasis literasi sains mengintegrasikan konteks kemaritiman. *Jurnal Anugerah*, 2(2), 51. <https://doi.org/10.31629/anugerah.v2i2.2685>
- Yusof, W. F. M., Techanamurthy, U., & Nopiah, Z. M. (2025). Knowledge level of circular economy and sustainability concepts among university students from the engineering and built environment program. *Jurnal Kejuruteraan*, 37(2), 947. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2025-37\(2\)-31](https://doi.org/10.17576/jkukm-2025-37(2)-31)