

**PENGEMBANGAN E-MODUL BERBASIS STEM
TERINTEGRASI PROYEK LINGKUNGAN UNTUK
MENSTIMULASI KETERAMPILAN BERPIKIR
KRITIS DAN KREATIF SISWA SMA**

TESIS



OLEH:

**METIA VINLIANI
NPM: 2484105004**

**PROGRAM STUDI MAGISTER PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU
TAHUN 2026**

**PENGEMBANGAN E-MODUL BERBASIS STEM
TERINTEGRASI PROYEK LINGKUNGAN UNTUK
MENSTIMULASI KETERAMPILAN BERPIKIR
KRITIS DAN KREATIF SISWA SMA**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat
Memperoleh Gelar Magister Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Muhammadiyah Bengkulu**



OLEH:

**METIA VINLIANI
NPM: 2484105004**

**PROGRAM STUDI MAGISTER PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU
TAHUN 2026**

HALAMAN PENGESAHAN
PENGEMBANGAN E-MODUL BERBASIS STEM TERINTEGRASI
PROYEK LINGKUNGAN UNTUK MENSTIMULASI KETERAMPILAN
BERPIKIR KRITIS DAN KREATIF SISWA SMA

TESIS



OLEH :

Metia Vinliani
NPM. 2484105004

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama

Dr. Jayanti Syahfitri, M.Pd.
NP. 199001292017012127

Pembimbing Pendamping

Dr. Kashardi, M.Pd.
NP. 196111121987041003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Muhammadiyah Bengkulu



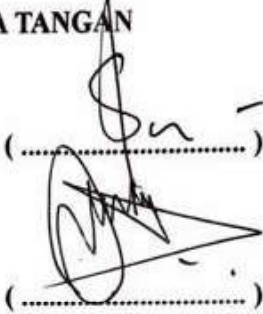
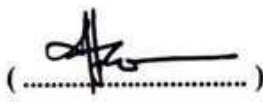

Dr. Santoso, M. Si
NIP. 196706151993031004

HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI TESIS

**DIPERTAHANKAN DIDEPAN TIM PENGUJI TESIS
PROGRAM STUDI MAGISTER PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITA MUHAMMADIYAH BENGKULU**

**Hari : Sabtu
Tanggal : 07 Maret 2026
Tempat : Ruang Ujian Lantai III Kampus I
Universitas Muhammadiyah Bengkulu**

TIM PENGUJI

NAMA	TANDA TANGAN
1. Dr. Siti Darwah Suryani, M.Si NIP. 196802201993032003 (Ketua penguji)	()
2. Dr. Tomi Hidayat, M.Pd NP. 198510032013011111 (Penguji I)	()
3. Dr. Jayanti Syahfitri, M.Pd NP. 199001292017012127 (Penguji II)	()
4. Dr. Kashardi, M. Pd NP. 196111121987041003 (Penguji III)	()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Muhammadiyah Bengkulu


Dr. Santoso, M. Si

NIP. 196706151993031004

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Metia Vinliani
NPM : 2484105004
Program Studi : Pendidikan Biologi (S-2)
Angkatan : 2024
Jenjang : Magister (S-2)

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengembangan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan Untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri.

Saya tidak melakukan penjiplakan atau mengutip dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini saya siap menanggung resiko/sanksi apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terdapat keaslian karya tesis saya ini.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Bengkulu, Maret 2026
Yang Buat Pernyataan



Metia Vinliani
NPM. 2484105004

ABSTRAK

Metia Vinliani, 2026 "Pengembangan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan Untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis Dan Kreatif Siswa SMA". Tesis Jurusan Magister Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Pembimbing: Dr. Jayanti Syahfitri, M.Pd dan Dr. Kashardi, M.Pd.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan untuk menstimulasi keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa SMA pada materi pencemaran lingkungan. Metode menggunakan *Research and Development (R&D)* dengan model ADDIE. Subjek melibatkan 104 siswa dari tiga SMA Negeri di Kota Bengkulu. Data dikumpulkan melalui validasi ahli dan angket respon. Hasil menunjukkan E-Modul memiliki kevalidan sangat tinggi dengan persentase ahli konten 92% dan ahli media 98%. Kepraktisan berdasarkan respon peserta didik memperoleh 97% (uji coba I) dan 93% (uji coba II), sedangkan respon guru 96% (uji coba I) dan 97% (uji coba II), semuanya kategori sangat praktis. E-Modul mengintegrasikan proyek *eco-enzyme* sebagai aplikasi nyata STEM. Disimpulkan bahwa E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan memenuhi kriteria valid dan praktis, sehingga layak digunakan untuk menstimulasi keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa SMA dalam pembelajaran Biologi.

Kata Kunci: E-Modul, STEM, Proyek Lingkungan, Berpikir Kritis, Berpikir Kreatif.

ABSTRACT

Metia Vinliani, 2026 "*Development of STEM-Based E-Modules Integrated with Environmental Projects to Stimulate Critical and Creative Thinking Skills in High School Students.*" Master's Thesis, Department of Biology Education, Faculty of Teacher Training and Education, Muhammadiyah University of Bengkulu. Supervisors: Dr. Jayanti Syahfitri, M.Pd. and Dr. Kashardi, M.Pd.

This study aims to develop a STEM-based E-Modul integrated with environmental projects to stimulate high school students' critical and creative thinking skills on environmental pollution materials. The method used Research and Development (R&D) with the ADDIE model. Subjects involved 104 students from three Senior High Schools in Bengkulu City. Data were collected through expert validation and response questionnaires. Results showed the E-Modul had very high validity with content expert percentages of 92% and media experts 98%. Practicality based on student responses obtained 97% (trial I) and 93% (trial II), while teacher responses obtained 96% (trial I) and 97% (trial II), all in the very practical category. The E-Modul integrates the eco-enzyme project as a real STEM application. It is concluded that the developed STEM-based E-Modul integrated with environmental projects meets valid and practical criteria, making it suitable for stimulating critical and creative thinking skills of high school students in Biology learning.

Keywords: *E-Modul, STEM, Environmental Project, Critical Thinking, Creative Thinking.*

MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO:

- Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya (Q.S. Al-Baqarah:286).
- Setiap takdir yang membuat Anda menangis pasti memiliki hasil yang menyenangkan di akhir. Setiap perjuangan yang sulit pasti membawa hasil yang luar biasa. Jangan berhenti berkembang; tidak ada hidup tanpa masalah, tidak ada perjuangan tanpa lelah.

PERSEMBAHAN:

Alhamdulillah, sebuah ungkapan rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kasih sayang dan cintanya kepada penulis atas semua nikmat yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir (tesis) ini. Penulis selalu mengucapkan sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis persembahkan karya ini sebagai tanda bukti, hormat dan rasa terimakasih kepada:

- Kedua orang tua Ayahanda Refnizal, S.Ag dan Ibunda Heli Marwati yang selalu memberikan dukungan motivasi, semangat, nasihat serta do'a yang tanpa henti. Kemudian untuk seluruh keluarga besar, terutama Abang Rendra Revaldi, S.Pd, Adik Indira Zilvilia, Ipar Rahmandini Oksyantia, S.Ak, Ponakan Ratiah Afanda Dira, terima kasih atas semua dukungan dan do'a selama proses perkuliahan.

- Terima kasih kepada teman-teman spesial Halimatussakdiyah, Riska Amelia, Siti Nuriya Safitri, Puput Marsela, Mareta Putri Sari dan Tresia Budia Suci Erlanda yang sudah memberi motivasi dan support.
- Terima kasih juga sahabatku yang telah berpulang ke rahmatullah Almh. Siti patimah dan Almh. Riskyanti Amelia Sari yang semasa masih ada selalu memberi dukungan motivasi dan semangat, semoga kalian di tempatkan di sisi Allah yang paling terbaik, Aamiin.
- Terima kasih kepada teman-teman seperjuangan Genny Angriani, Mentari Ezatalopa, Elta Resmawati, Yeyen Angraini, Ricce Oktasari, Erlin Puspita Sari, Mika Yulianti, Desi Patmawati dan Mice Agustin yang sudah memberi motivasi, support, wawasan, bertukar pikiran selama masa perkuliahan dan rela membantu selama penelitian ini berlangsung.
- Terima kasih Ibu Dr. Jayanti Syahfitri, M.Pd selaku pembimbing utama dan Bapak Dr. Kashardi, M.Pd selaku pembimbing pendamping yang telah meluangkan waktu dan perhatiannya untuk membimbing dalam penyelesaian tesis ini. Sungguh suatu kehormatan dan rasa bangga, penulis berkesempatan menjadi mahasiswa bimbingan bapak dan ibu.

Tesis ini telah dibantu dan dilaksanakan oleh semua pihak yang terlibat. Semoga Allah SWT selalu memberikan rahmat, kemudahan, dan keberkahan pada setiap langkah kita.. *Aamiin Ya Rabbal'alamin.*

KATA PENGANTAR

Kami bersyukur kepada Allah SWT, yang telah memberi kita nikmat dan rahmat-Nya untuk menyelesaikan tesis ini dengan baik. Kami juga mengucapkan sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW.

Tesis ini saya tulis sebagai syarat guna memperoleh gelar Magister pada program studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Bengkulu, dengan judul ” **Pengembangan e-modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan Untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif Siswa SMA**”.

Penulis sadar bahwa dalam penulisan tesis ini masih banyak kekhilafan dan terdapat kelemahan. Terdapatnya dukungan dan dorongan serta bantuan yang diperoleh dari berbagai pihak lain secara moral dan material, pada akhirnya tesis ini dapat terselesaikan. Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Yth:

1. Bapak Dr. Susiyanto, M.Si., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Bengkulu.
2. Bapak Drs. Santoso, M.Si., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Bengkulu.
3. Ibu Dr. Nopriyeni, M.Pd., selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Pendidikan Biologi Universitas Muhammadiyah Bengkulu.
4. Ibu Dr. Jayanti Syahfitri, M.Pd., dan Bapak Dr. Kashardi, M.Pd selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan semangat dalam menyelesaikan tesis ini.

5. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Pascasarjana Pendidikan Biologi Universitas Muhammadiyah Bengkulu yang telah memberikan ilmu yang berharga sepanjang perjalanan akademik ini.
6. Bapak/Ibu guru di SMA Negeri 7 Kota Bengkulu, SMA Negeri 4 Kota Bengkulu, dan SMA Negeri 2 Kota Bengkulu atas bantuan dan kerjasama yang baik selama proses penelitian berlangsung.
7. Teman-teman Seperjuangan Program Studi Magister Pendidikan Biologi Universitas Muhammadiyah Bengkulu Angkatan tahun 2024.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tesis ini masih belum sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan Tesis ini. Penulis berharap tesis ini akan membantu kemajuan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi bermanfaat bagi pembaca di masa depan.

Bengkulu, Maret 2025

Penulis

Metia Vinliani

2484105004

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	8
C. Rumusan Masalah	8
D. Tujuan	9
E. Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
A. Deskripsi Teoritis	11
1. Pembelajaran Biologi	11
2. Pembelajaran Biologi di SMA	12
3. Bahan Ajar	13
4. E-Modul	17
5. STEM	19
6. E-Modul dengan Pendekatan STEM.....	25
7. STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan.....	26
8. Pencemaran Lingkungan	27
9. Berpikir Kritis	29
10. Berpikir kreatif	32
B. Penelitian relevan	34
C. Kerangka berpikir.....	35
BAB III METODE PENELITIAN	37
A. Jenis Penelitian	37
B. Waktu dan Tempat.....	37
C. Subjek dan Objek Penelitian	37
D. Prosedur Penelitian.....	38
E. Teknik Pengumpulan Data	45

F. Instrumen Pengumpulan Data	46
G. Teknik Analisis Data	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
A. Hasil Penelitian	50
1. Tahap <i>Analyze</i> (Analisis).....	51
2. Tahap <i>Design</i> (Perancangan).....	55
3. Tahap <i>Develope</i> (Pengembangan).....	74
B. Pembahasan Hasil Penelitian	96
1. Proses dan Hasil Pengembangan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan	96
2. Kepraktisan Tingkat Kevalidan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan	99
3. Tingkat Kepraktisan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan	103
4. Kepraktisan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan terhadap Kemampuan Berpikir Kritis dan Kreatif Peserta Didik	106
BAB V PENUTUP	112
A. Kesimpulan	112
B. Saran.....	113
C. Implikasi.....	115
DAFTAR PUSTAKA.....	116

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Relevan.....	34
Tabel 3.1 Lembar Validasi Konten.....	46
Tabel 3.2 Lembar Validasi Media	46
Tabel 3.3 Angket Respon Siswa.....	47
Tabel 3.4. Kategori Kevalidan E-Modul	48
Tabel 3.5 Kategori Kepraktisan E-modul.....	49
Tabel 4.1 Capaian Pembelajaran (CP) Biologi Materi Pencemaran Lingkungan Fase F (SMA).....	54
Tabel 4.2 Storyboard E-Modul Berbasis Eco-STEM pada Materi Penemaran Lingkungan.....	58
Tabel 4.3 Hasil Validasi I Konten.....	75
Tabel 4.4 Validasi II Konten.....	78
Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Validasi Konten oleh Dua Ahli	80
Tabel 4.6 Hasil Validasi I Media	81
Tabel 4.7 Hasil Validasi II Media.....	83
Tabel 4.8 Hasil Validasi III Media	86
Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Validasi Media	88
Tabel 4.10 Hasil Penilaian Angket Respons Peserta Didik Uji Coba I.....	89
Tabel 4.11 Hasil Penilaian Angket Respons Peserta Didik Uji Coba II.....	91
Tabel 4.12 Hasil Penilaian Angket Respons Guru Uji Coba I	92
Tabel 4.13 Hasil Penilaian Angket Respons Guru Uji Coba II.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Cover	59
Gambar 2. Kata Pengantar	61
Gambar 3. Materi I.....	63
Gambar 4. Materi II.....	64
Gambar 5. Proyek Eco-Enzyme.....	65
Gambar 6. Prosedur Eco-Enzyme	66
Gambar 7. Lembar Aktivitas dan Diskusi	67
Gambar 8. Lembar Aktivitas dan Diskusi	68
Gambar 9. Refleksi Pembelajaran.....	69
Gambar 10. Refleksi Diri	69
Gambar 11. Evaluasi Akhir	71
Gambar 12. Daftar Pustaka	72
Gambar 13. Sebelum di perbaiki dari validator I.....	76
Gambar 14. Setelah perbaikan dari validator I.....	77
Gambar 15. Indikator berpikir kritis dan kreatif.....	79
Gambar 16. Perbaikan dari validator media I	82
Gambar 17. Perbaikan dari validator media II.....	84
Gambar 18. Perbaikan dari validator media III.....	87

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penelitian dari Kampus	124
Lampiran 2 Surat Izin Penelitian DPMTSP	130
Lampiran 3 Surat Izin Penelitian Dikbud.....	131
Lampiran 4 E-Modul.....	132
Lampiran 5 Angket Validasi Konten	172
Lampiran 6 Angket Validasi Media.....	178
Lampiran 7 Analisis Data Validasi	187
Lampiran 8 Angket Respon Siswa	188
Lampiran 9 Angket Respon Guru	194
Lampiran 10 Rekapitulasi Respon Siswa.....	200
Lampiran 11 Rekapitulasi Respon Guru	208
Lampiran 12 Dokumentasi Penelitian.....	209
Lampiran 13 Surat Selesai Penelitian	213

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada abad ke-21 telah membawa perubahan besar dalam pola kehidupan masyarakat modern. Kemajuan tersebut tidak hanya memengaruhi cara manusia berkomunikasi dan bekerja, tetapi juga mengubah cara individu memperoleh informasi, belajar, dan mengembangkan pengetahuan. Dunia pendidikan sebagai salah satu pilar utama pembangunan sumber daya manusia turut mengalami transformasi yang signifikan seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi digital. Integrasi teknologi dalam proses pembelajaran menjadi kebutuhan penting untuk meningkatkan kualitas pendidikan, memperluas akses terhadap sumber belajar, serta menciptakan pengalaman belajar yang lebih inovatif dan relevan dengan tuntutan zaman.

Perkembangan era teknologi yang terus berlanjut telah memberikan dampak signifikan terhadap berbagai bidang kehidupan manusia, seperti peradaban, budaya, sektor bisnis, pemerintahan, hingga dunia pendidikan (Sriyanti, 2021). Menurut (Yuliati & Saputra, 2019), era revolusi industri 4.0 saat ini telah memengaruhi pendidikan sains dan mempersiapkan individu untuk menghadapi tantangan masa depan. anak-anak perlu memiliki kecakapan berpikir dan belajar. Teknologi komunikasi dan informasi yang cepat dapat berkembang berkat integrasi global. Pendidikan digital adalah ide atau metode untuk mengajar siswa dengan menggunakan media multimedia seperti smartphone, komputer, notebook, video, audio,

dan visual (Verdinandus & Taufik, 2019). Dengan menggunakan materi pembelajaran yang semakin menarik secara visual, pendidikan telah berubah secara signifikan seiring dengan kemajuan teknologi (Melati *et al.*, 2023). Transformasi digital telah membawa perubahan signifikan dalam bidang pendidikan, khususnya dalam penyediaan bahan ajar digital yang lebih interaktif, adaptif, dan dapat diakses secara fleksibel memungkinkan personalisasi pembelajaran serta peningkatan keterlibatan peserta didik di berbagai jenjang (Khalid & Owusu-Boateng, 2024).

Bahan ajar merupakan seperangkat materi pembelajaran yang disusun secara sistematis untuk membantu peserta didik memahami konsep secara mendalam dan terstruktur. Bahan ajar tidak hanya berfungsi sebagai sumber informasi, tetapi juga sebagai sarana untuk menumbuhkan pemahaman konseptual melalui aktivitas belajar yang terarah. Rabbani & Muftianti, (2020) menyatakan bahwa bahan ajar dirancang berdasarkan prinsip pembelajaran agar dapat memfasilitasi peserta didik dalam memecahkan masalah sesuai dengan kompetensi yang ditetapkan. Secara umum, bahan ajar dibedakan menjadi bahan ajar cetak dan bahan ajar digital. Bahan ajar cetak memuat ide, fakta, konsep, prinsip, dan teori yang disusun untuk mencapai tujuan pembelajaran (Laila *et al.*, 2019), sedangkan bahan ajar digital memanfaatkan teknologi seperti internet dan perangkat elektronik guna menciptakan lingkungan belajar yang lebih fleksibel dan interaktif (Tasruddin, 2020). Sejalan dengan itu, (Elmiana & Kashardi, 2016) menegaskan bahwa bahan ajar yang dirancang dengan model pembelajaran yang tepat mampu meningkatkan pemahaman konsep peserta didik.

Peserta didik dapat memperoleh keterampilan proses sains dan kemampuan berpikir yang lebih baik (Lawe *et al.*, 2021). Menurut (Rinaryati, 2021) Bahan ajar digital lebih praktis, tahan lama, dan mudah diakses, sementara bahan ajar yang memiliki fitur seperti link, simulasi, animasi, gambar, dan audio dianggap lebih interaktif dan menarik (Sriwahyuni *et al.*, 2019). Dengan kemajuan teknologi pendidikan, bahan ajar cetak telah berubah menjadi media digital yang lebih interaktif dan mudah diakses. Salah satu contohnya adalah e-modul, bentuk digital dari bahan ajar yang dirancang secara sistematis untuk pembelajaran mandiri dan berpotensi meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa (Idayanti, 2024).

Menurut (Laili, 2019) mengatakan bahwa modul yang disediakan dalam bentuk elektronik memiliki kemampuan untuk menampilkan teks, gambar, video, dan animasi melalui perangkat elektronik. Menurut (Sunaryo, 2020) e-modul berfungsi sebagai alat bantu pendidik dalam menyampaikan materi ajar secara efektif, sehingga memudahkan pemahaman siswa (Wulandari *et al.*, 2023). E-modul, atau modul elektronik, adalah materi digital yang dirancang secara berkala dan dapat digunakan secara mandiri oleh siswa. Modul disajikan dalam format elektronik, sehingga lebih mudah diakses dan membantu siswa belajar dengan cepat (Seruni *et al.*, 2019). Untuk membuat bahan ajar digital yang tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga berguna dan interaktif untuk mendukung proses pembelajaran, kombinasi aplikasi Canva dan Flipbook

digunakan untuk membuat modul digital menjadi buku digital interaktif yang mudah digunakan dan diakses oleh siswa (Ismail, 2024).

Oleh karena itu, e-modul ini tidak hanya dapat digunakan sebagai bahan ajar mandiri, tetapi juga dapat dimasukkan ke dalam pendekatan STEM untuk meningkatkan kemampuan siswa dalam *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. Dalam kehidupan nyata, e-modul berbasis STEM mengajarkan peserta didik pemikiran kritis dan keterampilan berpikir kreatif dengan menentukan tujuan masalah dan menemukan solusi. Ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya (Adipan & Asrizal, 2024). Studi yang dilakukan oleh Le *et al.* (2022), yang menekankan bahwa jika mata pelajaran STEM dimasukkan ke dalam kurikulum sekolah, itu akan meningkatkan kemampuan akademik dan non-akademik siswa. Ilmuwan Ilmi *et al.* (2023) menyatakan bahwa membuat lingkungan belajar yang fleksibel yang mengutamakan pembelajaran online saat mengajar mata pelajaran STEM, seperti sains dan matematika, meningkatkan kemampuan siswa untuk bekerja secara mandiri.

Pembelajaran berbasis STEM adalah salah satu pendekatan pendidikan yang saat ini sangat mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21 (Siddiq & Asrizal, 2023). STEM merupakan pendekatan pendidikan yang menggabungkan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. Pendekatan ini telah digunakan sejak diperkenalkan oleh *National Science Foundation* pada tahun 1990-an untuk mendukung pengembangan keterampilan siswa (Putra *et al.*, 2024). Salah satu pendekatan pembelajaran yang paling populer saat ini adalah pendekatan STEM, yang membantu dan

mempersiapkan siswa yang terampil dan mampu bersaing di dunia kerja. Dengan menerapkannya pada pembelajaran sains khususnya, pendekatan STEM membantu siswa memperoleh keterampilan berpikir tingkat tinggi, yang merupakan bagian dari keterampilan abad ke-21 (Muttaqin, 2023). Dalam pendidikan modern, pendekatan STEM tidak hanya menekankan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi tetapi juga meningkatkan keterampilan berpikir kritis melalui analisis, evaluasi, dan pengambilan keputusan yang berbasis bukti. Oleh karena itu, menerapkan pendekatan STEM ke dalam kurikulum sangat efektif karena meningkatkan kemampuan siswa untuk berpikir kritis, yang merupakan bagian penting dari memecahkan masalah inovatif (Abdullah, 2025).

Proyek lingkungan merupakan kegiatan yang dirancang secara terencana dan sistematis untuk menjaga, memperbaiki, serta meningkatkan kualitas lingkungan hidup melalui tindakan nyata yang melibatkan individu maupun kelompok. Kegiatan ini biasanya diawali dengan identifikasi permasalahan lingkungan, kemudian dilanjutkan dengan perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi program yang bertujuan untuk mengurangi dampak kerusakan lingkungan serta mendorong kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pelestarian lingkungan secara berkelanjutan (Thomas, 2022). Salah satu pendekatan yang dapat mendorong keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran adalah project Based Learning, yang menekankan aktivitas penyelesaian proyek nyata. Melalui pendekatan ini, konsep dalam STEM Education dapat diintegrasikan dengan permasalahan lingkungan sehingga pembelajaran menjadi lebih kontekstual.

Keterampilan berpikir kritis sangat penting di dunia pendidikan saat ini. Ini berfokus pada kemampuan untuk memecahkan masalah, membuat keputusan, menganalisis pendapat, dan mengevaluasi (Davidi *et al.*, 2021). Kemampuan berpikir kritis seseorang dipengaruhi oleh kemajuan dalam berbagai aspek kehidupan mereka. Secara keseluruhan, berpikir kritis juga berarti memiliki pemahaman yang lebih baik tentang suatu situasi atau topik serta kemampuan untuk mempertimbangkan berbagai perspektif sebelum membuat keputusan atau membuat kesimpulan (Apriyanti *et al.*, 2024). Menyusun argumen yang kuat, membedakan antara fakta dan pendapat, dan menafsirkan informasi dengan lebih cermat adalah kemampuan yang lebih umum bagi individu yang memiliki kemampuan berpikir kritis (Susanti *et al.*, 2022). Namun, kemampuan berpikir kritis saja tidak cukup di era yang menuntut perubahan dan inovasi yang cepat seperti saat ini. Selain itu, Peserta didik harus memiliki kemampuan berpikir kreatif, yang mencakup menawarkan solusi untuk masalah, melihat situasi dari berbagai sudut pandang, dan mengembangkan ide baru. Ide-ide baru adalah inti dari berpikir kreatif, sedangkan analisis dan evaluasi adalah inti dari berpikir kritis.

Berpikir kreatif adalah kemampuan berpikir kompleks yang dapat dipelajari pada saat yang bersamaan. Mereka yang memiliki kemampuan ini dapat menggabungkan pengetahuan baru dengan yang sudah mereka ketahui. Akibatnya, siswa harus belajar keterampilan berpikir kreatif sejak usia dini. Berpikir kreatif bermanfaat karena menawarkan berbagai pengalaman dan pembelajaran (Kwangmuang *et al.*, 2021), Namun, itu juga

dapat bermanfaat bagi siswa karena dapat membantu mereka menyelesaikan masalah yang sebenarnya mereka hadapi saat menggunakan proses pengambilan keputusan (Sahrul *et al.*, 2022). Meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa memungkinkan mereka untuk mengembangkan bakat, minat, dan prospek lainnya (Lassig, 2021). Mereka yang kreatif akan dapat menyampaikan ide-ide inovatif, yang pada akhirnya akan menghasilkan peserta yang mudah beradaptasi. Pendidik harus mampu membuat pembelajaran yang inovatif dan kreatif yang memungkinkan siswa memanfaatkan kemampuan kreatif mereka.

Fakta di lapangan menunjukkan bahwa guru menghadapi banyak tantangan saat menerapkan e-modul terintegrasi STEM. Sebagian besar guru tidak memiliki kemampuan yang diperlukan untuk membangun perangkat pembelajaran yang berbasis STEM secara menyeluruh dan terintegrasi (Sugianto *et al.*, 2023). Hal ini di dukung oleh penelitian (Tobing & Sulastri, 2024) mengungkapkan bahwa banyak pendidik mengalami kesulitan untuk memahami bagaimana sains, teknologi, rekayasa, dan matematika berhubungan satu sama lain. Akibatnya, pembelajaran di kelas menjadi kurang berkualitas. Selain itu, dua kendala utama yang menghalangi siswa untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis melalui pendekatan STEM adalah kekurangan bahan ajar yang sesuai dengan kebutuhan kurikulum dan kekurangan pelatihan guru yang berkelanjutan (Chania *et al.*, 2020).

Berdasarkan hasil dari survei dan observasi yang dilakukan di beberapa sekolah menengah di kota Bengkulu, yaitu SMA 7, SMA 2, dan SMA 4,

ditemukan bahwa bahan ajar yang digunakan masih secara konvensional atau masih berbasis buku cetak dan LKS. Namun, mereka telah mencoba menggunakan materi digital, termasuk e-modul atau penuntun praktikum. Namun Sejahtera ini sekolah tersebut belum menggunakan e-modul, terutama yang berkaitan dengan STEM terintegrasi proyek lingkungan yang khusus untuk menstimulasi berfikir kritis dan kreatif.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat e-modul Biologi yang menggunakan pendekatan STEM yang terintegrasi dengan proyek lingkungan untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan berpikir kreatif siswa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat e-modul yang valid dan praktis untuk digunakan di SMAN Bengkulu.

B. Batasan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah diidentifikasi di atas, Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada peserta didik di 3 SMA Kota Bengkulu.
2. Materi dalam penelitian ini adalah pencemaran lingkungan dengan proyek *eco-enzym*.
3. Penelitian ini hanya difokuskan pada pengembangan e-modul sebagai media pembelajaran berbasis flipbook.
4. Penelitian ini hanya batas tahap pengembangan yaitu menghasilkan e-modul yang valid dan praktis.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut berdasarkan batasan masalah di atas:

1. Bagaimana proses dan hasil pengembangan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang dikembangkan?
2. Bagaimana tingkat kevalidan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang dikembangkan?
3. Bagaimana tingkat kepraktisan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang dikembangkan?

D. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

4. Untuk mengetahui proses dan hasil pengembangan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang dikembangkan.
 1. Untuk mengetahui tingkat kevalidan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek yang dikembangkan.
 2. Untuk mengetahui tingkat kepraktisan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek yang dikembangkan.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian pengembangan e-modul terintegrasi STEM ini, antara lain:

1. Bagi Peserta Didik
 - a. Memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan menarik melalui keterlibatan langsung dalam proyek lingkungan.
 - b. Menstimulasi kemampuan berpikir kritis dan kreatif melalui eksplorasi masalah nyata dan pencarian solusi ilmiah berbasis STEM.

- c. Meningkatkan kesadaran terhadap isu-isu lingkungan.
2. Bagi Guru/Pendidik
- a. Menjadi alternatif media pembelajaran inovatif yang mendukung penerapan kurikulum berbasis kompetensi dan pembelajaran abad ke-21.
 - b. Membantu guru dalam merancang pembelajaran interaktif berbasis digital dan proyek yang dapat meningkatkan keterampilan berpikir siswa.
 - c. Memberikan referensi konkret dalam mengintegrasikan pendekatan STEM dengan isu lingkungan di kelas.
3. Bagi Sekolah
- a. Mendukung upaya sekolah dalam mengimplementasikan program *green school* atau pendidikan berkelanjutan (*education for sustainable development*).
 - b. Menjadi bahan ajar digital yang dapat digunakan secara luas untuk meningkatkan mutu pembelajaran sains dan teknologi.
 - c. Mendorong inovasi dalam sistem pembelajaran berbasis teknologi informasi dan komunikasi (TIK).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teoritis

Berdasarkan masalah di atas, berikut adalah ringkasan dari kajian teori yang digunakan sebagai dasar pemikiran untuk menjawab masalah yang diusulkan.

1. Pembelajaran Biologi

Biologi adalah ilmu yang mempelajari makhluk hidup dan memahami kehidupan di alam semesta melalui proses penemuan. Oleh karena itu, biologi tidak hanya merupakan penguasaan tentang kumpulan pengetahuan yang terdiri dari fakta atau gagasan saja, tetapi juga merupakan penguasaan tentang proses penemuan (Darmawan *et al.*, 2021). Dalam biologi, konsep diartikan sebagai sesuatu ide abstrak yang memungkinkan kita untuk dapat mengklasifikasikan objek-objek atau kejadian-kejadian, selanjutnya dari objek dan kejadian tersebut dapat diterangkan apakah atau kejadian tersebut merupakan contoh atau bahkan bukan contoh dari ide yang ada (Hindun, 2021). Selama ini, persepsi dan persepsi peserta didik tentang biologi adalah bahwa itu adalah ilmu yang hanya memerlukan hafalan. Namun, biologi sebenarnya adalah ilmu yang memerlukan pemahaman, aplikasi, analisis, sintesis, dan pemikiran mendalam tentang alasan dan bagaimana (Lufri *et al.*, 2020).

Dalam konteks pendidikan nasional, Biologi tidak hanya bertujuan mentransfer pengetahuan, tidak hanya itu, tetapi juga berfungsi sebagai tempat untuk menginternalisasi nilai-nilai yang terkandung dalam Pancasila,

terutama sila kedua (Kemanusiaan yang Adil dan Beradab) dan kelima (Keadilan Sosial bagi Seluruh Rakyat Indonesia) melalui pembelajaran yang berkeadilan, inklusif, dan berkelanjutan (Kementerian Pendidikan Riset, dan Teknologi, 2022). Pembelajaran biologi di sekolah menengah diharapkan dapat menjadi wahana bagi peserta didik untuk mempelajari diri sendiri dan alam sekitar serta proses pengembangan lebih lanjut dalam penerapannya di kehidupan sehari-hari (Ziraluo, 2021). Sedangkan penilaian hasil pembelajaran biologi sendiri pada peserta didik dilakukan oleh guru untuk memantau secara konsisten proses, kemajuan, dan perkembangan hasil pembelajaran siswa sesuai dengan potensi dan kemampuan yang diharapkan (Djulia *et al.*, 2020).

2. Pembelajaran Biologi di SMA

Kegiatan belajar di sekolah harus membuat pembelajaran menjadi mudah bagi siswa. Oleh karena itu, materi harus mudah dipahami dan disajikan. Selain itu, siswa harus dapat tumbuh dalam keterampilan tertentu sesuai dengan tujuan pembelajaran (Ananda & Fadhilaturrahmi, 2018). Sebagai bagian dari ilmu pengetahuan alam, biologi memiliki peran strategis dalam mengajarkan siswa tentang kehidupan dan lingkungan sekitar mereka (Mangelep *et al.*, 2023). Pembelajaran biologi di SMA kurang memenuhi kebutuhan keterampilan karena pendekatan konvensional yang berpusat pada guru masih mendominasi pembelajaran (Kalengkongan *et al.*, 2021).

Siswa harus memahami, menerapkan, dan menganalisis pengetahuan konseptual dan prosedural untuk memecahkan masalah dalam pembelajaran biologi sekolah (Aqil, 2017). Hal ini sesuai dengan persyaratan yang

ditetapkan dalam kurikulum 2013, yang menuntut penekanan lebih besar pada peran aktif siswa dalam mengumpulkan dan menyusun data dari berbagai sumber (Setiawan, 2019). Dalam Kurikulum 2013, pembelajaran biologi harus dapat mencapai empat kompetensi tujuan: sikap spritual, sikap sosial, pengetahuan, dan keterampilan (Agnafia, 2019).

3. Bahan Ajar

a. Pengertian Bahan Ajar

Bahan ajar adalah segala jenis bahan yang digunakan oleh guru untuk membantu siswa belajar. Bahan ajar dapat berupa kumpulan informasi yang disusun secara sistematis, baik tertulis maupun non-tertulis, untuk menciptakan lingkungan yang memungkinkan siswa belajar (Magdalena *et al.*, 2020). Bahan ajar digunakan untuk menyampaikan informasi atau pesan kepada siswa. Tujuan dari bahan ajar ini adalah untuk meningkatkan pikiran, perasaan, perhatian, kemampuan, dan keterampilan siswa sehingga proses pembelajaran dapat berjalan lebih cepat. Bahan ajar juga digunakan untuk membuat pengalaman belajar lebih konkret (Novitasari *et al.*, 2021). Selaras dengan pengertian tersebut (Lubis & Ismaya, 2020) juga berpendapat bahwa bahan ajar adalah segala sesuatu yang disusun secara sistematis dan menampilkan kompetensi yang akan dikuasai siswa secara utuh serta digunakan dalam proses pembelajaran untuk tujuan perencanaan dan penelaahan implementasi pembelajaran. Penggunaan bahan ajar yang tepat akan berdampak pada kompetensi yang akan dicapai siswa. Didasarkan pada gagasan bahwa pembelajaran adalah proses komunikasi yang terdiri dari beberapa bagian: penyampai pesan, penerima

pesan, pesan, media, dan respon Sukiman. Bahan ajar adalah semua alat yang dapat digunakan untuk menyampaikan pesan untuk mencapai tujuan pembelajaran (Shoffa *et al*, 2021).

b. Jenis-jenis Bahan Ajar

Memang ada banyak pendapat tentang bagaimana jenis bahan ajar dikategorikan; umumnya, mereka dibagi menjadi dua kategori besar: jenis bahan ajar cetak dan noncetak. (Susanti *et al*, 2022). Contoh dari Lembar kerja siswa, modul, dan handout adalah contoh bahan ajar cetak (Marhadi *et al*, 2023). Sementara contoh dari jenis bahan ajar noncetak yaitu video, audio dan lain sebagainya (Rustamana *et al.*, 2023). Adapun penjelasan dari kedua jenis bahan ajar sebagai berikut;

1) Bahan Ajar Cetak

Bahan ajar cetak yaitu bahan ajar untuk menyampaikan informasi kepada siswa selama pembelajaran, bahan ajar cetak dibuat dalam bentuk kertas. Banyak fasilitas untuk menggandakan dan membuat bahan ajar cetak, seperti printer, fotocopy, dan lainnya, membuat bahan ajar cetak tetap populer di dunia pendidikan (Yonanda *et al.*, 2022). Bahan ajar memiliki dampak pada dunia pembelajaran ketika digunakan sebagai media pembelajaran. Media cetak adalah buku utama di sekolah dari tingkat dasar hingga pendidikan tinggi. Bahan ajar cetak lebih mudah diperoleh dan diakses dari berbagai kalangan daripada bahan ajar berbasis komputer (Mudrikah *et al.*; 2022). Misalnya, modul berbasis STEM yang dikembangkan mampu meningkatkan keterampilan siswa

dalam berpikir kreatif dan pemecahan masalah secara sistematis (Fazla *et al.*, 2024).

2) Bahan Ajar Non Cetak

Beberapa karakteristik bahan ajar non-cetak adalah sebagai berikut: penggunaan komputer (media digital atau teknologi jaringan), penggunaan teknologi multimedia yang membuat pembelajaran menyenangkan, penggunaan teknologi elektronik yang memungkinkan guru dan siswa berkomunikasi tanpa batasan protokol, dan penggunaan bahan ajar mandiri yang memungkinkan pendidik atau siswa mengaksesnya kapan saja (Nurdiyanto *et al.*, 2024). Penggunaan bahan ajar digital berbasis Android dan *e-book* STEM terbukti efektif dalam membantu siswa memahami konsep pembelajaran secara interaktif dan menarik ((Wardathi & Pradipta, 2019).

Selain memahami karakteristik bahan ajar non-cetak, Anda juga harus memahami jenis bahan ajar non-cetak. Berikut adalah beberapa jenis bahan ajar non-cetak:

a) Bahan ajar *display*

Bahan ajar *display* adalah materi tulisan atau gambar yang dapat ditampilkan di ruang kelas tanpa proyektor. Ini membedakannya dari instruksi non-cetak lainnya. Bahan ajar jenis ini biasanya digunakan oleh guru untuk mengajar siswa mereka. *Flipchart*, penempel, grafik, poster, peta, foto, dan

realitas adalah contoh bahan ajar *display* (Rustamana *et al.*, 2023).

b) *Overhead transparencies* (OHT) dan *Overhead Projector*

Jenis bahan ajar non cetak yang dihiasi dengan elemen gerakan dan grafik disebut transparansi atas. Jenis materi pelajaran ini ditampilkan menggunakan *overhead projector* (OHP). Karena sulit dibuat, OHP jarang digunakan oleh guru sebagai media pembelajaran. LCD lebih canggih daripada OHP (Wahyuni, 2024).

c) Audio

Program audio adalah sistem atau perangkat yang memungkinkan orang memainkan atau mendengarkan musik melalui sinyal radio. Kata-kata, musik, dan suara berkontribusi pada program ini. Program audio sangat bermanfaat untuk pendidikan, terutama bahasa, dan buku panduan program audio biasanya menyertakan kaset audio. Siswa dapat merekam dan mempelajari materi guru di mana pun mereka berada (Rustamana *et al.*, 2023)

d) Video dan televisi

Video dan televisi adalah sumber pembelajaran non cetak yang penuh dengan informasi dan membantu proses pembelajaran. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa materi pelajaran yang divideokan tidak memiliki gambar atau suara. Sebaliknya, siswa dapat melihat tampilan bergerak dan

mendengarkan suara, sehingga mereka merasa berada di tempat yang sama (Susanti *et al*, 2022).

e) Bahan ajar berbasis komputer

Penggunaan komputer meningkat selama pandemi COVID-19. Ini dilakukan dengan koneksi internet dan melalui berbagai situs web seperti *discard*, *Zoom*, *E-learning*, *Google Classroom*, dan sebagainya (Susanti *et al*, 2022).

f) Peran Bahan Ajar sebagai Sumber Belajar

Bahan ajar memiliki peran sendiri dalam dunia pendidikan untuk guru, peserta didik, dan kegiatan pembelajaran karena bahan ajar sangat penting untuk menciptakan proses pendidikan yang efektif dan efisien (Wahyuni, 2024).

4. E-Modul

E-modul merupakan salah satu sumber daya bahan ajar elektronik. Siswa dapat menggunakan e-modul untuk belajar sendiri karena e-modul bersifat interaktif dan memfasilitasi pembelajaran. E-modul adalah sumber belajar yang disajikan untuk memfasilitasi pembelajaran mandiri siswa (Sembiring *et al.*, 2021). E-modul mempermudah siswa dalam mencapai kompetensi dasar sesuai dengan kemampuan dan kecepatan belajar masing-masing (Rukmi & Diyana, 2024). E-modul adalah bentuk digital dari modul konvensional yang disajikan melalui perangkat elektronik, seperti komputer, untuk memberikan kemudahan akses terhadap berbagai materi pembelajaran secara lebih luas. Dengan keunggulan tersebut, e-modul memiliki peran yang semakin signifikan

dalam proses pengajaran, pembelajaran, dan pengembangan ilmu pengetahuan (Pahrudin *et al.*, 2019).

a. Karakteristik e-modul

Menurut (Lestari *et al.*, 2022) Pada dasarnya, e-modul dapat digunakan oleh siswa karena dianggap lebih efisien dan efektif sebagai bahan ajar mandiri dan memiliki empat fitur berikut:

- 1) *Self instructional*, artinya bahwa siswa dapat belajar secara mandiri dengan e-modul sebagai medianya
- 2) *self contained*, artinya bahwa e-modul memuat keseluruhan materi yang akan diajarkan
- 3) *Stand alone*, artinya bahwa e-modul dapat digunakan tanpa media lain karena e-modul tidak tergantung pada media pendukung lainnya
- 4) *Adaptif*, artinya bahwa e-modul sifatnya mudah disesuaikan dengan perkembangan IPTEK
- 5) *User friendly*, artinya bahwa penggunaan e-modul yang mudah sehingga lebih bersahabat dengan penggunanya

b. Langkah-Langkah Pembuatan e-modul

Jenis modul yang tersedia dalam bentuk elektronik disebut e-modul. Pembuatan e-modul menghasilkan struktur yang dapat digunakan pada modul cetak, menurut Pratama, Anggraini, (Pratama *et al.*, 2021) bahwa struktur dari e-modul adalah:

- 1) Judul modul, bagian ini memuat mengenai nama modul dari suatu mata pelajaran

- 2) Petunjuk belajar, bagian ini berisi tentang langkah-langkah yang akan ditempuh selama proses pembelajaran pada materi tertentu.
- 3) Kompetensi yang akan dicapai, bagian ini memuat mengenai hal-hal apa saja yang harus dicapai oleh siswa setelah proses pembelajaran materi tertentu
- 4) Lembar kegiatan pembelajaran, bagian ini berisi tentang penjelasan materi pembelajaran
- 5) Tugas-tugas (latihan)
- 6) Langkah kerja, dan penilaian (evaluasi), bagian ini bertujuan untuk mengukur

Seperti yang telah dijelaskan di atas, e-modul harus memiliki struktur untuk membantu siswa mencapai tujuan pembelajaran yang telah ditentukan. Struktur ini termasuk judul, petunjuk belajar, kompetensi yang akan dicapai, lembar kegiatan pembelajaran, tugas dan latihan, petunjuk kerja atau lembar kerja, dan evaluasi.

5. STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*)

a. Pengertian STEM

Studi ini mengintegrasikan STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) ke dalam kurikulum. Pengembangan pembelajaran didasarkan pada kesadaran akan pentingnya materi pembelajaran berkualitas tinggi bagi siswa. STEM juga menjadi solusi dari pembelajaran abad 21. STEM dapat berdampak bagi

pendidikan untuk memberikan inovasi dalam proses belajar mengajar (Clem & Diane, 2019). Dengan menggunakan bahan ajar berbasis STEM, diharapkan peserta didik dapat mengembangkan pemikiran yang lebih luas, merasa nyaman dengan kegiatan belajar sambil melakukannya, memiliki kebebasan dan keamanan dalam menyampaikan ide-ide mereka, dapat menentukan sendiri pembelajaran mereka, dan dapat bekerja sama atau bekerja sama. Lumbantobing & Azzahra (2020) mengklaim bahwa penerapan pendekatan STEM dalam proses pembelajaran tematik akan meningkatkan elemen penting dari pendidikan STEM, seperti kemampuan peserta didik untuk memecahkan masalah. Aspek sains, misalnya, mencakup penggunaan pengetahuan dan keterampilan proses ilmiah untuk memahami dan mengelola fenomena alam (Agung *et al.*, 2022). Aspek teknologi mencakup pemahaman tentang proses baru yang dapat diciptakan dan digunakan untuk mempermudah pekerjaan manusia. Aspek teknik mencakup operasi, perancangan, atau perakitan yang didasarkan pada ilmu pengetahuan dan teknologi (Lestari *et al.*, 2018). Sebaliknya, elemen matematika berfokus pada kemampuan untuk mengevaluasi, memberikan bantuan, menyelesaikan masalah, dan menguraikan data dan hasil perhitungan.

b. Komponen-Komponen STEM

1) Sains (*Science*)

Merupakan kajian tentang fenomena alam yang melibatkan observasi, pengukuran, dan metode ilmiah. *Science* mendorong pemahaman konsep-konsep alamiah dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Komponen ini paling dominan dalam pembelajaran STEM karena berkaitan langsung dengan metode ilmiah dan eksperimen (Zuhaida & Widodo, 2023).

2) Teknologi (*Technology*)

Meliputi sistem yang terdiri dari orang, organisasi, pengetahuan, proses, dan perangkat yang menciptakan serta mengoperasikan benda-benda. Teknologi berkaitan dengan pemanfaatan ilmu pengetahuan untuk membuat alat dan sistem yang bermanfaat (Fiteriani *et al.*, 2021).

3) Rekayasa (*Engineering*)

Berfokus pada desain dan penciptaan benda buatan manusia serta proses pemecahan masalah secara sistematis. Komponen ini mengajak peserta didik mengembangkan kemampuan rekayasa untuk menciptakan produk dan solusi inovatif (Zuhaida & Widodo, 2023).

4) Matematika (*Mathematics*)

Matematika adalah ilmu tentang pola-pola dan hubungan-hubungan, dan menyediakan bahasa bagi teknologi, sains, dan *engineering* (Yunita, 2024).

c. Tujuan STEM

Selama periode 2020–2025, penelitian pendidikan STEM di Indonesia berfokus pada pembuatan alat pembelajaran berbasis STEM yang meningkatkan kreativitas, berpikir kritis, dan kemampuan kolaboratif siswa. Penelitian pendidikan STEM di Indonesia selama periode 2020-2025 menunjukkan fokus pada pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEM yang meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan kolaborasi siswa (Sumanti, Asprasto & Suhandoko, 2025). Penelitian lain mengevaluasi efektivitas integrasi kurikulum STEM di sekolah Indonesia dengan mengidentifikasi kendala seperti keterbatasan kompetensi guru dan infrastruktur, serta perlunya kolaborasi berbagai pihak dalam implementasi yang merata (Intan *et al*, 2025). Selain itu, ada studi kuasi eksperimen yang menguji pengaruh model STEM pada peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa dengan hasil signifikan secara statistik (Susanti & Wijaya, 2025). Penelitian-penelitian ini menunjukkan perkembangan riset terkini yang relevan untuk peningkatan kualitas pendidikan STEM di Indonesia.

d. Langkah-Langkah STEM

- 1) Aspek *Science* dalam pendekatan STEM didefinisikan sebagai keterampilan menggunakan pengetahuan dan sains untuk memahami gejala alam secara kritis dan analitis. Hal ini penting untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa dalam

mengeksplorasi fenomena alam dan mengintegrasikan konsep sains dengan konteks pembelajaran nyata (Sumanti *et al.*, 2025).

- 2) Aspek *Technology* dalam STEM mengacu pada keterampilan mengenal dan mengembangkan teknologi terbaru yang dapat mempermudah pekerjaan manusia. Siswa diberi kesempatan untuk memahami dan berinovasi dengan berbagai teknologi praktis yang mendukung pembelajaran dan kehidupan sehari-hari (Kartini & Santoso, 2023).
- 3) Sedangkan aspek *Engineering* melibatkan lima tahap pembelajaran yang sistematis, meliputi identifikasi masalah, perancangan solusi, pembuatan prototipe, pengujian, dan evaluasi. Pendekatan ini menekankan proses kreatif dan inovatif dalam memecahkan masalah riil sehingga siswa mampu berpikir secara terstruktur dan aplikatif (Widodo *et al.*, 2025).
- 4) Terakhir, aspek *Mathematics* merupakan keterampilan yang digunakan untuk menganalisis data, memberikan alasan, serta mengkomunikasikan ide secara efektif. Dalam konteks STEM, matematika difokuskan pada pemecahan masalah dan interpretasi solusi berdasarkan perhitungan matematis yang akurat (Zalsa, 2025).

Pembelajaran STEM dapat diterapkan sebagai solusi terhadap permasalahan pendidikan di Indonesia. STEM dikembangkan dengan mengangkat isu-isu dalam kehidupan sehari-hari kemudian diintegrasikan ke dalam pembelajaran, sehingga membuat proses

pembelajaran lebih bermakna dan kontekstual karena peserta didik menjadi lebih tertarik dan merasakan secara langsung manfaat dari belajar STEM dalam keseharian secara nyata (Pujiati, 2020). Dengan demikian, pembelajaran STEM menjadi salah satu solusi dalam mengatasi tantangan pendidikan di Indonesia di era abad ke-21, serta berkontribusi dalam meningkatkan mutu pendidikan.

e. Kelebihan dan Kekurangan STEM

Setiap model pembelajaran tentu memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penerapan dan pencapaian tujuan yang diharapkan, berikut kelebihan dan kekurangan dari STEM antara lain, sebagai berikut:

1) Kelebihan

Kelebihan pendekatan STEM menurut (Sumaya *et al.*, 2021) meliputi:

- a) kemampuan menumbuhkan pengetahuan dan keterampilan terkait konsep dan prinsip suatu disiplin.
- b) Meningkatkan rasa ingin tahu, berpikir kritis, dan kreativitas siswa.
- c) Selain itu, STEM membantu memfasilitasi *eksplorasi* praktik ilmiah, sikap kolaborasi yang positif, serta menghubungkan kemampuan berpikir, bertindak, dan belajar secara mandiri maupun kelompok.
- d) Pendekatan ini juga membangun pengetahuan aktif pada siswa yang sangat penting dalam pembelajaran abad ke-21.

2) Kekurangan

Namun, kekurangan pendekatan STEM juga perlu diperhatikan, yaitu:

- a) Pendekatan ini membutuhkan waktu yang relatif lebih lama dalam pelaksanaannya, sehingga bisa memengaruhi pelaksanaan kurikulum secara umum.
- b) Selain itu, ada siswa yang kurang mahir dalam eksperimen sehingga kesulitan mengikuti pembelajaran,
- c) Potensi ketidakefektifan kolaborasi karena beberapa siswa bergantung pada teman kelompoknya tanpa berpartisipasi aktif (Izzani, 2019).

3) Tantangan

Harpian, (2023) menjelaskan bahwa masalah lain dengan STEM adalah siswa mungkin tidak tertarik pada salah satu bidang (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) dan sulit untuk memahami integrasi antar bidang secara alami. Namun, meskipun hal-hal ini dapat menghalangi kemajuan akademik siswa, STEM dapat meningkatkan kemampuan siswa dan mempersiapkan mereka untuk menghadapi tuntutan teknologi dan dunia modern.

7. E-Modul dengan Pendekatan STEM

Pada penelitian ini, STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) dimasukkan ke dalam bahan ajar. Pengembangan pembelajaran didasarkan pada kesadaran akan pentingnya materi menguraikan materi pelajaran cetak yang diperbarui, yang juga dapat

digunakan dalam kombinasi dengan berbagai pendekatan pembelajaran, termasuk pendekatan STEM. Selain itu, penelitian oleh (Tartiyoso, 2025) menemukan bahwa e-modul STEM berpotensi meningkatkan literasi sains dan keterampilan proses sains di tingkat SMA, yang menggabungkan prinsip-prinsip STEM dalam materi yang dikembangkan secara digital. Hal ini mendorong siswa untuk menguasai konsep teoritis sekaligus praktik eksperimen dengan lebih baik. Dengan menggunakan bahan ajar berbasis STEM, diharapkan peserta didik dapat mengembangkan pemikiran yang lebih luas, memiliki kebebasan dan keamanan dalam menyampaikan ide-ide mereka, merasa nyaman dengan kegiatan belajar sambil melakukannya, dapat menentukan sendiri pembelajaran mereka, dan dapat bekerja sama atau bekerja sama (Lumbantobing & Azzahra, 2020) mengklaim bahwa dalam proses pembelajaran biologi, pendekatan STEM akan meningkatkan aspek penting, yaitu kemampuan peserta didik dalam pemecahan masalah.

8. STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan

E-modul berbasis STEM ini dirancang untuk meningkatkan pengetahuan peserta didik tentang sains dan teknologi serta pengetahuan mereka tentang lingkungan. Modul-modul ini tidak hanya menyampaikan materi digital, tetapi juga memungkinkan pembelajaran aktif melalui pendekatan *interdisipliner* yang menggabungkan konsep dari bidang sains, teknologi, rekayasa, dan matematika. Pendekatan ini memungkinkan pembelajaran kontekstual (Pratiwi & Suyatno, 2023). Dengan menggabungkan proyek lingkungan seperti pengelolaan sampah,

energi terbarukan, atau konservasi air, siswa dapat terlibat dalam penelitian ilmiah, membuat solusi berkelanjutan, dan menganalisis data kuantitatif. Ini membantu mereka belajar keterampilan abad ke-21 seperti berpikir kritis, kreatif, dan bekerja sama (Nurhayati & Supriatna, 2022). Selain itu, e-modul STEM menggunakan pendekatan berbasis proyek untuk meningkatkan kesadaran siswa tentang lingkungan dan kemampuan mereka untuk memecahkan masalah. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa mereka menawarkan konteks *real-world* yang berkaitan dengan masalah yang muncul dalam kehidupan nyata (Fitriani *et al.*, 2024). Oleh karena itu, e-modul STEM yang terintegrasi dalam proyek lingkungan tidak hanya memenuhi kebutuhan kurikuler siswa tetapi juga membantu.

9. Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan terjadi ketika aktivitas manusia memasukkan makhluk hidup, zat, energi, atau elemen lainnya ke dalam lingkungan sehingga menurunkan kualitasnya sehingga lingkungan tidak dapat berfungsi dengan baik lagi (Ridwan *et al.*, 2021). Meskipun banyak aktivitas manusia menyebabkan pencemaran lingkungan, alam juga dapat menyebabkan pencemaran, seperti abu dari letusan gunung berapi. Bahan-bahan ini mencemari lingkungan dan dapat berbahaya bagi kehidupan (Ikhsan, 2021). Menurut (Odume, 2022), Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas *antropogenik* seperti *industrialisasi*, *urbanisasi*, pertanian *intensif*, dan pengelolaan limbah yang tidak berkelanjutan adalah salah satu masalah utama di dunia pada

abad ke-21. Beberapa contoh dampak *transboundary* dan lokal termasuk *mikroplastik* di lautan dunia dan polusi udara lintas negara.

a. Jenis-Jenis Pencemaran Lingkungan

1) Pencemaran Air

Pencemaran air terjadi ketika zat, energi, makhluk hidup, atau unsur lain masuk ke dalam air akibat dari aktivitas manusia sehingga berpotensi dalam menurunkan kualitas air membuat air tidak bisah di manfaatkan sebagaimana mestinya. Jika perairan tercemar, keseimbangan ekosistemnya juga akan terganggu (Felia, 2022). Pencemaran air terjadi akibat pembuangan limbah organik, limbah domestik, dan bahan kimia berbahaya ke badan air, misalnya sungai dan laut. Limbah tersebut menyebabkan penurunan kualitas air yang berdampak pada ekosistem perairan dan kesehatan manusia. Menurut (Armalia *et al.*, 2025), pencemaran air disebabkan limbah sisa pengolahan ikan, limbah domestik, serta tumpahan bahan bakar kapal yang merusak kualitas air dan keberlangsungan hidup biota air. Hal ini ditegaskan oleh Jurnal Ilmu Lingkungan Undip dan Teknologi Lingkungan (2025), bahwa *polutan biologis* dan *kimiawi* menjadi ancaman serius terhadap perairan dan ekosistem sungai (Armalia *et al.*, 2025).

2) Pencemaran Udara

Pencemaran udara muncul dari emisi gas berbahaya seperti *sulfur dioksida* (SO₂), *nitrogen oksida* (NO_x), partikel debu, serta gas rumah kaca dari aktivitas industri, pembakaran bahan bakar

fosil, dan pertanian. Pencemaran ini tidak hanya mengganggu kualitas udara tetapi juga memicu gangguan pernapasan serta perubahan iklim. Menurut Modul Pencemaran Udara dan Perubahan Iklim UIN Malang (2025), emisi dari sektor industri, rumah tangga, dan pertanian memiliki kontribusi besar dalam polusi udara yang berbahaya bagi kesehatan masyarakat. Penelitian lainnya menegaskan pentingnya pengelolaan emisi untuk mengurangi tingkat polutan di atmosfer (Armalia *et al.*, 2025).

3) Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah juga merupakan jenis pencemaran yang terjadi akibat penumpukan sampah padat organik dan anorganik yang tidak dikelola dengan baik, limbah kimia pertanian seperti pestisida, serta logam berat dari limbah industri. Mufid dan Budianta (2021) menjelaskan bahwa pencemaran tanah terbagi menjadi pencemaran kimia, biologis, dan fisik yang menghambat produktivitas dan kualitas lahan. Limbah tersebut berpotensi merusak struktur tanah dan menurunkan kesuburan sehingga berdampak negatif pada tanaman dan kesehatan manusia (Mufid & Budianta, 2021).

10. Berpikir Kritis

a. Pengertian Kemampuan Berpikir Kritis

Berpikir kritis adalah proses memecahkan masalah yang terstruktur yang mencakup aktivitas mental seperti merumuskan masalah, memberikan ide, membuat evaluasi, dan mengambil

Keputusan (Saputra, 2020). Sejalan dengan hal tersebut (Hidayat *et al*, 2019) juga mengatakan bahwa berpikir kritis berarti berpikir secara mendalam dengan menggunakan nalar untuk memperoleh pemahaman yang tepat dan mampu bertanggung jawab, Menurut Halpern dalam Sani *et al* (2019) Kemungkinan untuk mencapai efek berpikir kritis yang diinginkan meningkat ketika Anda menggunakan metode atau keterampilan kognitif yang sesuai. Salah satu keterampilan berpikir kritis yang diperlukan untuk membuat keputusan dan menyelesaikan masalah adalah menyelesaikan masalah dalam situasi yang kompleks.

Sejalan dengan itu, (Junita & Kashardi, 2021) melalui pengembangan soal open-ended menunjukkan bahwa kemampuan berpikir tingkat tinggi, termasuk berpikir kritis dan kreatif, dapat difasilitasi melalui penyusunan instrumen yang valid dan sistematis berdasarkan aspek konten, konstruksi, dan bahasa. Proses validasi oleh ahli serta uji kepraktisan kepada peserta didik menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa soal yang dikembangkan benar-benar mampu menggali kemampuan analisis, evaluasi, dan penalaran siswa. Dengan demikian, berpikir kritis dalam konteks pembelajaran tidak hanya dipahami sebagai kemampuan teoretis, tetapi sebagai keterampilan yang dapat dilatih melalui desain soal yang terbuka, menantang, dan berorientasi pada pemecahan masalah nyata.

b. Indikator Berpikir Kritis

Facione (2023) mengemukakan bahwa terdapat enam hal yang menjadi indikator dalam mengukur kemampuan berpikir kritis yaitu:

1) Memahami dan mengungkapkan makna dari berbagai pengalaman, situasi, data, peristiwa, penilaian, konvensi, keyakinan, aturan, prosedur, atau kriteria disebut interpretasi.

(Facione, 2023)

2) Tujuan analisis adalah untuk menemukan hubungan inferensial yang dimaksudkan dan aktual di antara pernyataan, konsep, deskripsi, atau bentuk representasi lain yang digunakan untuk menyampaikan keyakinan, penilaian, pengalaman, alasan, informasi, atau opini.

3) Evaluasi adalah proses menilai kredibilitas pernyataan atau representasi lain, yang terdiri dari catatan atau deskripsi persepsi, pengalaman, situasi, penilaian, keyakinan, atau opini seseorang. Evaluasi juga mencakup menilai kekuatan logis dari hubungan inferensial yang sebenarnya atau yang dimaksudkan antara pernyataan, deskripsi, pernyataan, atau representasi lainnya.

4) Inferensi berarti menemukan dan memastikan komponen yang diperlukan untuk membuat kesimpulan yang logis; membuat dugaan dan hipotesis; mempertimbangkan informasi yang relevan dan berpikir tentang konsekuensi yang berasal dari pernyataan, data, prinsip, bukti, keyakinan, opini, konsep, deskripsi, pertanyaan, atau bentuk representasi lainnya.

- 5) Kemampuan untuk menyampaikan hasil penalaran seseorang secara meyakinkan dan logis dikenal sebagai penjelasan. Ini menunjukkan bahwa mereka memiliki kemampuan untuk memberikan pemahaman yang lengkap tentang masalah secara keseluruhan: baik "menyatakan dan membenarkan penalaran tersebut berdasarkan pertimbangan evidensial, konseptual, metodologis, kriteriologis, dan kontekstual yang menjadi dasar hasil penalaran seseorang; dan menyajikan penalaran seseorang dalam bentuk argumen yang meyakinkan."
- 6) Pengaturan diri secara sadar mengawasi aktivitas kognitif seseorang, komponen yang digunakan dalam aktivitas tersebut, dan hasil yang diperoleh dari aktivitas tersebut, terutama dengan menerapkan keterampilan analisis dan evaluasi pada penilaian inferensialnya sendiri dengan tujuan mempertanyakan, mengonfirmasi, memvalidasi, atau mengoreksi penalaran atau hasil yang diperoleh.

11. Berpikir Kreatif

a. Pengertian Kemampuan Berpikir Kreatif

Berpikir kreatif berarti mengolah informasi menjadi berbagai ide atau perspektif. Orang yang memiliki kemampuan berpikir kreatif dapat menghasilkan ide, ide, atau produk baru yang berbeda dengan ide, ide, atau produk yang sudah ada (Sani *et al*, 2019). Kemampuan untuk menemukan dan mengembangkan ide-ide orisinal dari pemikiran sendiri atau asli disebut berpikir kreatif (Hafiza *et al*, 2022).

Orang kreatif, di sisi lain, adalah mereka yang tertarik pada hal-hal besar, memiliki banyak ide, imajinatif, percaya diri, tidak terikat pada norma, gigih dalam mencapai tujuan, peka terhadap masalah, bekerja keras, berpikir positif, percaya pada kemampuan diri, berfokus pada masa depan, dan menikmati menghadapi tantangan dan masalah yang sulit (Nurangraeni *et al*, 2020). Orang kreatif tidak hanya harus memiliki ketertarikan atau rasa ingin tahu yang besar, tetapi juga aktif dalam mengajukan pertanyaan yang bermakna, mampu bekerja secara mandiri, tidak mudah terpengaruh oleh orang lain, dan senang mencoba hal baru (Monalisa *et al*, 2019).

b. Indikator Berpikir Kreatif

Auliyah *et al* (2021) mengemukakan bahwa terdapat lima hal yang menjadi indikator dalam mengukur kemampuan berpikir kreatif yaitu:

- 1) Kelancaran (berpikir lancar) menganalisis penerapan hukum pascal dalam kehidupan sehari-hari. Menganalisis penerapan hukum Archimedes dalam kehidupan sehari-hari.
- 2) *Fleksibilitas* (berpikir fleksibel) menganalisis penerapan tekanan pada zat gas dalam kehidupan. Menganalisis daya apung.
- 3) *Orisinalitas* (pemikiran asli) menganalisis hubungan antar gaya dan luas permukaan terhadap besarnya tekanan.
- 4) *Elaborasi* (berpikir secara rinci) menganalisis hubungan antara gaya dan luas permukaan terhadap besarnya tekanan.

- 5) Berpikir metaforis (berpikir secara metaforis) makhluk hidup, menjelaskan pengertian konsep tekanan pada tekanan hidrostatik.

B. Penelitian Relevan

Penelitian yang relevan mencakup penelitian sebelumnya tentang "Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Stem Terintegrasi Proyek Lingkungan Untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis Dan Kreatif", yang menurut peneliti belum pernah menemukan subjek yang sama dalam penelitian sebelumnya. Berikut ini adalah penelitian terdahulu yang berkaitan dengan peneliti:

Tabel 2.1 Penelitian Relevan

No	Nama Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian & Jenjang Pendidikan	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	Ching & Chang (2020)	<i>The Effects of a STEM-Based E-Module on High School Students' Critical Thinking in Environmental Science</i> (Jenjang SMA)	Meneliti E-modul berbasis STEM, Fokus pada sains lingkungan, Pengukuran berpikir kritis pada Jenjang SMA	Tidak mengintegrasikan dimensi proyek (project) secara eksplisit, Tidak menekankan keterampilan <i>kreatif</i> dan Konteks luar negeri (Taiwan)
2	Rohmah & Linuwih (2024)	<i>Pengembangan E-Modul Interaktif Berbasis STEM-Terpadu untuk Meningkatkan Keterampilan 4C Siswa SMA pada Topik Perubahan Iklim</i> (Jenjang SMA)	E-modul interaktif + STEM, Jenjang SMA, Konteks lingkungan (perubahan iklim) dan Mengukur <i>critical & creative thinking</i>	Integrasi proyek tidak eksplisit (lebih ke <i>inquiry-based</i>), Penekanan pada 4C secara umum, bukan fokus khusus pada berpikir kritis & kreatif
3	Dewi & Widiyatmoko, (2022)	<i>Interactive STEM E-Module with Augmented Reality on Environmental Issues: Effects on Critical and Creative Thinking in Senior High School</i> (Jenjang SMA)	Meneliti STEM + proyek lingkungan (sampah), Mengukur berpikir kritis & kreatif Jenjang SMA	Bukan pengembangan modul/ e-modul, menggunakan RPP & LKPD konvensional dan Tidak berbasis digital/teknologi interaktif

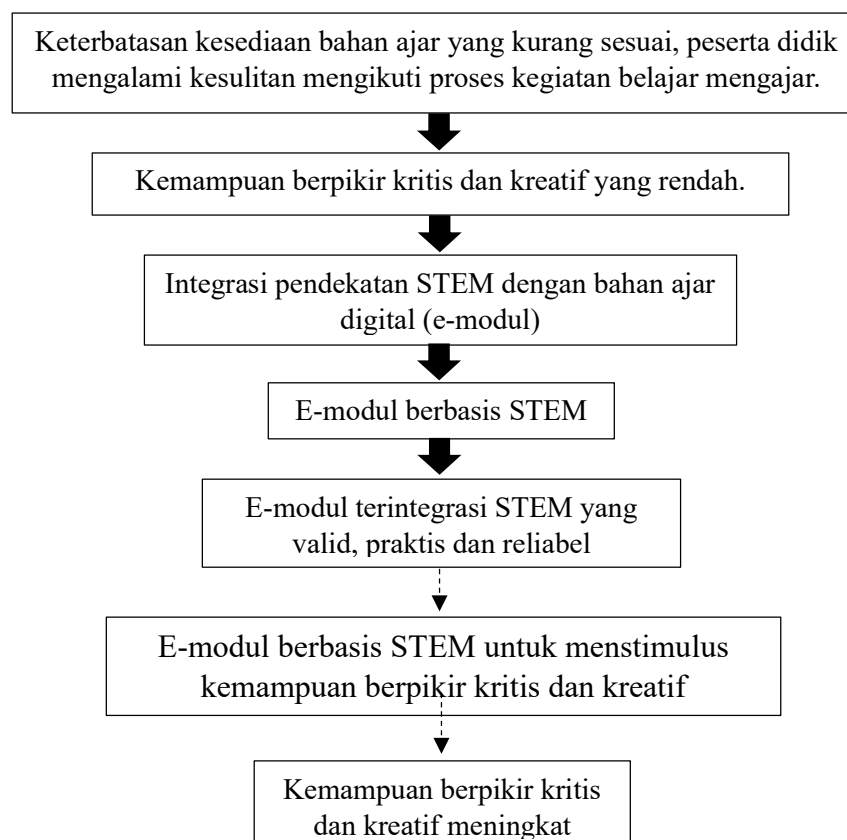
4	(Haryanto <i>et al.</i> , 2024)	<i>STEM Project-Based Learning in High School Environmental Science: Impacts on Student Creativity and Problem-Solving</i> (Jenjang SMA)	Meneliti E-modul interaktif + STEM, Isu lingkungan (polusi udara) serta Mengukur <i>critical & creative thinking</i> Jenjang SMA	Tidak terintegrasi proyek riil (hanya simulasi AR) Proyek tidak menghasilkan produk nyata atau aksi lingkungan, Teknologi AR mungkin tidak feasible untuk semua sekolah
5	Capobianco & DeLisi, (2019)	<i>Pengembangan Modul Digital STEM untuk Meningkatkan Keterampilan Abad 21 Siswa SMA melalui Isu Lingkungan Global</i> (Jenjang SMA)	Meneliti STEM + PBL + lingkungan pada Jenjang SMA untuk mengukur kreativitas & pemecahan masalah (proxy berpikir kritis)	Tidak menggunakan/ dikembangkan e-modul, instrumen pembelajaran berbasis kelas & laboratorium lapangan dan Konteks AS; kurikulum & penilaian berbeda
6	Fitriani, A., Suhandi, A., & Rustaman, N. Y. (2021)	<i>Pengembangan E-Modul STEM Berbasis Inkuiri Terbimbing pada Isu Lingkungan untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA</i>	Meneliti E-modul + STEM terhadap Konteks lingkungan (polusi air) pada Jenjang SMA dan Fokus pada berpikir kritis	Pendekatan inkuiri terbimbing, bukan proyek (PBL), Tidak menyertakan stimulasi kreativitas secara eksplisit, Tidak ada komponen <i>produksi proyek nyata</i> (misal: solusi teknologi sederhana)
7	Putri <i>et al.</i> , (2023)	<i>Pengembangan Model Pembelajaran Berbasis STEM pada Materi Pencernaan Lingkungan untuk Meningkatkan Literasi Sains dan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa.</i>	Sama-sama pengembangan Modul berbasis STEM pada materi pencemaran lingkungan terhadap keterampilan berpikir kritis	Penelitian ini tidak menekankan konteks proyek lingkungan, dan keterampilan berpikir kreatif.

C. Kerangka Berfikir

Kerangka pikir dalam penelitian ini berawal dari masalah keterbatasan dan kurangnya bahan ajar yang sesuai, sehingga siswa mengalami kesulitan mengikuti pelajaran. Kondisi tersebut berdampak pada kemampuan peserta didik untuk berpikir kreatif dan kritis. Untuk mengatasi masalah ini, pendekatan STEM harus diintegrasikan dengan materi pelajaran digital seperti e-modul.

Pengembangan e-modul berbasis STEM diharapkan dapat menjadi solusi yang tepat karena mampu menyediakan bahan ajar yang lebih kontekstual, interaktif, serta mendorong peserta didik untuk terlibat secara aktif dalam proses belajar. Dalam proses pengembangannya, e-modul berbasis STEM harus memenuhi kriteria valid, praktis, dan reliabel agar dapat digunakan secara efektif dalam pembelajaran.

Selanjutnya, e-modul berbasis STEM tersebut digunakan untuk menstimulasi kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik melalui aktivitas pembelajaran yang menantang, terarah, serta terintegrasi dengan unsur science, technology, engineering, dan mathematics. Dengan demikian, penerapan e-modul berbasis STEM diharapkan mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik secara signifikan.



Gambar 1. Kerangka Berpikir

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggabungkan metode kualitatif dan kuantitatif (Sugiyono, 2019) dengan menggunakan desain penelitian pengembangan (*Research and Development*), model pengembangan ADDIE (*Analyze, Design, Development, Implementation, Evaluation*) (Suharsaputra, 2023). Studi tersebut menghasilkan produk, yaitu bahan ajar berbentuk modul elektronik berbasis STEM yang menggabungkan proyek lingkungan dengan bahan pencemaran lingkungan.

B. Waktu dan Tempat

Penelitian telah dilaksanakan di sekolah Menengah Atas Negeri kota Bengkulu tahun ajaran 2025/2026. Waktu penelitian pada bulan Januari-Februari.

C. Subjek dan Objek Penelitian

1. Subjek

Subjek penelitian ini menggunakan 3 SMA Negeri Kota Bengkulu, sampel dalam penelitian ini adalah siswa SMA Negeri Kota Bengkulu sebanyak 104 orang yaitu 36 orang untuk uji coba 1 yang di ambil dari satu kelas di SMA Negeri 2 Kota Bengkulu, kemudian 68 orang untuk uji coba 2 yang di ambil dari SMA Negeri 7 dan 4 Kota Bengkulu.

2. Objek

Objek penelitian ini mencakup e-modul berbasis STEM yang dikembangkan dan diintegrasikan dengan proyek lingkungan, serta

keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa yang menjadi hasil (outcome) dari penggunaan e-modul tersebut.

D. Prosedur Penelitian

Berikut uraian tahapan prosedur pengembangan E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan pada materi pencemaran lingkungan yang dilakukan dengan mengacu pada model ADDIE. Model ini digunakan sebagai kerangka kerja sistematis dalam merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi produk atau program pembelajaran. ADDIE memberikan alur yang terstruktur sehingga setiap tahap saling berkaitan dan memastikan produk yang dihasilkan valid, efektif, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Secara umum, tahapan ADDIE meliputi:

1. Tahap Analisis (*Analysis*)

Pada tahap analisis, yaitu kebutuhan untuk menentukan masalah dan solusi yang tepat dan menentukan kompetensi siswa. Untuk menentukan kebutuhan lapangan untuk guru Biologi di sekolah menengah atas, digunakan angket kebutuhan pengembangan bahan ajar e-modul berbasis STEM yang terintegrasi dengan proyek lingkungan. Kemudian, hasil analisis dari angket ini, yang digambarkan dalam bentuk persentase, dan kemudian diinterpretasikan secara kualitatif.

Tahapan analisis dalam model ADDIE secara rinci meliputi beberapa langkah penting sebagai berikut:

a. Analisis Kebutuhan

Proses analisis kebutuhan digunakan untuk menemukan masalah atau kekurangan kompetensi yang perlu diperbaiki, seperti kesulitan siswa dalam memahami materi tertentu. Kegiatan ini memastikan bahwa pengembangan pembelajaran didasarkan pada masalah nyata.

b. Analisis Karakteristik Peserta Didik

Analisis karakteristik peserta didik, yang meliputi pemahaman profil siswa, termasuk kemampuan awal, minat, gaya belajar, dan latar belakang mereka. Informasi ini penting untuk mengubah media, metode, dan strategi pembelajaran agar relevan dan efektif bagi peserta.

c. Analisis Konteks dan Sumber Daya

Analisis konteks dan sumber daya juga merupakan bagian dari proses analisis. Ini mencakup menilai kondisi lingkungan pembelajaran, seperti fasilitas, waktu yang tersedia, teknologi pendukung, dan sumber daya yang dapat dioptimalkan. Analisis ini membantu dalam pembuatan metode pembelajaran yang realistis dan praktis.

d. Penentuan Tujuan Pengembangan

Pada tahap analisis, tujuan pengembangan pembelajaran yang spesifik dan terukur ditetapkan. Tujuan ini berfungsi sebagai pedoman untuk desain dan tahap berikutnya, sehingga produk

pembelajaran yang dihasilkan lebih terarah dan dapat mengevaluasi keberhasilan pencapaian tujuan.

2. Tahap Desain (*Design*)

Pada tahap desain, struktur bahan ajar e-modul berbasis STEM yang menggabungkan proyek lingkungan untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif siswa. Tahapan desain ini mencakup:

- a. Menciptakan struktur bahan ajar berbasis proyek lingkungan untuk e-modul STEM yang terintegrasi dan meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif.
- b. Menentukan sistematika penyajian materi, ilustrasi dan visualisasi.
- c. Membuat storyboard dan draft produk awal dari e-modul terintegrasi STEM berbasis proyek lingkungan. Pada tahap ini, peneliti juga membuat instrumen untuk validitas konten, media, angket, dan tes respons kepraktisan.

Halaman awal e-modul berisi judul, kata pengantar, daftar isi, petunjuk belajar, petunjuk penggunaan, peta konsep, bab judul, kompetensi dasar dan indikator, latihan soal, rangkuman, glosarium, referensi, profil penulis, dan penerapan materi dan pembuatan produk dengan media gambar dan video. Selanjutnya, disertakan dengan penjelasan sintak dari model pembelajaran berbasis proyek, yang meliputi refleksi, penelitian, pencarian informasi, penerapan, dan komunikasi. Pembuatan *story board* dilakukan pada tahapan awal penyusunan e-modul. Hal tersebut dilakukan agar tahap penyusunan

e-modul lebih terarah dan memudahkan dalam penyesuaian berdasarkan sistematika yang telah dibuat sebelumnya. Storyboard yang disusun terdiri dari bagian-bagian yang tercantum dalam e-modul dan memiliki penjelasan untuk setiap bagian.

3. Tahap Pengembangan (*Develop*)

Tahap pengembangan merupakan bagian inti dari proses penelitian pengembangan (*Research and Development*) yang bertujuan untuk menghasilkan produk yang valid dan praktis. Tahap ini mencakup dua kegiatan utama, yaitu validasi dan uji coba, yang dilakukan secara berurutan untuk memastikan kualitas produk yang dikembangkan.

a. Uji Validitas

Validasi dilakukan untuk menilai kelayakan produk berdasarkan aspek-aspek tertentu sebelum dilakukan uji coba lapangan. Validasi dalam penelitian ini melibatkan penilaian oleh para ahli yang kompeten di bidang terkait. Validasi dilakukan terhadap dua aspek utama, yaitu:

1) Validitas Konten

Validasi konten bertujuan untuk menilai kesesuaian, ketepatan, dan kelengkapan materi yang terdapat dalam produk pengembangan dengan standar kurikulum, prinsip pedagogis, serta kebutuhan pengguna. Validator konten dalam penelitian ini terdiri dari dua orang dosen ahli bidang pendidikan (sesuai dengan bidang studi yang dikembangkan)

dan satu orang guru praktisi yang memiliki pengalaman mengajar minimal lima tahun. Instrumen yang digunakan berupa lembar validasi konten yang mencakup indikator: (1) kesesuaian dengan capaian pembelajaran (CP), (2) Ketetapan konsep STEM, (3) relevansi aktivitas proyek, (4) Struktur penyajian, (5) relevansi gambar/diagram, (6) aktivitas belajar siswa, (7) evaluasi formatif, dan (8) kebaruan materi. Skor validasi dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif untuk menentukan tingkat kelayakan konten.

2) Validitas Media

Validasi media dilakukan untuk mengevaluasi aspek teknis dan estetika dari produk yang dikembangkan, terutama jika produk berbasis digital atau visual (misalnya: modul interaktif, video pembelajaran, aplikasi, atau media grafis). Validator media terdiri dari dua orang ahli media pembelajaran dan satu orang desainer instruksional. Aspek yang dinilai meliputi: (1) aspek tampilan, (2) aspek fungsional, dan (3) aspek media dan integrasi proyek lingkungan. Hasil validasi media digunakan sebagai dasar perbaikan teknis sebelum produk diujicobakan kepada pengguna.

b. Uji Kepraktisan

Tujuan dari uji kepraktisan adalah untuk menentukan seberapa mudah dan efektif produk pembelajaran yang dikembangkan untuk digunakan dan diterapkan dalam dunia pembelajaran nyata. Uji ini

melibatkan guru dan peserta didik sebagai pengguna langsung. Instrumen yang digunakan berupa angket respons kepraktisan, yang diberikan setelah produk digunakan dalam kegiatan pembelajaran.

Uji kepraktisan dilakukan melalui uji coba terhadap produk yang telah divalidasi. Uji coba dilaksanakan dalam dua tahap, yaitu uji coba terbatas (uji coba I) dan uji coba lapangan (uji coba II).

1) Uji Coba I (Uji Coba Terbatas)

Uji coba I dilakukan pada skala kecil dengan melibatkan sejumlah kecil responden yang representatif, melibatkan 36 orang peserta didik di SMA Negeri 2 Kota Bengkulu. Tujuan utama uji coba ini adalah untuk mengidentifikasi kendala teknis, kesulitan penggunaan, serta umpan balik awal mengenai keterbacaan dan kemenarikan produk. Data dikumpulkan melalui angket respon peserta didik dan observasi langsung selama penggunaan produk. Hasil uji coba I digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk melakukan penyempurnaan akhir sebelum uji coba skala lebih luas.

2) Uji Coba II (Uji Coba Lapangan)

Uji coba II dilakukan dalam kondisi nyata di lingkungan pembelajaran yang sesungguhnya, dengan melibatkan 68 orang pada 2 sekolah. 35 orang di SMAN 4 Kota Bengkulu dan 33 orang di SMAN 7 Kota Bengkulu. Tahap ini bertujuan untuk menilai kepraktisan produk dalam konteks pembelajaran sehari-hari, serta mengukur respons pengguna secara lebih

komprehensif. Instrumen yang digunakan meliputi angket respons peserta didik, wawancara dengan guru, dan lembar observasi aktivitas pembelajaran. Data kuantitatif dianalisis secara deskriptif (rata-rata, persentase), sedangkan data kualitatif dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola respons dan saran perbaikan.

Hasil dari kedua tahap uji coba menjadi dasar penetapan versi *final* produk pengembangan, yang selanjutnya dapat diimplementasikan secara lebih luas atau digunakan sebagai bahan rekomendasi kebijakan.

4. Tahap Implementasi (*Implement*)

Penelitian ini hanya batas tahap pengembangan dan pada tahap implementasi dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

5. Tahap Evaluasi (*Evaluate*)

Dalam penelitian ini, evaluasi internal dilakukan untuk mengetahui kualitas produk dan hasilnya digunakan sebagai umpan balik untuk memperbaiki produk. Evaluasi internal mencakup analisis masalah, perbaikan desain, validasi ahli isi dan konstruk, serta tanggapan guru dan siswa. Evaluasi eksternal dilakukan untuk mengetahui tingkat kemampuan pemecahan masalah (*problem solving skills*) siswa. Pada evaluasi eksternal dilakukan perhitungan terhadap nilai postes-pretest untuk mengetahui efektivitas e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan

kreatif. Hasil produk pada tahap evaluasi ini adalah e-modul yang menarik dan efektif.

E. Teknik Pengumpulan Data

Ada dua jenis data dalam penelitian ini: data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif mencakup skor kemampuan berpikir kritis dan kreatif siswa dan hasil validasi produk e-modul. Penelitian ini mengumpulkan informasi berikut secara rinci:

a. Data Validasi Produk E-Modul

Data validasi produk terdiri dari validasi isi materi, yang mencakup kelayakan materi pencemaran lingkungan, yaitu e-modul tentang materi pencemaran lingkungan yang sesuai dengan kompetensi inti dan tujuan pembelajaran yang disusun menjadi beberapa pernyataan menggunakan skala likert. Selain itu, validasi konstruk media, yang menganalisis dan mengkaji fitur seperti tampilan, suara, kemenarikan, dan kemudahan penggunaan. Selanjutnya, validasi bahasa digunakan dalam E-Modul terintegrasi STEM. Ini menganalisis penggunaan bahasa, kata baku, tanda baca, ukuran teks, dan kalimat.

b. Data Respon Pendidik dan Peserta didik terhadap E-Modul

Untuk mengumpulkan tanggapan pendidik dan siswa, kami menggunakan angket respons yang dibagikan kepada siswa setelah pembelajaran menggunakan E-Modul, serta semua guru Biologi di tiga SMA di kota Bengkulu. Setiap item pernyataan diberikan skala likert, dan guru dan siswa diminta untuk memberikan tanda ceklis (✓) pada pilihan yang disajikan.

F. Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen penelitian yang digunakan pada penelitian ini berupa lembar validasi ahli konten, validasi ahli media dan angket respon peserta didik terhadap E-Modul.

1. Lembar Validasi Konten

Tabel 3.1 Lembar Validasi Konten

No	Aspek Penilaian	Indikator
1	Materi	Kelengkapan materi
		Kesesuaian tujuan pembelajaran
		Keluasan materi
		Keakuratan materi
		Materi dan media relevan
2	Penggunaan Bahasa	Penggunaan kaidah bahasa
3.	Penyajian	Kemenarikan materi yang dikemas
		Kesesuaian materi dengan ilustrasi

Skala Penilaian

- 1 : Tidak Layak
- 2 : Kurang Layak
- 3 : Cukup Layak
- 4 : Layak
- 5 : Sangat Layak

2. Lembar Validasi Media

Tabel 3.2 Lembar Validasi Media

No	Aspek Penilaian	Indikator
1	Desain Media	Kemenarikan media
		Tampilan fisik
		Kombinasi warna dan gambar pada media
2	Pembelajaran	Kesesuaian media dengan lingkungan
		Kelengkapan komponen media
3.	Penggunaan Media	Kesesuaian media dengan karakteristik peserta didik
		Petunjuk penggunaan media
		Kemudahan penggunaan media

Skala Penilaian

- 1. : Tidak Layak
- 2. : Kurang Layak
- 3. : Cukup Layak
- 4. : Layak
- 5. : Sangat Layak

3. Angket Respon Siswa

Tabel 3.3 Angket Respon Siswa

No	Aspek Penilaian	Indikator
1	Tampilan Media	Petunjuk penggunaan media Kualitas gambar dan animasi Penggunaan huruf dan gaya bahasa Gameplay (pola, aturan, atau mekanisme) Kualitas bahan yang digunakan dan keamanan bahan
2	Manfaat Media	Mempermudah proses pembelajaran Mempermudah dalam memahami materi
3.	Materi	Kejelasan materi yang disajikan Kejelasan kalimat
4	Antusias Peserta Didik Terhadap Media	Media mudah untuk digunakan Menarik minat peserta didik dalam belajar dan menggunakan media Motifasi peserta didik saat menggunakan media

Skala Penilaian

- 1 : Tidak Layak
- 2 : Kurang Layak
- 3 : Cukup Layak
- 4 : Layak
- 5 : Sangat Layak

G. Teknik Analisis Data

Dalam metodologi penelitian ini, analisis data dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama melibatkan penggunaan metode kualitatif dan tahap kedua melibatkan penggunaan metode kuantitatif. Berikut adalah beberapa metode yang digunakan untuk menganalisis data:

a. Analisis Uji Kevalidan E-Modul

Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik E-Modul yang valid. Pernyataan pada lembar validitas yang dibagikan pada validator digunakan untuk mengukur validitas E-Modul. Untuk mengetahui persentasenya, hasil angket validitas dihitung. Rumus berikut digunakan untuk menghitung persentase:

$$P = \frac{\sum (\text{Skor} \times f)}{\text{skor tertinggi}} \times 100\%$$

Keterangan:

P = Jumlah persentase;

f = Frekuensi validator

Hasil persentase yang didapatkan kemudian diinterpretasikan berdasarkan tabel berikut.

Tabel 3.4. Kategori Kevalidan E-Modul

Skor	Tingkat Pencapaian (%)	Interpretasi
5	80-100	Sangat Valid
4	61-80	Valid
3	41-60	Cukup Valid
2	21-40	Kurang Valid
1	0-20	Tidak Valid

(Riduwan, 2010).

b. Analisis Uji Kepraktisan E-Modul

Analisis dilakukan untuk menggambarkan data hasil penulis tentang kepraktisan modul elektronik dengan Lembar Praktek, yang terdiri dari lembar angket respons siswa dan pendidik. Data dari angket yang dikumpulkan kemudian ditabulasi untuk mengetahui persentase hasilnya, dengan rumus:

$$P = \frac{\sum \text{skorperitem}}{\text{skormaks}} \times 100\%$$

Keterangan :

P= Persentase skor yang dicari (hasil dibulatkan hingga mencapai bilangan bulat)

ΣR = Jumlah jawaban yang diberikan oleh validator/ pilihan yang terpilih

N = Jumlah skor maksimal atau ideal

Dengan kategori praktis modul, sebagai berikut:

Tabel 3.5 Kategori Kepraktisan E-modul

Koefisien Validitas	Keterangan
0-48	Sangat Tidak Praktis
49-61	Tidak Praktis
62-74	Cukup Praktis
75-87	Praktis
88-100	Sangat Praktis

(Riduwan & Sunarto, 2013).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Penyajian hasil penelitian disusun secara terstruktur berdasarkan tahapan pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini, yang meliputi tahap analisis, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Kelima tahapan tersebut dilaksanakan secara berurutan dan saling berkaitan, sehingga membentuk suatu proses pengembangan yang utuh. Tahap analisis berfokus pada identifikasi kebutuhan pembelajaran dan permasalahan yang dihadapi dalam proses pembelajaran. Tahap perancangan memuat penyusunan desain awal produk, baik dari segi konten maupun tampilan. Tahap pengembangan mencakup proses validasi ahli serta revisi produk. Tahap implementasi dilakukan melalui uji coba I dan uji coba II untuk melihat kepraktisan penggunaan produk. Sementara itu, tahap evaluasi bertujuan untuk menilai efektivitas produk dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik.

Pada bagian ini, hasil penelitian dipaparkan secara deskriptif berdasarkan data yang diperoleh dari instrumen penelitian, meliputi hasil analisis kebutuhan, desain produk, hasil validasi ahli konten dan ahli media, hasil uji kepraktisan melalui angket respon guru, serta hasil uji efektivitas melalui perbandingan nilai pretest dan posttest. Penyajian data dilakukan secara objektif sesuai dengan temuan di lapangan, tanpa terlebih dahulu dikaitkan dengan teori atau penelitian terdahulu secara mendalam.

1. Tahap Analisis (*Analysis*)

Tahap analisis merupakan tahap awal dalam model pengembangan ADDIE yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik peserta didik, kesesuaian kurikulum, serta permasalahan yang terjadi dalam pembelajaran Biologi pada materi pencemaran lingkungan. Tahap ini memiliki peran strategis karena menjadi landasan utama dalam perancangan dan pengembangan E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang relevan dengan kondisi nyata pembelajaran di sekolah menengah atas.

a. Analisis Kebutuhan

Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa pembelajaran materi pencemaran lingkungan masih cenderung berorientasi pada penyampaian konsep melalui metode ceramah dan diskusi terbatas. Sumber belajar utama berupa buku teks dan presentasi sederhana, sementara pemanfaatan media digital interaktif belum optimal. Kegiatan pembelajaran lebih banyak menekankan pada penguasaan konsep teoretis dibandingkan dengan penerapan konsep melalui kegiatan investigatif atau proyek nyata.

Peserta didik umumnya memahami definisi dan jenis-jenis pencemaran lingkungan, tetapi mengalami kesulitan ketika diminta menganalisis kasus kontekstual atau merancang solusi terhadap permasalahan lingkungan di sekitar mereka. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis dan kreatif belum berkembang secara maksimal. Selain itu, integrasi unsur Science, Technology, Engineering,

dan Mathematics (STEM) dalam pembelajaran belum dilaksanakan secara sistematis.

Hasil wawancara dengan guru mengungkapkan bahwa pengembangan bahan ajar berbasis digital memerlukan waktu, kompetensi teknis, dan perencanaan yang matang. Guru juga menyampaikan perlunya bahan ajar yang mampu mengintegrasikan pendekatan STEM dengan proyek lingkungan agar peserta didik tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu menerapkannya dalam bentuk solusi nyata terhadap masalah pencemaran di lingkungan sekitar.

Temuan ini menunjukkan adanya kebutuhan terhadap E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang dirancang secara sistematis, interaktif, dan kontekstual untuk mendukung pembelajaran yang lebih bermakna serta mendorong keterlibatan aktif peserta didik.

b. Analisis Karakteristik Peserta Didik

Peserta didik SMA memiliki karakteristik berada pada tahap perkembangan kognitif operasional formal, sehingga telah mampu berpikir abstrak, logis, dan hipotetis. Namun demikian, hasil observasi menunjukkan bahwa peserta didik lebih antusias ketika pembelajaran dikaitkan dengan fenomena nyata yang terjadi di lingkungan sekitar, seperti permasalahan sampah, pencemaran air, dan polusi udara.

Sebagian besar peserta didik menunjukkan minat tinggi terhadap penggunaan media digital dan aktivitas berbasis proyek. Mereka cenderung lebih aktif ketika diberikan tugas yang menuntut kolaborasi, eksplorasi data, dan pemecahan masalah dibandingkan dengan

pembelajaran berbasis ceramah. Meskipun demikian, kemampuan merancang solusi secara sistematis dan mengintegrasikan berbagai konsep lintas disiplin masih memerlukan penguatan.

Dalam aspek regulasi diri, peserta didik belum sepenuhnya terbiasa mengelola proses belajarnya secara mandiri. Perencanaan proyek, pengelolaan waktu, dan evaluasi hasil kerja masih membutuhkan bimbingan guru. Oleh karena itu, pengembangan E-Modul perlu dirancang tidak hanya untuk menyajikan materi, tetapi juga memandu tahapan berpikir ilmiah, rekayasa sederhana, serta refleksi pembelajaran secara terstruktur.

c. Analisis Kurikulum dan Materi

Materi pencemaran lingkungan dipilih karena memiliki relevansi tinggi dengan kehidupan sehari-hari peserta didik serta mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis dan kreatif. Dalam Kurikulum Merdeka, materi ini menekankan pemahaman terhadap interaksi manusia dengan lingkungan, analisis dampak aktivitas manusia, serta upaya penanggulangan pencemaran secara berkelanjutan.

Materi ini sangat potensial untuk dikembangkan melalui pendekatan STEM, karena mencakup:

- 1) *Science*: konsep ilmiah tentang jenis, sumber, dan dampak pencemaran.
- 2) *Technology*: pemanfaatan teknologi dalam pengelolaan limbah dan pemantauan kualitas lingkungan.

- 3) *Engineering*: perancangan solusi atau produk sederhana untuk mengurangi dampak pencemaran.
- 4) *Mathematics*: analisis data kuantitatif terkait tingkat pencemaran dan perhitungan sederhana dalam proyek.

Integrasi proyek lingkungan memungkinkan peserta didik mengaitkan teori dengan praktik secara langsung, sehingga pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan bermakna.

Tabel 4.1
Capaian Pembelajaran (CP) Biologi Materi Pencemaran Lingkungan Fase F (SMA)

Elemen CP Biologi	Capaian Pembelajaran
Pemahaman Konsep	Peserta didik mampu menjelaskan konsep pencemaran lingkungan, jenis-jenis pencemaran (air, udara, tanah), sumber penyebab, serta dampaknya terhadap makhluk hidup dan ekosistem.
Keterampilan Proses Sains	Peserta didik mampu mengidentifikasi masalah lingkungan di sekitar, mengumpulkan dan menganalisis data sederhana, serta menyajikan hasil analisis secara sistematis.
Penalaran Ilmiah	Peserta didik mampu menganalisis hubungan sebab-akibat dalam kasus pencemaran lingkungan serta merumuskan alternatif solusi berbasis data.
Keterampilan Rekayasa (<i>Engineering</i>)	Peserta didik mampu merancang solusi atau produk sederhana sebagai upaya penanggulangan pencemaran lingkungan melalui pendekatan proyek.
Literasi Kuantitatif	Peserta didik mampu menginterpretasikan data numerik terkait tingkat pencemaran dan melakukan perhitungan sederhana yang relevan.
Sikap Ilmiah dan Kepedulian Lingkungan	Peserta didik menunjukkan tanggung jawab, kepedulian, dan partisipasi aktif dalam menjaga kelestarian lingkungan.
Berpikir Kritis dan Kreatif	Peserta didik mampu mengemukakan gagasan inovatif dan solusi alternatif terhadap permasalahan pencemaran lingkungan.

Sumber: Diadaptasi dari Capaian Pembelajaran Biologi Fase F Kurikulum Merdeka.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, karakteristik peserta didik, serta kurikulum dan materi, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran Biologi

pada materi pencemaran lingkungan memerlukan pengembangan E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang sistematis, interaktif, dan kontekstual. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam tahap perancangan (*design*) untuk menghasilkan produk yang valid, praktis, dan relevan dengan kebutuhan pembelajaran di sekolah.

2. Tahap Desain (*Design*)

Tahap desain merupakan tahapan perancangan produk yang dilakukan setelah proses analisis kebutuhan selesai dilaksanakan. Pada tahap ini, seluruh temuan empiris yang diperoleh dari analisis karakteristik peserta didik, kebutuhan pembelajaran, serta kondisi riil di lapangan diterjemahkan ke dalam bentuk rancangan awal E-Modul berbasis Eco-STEM. Tahap desain bertujuan untuk menghasilkan blueprint atau kerangka konseptual produk yang sistematis, terstruktur, dan selaras dengan tujuan pembelajaran.

Berdasarkan hasil analisis, modul yang dikembangkan dirancang untuk memfasilitasi pembelajaran berbasis pendekatan Eco-STEM (*Ecology–Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) yang terintegrasi dengan konteks lingkungan sekitar peserta didik. Desain modul disusun dengan mempertimbangkan prinsip keterpaduan antara konsep sains dan permasalahan ekologis nyata, sehingga peserta didik tidak hanya memahami konsep secara teoretis, tetapi juga mampu mengaplikasikannya dalam kehidupan sehari-hari.

a. Perumusan Tujuan Pembelajaran

Tujuan pembelajaran dalam e-modul ini dirumuskan berdasarkan Capaian Pembelajaran Biologi Fase E serta mengintegrasikan pendekatan eco-STEM pada materi pencemaran lingkungan. Setelah mengikuti rangkaian pembelajaran, peserta didik diharapkan mampu:

- 1) Menganalisis berbagai bentuk pencemaran lingkungan (udara, air, dan tanah), termasuk sumber, penyebab, serta dampaknya terhadap ekosistem dan kesehatan manusia.
- 2) Menjelaskan keterkaitan antara aktivitas manusia dan kerusakan lingkungan melalui hubungan sebab-akibat yang logis dan berbasis data kontekstual di lingkungan sekitar.
- 3) Menginterpretasikan data dan fenomena lingkungan untuk menumbuhkan kemampuan berpikir kritis sesuai indikator interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan regulasi diri.
- 4) Merancang dan merekayasa solusi sederhana berbasis eco-STEM, khususnya pengolahan limbah organik rumah tangga menjadi eco-enzyme sebagai alternatif ramah lingkungan.
- 5) Menggunakan pendekatan ilmiah dan matematis dalam menghitung rasio bahan, menganalisis proses fermentasi, serta mengevaluasi efektivitas eco-enzyme sebagai solusi berkelanjutan.

- 6) Menunjukkan sikap tanggung jawab dan kepedulian terhadap lingkungan melalui tindakan nyata dalam pengurangan sampah organik dan penerapan prinsip keberlanjutan.

Rumusan tujuan ini menjadi dasar dalam penyusunan materi, aktivitas pembelajaran, serta instrumen evaluasi dalam modul.

b. Perancangan Struktur E-Modul

Struktur E-Modul berbasis Eco-STEM yang dirancang dalam penelitian ini terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu:

- 1) Sampul yang memuat identitas modul dan ilustrasi kontekstual.
- 2) Kata pengantar.
- 3) Petunjuk penggunaan modul bagi guru dan peserta didik.
- 4) Peta konsep materi.
- 5) Kegiatan pembelajaran berbasis sintaks Eco-STEM.
- 6) Lembar aktivitas dan proyek.
- 7) Refleksi pembelajaran.
- 8) Evaluasi akhir.
- 9) Daftar pustaka.

Setiap kegiatan pembelajaran dirancang mengikuti alur pendekatan Eco-STEM, yaitu:

- (1) identifikasi masalah lingkungan,
- (2) eksplorasi konsep sains,
- (3) perancangan solusi sederhana (*engineering design*),
- (4) penerapan konsep matematika/teknologi, dan
- (5) refleksi hasil.

Tabel 4.2 *Storyboard* E-Modul Berbasis Eco-STEM pada Materi Penemaran Lingkungan

No	Komponen E-Modul	Keterangan
1	Halaman Sampul E-Modul	<ol style="list-style-type: none"> 1) Judul E-Modul berbasis Eco-STEM 2) Mata pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) 3) Materi Pencemaran Lingkungan 4) Kelas dan jenjang Pendidikan 5) Ilustrasi lingkungan tercemar (air, udara, tanah)
2	Kata Pengantar dan Identitas Modul	<ol style="list-style-type: none"> 1) Uraian singkat tujuan pengembangan modul 2) Kompetensi inti dan kompetensi dasar 3) Indikator dan tujuan pembelajaran 4) Profil pelajar dan pendekatan Eco-STEM
3	Penyajian Permasalahan Kontekstual	<ol style="list-style-type: none"> 1) Narasi kasus pencemaran di lingkungan sekitar 2) Ilustrasi/gambar pendukung 3) Pertanyaan pemantik analisis penyebab dan dampak
4	Kegiatan <i>Science</i> (Sains)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Identifikasi jenis dan karakteristik pencemaran 2) Analisis zat pencemar dan dampaknya 3) Eksperimen sederhana (misalnya penyaringan air) 4) Pengamatan dan pencatatan data
5	Kegiatan <i>Technology</i> dan Engineering	<ol style="list-style-type: none"> 1) Perancangan solusi sederhana (alat penyaring/pengelolaan sampah) 2) Langkah perencanaan dan pemilihan bahan 3) Proses pembuatan dan uji coba 4) Evaluasi hasil proyek
6	Kegiatan <i>Mathematics</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Penyajian data dalam table 2) Pembuatan grafik sederhana 3) Perhitungan persentase tingkat pencemaran 4) Analisis data secara kuantitatif
7	Lembar Aktivitas dan Diskusi	<ol style="list-style-type: none"> 1) Tugas analisis dampak pencemaran 2) Diskusi solusi berbasis Eco-STEM 3) Ruang jawaban terstruktur
8	Refleksi Pembelajaran	<ol style="list-style-type: none"> 1) Pertanyaan reflektif pemahaman konsep 2) Evaluasi sikap peduli lingkungan 3) Rencana aksi sederhana menjaga lingkungan
9	Evaluasi Akhir	<ol style="list-style-type: none"> 1) Soal pilihan ganda 2) Soal uraian berbasis studi kasus 3) Penilaian proyek dan keterampilan proses
10	Daftar Pustaka	<ol style="list-style-type: none"> 1) Referensi materi pencemaran lingkungan 2) Sumber teori dan pendekatan Eco-STEM terbaru

Prototype E-Modul berbasis Eco-STEM yang dikembangkan memuat beberapa halaman utama sebagaimana dirancang dalam *storyboard* di atas. Setiap komponen disusun secara sistematis untuk memastikan alur pembelajaran berjalan dari tahap identifikasi masalah, eksplorasi konsep, perancangan solusi, hingga refleksi dan evaluasi. Struktur ini dirancang untuk mendukung keterpaduan konsep sains dan kesadaran ekologis secara terpadu dan kontekstual.

1) Halaman Sampul *E-Modul*



Gambar 1. Cover

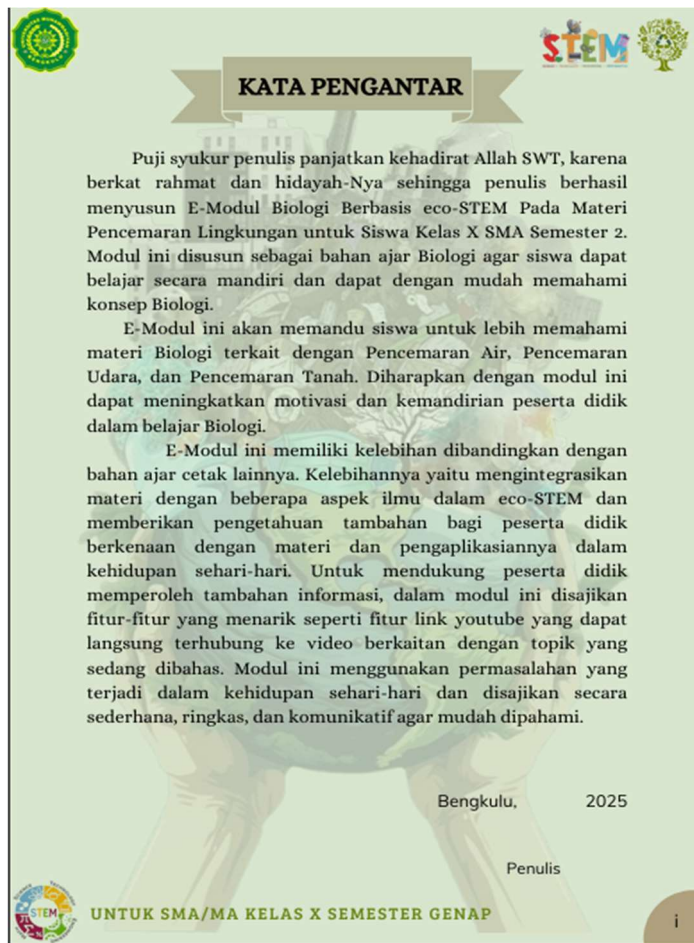
Halaman sampul E-Modul berbasis Eco-STEM pada materi Pencemaran Lingkungan didesain dengan dominasi warna hijau gradasi

yang merepresentasikan alam, keberlanjutan, dan kesadaran ekologis. Latar visual menampilkan ilustrasi kota, bumi, asap industri, serta limbah sebagai gambaran dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan.

Judul utama “E-Modul Berbasis Eco-STEM” ditulis dengan huruf Sans Serif berukuran besar sebagai identitas bahan ajar dan penegasan integrasi *Ecology, Science, Technology, Engineering*, dan *Mathematics*. Di bagian tengah dicantumkan judul materi secara kontras agar fokus pembelajaran mudah dikenali. Logo institusi ditempatkan di bagian atas sebagai identitas akademik.

Ilustrasi bumi yang dipegang tangan manusia dengan simbol pencemaran mempertegas pesan tanggung jawab ekologis. Pada bagian bawah tercantum jenjang “SMA/MA Kelas X Semester 2” serta identitas penulis dan institusi sebagai bentuk kejelasan sasaran dan pertanggungjawaban akademik. Secara keseluruhan, desain sampul mengedepankan estetika, keterbacaan, dan penguatan pesan lingkungan untuk menumbuhkan motivasi serta kesadaran kritis peserta didik sejak awal pembelajaran.

2) Kata Pengantar dan Identitas Modul



Gambar 2. Kata Pengantar

Halaman kata pengantar pada E-Modul berbasis Eco-STEM materi *Pencemaran Lingkungan* berfungsi sebagai pengantar akademik sekaligus penjelasan tujuan penyusunan modul. Judul “Kata Pengantar” ditampilkan di bagian atas dengan ukuran huruf lebih besar agar jelas dan menonjol.

Isi kata pengantar memuat latar belakang pengembangan modul, tujuan pembelajaran, serta harapan agar E-Modul dapat membantu peserta didik memahami konsep pencemaran air, udara, dan tanah secara terintegrasi melalui pendekatan Eco-STEM. Modul dirancang tidak

hanya menyajikan teori, tetapi juga mengaitkan materi dengan permasalahan lingkungan nyata sehingga pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan bermakna.

Secara visual, halaman ini menggunakan latar bernuansa hijau yang selaras dengan tema lingkungan. Pada bagian bawah dicantumkan tempat dan tahun penyusunan (Bengkulu, 2025) serta keterangan penulis sebagai bentuk pertanggungjawaban akademik.

Identitas Modul

Identitas E-Modul memuat informasi sebagai berikut:

- a. Judul: E-Modul Biologi Berbasis Eco-STEM
- b. Materi: Pencemaran Lingkungan
- c. Mata Pelajaran: Biologi
- d. Kelas/Semester: X / Genap
- e. Jenjang: SMA/MA
- f. Pengembang: Metia Vinliani
- g. Institusi: Universitas Muhammadiyah Bengkulu
- h. Tahun: 2025

Identitas ini bertujuan memberikan kejelasan peruntukan dan legitimasi akademik terhadap modul yang dikembangkan.

3) Penyajian Permasalahan Kontekstual

MATERI I

1. Definisi Pencemaran Lingkungan
2. Jenis-Jenis Pencemaran Lingkungan

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari e-modul ini, Siswa diharapkan mampu:

1. Menganalisis jenis-jenis pencemaran lingkungan (air, udara, dan tanah) serta dampaknya bagi ekosistem.
2. Mengidentifikasi penyebab dan sumber pencemaran di lingkungan sekitar.
3. Menganalisis hubungan sebab-akibat antara aktivitas manusia (industri, transportasi, konsumsi rumah tangga) dengan peningkatan beban pencemaran
4. Memahami konsep pengolahan limbah organik secara berkelanjutan

B. Uraian Materi

1. Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan adalah masuknya zat, energi, atau komponen asing ke dalam lingkungan alam dalam jumlah atau konsentrasi yang

UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP

3

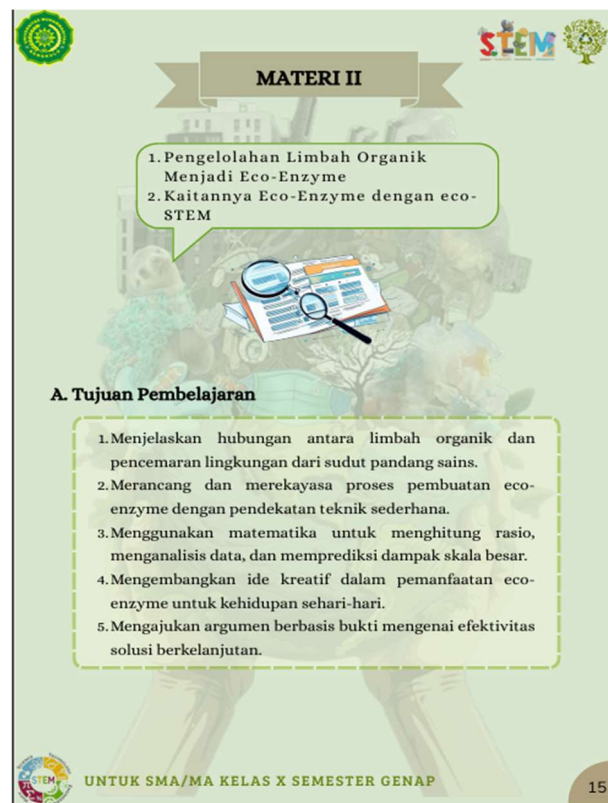
Gambar 3. Materi I

Halaman penyajian permasalahan kontekstual memuat kasus pencemaran yang dekat dengan kehidupan peserta didik, seperti pencemaran sungai akibat limbah rumah tangga dan pencemaran udara dari asap kendaraan. Narasi disusun secara ringkas dan komunikatif untuk membangun kesadaran awal terhadap masalah lingkungan.

Pada bagian atas halaman disertakan kode QR yang dapat dipindai untuk mengakses video tentang pencemaran lingkungan. Video tersebut bertujuan memperjelas materi melalui visualisasi nyata sehingga pemahaman peserta didik menjadi lebih konkret.

Bagian tengah halaman menampilkan ilustrasi kondisi lingkungan tercemar sebagai penguat visual, sedangkan di akhir narasi disajikan pertanyaan pemantik untuk menganalisis jenis, penyebab, dampak, serta alternatif solusi. Bagian ini menjadi awal penerapan pendekatan Eco-STEM berbasis masalah nyata.

3) Kegiatan *Science* (Sains)



Gambar 4. Materi II

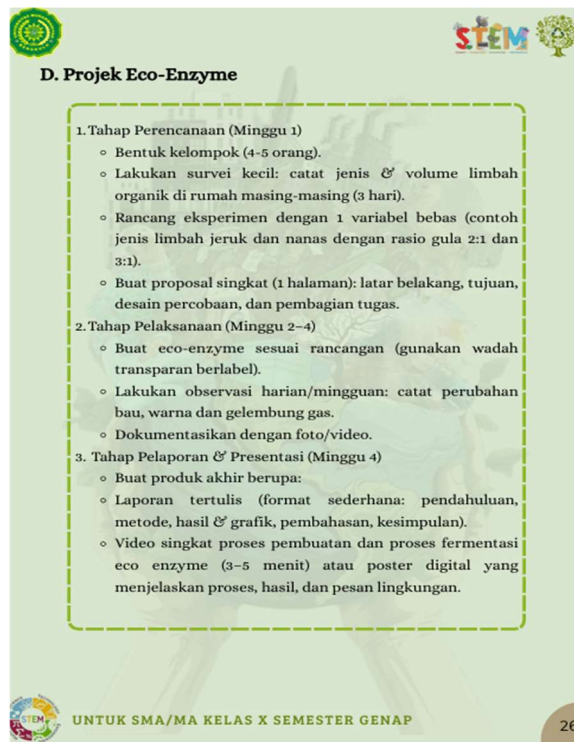
Halaman kegiatan sains berfokus pada eksplorasi konsep ilmiah tentang pencemaran lingkungan. Peserta didik diarahkan untuk mengidentifikasi jenis dan karakteristik pencemaran air, udara, dan tanah melalui pengamatan serta kajian konsep dasar.

Selain identifikasi, peserta didik diminta menganalisis zat pencemar dan dampaknya terhadap kesehatan manusia maupun

keseimbangan ekosistem. Penyajian materi didukung tabel klasifikasi dan ilustrasi sederhana agar memudahkan pemahaman.

Pada bagian eksperimen, modul memuat kegiatan simulasi penyaringan air menggunakan bahan sederhana seperti pasir, kerikil, arang, dan kapas. Peserta didik melakukan pengamatan sebelum dan sesudah proses penyaringan serta mencatat hasilnya pada lembar pengamatan. Kegiatan ini melatih keterampilan observasi, pengumpulan data, dan penarikan kesimpulan berbasis fakta.

4) Kegiatan *Technology* dan *Engineering*



D. Projek Eco-Enzyme

1. Tahap Perencanaan (Minggu 1)
 - Bentuk kelompok (4-5 orang).
 - Lakukan survei kecil: catat jenis & volume limbah organik di rumah masing-masing (3 hari).
 - Rancang eksperimen dengan 1 variabel bebas (contoh jenis limbah jeruk dan nanas dengan rasio gula 2:1 dan 3:1).
 - Buat proposal singkat (1 halaman): latar belakang, tujuan, desain percobaan, dan pembagian tugas.
2. Tahap Pelaksanaan (Minggu 2-4)
 - Buat eco-enzyme sesuai rancangan (gunakan wadah transparan berlabel).
 - Lakukan observasi harian/mingguan: catat perubahan bau, warna dan gelembung gas.
 - Dokumentasikan dengan foto/video.
3. Tahap Pelaporan & Presentasi (Minggu 4)
 - Buat produk akhir berupa:
 - Laporan tertulis (format sederhana: pendahuluan, metode, hasil & grafik, pembahasan, kesimpulan).
 - Video singkat proses pembuatan dan proses fermentasi eco enzyme (3-5 menit) atau poster digital yang menjelaskan proses, hasil, dan pesan lingkungan.

UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP

26

Gambar 5. Proyek Eco-Enzyme

Halaman ini dirancang untuk membimbing peserta didik melaksanakan proyek eco-enzyme sebagai bentuk solusi pengelolaan limbah organik rumah tangga secara berkelanjutan. Kegiatan difokuskan pada tahap teknologi yang menekankan penggunaan alat,

bahan, dan prosedur kerja yang tepat dalam proses fermentasi. Peserta didik diarahkan untuk menggunakan wadah fermentasi yang tertutup rapat atau kedap udara guna mendukung proses pembentukan gas selama fermentasi serta mencegah kontaminasi dari luar.

Selain itu, peserta didik menerapkan teknik pencampuran bahan secara proporsional, yaitu gula merah, limbah organik (seperti kulit buah), dan air dengan rasio yang telah dirancang (misalnya 1:3:10). Setelah itu, peserta didik mendesain wadah eco-enzyme agar system fermentasi tidak meledak (melakukan modifikasi desain wadah atau prosedur agar hasil tetap optimal).

5) Kegiatan *Mathematics*



Siapkan Bahan

- Wadah plastik (bukan kaca) 1,6 liter, bersih dan kering. Pastikan tutupnya tidak bocor.
- Kulit buah segar: 300 gram (seperti kulit jeruk, nanas, apel). hindari buah berminyak seperti alpukat atau durian.
- Gula merah: 100 gram/molase
- Air bersih (bukan air panas): 1000ml

Langkah Pembuatan

1. Siapkan bahan dengan rumus 1:3:10.
2. Siapkan air bersih 1000ml lalu masukkan gula merah/molase.
3. Jika memakai gula merah aduk sampai larut lalu tuangkan air yang sudah tercampur gula merah sedikit demi sedikit ke dalam wadah eco-enzyme.
4. Masukkan potongan kulit buah, hindari buah yang berminyak, sudah busuk atau yang sudah berjamur.
5. Tutup wadah eco-enzyme dengan rapat. lalu buka 1-2 kali sehari selama 1-2 minggu pertama untuk membuang gas CO₂.
6. Simpan di tempat teduh, jauh dari sinar matahari langsung.
7. Tunggu waktu fermentasi minimal 3 bulan.

UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP

23

Gambar 6. Prosedur Eco-Enzyme

Pada kegiatan Mathematics, peserta didik menerapkan konsep perbandingan dalam pembuatan eco-enzyme dengan rasio 1:3:10, yaitu 1 bagian gula merah atau molase, 3 bagian sampah organik (kulit buah atau sayuran), dan 10 bagian air. Siswa menghitung kebutuhan bahan berdasarkan takaran tertentu, misalnya jika digunakan 100 gram gula merah, maka diperlukan 300 gram sampah organik dan 1.000 ml air. Kegiatan ini melatih kemampuan operasi hitung dan pemahaman perbandingan senilai secara kontekstual, sekaligus menunjukkan bahwa ketepatan perhitungan berpengaruh terhadap keberhasilan proses fermentasi.

6) Halaman Lembar Aktivitas dan Diskusi

D. Penugasan

Cermati berbagai gambar perubahan lingkungan di bawah ini:

 Gambar 1. Tanah Longsor Sumber: www.balipost.com	 Gambar 2. Banjir Sumber: www.dailymirror.lk
 Gambar 3. Limbah Sampah Sumber: envilife.co.id	 Gambar 4. Asap Kendaraan Sumber: aktual.com

1. Sebutkan faktor-faktor yang mengakibatkan perubahan lingkungan pada gambar 1, 2, 3 dan 4!
2. Jelaskan jenis pencemaran yang terjadi pada gambar 3 dan 4!
3. Jelaskan dampak perubahan lingkungan yang terjadi pada peristiwa di gambar 4 serta carilah alternatif penanggulangannya!
4. Dari keempat gambar, manakah yang menurutmu memiliki dampak paling serius terhadap kesehatan manusia dalam jangka panjang? Berikan alasanmu.

UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP

13

Gambar 7. Lembar Aktivitas dan Diskusi

Siapkan Bahan

- Wadah plastik (bukan kaca) 1,6 liter, bersih dan kering. Pastikan tutupnya tidak bocor.
- Kulit buah segar: 300 gram (seperti kulit jeruk, nanas, apel). hindari buah berminyak seperti alpukat atau durian.
- Gula merah: 100 gram/molase
- Air bersih (bukan air panas): 1000ml

Langkah Pembuatan

1. Siapkan bahan dengan rumus 1:3:10.
2. Siapkan air bersih 1000ml lalu masukkan gula merah/molase.
3. Jika memakai gula merah aduk sampai larut lalu tuangkan air yang sudah tercampur gula merah sedikit demi sedikit ke dalam wadah eco-enzyme.
4. Masukkan potongan kulit buah, hindari buah yang berminyak, sudah busuk atau yang sudah berjamur.
5. Tutup wadah eco-enzyme dengan rapat. lalu buka 1-2 kali sehari selama 1-2 minggu pertama untuk membuang gas CO₂.
6. Simpan di tempat teduh, jauh dari sinar matahari langsung.
7. Tunggu waktu fermentasi minimal 3 bulan.

UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP

Gambar 8. Lembar Aktivitas dan Diskusi

Halaman ini memuat tugas analisis dampak pencemaran serta diskusi solusi berbasis Eco-STEM. Pertanyaan disusun secara sistematis untuk mendorong peserta didik mengemukakan pendapat berdasarkan data hasil eksperimen dan pengamatan. Pada bagian atas halaman disertakan kode QR yang berfungsi untuk mengakses lembar jawaban penugasan secara digital, sehingga peserta didik dapat mengisi dan mengumpulkan hasil kerja secara lebih praktis dan terdokumentasi.

Tersedia pula ruang jawaban terstruktur pada halaman tersebut agar peserta didik dapat menuliskan hasil analisis, rancangan solusi, serta kesimpulan secara runtut dan logis. Kegiatan ini menekankan penguatan kemampuan argumentasi berbasis data, kolaborasi dalam diskusi kelompok, serta keterampilan pemecahan masalah secara sistematis dan kontekstual.

7) Halaman Refleksi Pembelajaran

Refleksi - Menumbuhkan Kesadaran Mendalam

“Di akhir proyek, luangkan waktu untuk merenung secara pribadi atau dalam diskusi kelompok.

Tanyakan pada dirimu:

1. Apa momen paling mengejutkan selama eksperimen ini?
2. Apakah persepsiku tentang “sampah” berubah? Jika ya, bagaimana?
3. Jika proyek ini dilakukan oleh 100 sekolah di kotaku, berapa ton sampah yang bisa dialihkan dari TPA dalam satu tahun? Berapa karbon yang bisa dikurangi?
4. Apa hambatan terbesar dalam mengajak orang lain bergabung? Bagaimana cara mengatasinya?

Refleksi bukan sekadar formalitas. Ia adalah jembatan antara pengetahuan dan tindakan antara “tahu” dan “peduli”.

UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP 24

Gambar 9. Refleksi Pembelajaran

Refleksi Diri (Jawab dengan jujur dan Kritis)

1. Apa hal paling menarik atau mengejutkan yang kamu pelajari selama proyek ini?
.....
2. Apa satu hal yang ingin kamu perbaiki jika mengulang proyek ini?
.....
3. Bagaimana proyek ini mengubah cara pandangmu terhadap “sampah”?
.....
4. Apa manfaat nyata eco-enzyme menurutmu untuk keluarga, sekolah, atau lingkungan?
.....

Berikut link pengisian jawaban soal di atas

Scan Me

UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP 31

Gambar 10. Refleksi Pembelajaran

Halaman refleksi dirancang sebagai ruang evaluatif yang sistematis untuk membantu peserta didik meninjau kembali pemahaman konsep, proses berpikir ilmiah, serta sikap peduli lingkungan yang berkembang selama pembelajaran berbasis Eco-STEM. Melalui pertanyaan reflektif yang terstruktur, peserta didik diarahkan untuk mengidentifikasi sejauh mana mereka memahami keterkaitan antara sains, teknologi, rekayasa, dan matematika dalam konteks permasalahan lingkungan. Pertanyaan tersebut tidak hanya menilai aspek kognitif, tetapi juga menggali kesadaran personal mengenai kontribusi nyata yang dapat dilakukan dalam menjaga dan memperbaiki kualitas lingkungan sekitar.

Pada bagian ini disertakan kode QR interaktif yang dapat dipindai atau diklik melalui perangkat digital untuk mengakses lembar refleksi diri secara daring. Sistem ini memungkinkan respons peserta didik terdokumentasi secara sistematis, tersip dengan rapi, serta dapat dianalisis untuk melihat perkembangan sikap dan pola pikir dari waktu ke waktu. Pendokumentasian digital tersebut juga mendukung transparansi proses pembelajaran serta memudahkan guru dalam melakukan tindak lanjut pembinaan. Selain itu, halaman refleksi memuat rencana aksi sederhana yang aplikatif dalam kehidupan sehari-hari, seperti memilah sampah organik dan anorganik, mengurangi penggunaan plastik sekali pakai, serta mengolah limbah dapur menjadi eco-enzyme.

Secara keseluruhan, refleksi ini bertujuan memperkuat dimensi afektif dalam pembelajaran, membangun kesadaran ekologis yang berkelanjutan, serta mendorong internalisasi nilai tanggung jawab terhadap lingkungan. Melalui proses reflektif yang terarah, diharapkan terjadi perubahan perilaku yang tidak bersifat sesaat, melainkan berkembang menjadi kebiasaan positif yang berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.

8) Evaluasi Akhir

F. Penilaian Diri

Nama : _____
 Kelas : _____
 Kelompok : _____
 Tanggal : _____

Berilah tanda centang (✓) pada kolom yang paling sesuai dengan pengalaman dan usahamu selama proyek. Lalu, tuliskan penjelasan singkat atau contoh di kolom "Refleksi".

NO	PERNYATAAN	IYA	TIDAK
1	Saya memahami konsep ilmiah di balik fermentasi eco-enzyme (misal: peran mikroba, gas yang dihasilkan).		
2	Saya terlibat aktif dalam perencanaan & pelaksanaan eksperimen (misal: menyiapkan bahan, mencatat data, mengamati perubahan).		
3	Saya berusaha memecahkan masalah secara kreatif saat menghadapi kendala (misal: bau menyengat, wadah bocor, fermentasi gagal).		
4	Saya melakukan pengukuran atau perhitungan dengan teliti (misal: rasio bahan, perubahan tinggi tanaman, persentase keberhasilan).		
5	Saya berkontribusi dalam diskusi kelompok & menghargai pendapat teman.		
6	Saya mampu menghubungkan proyek ini dengan isu lingkungan di sekitar (misal: pengurangan sampah, penggunaan bahan kimia).		
7	Saya berani menyampaikan hasil/menjawab pertanyaan saat presentasi (lisan/tertulis/video).		

UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP 30

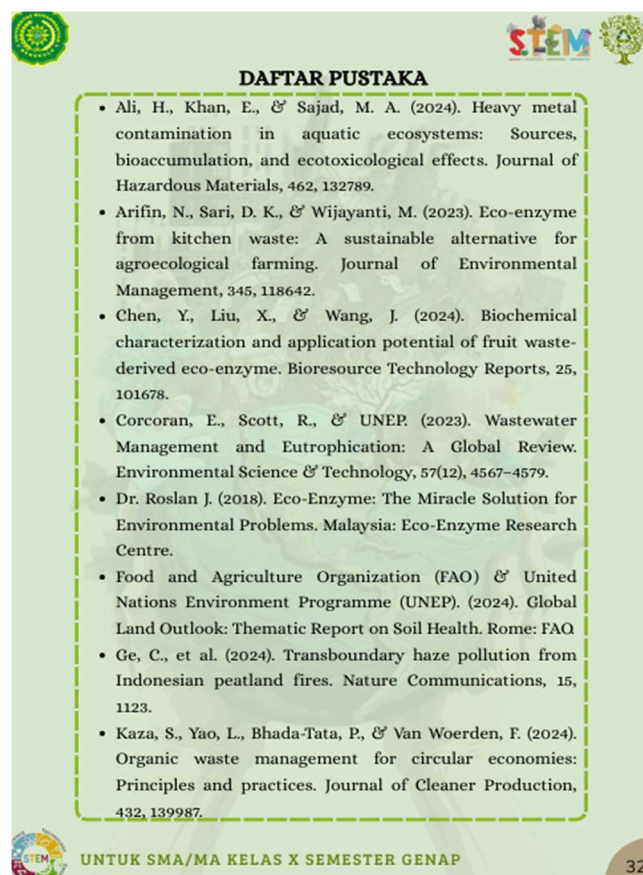
Gambar 11. Evaluasi Akhir

Halaman evaluasi akhir memuat soal pilihan ganda untuk mengukur pemahaman konsep dasar pencemaran, serta soal uraian berbasis studi kasus untuk menilai kemampuan analisis dan pemecahan

masalah. Pada bagian atas halaman disertakan kode QR yang berfungsi untuk mengakses lembar jawaban penilaian diri secara digital, sehingga peserta didik dapat melakukan refleksi terhadap hasil belajarnya secara mandiri dan terstruktur.

Selain itu, disertakan penilaian proyek yang mencakup kreativitas desain, ketepatan konsep, analisis data, dan keterampilan proses. Evaluasi disusun secara komprehensif untuk mengukur aspek kognitif, keterampilan, serta kemampuan berpikir kritis dan kreatif secara terpadu.

9) Halaman Daftar Pustaka



Gambar 12. Daftar Pustaka

Halaman daftar pustaka memuat referensi ilmiah terkait materi pencemaran lingkungan dan sumber teori pendekatan Eco-STEM. Pencantuman referensi bertujuan memperkuat landasan akademik modul serta memastikan kesesuaian materi dengan sumber ilmiah yang relevan dan mutakhir.

c. Desain Tampilan dan Media

Karena produk yang dikembangkan berbentuk E-Modul, desain visual menjadi bagian penting dalam tahap perancangan. Modul dirancang dengan:

- 1) Tata letak yang sistematis dan mudah dibaca.
- 2) Kombinasi warna yang mendukung kenyamanan visual.
- 3) Penyajian gambar kontekstual terkait lingkungan sekitar.
- 4) Integrasi ikon-ikon STEM untuk memperjelas keterpaduan konsep.

Pemilihan desain ini bertujuan untuk meningkatkan daya tarik dan memudahkan navigasi peserta didik saat menggunakan modul secara mandiri maupun terbimbing.

d. Perancangan Instrumen Penilaian

Pada tahap desain juga disusun instrumen penilaian yang meliputi:

- 1) Lembar validasi ahli konten dan ahli media.
- 2) Angket respon guru dan peserta didik untuk mengukur kepraktisan.
- 3) Instrumen evaluasi hasil belajar berupa soal pilihan ganda dan uraian.

Instrumen-instrumen tersebut dirancang menggunakan skala Likert 1–4 untuk mengukur tingkat kelayakan dan kepraktisan produk.

e. Rancangan Aktivitas Berbasis Proyek

Sebagai karakteristik utama Eco-STEM, modul memuat aktivitas berbasis proyek sederhana, seperti:

- 1) Observasi lingkungan sekitar sekolah.
- 2) Analisis permasalahan sampah atau pencemaran.
- 3) Perancangan solusi sederhana berbasis konsep sains.
- 4) Penyajian hasil dalam bentuk laporan atau presentasi.

Rancangan aktivitas ini disusun agar peserta didik terlibat aktif, berpikir sistematis, serta mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu dalam satu kesatuan pembelajaran.

3. Tahap *Develop* (Pengembangan)

Tahap pengembangan merupakan tahap lanjutan dari proses perancangan yang bertujuan untuk merealisasikan desain e-modul berbasis Eco-STEM terintegrasi proyek lingkungan menjadi produk nyata yang siap untuk diuji. Pada tahap ini, e-modul yang telah dirancang dikembangkan secara utuh dalam bentuk digital interaktif, kemudian dilakukan proses validasi oleh para ahli untuk menilai kelayakan produk dari segi isi, tampilan, dan keterpaduannya dengan pendekatan Eco-STEM.

Proses validasi dilakukan untuk memastikan bahwa e-modul telah memenuhi standar kelayakan isi, konstruksi pembelajaran, serta aspek teknis media pembelajaran digital. Hasil validasi selanjutnya digunakan

sebagai dasar dalam melakukan revisi dan penyempurnaan produk sebelum diimplementasikan pada tahap uji coba I dan uji coba II.

a. Uji Kevalidan

1) Validasi Modul

a) Validasi Konten

Validasi konten dilakukan untuk menilai kesesuaian materi dalam E-Modul berbasis eco-STEM dengan Capaian Pembelajaran (CP), tujuan pembelajaran, kedalaman konsep, akurasi ilmiah, keterpaduan pendekatan eco-STEM, serta relevansi proyek lingkungan dalam menstimulasi kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik SMA.

Penilaian dilakukan oleh dua orang ahli konten menggunakan instrumen validasi yang terdiri atas 15 aspek penilaian dengan skala 1–5. Hasil validasi konten disajikan sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil Validasi I Konten

Nilai	Interval	Kategori
88%	81%–100%	Sangat Valid

Berdasarkan hasil penilaian Validator I, modul memperoleh skor 66 dari skor maksimal 75 dengan persentase kevalidan sebesar 88% dan berada pada kategori sangat valid. ”. Meskipun telah memenuhi kriteria sangat valid, validator memberikan beberapa saran perbaikan untuk penyempurnaan isi materi.

Berdasarkan hasil validasi oleh validator I memberikan saran perbaikan, terutama terkait belum adanya kisi-kisi soal sebagai

dasar penyusunan instrumen evaluasi. Menindaklanjuti masukan tersebut, peneliti menambahkan kisi-kisi soal untuk memperkuat dasar penyusunan instrumen evaluasi. Hasil penilaian validator I beserta rincian skor penilaian disajikan secara lengkap pada lampiran 5. Angket Validasi Konten.



Sebelum

Gambar 13. Sebelum di perbaiki dari validator I

Kisi-Kisi Tes Kemampuan Berpikir Kritis (Facione, 2023)

NO	Indikator Berpikir Kritis	PERNYATAAN	Bentuk Soal	No. Soal
1	Interpretasi	Memahami makna data pengamatan (gelembung gas, bau, kekeruhan) selama pembuatan eco-enzyme	Uraian	1
2	Analisis	Mengidentifikasi hubungan sebab-akibat antara komposisi bahan, waktu fermentasi, dan kualitas eco-enzyme	Uraian	2
3	Evaluasi	Menilai kredibilitas klaim "eco-enzyme bisa atasi pencemaran sungai" berdasarkan bukti ilmiah	Uraian	3
4	Inferensi	Menarik kesimpulan dari data eksperimen: apakah eco-enzyme efektif mengurangi BOD limbah cair?	Uraian	4
5	Eksplanasi	Menjelaskan proses fermentasi dan peran mikroba dalam eco-enzyme secara ilmiah & logis	Uraian	5
6	Regulasi Diri	Merefleksi kelemahan desain eksperimen & memperbaiki proses berpikir	Terintegrasi dalam penilaian diri	-

E. Latihan Soal

- Siswa mencatat perubahan selama 30 hari: hari ke-7: bau alkohol, hari ke-14: gelembung gas, hari ke-30: cairan bening berbau asam. Jelaskan makna perubahan tersebut dalam konteks proses fermentasi.
Jawaban: _____
- Dua kelompok merancang campuran awal untuk pembuatan eco-enzyme dengan rasio bahan berbeda: Kelompok A menggunakan perbandingan 1:3:10 (gula : buah : air), sedangkan Kelompok B menggunakan perbandingan 1:1:10. Jelaskan secara ilmiah bagaimana perbedaan rasio gula dan buah dalam campuran awal dapat memengaruhi proses fermentasi yang akan terjadi nanti.
Jawaban: _____
- Ada pernyataan yang beredar: "Karena eco-enzyme terbuat dari bahan alami, maka aman digunakan untuk mengolah semua jenis limbah." Evaluasilah pernyataan tersebut berdasarkan prinsip keamanan dan kelayakan penggunaan eco-enzyme.
Jawaban: _____

UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP **Sesudah** KELAS X SEMESTER GENAP 28

Gambar 14. Setelah perbaikan dari validator I

Sebelum dilakukan revisi, versi awal e-modul belum dilengkapi dengan kisi-kisi kemampuan berpikir kritis sebagai dasar penyusunan instrumen evaluasi. Ketiadaan kisi-kisi tersebut menyebabkan indikator pembelajaran, level kognitif, dan bentuk soal belum terpetakan secara sistematis. Akibatnya, keterkaitan antara tujuan pembelajaran berbasis Eco-STEM dengan butir soal evaluasi belum sepenuhnya terjamin, khususnya dalam mengukur kemampuan berpikir kritis peserta didik. Setelah memperoleh masukan dari validator, dilakukan perbaikan dengan menambahkan kisi-kisi soal kemampuan berpikir kritis secara terstruktur. Kisi-kisi yang disusun memuat komponen indikator pembelajaran, materi pokok, level berpikir tingkat tinggi (HOTS), serta bentuk soal yang digunakan. Revisi ini bertujuan memastikan bahwa setiap butir soal

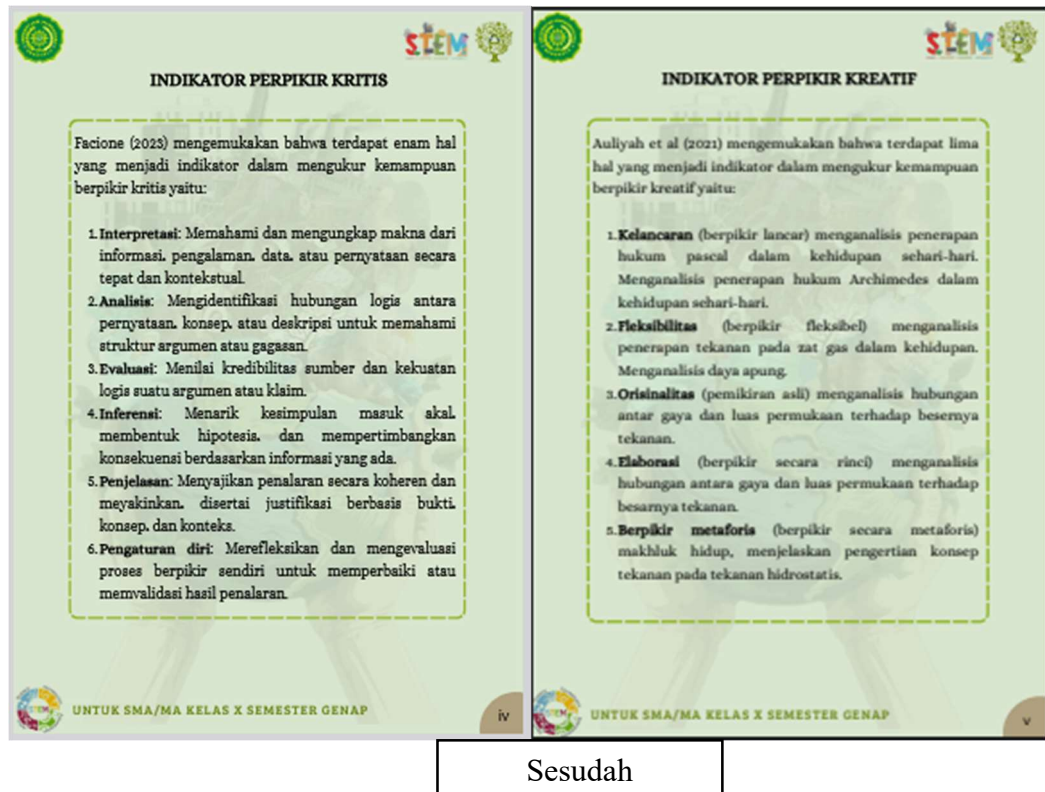
memiliki dasar pengembangan yang jelas dan selaras dengan capaian pembelajaran. Dengan adanya kisi-kisi tersebut, instrumen evaluasi menjadi lebih sistematis, terukur, dan mampu merepresentasikan aspek kognitif tingkat tinggi yang menjadi fokus dalam pembelajaran Eco-STEM.

Tabel 4.4 Validasi II Konten

Nilai	Interval	Kategori
96%	81%–100%	Sangat Valid

Hasil penilaian Validator II menunjukkan skor 72 dari skor maksimal 75 dengan persentase kevalidan sebesar 96% dan berada pada kategori sangat valid. Validasi ini dilakukan setelah e-modul direvisi berdasarkan masukan dari Validator I. Penilaian difokuskan pada kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran, ketepatan konsep ilmiah, kedalaman pembahasan, keterpaduan unsur STEM dalam proyek lingkungan, kelengkapan kisi-kisi soal, serta keselarasan evaluasi dengan indikator berpikir kritis dan kreatif.

Pada tahap validasi sebelumnya, Validator II melihat bahwa indikator keterampilan berpikir kritis dan kreatif pada bagian evaluasi belum dirumuskan. Oleh karena itu, pada tahap revisi peneliti menambahkan indikator berpikir kritis dan kreatif yang terintegrasi dalam tujuan pembelajaran. Hasil penilaian validator II beserta rincian skor penilaian disajikan secara lengkap pada lampiran 5. Angket Validasi Konten.



Gambar 15. Indikator berpikir kritis dan kreatif

Validasi oleh Validator II (ahli konten) dilakukan setelah e-modul direvisi berdasarkan masukan dari Validator I. Sebelum dilakukan perbaikan, e-modul belum memuat indikator kemampuan berpikir kritis dan kreatif secara eksplisit, sehingga pengukuran kemampuan berpikir tingkat tinggi belum terstruktur secara sistematis. Selain itu, keterkaitan antara capaian pembelajaran, aktivitas proyek, dan instrumen evaluasi masih perlu diperjelas.

Berdasarkan saran validator, dilakukan penambahan indikator berpikir kritis dan kreatif yang dirumuskan secara operasional serta disertai dengan kisi-kisi soal. Penilaian Validator II difokuskan pada kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran, ketepatan konsep ilmiah, kedalaman pembahasan, serta keterpaduan

unsur STEM dalam proyek lingkungan. Validator II menilai bahwa penyederhanaan pada bagian proyek Eco-Enzyme sudah tepat karena membuat kegiatan lebih terarah dan relevan dengan kompetensi yang dituju.

Validasi konten ini bertujuan menilai kesesuaian materi dalam e-modul berbasis Eco-STEM dengan Capaian Pembelajaran (CP), tujuan pembelajaran, akurasi ilmiah, kedalaman konsep, keterpaduan unsur sains, teknologi, rekayasa, dan matematika, serta relevansi proyek lingkungan dalam menstimulasi kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik SMA. Penilaian dilakukan oleh dua orang ahli konten menggunakan instrumen validasi yang memuat 15 aspek dengan rentang skala 1–5.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Validasi Konten oleh Dua Ahli

Validator	Skor	Persentase	Kategori
Validator I	66/75	88%	Sangat Valid
Validator II	72/75	96%	Sangat Valid
Total	138/150	92%	Sangat Valid

Berdasarkan tabel 4.5 diketahui bahwa total keseluruhan rekapitulasi validasi konten oleh dua ahli yaitu 92% yang berada pada kategori sangat valid. Secara keseluruhan, hasil validasi dua ahli konten menunjukkan adanya peningkatan kualitas substansi materi setelah proses revisi. E-Modul dinyatakan sangat layak dari aspek isi dan dapat dilanjutkan ke tahap uji coba untuk mengukur kepraktisan serta efektivitasnya dalam menstimulasi keterampilan berpikir kritis dan kreatif peserta didik SMA. Hasil rekapitulasi

validasi konten oleh para ahli tersebut disajikan secara lengkap pada lampiran 7. Analisis Data Validasi penelitian.

b) Validasi Media

Validasi media dilakukan untuk menilai kelayakan e-modul berbasis eco-STEM terintegrasi proyek lingkungan dari aspek desain tampilan, kualitas teknis dan visual, konsistensi tata letak, navigasi, keterbacaan, interaktivitas, serta keterpaduan unsur STEM dalam format digital.

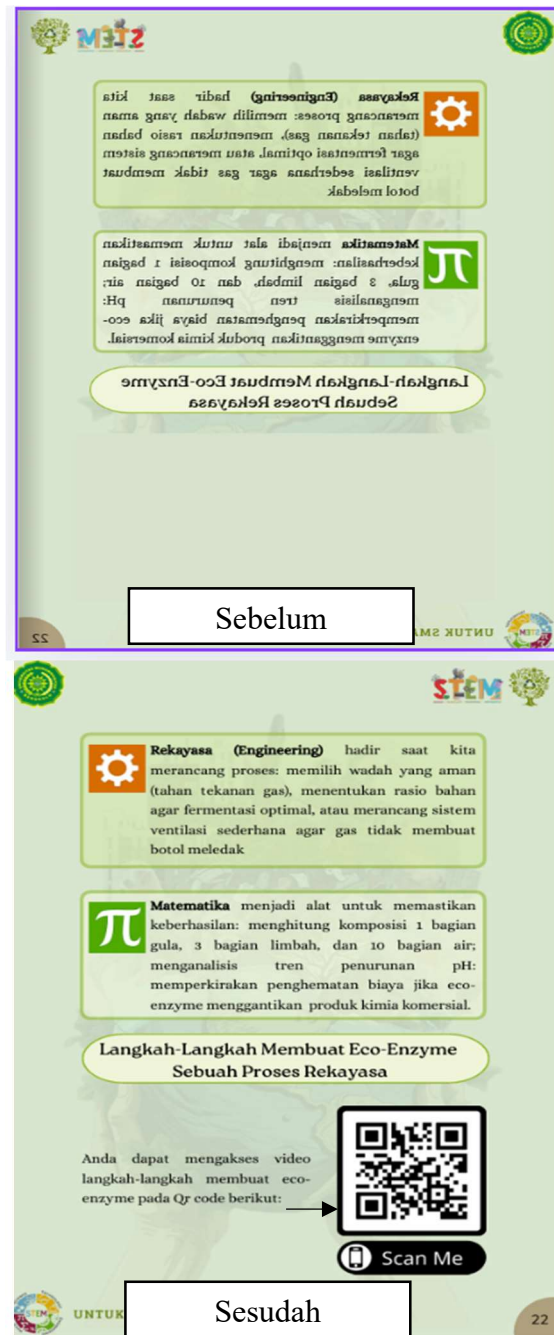
Penilaian dilakukan oleh tiga orang ahli media menggunakan instrumen validasi yang terdiri atas 12 aspek penilaian dengan skala 1–5. Hasil validasi media disajikan sebagai berikut.

Tabel 4.6 Hasil Validasi I Media

Nilai	Interval	Kategori
95%	81%–100%	Sangat Valid

Berdasarkan hasil validasi yang dilakukan oleh Validator I sebagai ahli media, e-modul memperoleh skor total sebesar 57 dengan persentase validitas 95% dan termasuk dalam kategori sangat valid. Penilaian difokuskan pada aspek desain tampilan, kualitas teknis dan visual, konsistensi tata letak, navigasi, serta keterpaduan unsur STEM dalam e-modul terintegrasi proyek lingkungan. Meskipun telah memenuhi kriteria sangat valid, validator memberikan beberapa saran perbaikan untuk meningkatkan kualitas interaktivitas dan kekayaan media pembelajaran. Salah satu masukan utama adalah belum tersedianya video pembelajaran yang ditampilkan secara langsung dalam e-

modul. Pada versi awal, materi hanya disajikan dalam bentuk teks, gambar, dan penugasan proyek tanpa dukungan media audiovisual. Hasil penilaian validator media I beserta rincian skor dan saran perbaikan disajikan secara lengkap pada lampiran 6. Angket Validasi Media.



Gambar 16. Perbaikan dari validator media I

Berdasarkan hasil validasi yang dilakukan oleh Validator I sebagai ahli media, penilaian difokuskan pada aspek desain tampilan, kualitas teknis dan visual, konsistensi tata letak, navigasi, serta keterpaduan unsur STEM dalam e-modul terintegrasi proyek lingkungan. Validasi ini dilakukan pada versi awal produk sebelum dilakukan penyempurnaan fitur multimedia. Pada tahap ini, kode QR yang disertakan dalam modul berfungsi untuk mengakses langkah-langkah atau proses pembuatan eco-enzyme sebagai panduan visual dalam pelaksanaan proyek.


Menindaklanjuti saran tersebut, peneliti menambahkan video pembelajaran yang relevan dengan materi dan proyek lingkungan. Video disematkan dalam e-modul atau dihubungkan melalui tautan aktif agar mudah diakses siswa. Penambahan ini bertujuan memperjelas konsep, meningkatkan daya tarik pembelajaran, serta memperkuat integrasi aspek sains dan teknologi dalam pendekatan eco-STEM.

Tabel 4.7 Hasil Validasi II Media

Nilai	Interval	Kategori
100%	81%–100%	Sangat Valid

Berdasarkan hasil validasi oleh Validator II sebagai ahli media, e-modul memperoleh skor total sebesar 60 dengan persentase validitas 100% dan termasuk kategori sangat valid. Validasi ini dilakukan setelah e-modul mengalami revisi berdasarkan masukan sebelumnya.

Meskipun memenuhi kriteria yang sangat valid, validator menyarankan beberapa perbaikan untuk meningkatkan kualitas interaktivitas e-modul. Salah satu masukan utama adalah bahwa sebelum perbaikan, e-modul hanya dapat berupa QR yang hanya dapat discan, tetapi setelah perbaikan, QR dapat diklik langsung dan dapat mengakses semua QR yang ada. Hasil penilaian validator II beserta rincian skor penilaian disajikan secara lengkap pada lampiran 6. Angket Validasi Media.




E. Penilaian Diri


Nama : _____

Kelas : _____

Materi : Pencemaran Lingkungan (Dampak & Solusi)

Tanggal : _____




SCAN ME


Berilah tanda centang (✓) pada pernyataan yang paling sesuai dengan dirimu, lalu jawab pertanyaan refleksi di akhir.

NO	PERNYATAAN	SERING	KADANG - KADANG	JARANG
1	Saya dapat menjelaskan minimal 3 jenis pencemaran (udara, air, tanah) beserta contoh penyebabnya.			
2	Saya memahami hubungan antara aktivitas manusia (misal: membuang sampah sembarangan, membakar lahan) dengan dampak lingkungan (banjir, kabut asap, kematian ikan).			
3	Saya bisa menyebutkan minimal 2 solusi konkret untuk mengurangi pencemaran di lingkungan sekolah/rumah (misal: pilah sampah, kompos, hemat listrik).			
4	Saya bisa menyebutkan minimal 2 solusi konkret untuk mengurangi pencemaran di lingkungan sekolah/rumah (misal: pilah sampah, kompos, hemat listrik).			
5	Saya tertarik untuk terlibat dalam kegiatan nyata terkait pengurangan pencemaran (misal: bersih-bersih lingkungan, kampanye sampah, proyek eco-enzyme).			

Sebelum



UNTUK

14

E. Penilaian Diri

Nama : _____
 Kelas : _____
 Materi : Pencemaran Lingkungan (usia) _____
 Tanggal : _____

Berilah tanda centang (✓) pada pernyataan yang paling sesuai dengan dirimu, lalu jawab pertanyaan refleksi di akhir.

NO	PERNYATAAN	SERING	KADANG	
			KADANG	JARANG
1	Saya dapat menjelaskan minimal 3 jenis pencemaran (udara, air, tanah) beserta contoh penyebabnya.			
2	Saya memahami hubungan antara aktivitas manusia (misal: membuang sampah sembarangan, membakar lahan) dengan dampak lingkungan (banjir, kabut asap, kematian ikan).			
3	Saya bisa menyebutkan minimal 2 solusi konkret untuk mengurangi pencemaran di lingkungan sekolah/rumah (misal: pilah sampah, kompos, hemat listrik).			
4	Saya bisa menyebutkan minimal 2 solusi konkret untuk mengurangi pencemaran di lingkungan sekolah/rumah (misal: pilah sampah, kompos, hemat listrik).			
5	Saya tertarik untuk terlibat dalam kegiatan nyata terkait pengurangan pencemaran (misal: bersih-bersih lingkungan, kampanye sampah, proyek eco-enzyme).			

UNTUK SM **Sesudah** 14

Gambar 17. Perbaikan dari validator media II

Berdasarkan hasil validasi yang dilakukan oleh Validator II sebagai ahli media, penilaian difokuskan pada aspek desain tampilan, kualitas teknis dan visual, konsistensi tata letak, navigasi, keterbacaan, serta keterpaduan e-modul dengan pendekatan STEM terintegrasi proyek lingkungan. Validasi ini dilakukan setelah e-modul mengalami revisi berdasarkan masukan pada tahap sebelumnya, terutama terkait peningkatan interaktivitas dan kemudahan akses fitur digital.

Validator II memberikan apresiasi terhadap perbaikan aspek interaktivitas, terutama pada perubahan kode QR yang sebelumnya harus dipindai menjadi tautan aktif yang dapat langsung diakses. Perubahan ini dinilai meningkatkan efisiensi penggunaan e-modul serta memperkuat karakteristik bahan ajar digital yang responsif dan ramah pengguna. Selain itu, konsistensi desain, kombinasi warna,

serta sistematika penyajian materi dinilai telah selaras dengan prinsip pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi.

Tabel 4.8 Hasil Validasi III Media

Nilai	Interval	Kategori
98%	81%–100%	Sangat Valid

Berdasarkan hasil validasi oleh Validator III sebagai ahli media, e-modul memperoleh skor total sebesar 59 dengan persentase validitas 98% dan termasuk dalam kategori sangat valid.

Berdasarkan hasil validasi yang dilakukan oleh Validator III sebagai ahli media, diperoleh beberapa masukan terkait aspek interaktivitas dan kelengkapan fasilitas respons pada e-modul berbasis Eco-STEM terintegrasi proyek lingkungan. Salah satu temuan pada tahap validasi adalah bahwa pada versi awal e-modul belum tersedia ruang pengisian jawaban secara digital yang terintegrasi langsung dalam modul. Kondisi ini dinilai kurang optimal dalam mendukung karakteristik e-modul sebagai bahan ajar berbasis teknologi yang seharusnya memfasilitasi respons siswa secara langsung dan sistematis. Hasil penilaian validator III beserta rincian skor dan saran perbaikan disajikan secara lengkap pada lampiran 6. Angket Validasi Media.

D. Penugasan
Cermati berbagai gambar perubahan lingkungan di bawah ini:



Gambar 1. Tanah Longsor
Sumber. www.balipost.com



Gambar 2. Banjir
Sumber. www.dailymirror.lk



Gambar 3. Limbah Sampah
Sumber. envilife.co.id



Gambar 4. Asap Kendaraan
Sumber. aktual.com

1. Sebutkan faktor-faktor yang mengakibatkan perubahan lingkungan pada gambar 1, 2, 3 dan 4!
2. Jelaskan jenis pencemaran yang terjadi pada gambar 3 dan 4!
3. Jelaskan dampak perubahan lingkungan yang terjadi pada peristiwa di gambar 4 serta carilah alternatif penanggulangannya!
4. Dari keempat gambar, manakah yang menurutmu memiliki dampak paling serius terhadap kesehatan manusia dalam jangka panjang? Berikan alasanmu dengan membandingkan dampak langsung dan tidak langsung dari masing-masing gambar. Sertakan juga urutan prioritas penanganannya dan alasannya.

UNTUK SMA

Sebelum

13

D. Penugasan
Cermati berbagai gambar perubahan lingkungan di bawah ini:



Gambar 1. Tanah Longsor
Sumber. www.balipost.com



Gambar 2. Banjir
Sumber. www.dailymirror.lk



Gambar 3. Limbah Sampah
Sumber. envilife.co.id



Gambar 4. Asap Kendaraan
Sumber. aktual.com

1. Sebutkan faktor-faktor yang mengakibatkan perubahan lingkungan pada gambar 1, 2, 3 dan 4!
2. Jelaskan jenis pencemaran yang terjadi pada gambar 3 dan 4!
3. Jelaskan dampak perubahan lingkungan yang terjadi pada peristiwa di gambar 4 serta carilah alternatif penanggulangannya!
4. Dari keempat gambar, manakah yang menurutmu memiliki dampak paling serius terhadap kesehatan manusia dalam jangka panjang? Berikan alasanmu.

UNTUK SMA

Sesudah

SCAN ME



13

Gambar 18. Perbaikan dari validator media III

Menindaklanjuti saran dari validator ahli media, peneliti melakukan perbaikan dengan menambahkan fitur pengisian jawaban

berbasis kode QR pada bagian penugasan. Kode QR tersebut terhubung dengan lembar respons digital sehingga siswa dapat langsung memindai dan mengunggah jawaban mereka secara daring. Penambahan fitur ini tidak hanya meningkatkan aspek teknis dan visual e-modul, tetapi juga memperkuat integrasi unsur teknologi dalam pendekatan Eco-STEM.

Dengan adanya perbaikan tersebut, e-modul dinilai lebih interaktif, sistematis, dan sesuai dengan karakteristik pembelajaran abad ke-21. Produk yang dikembangkan dinyatakan layak untuk digunakan pada tahap uji coba pembelajaran guna menstimulasi keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa SMA.

Validasi media dilakukan untuk menilai kelayakan e-modul berbasis Eco-STEM terintegrasi proyek lingkungan dari aspek desain tampilan, kualitas teknis dan visual, konsistensi tata letak, navigasi, keterbacaan, interaktivitas, serta keterpaduan unsur STEM dalam format digital. Penilaian dilakukan oleh tiga orang ahli media menggunakan instrumen yang memuat 12 aspek dengan skala 1–5.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Validasi Media

Validator	Skor	Persentase	Kategori
Validator I	57/60	95%	Sangat Valid
Validator II	60/60	100%	Sangat Valid
Validator III	59/60	98%	Sangat Valid
Total	176/180	98%	Sangat Valid

Secara keseluruhan, persentase total validasi media sebesar 98% menunjukkan bahwa e-modul sangat layak dari aspek media dan siap digunakan pada tahap uji coba pembelajaran untuk

menstimulasi keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa SMA. Hasil rekapitulasi validasi konten oleh para ahli tersebut disajikan secara lengkap pada lampiran 7. Analisis Data Validasi penelitian.

2) Uji Kepraktisan

Uji kepraktisan dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan penggunaan, kejelasan petunjuk, kemenarikan tampilan, keterpaduan kegiatan proyek, serta kebermanfaatan e-modul berbasis eco-STEM terintegrasi proyek lingkungan dalam pembelajaran. Uji kepraktisan diukur melalui angket respons peserta didik yang diberikan setelah penggunaan e-modul dalam proses pembelajaran.

a) Respon Peserta didik

1) Uji Coba I/Uji Coba Terbatas

Uji coba I dilakukan dengan melibatkan 36 peserta didik pada satu kelas uji coba yaitu SMA Negeri 2 Kota Bengkulu. Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepraktisan awal e-modul sebelum diterapkan pada skala yang lebih luas. Setiap item pada angket respons diberi skor minimum 1 dan maksimum 4.

Tabel 4.10 Hasil Penilaian Angket Respons Peserta Didik Uji Coba I

Jumlah Peserta Didik	Skor Total	Skor Maksimal	Persentase (%)	Kategori
36	2782	2880	97%	Sangat Praktis

Berdasarkan tabel tersebut, diperoleh skor total sebesar 2782 dari skor maksimal 2880 dengan persentase kepraktisan sebesar 97%. Nilai tersebut berada pada interval 81%–100% dengan

kategori Sangat Praktis. Hasil ini menunjukkan bahwa e-modul berbasis eco-STEM yang dikembangkan mudah digunakan, menarik, serta membantu peserta didik dalam memahami materi dan melaksanakan proyek lingkungan secara sistematis. Berdasarkan tanggapan peserta didik, e-modul dinilai memiliki tampilan yang menarik, navigasi yang mudah diakses, petunjuk kegiatan yang jelas, serta fitur interaktif seperti tautan aktif dan QR code yang mendukung pembelajaran berbasis teknologi. Proyek lingkungan yang terintegrasi dengan permasalahan nyata juga membuat peserta didik lebih aktif, kreatif, dan terlibat dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, berdasarkan uji coba I, e-modul memenuhi kriteria sangat praktis dan layak dilanjutkan pada tahap uji coba II. Rekapitulasi hasil angket respons peserta didik pada uji coba I disajikan secara lengkap pada lampiran 10. Rekapitulasi Respon Siswa.

2) Uji Coba 2

Uji coba ini dilakukan untuk melihat uji kepraktisan dengan skala yang lebih besar yang dilakukan pada dua kelas di SMA Negeri 4 dan SMA Negeri 7 Kota Bengkulu. Secara keseluruhan, jumlah subjek pada tahap uji coba II sebanyak 104 peserta didik. Angket respons terdiri atas 20 butir pernyataan dengan rentang skor 1–4.

Tabel 4.11 Hasil Penilaian Angket Respons Peserta Didik Uji coba II

Jumlah Responden	Skor Total	Skor Maksimal	Persentase (%)	Kategori
68	5.055	5.440	93%	Sangat Praktis

Nilai persentase sebesar 93% berada pada interval 81%–100% dengan kategori Sangat Praktis. Secara umum, sebagian besar peserta didik memberikan penilaian pada skor tinggi (3 dan 4) di hampir seluruh aspek yang dinilai, meliputi kemudahan penggunaan, kejelasan petunjuk, keterpaduan kegiatan proyek, kemenarikan tampilan, serta kebermanfaatan e-modul dalam membantu pemahaman materi.

Hasil ini menunjukkan bahwa e-modul berbasis eco-STEM terintegrasi proyek lingkungan dapat digunakan secara efektif pada skala yang lebih luas. Peserta didik menilai e-modul mudah diakses, sistematis, dan mendorong keterlibatan aktif dalam pembelajaran berbasis proyek. Dengan demikian, berdasarkan hasil uji coba II, e-modul yang dikembangkan memenuhi kriteria sangat praktis dan layak diimplementasikan secara lebih luas dalam pembelajaran di SMA Negeri Kota Bengkulu. Rekapitulasi hasil angket respons peserta didik pada uji coba II disajikan secara lengkap pada lampiran 10. Rekapitulasi Respon Siswa.

b) Respon Guru

Uji kepraktisan tidak hanya melibatkan peserta didik, tetapi juga melibatkan guru sebagai praktisi pembelajaran untuk menilai

kelayakan dan kemudahan penggunaan e-modul berbasis eco-STEM terintegrasi proyek lingkungan. Penilaian dilakukan melalui angket respons guru yang terdiri atas 20 aspek dengan rentang skor 1–4.

Aspek yang dinilai meliputi kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran, kemudahan implementasi di kelas, kejelasan petunjuk, keterpaduan pendekatan STEM dengan proyek lingkungan, dukungan terhadap pengembangan keterampilan berpikir kritis dan kreatif, serta kemenarikan dan kebermanfaatan e-modul dalam pembelajaran.

1) Uji Coba I/Uji Coba Terbatas

Uji coba I melibatkan dua orang guru dari SMA Negeri 2 Kota Bengkulu sebagai responden. Hasil rekapitulasi angket respons guru dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.12 Hasil Penilaian Angket Respons Guru Uji Coba I

Jumlah Responden	Skor Total	Skor Maksimal	Persentase (%)	Kategori
2 Guru	153	160	96%	Sangat Praktis

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh skor total sebesar 153 dari skor maksimal 160 dengan persentase rata-rata sebesar 96%. Nilai tersebut berada pada interval 81%–100% dengan kategori Sangat Praktis. Secara rinci, guru pertama memberikan persentase sebesar 96%, sedangkan guru kedua memberikan persentase sebesar 95%.

Hasil ini menunjukkan bahwa e-modul berbasis eco-STEM terintegrasi proyek lingkungan telah sesuai dengan kebutuhan

pembelajaran, mudah diimplementasikan dalam proses pembelajaran, serta mendukung pelaksanaan proyek secara sistematis dan kontekstual. Guru juga menilai bahwa e-modul membantu memfasilitasi pembelajaran yang lebih aktif serta mendorong pengembangan keterampilan berpikir kritis dan kreatif peserta didik. Dengan demikian, berdasarkan respons guru pada uji coba I, e-modul dinyatakan sangat praktis dan layak untuk dilanjutkan pada tahap uji coba II. Rincian hasil angket respons guru pada uji coba I disajikan secara lengkap pada lampiran 11. Rekapitulasi Respon Guru.

2) Uji Coba II

Uji coba II melibatkan empat orang guru dengan masing-masing 2 guru dari SMA Negeri 4 Kota Bengkulu dan dari 2 guru dari SMA 7 Kota Bengkulu. Penilaian dilakukan menggunakan angket dengan 20 butir pernyataan dan rentang skor 1–4.

Tabel 4.13 Hasil Penilaian Angket Respons Guru Uji Coba II

Jumlah Responden	Skor Total	Skor Maksimal	Persentase (%)	Kategori
4 Guru	309	320	97%	Sangat Praktis

Nilai 97% berada pada interval 81%–100% dengan kategori Sangat Praktis. Secara rinci, guru pertama memperoleh persentase 100%, guru kedua 95%, guru ketiga 96%, dan guru keempat 95%. Seluruh responden memberikan penilaian pada kategori sangat praktis. Hasil ini menunjukkan bahwa e-modul berbasis eco-STEM terintegrasi proyek lingkungan sangat mudah digunakan, sistematis,

serta relevan dengan kebutuhan pembelajaran di SMA. Guru menilai e-modul mampu mendukung implementasi pembelajaran berbasis proyek, mempermudah pengelolaan kegiatan kelas, serta meningkatkan keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, berdasarkan hasil uji coba II dari respons guru, e-modul yang dikembangkan dinyatakan sangat praktis dan layak digunakan secara lebih luas dalam pembelajaran. Rincian hasil angket respons guru pada uji coba II disajikan secara lengkap pada lampiran 11. Rekapitulasi Respon Guru.

5. Tahap Evaluasi (*Evaluation*)

Tahap evaluasi merupakan fase akhir dalam penelitian pengembangan yang berfungsi sebagai mekanisme verifikasi terhadap kualitas, kelayakan, dan efektivitas e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan. Penilaian dilakukan berdasarkan tiga indikator utama pengembangan yaitu:

- 1) Aspek kevalidan diperoleh melalui validasi ahli konten dan ahli media. Validasi ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran, ketepatan konsep ilmiah, integrasi pendekatan STEM, serta kelayakan tampilan dan sistematika penyajian. Hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul berada pada kategori sangat valid, yang berarti secara substansi dan desain telah memenuhi standar kelayakan bahan ajar.
- 2) Aspek kepraktisan diukur melalui angket respons guru dan peserta didik setelah penggunaan e-modul dalam pembelajaran. Hasil

respons menunjukkan kategori sangat praktis, yang mengindikasikan bahwa produk mudah digunakan, sistematis, menarik, serta mendukung aktivitas pembelajaran berbasis proyek secara efektif.

- 3) Aspek keterlaksanaan dan efektivitas ditinjau melalui observasi proses pembelajaran dan analisis hasil belajar. Implementasi e-modul menunjukkan bahwa pembelajaran menjadi lebih terstruktur, kontekstual, dan partisipatif. Peserta didik terlibat aktif dalam kegiatan investigatif, diskusi analitis, serta penyelesaian proyek lingkungan yang menuntut integrasi konsep sains, teknologi, rekayasa, dan matematika.

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung persentase skor berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan. Interpretasi dilakukan secara sistematis untuk mengidentifikasi keunggulan, efektivitas penggunaan, serta aspek yang memerlukan penyempurnaan. Saran dari validator dan pengguna dijadikan dasar dalam melakukan revisi akhir produk, sehingga e-modul yang dihasilkan benar-benar siap untuk diimplementasikan secara lebih luas.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan telah memenuhi kriteria sangat valid dan sangat praktis, serta efektif dalam mendukung penguatan keterampilan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif peserta didik. Temuan ini menegaskan bahwa

pengembangan produk tidak hanya berhasil secara teknis, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan kualitas proses pembelajaran.

Dengan demikian, secara akademik dan empiris, e-modul yang dikembangkan layak direkomendasikan sebagai bahan ajar inovatif di tingkat SMA. Produk ini memiliki relevansi teoritis dalam mendukung pembelajaran berbasis STEM dan relevansi praktis dalam menjawab tantangan pembelajaran abad ke-21 yang berorientasi pada pemecahan masalah lingkungan secara berkelanjutan.

B. Pembahasan Hasil Penelitian

1. Proses dan Hasil Pengembangan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan

Proses pengembangan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan dilakukan secara sistematis melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Tahapan tersebut bertujuan menghasilkan bahan ajar yang tidak hanya layak secara isi dan media, tetapi juga mampu memfasilitasi pengembangan kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik secara terstruktur. Integrasi pendekatan STEM terbukti mampu meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi karena pembelajaran menekankan penyelesaian masalah nyata dan penerapan konsep secara kontekstual (Komalasari *et al.*, 2024).

Pada tahap analisis kebutuhan, pembelajaran diarahkan untuk membantu peserta didik memahami fenomena lingkungan secara komprehensif (Novitasari, 2023). Aktivitas dalam e-modul mendorong

siswa melakukan interpretasi terhadap data pencemaran, mengidentifikasi permasalahan, serta memahami makna dari fenomena yang terjadi di lingkungan sekitar. Kemampuan interpretasi merupakan komponen penting dalam berpikir kritis karena berkaitan dengan pemaknaan informasi, pengalaman, dan situasi yang dihadapi (Facione, 2023).

Tahap desain e-modul mengintegrasikan aktivitas STEM dalam bentuk proyek lingkungan yang menuntut keterlibatan aktif peserta didik dalam menganalisis masalah, mengkaji hubungan sebab akibat, serta mengidentifikasi solusi berbasis konsep sains dan teknologi. Aktivitas ini melatih kemampuan analisis peserta didik dalam memahami keterkaitan antara konsep ilmiah, data empiris, serta fenomena nyata. Pembelajaran berbasis proyek diketahui efektif meningkatkan keterampilan analitis dan kemampuan berpikir kritis karena peserta didik terlibat langsung dalam proses pemecahan masalah (Thio *et al.*, 2025).

Selain itu, e-modul dirancang untuk mengembangkan kemampuan evaluasi melalui kegiatan diskusi, pengamatan, dan penilaian terhadap solusi yang diajukan. Peserta didik dilatih menilai kredibilitas informasi, mempertimbangkan bukti, serta menentukan keputusan yang logis. Evaluasi merupakan inti dari berpikir kritis karena berkaitan dengan kemampuan menilai kekuatan argumen dan validitas informasi (Facione, 2023).

Kemampuan inferensi juga dikembangkan melalui aktivitas merumuskan hipotesis, menarik kesimpulan, dan memprediksi dampak dari solusi yang dirancang. Pembelajaran STEM berbasis proyek terbukti

mampu meningkatkan kemampuan siswa dalam menyusun penalaran dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti empiris (Komalasari *et al.*, 2024).

Selanjutnya, kemampuan penjelasan difasilitasi melalui kegiatan presentasi hasil proyek dan penyusunan laporan. Peserta didik diminta menjelaskan proses penalaran serta mempertahankan solusi yang dihasilkan secara argumentatif. Kegiatan ini penting karena kemampuan menjelaskan merupakan bentuk konkret dari berpikir kritis yang menuntut penyajian argumen secara logis dan sistematis (Facione, 2023).

Pada aspek pengaturan diri, e-modul menyediakan refleksi pembelajaran yang mendorong peserta didik mengevaluasi proses berpikir, kesalahan, serta strategi yang digunakan dalam menyelesaikan masalah. Kemampuan ini berperan dalam membangun kesadaran metakognitif sehingga siswa mampu mengontrol proses belajar secara mandiri (Facione, 2023).

Selain berpikir kritis, pengembangan e-modul juga diarahkan untuk meningkatkan kemampuan berpikir kreatif. Aktivitas pembelajaran dirancang agar siswa mampu menghasilkan berbagai ide solusi terhadap permasalahan lingkungan. Kemampuan kelancaran dan fleksibilitas dikembangkan melalui kegiatan analisis fenomena lingkungan dari berbagai sudut pandang. Pembelajaran berbasis STEM-project terbukti efektif meningkatkan kreativitas karena memberikan ruang eksplorasi dan eksperimen kepada peserta didik (Widiyono & Ghufro, 2024).

Kemampuan orisinalitas muncul ketika siswa diminta merancang solusi berbasis konsep ilmiah secara mandiri, sedangkan elaborasi

dikembangkan melalui kegiatan pengembangan ide menjadi rencana tindakan yang rinci. Kreativitas siswa meningkat ketika pembelajaran menempatkan mereka sebagai pemecah masalah yang aktif dalam konteks nyata (Purmana *et al.*, 2024).

Secara keseluruhan, hasil pengembangan menunjukkan bahwa e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan mampu menjadi sarana pembelajaran yang relevan dengan tuntutan abad ke-21. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep, tetapi juga mendorong keterampilan berpikir kritis dan kreatif melalui pengalaman belajar yang kontekstual, kolaboratif, dan berbasis pemecahan masalah. Integrasi STEM dan proyek lingkungan menjadikan pembelajaran lebih bermakna karena peserta didik terlibat langsung dalam mengkaji fenomena nyata serta merancang solusi yang aplikatif (Thio *et al.*, 2025).

2. Tingkat Kevalidan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan

Tingkat kevalidan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan pada penelitian ini dianalisis berdasarkan tem division empiris hasil validasi instrumen, validasi desain, validasi ahli media, dan validasi ahli konten. Pembahasan ini menekankan keterkaitan antara data penelitian dengan landasan teoretis pengembangan bahan ajar digital serta prinsip validitas dalam penelitian pengembangan.

Berdasarkan hasil penelitian, seluruh instrumen yang digunakan dalam pengembangan e-modul memperoleh persentase validitas di atas 90%, yaitu lembar validasi ahli media sebesar 98%, lembar validasi ahli

konten sebesar 92%, angket respon peserta didik sebesar 90%, serta angket respon guru sebesar 96%. Temuan ini menunjukkan bahwa instrumen yang digunakan telah memenuhi kriteria sangat valid dan layak digunakan untuk mengukur kualitas produk pengembangan. Validitas instrumen menjadi langkah awal yang penting karena menentukan ketepatan data yang diperoleh dalam proses pengembangan produk pembelajaran (Sugiyono, 2022).

Hasil validasi desain oleh ahli media menunjukkan persentase sebesar 88% dengan kategori sangat valid. Nilai tersebut menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi aspek desain tampilan, kualitas teknis, keterpaduan media dengan pendekatan Eco-STEM, serta kemenarikan visual. Desain visual yang baik menjadi komponen penting dalam bahan ajar digital karena memengaruhi keterbacaan, kenyamanan belajar, serta keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran berbasis teknologi (Branch, 2020).

Validasi ahli media yang dilakukan secara bertahap oleh tiga validator menunjukkan peningkatan kualitas e-modul setelah dilakukan revisi. Validator pertama memberikan persentase validitas sebesar 95% dengan saran penambahan video pembelajaran untuk memperkuat visualisasi konsep. Setelah revisi dilakukan, validator kedua memberikan penilaian sebesar 100% dengan kategori sangat valid, terutama pada aspek interaktivitas, navigasi, dan kemudahan akses. Validator ketiga memberikan persentase sebesar 98% dengan saran penambahan fitur respons digital melalui kode QR agar siswa dapat mengunggah jawaban secara langsung.

Hasil ini menunjukkan bahwa proses revisi berbasis masukan ahli berperan penting dalam meningkatkan kualitas produk pengembangan (Tessmer, 2019).

Secara keseluruhan, analisis akhir validasi ahli media menunjukkan persentase rata-rata sebesar 98% dengan kategori sangat valid. Hal ini mengindikasikan bahwa e-modul telah memenuhi standar media pembelajaran digital dari aspek tampilan, navigasi, interaktivitas, serta integrasi unsur STEM dalam proyek lingkungan. Media pembelajaran yang valid secara teknis dan visual mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik serta mendukung pembelajaran yang lebih efektif dan bermakna (Mayer, 2023).

Pada aspek materi, hasil validasi menunjukkan persentase rata-rata sebesar 92% dengan kategori sangat valid. Validator pertama memberikan nilai 88% dan menyarankan penambahan kisi-kisi soal agar kesesuaian antara indikator pembelajaran, materi, dan evaluasi lebih sistematis. Setelah dilakukan revisi, validator kedua memberikan penilaian sebesar 96% dan menyatakan bahwa materi telah sesuai dengan capaian pembelajaran, ketepatan konsep ilmiah, kedalaman pembahasan, serta keterpaduan pendekatan STEM.

Tingkat validitas materi yang tinggi menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi kriteria kelayakan isi, yaitu kesesuaian materi dengan kurikulum, ketepatan konsep ilmiah, serta keterpaduan dengan tujuan pembelajaran. Validitas isi merupakan indikator utama dalam

pengembangan bahan ajar karena berkaitan langsung dengan kualitas pembelajaran dan pemahaman konsep peserta didik (Nieveen, 2023).

Selain itu, keselarasan materi dengan indikator kemampuan berpikir kritis dan kreatif juga menjadi bagian penting dalam validasi. Soal evaluasi, aktivitas proyek, serta lembar diskusi dirancang untuk melatih kemampuan interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, penjelasan, dan pengaturan diri sebagaimana indikator berpikir kritis, serta kelancaran ide, fleksibilitas, orisinalitas, elaborasi, dan berpikir metaforis pada indikator kreativitas. Keterpaduan ini menunjukkan bahwa e-modul tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Facione, 2023).

Temuan penelitian ini memperlihatkan bahwa proses validasi yang dilakukan secara bertahap memberikan kontribusi nyata terhadap penyempurnaan produk. Revisi yang dilakukan berdasarkan saran validator, seperti perbaikan tata letak, penambahan video, penyempurnaan instruksi proyek, serta penyusunan kisi-kisi evaluasi, memperkuat kualitas e-modul baik dari aspek media maupun materi. Hal ini sejalan dengan prinsip penelitian pengembangan yang menekankan bahwa produk yang valid diperoleh melalui proses evaluasi dan revisi berkelanjutan (Branch, 2020)

Dengan demikian, berdasarkan hasil validasi instrumen, validasi desain, validasi ahli media, dan validasi ahli konten, e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang dikembangkan dalam penelitian ini dinyatakan memiliki tingkat kevalidan sangat tinggi. Produk telah memenuhi standar kelayakan isi, konstruk pembelajaran, serta media digital

sehingga layak digunakan dalam pembelajaran untuk menstimulasi kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik SMA.

3. Tingkat Kepraktisan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan

Kepraktisan merupakan indikator penting dalam penelitian pengembangan karena menunjukkan sejauh mana produk mudah digunakan, dipahami, dan diterapkan dalam situasi pembelajaran nyata. E-modul yang praktis tidak hanya mudah dioperasikan, tetapi juga mampu mendukung proses pembelajaran secara efektif, efisien, serta sesuai dengan karakteristik pengguna, baik peserta didik maupun guru.

Berdasarkan hasil uji coba I dan uji coba II, e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan menunjukkan tingkat kepraktisan yang sangat tinggi. Hasil angket respons peserta didik pada uji coba I memperoleh persentase sebesar 97% dengan kategori sangat praktis. Sementara itu, respons guru pada tahap yang sama memperoleh persentase sebesar 96% dengan kategori sangat praktis. Pada uji coba II, tingkat kepraktisan e-modul tetap konsisten tinggi, yaitu 93% berdasarkan respons peserta didik dan 97% berdasarkan respons guru. Temuan ini menunjukkan bahwa e-modul tidak hanya praktis pada skala kecil, tetapi juga stabil digunakan pada skala yang lebih luas.

Tingginya tingkat kepraktisan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor utama. Pertama, e-modul dirancang dengan tata letak yang sistematis dan navigasi yang jelas sehingga memudahkan peserta didik mengikuti alur pembelajaran. Struktur kegiatan yang dimulai dari identifikasi masalah,

eksplorasi konsep, perancangan solusi, hingga refleksi menjadikan proses belajar lebih terarah dan mudah dipahami. Prinsip desain pembelajaran yang terstruktur diketahui mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik dan memudahkan proses belajar mandiri (Mayer, 2021).

Kedua, integrasi proyek lingkungan yang kontekstual membuat peserta didik lebih mudah memahami materi karena berkaitan langsung dengan kehidupan sehari-hari. Pembelajaran yang kontekstual terbukti meningkatkan motivasi belajar serta keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran (Hadi & Nurhayati, 2022). Melalui proyek yang berbasis permasalahan nyata, peserta didik tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mengaplikasikan pengetahuan secara langsung dalam bentuk solusi sederhana.

Ketiga, penggunaan media digital interaktif dalam e-modul mendukung fleksibilitas belajar. Fitur navigasi, visualisasi materi, dan integrasi tautan atau kode respons digital memungkinkan peserta didik belajar secara mandiri maupun kolaboratif. Bahan ajar digital yang interaktif terbukti meningkatkan kemudahan penggunaan serta efektivitas pembelajaran karena memberikan pengalaman belajar yang lebih dinamis (Prasetyo & Sari, 2023).

Keempat, e-modul dirancang sesuai dengan karakteristik pembelajaran berbasis STEM yang menekankan eksplorasi, pemecahan masalah, dan rekayasa sederhana. Model pembelajaran STEM secara umum memfasilitasi pengalaman belajar yang aktif dan aplikatif sehingga lebih mudah diterapkan dalam kegiatan kelas (Bybee, 2020). Integrasi unsur

sains, teknologi, rekayasa, dan matematika dalam satu kegiatan proyek membuat pembelajaran lebih terpadu dan mudah dipahami oleh peserta didik.

Respons positif guru juga menunjukkan bahwa e-modul praktis digunakan dalam pembelajaran. Guru menilai bahwa e-modul membantu dalam merancang kegiatan proyek, menyampaikan materi secara sistematis, serta memfasilitasi keterampilan berpikir kritis dan kreatif peserta didik. Ketersediaan panduan penggunaan dan instruksi yang jelas memudahkan guru dalam mengimplementasikan e-modul tanpa memerlukan penyesuaian yang kompleks. Bahan ajar yang praktis umumnya memiliki karakteristik mudah diadaptasi, fleksibel, dan mendukung kegiatan pembelajaran berbasis aktivitas (Arsyad, 2020).

Kepraktisan e-modul juga terlihat dari kemampuan peserta didik mengikuti seluruh tahapan pembelajaran secara mandiri maupun kolaboratif. Peserta didik mampu memahami instruksi, mengerjakan tugas proyek, serta melakukan analisis data tanpa mengalami kesulitan berarti. Hal ini menunjukkan bahwa desain e-modul telah sesuai dengan tingkat perkembangan kognitif peserta didik SMA yang berada pada tahap operasional formal, sehingga mampu berpikir logis dan sistematis (Slavin, 2021).

Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan e-modul mendorong interaksi aktif antara peserta didik, guru, dan lingkungan belajar. Keterlibatan aktif tersebut menjadi indikator bahwa bahan ajar tidak hanya praktis digunakan, tetapi juga mampu mendukung

pembelajaran yang bermakna. Pembelajaran bermakna terjadi ketika peserta didik terlibat langsung dalam proses eksplorasi, refleksi, dan pemecahan masalah (Novak, 2020).

Secara keseluruhan, tingkat kepraktisan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan berada pada kategori sangat praktis baik pada uji terbatas maupun uji coba II. Hal ini menunjukkan bahwa e-modul mudah digunakan, menarik, sistematis, serta relevan dengan kebutuhan pembelajaran Biologi di SMA. Kepraktisan tersebut juga memperlihatkan bahwa produk yang dikembangkan tidak hanya layak secara teoritis, tetapi juga aplikatif dalam situasi pembelajaran nyata.

Dengan demikian, e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan memiliki potensi tinggi untuk digunakan sebagai bahan ajar digital yang mendukung pembelajaran kontekstual, aktif, dan berorientasi pada pengembangan keterampilan abad ke-21, khususnya kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik. Temuan ini memperkuat bahwa bahan ajar yang dirancang berbasis kebutuhan, kontekstual, serta didukung teknologi digital cenderung memiliki tingkat kepraktisan yang tinggi dan mudah diimplementasikan dalam berbagai konteks pembelajaran.

4. Kepraktisan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan terhadap Kemampuan Berpikir Kritis dan Kreatif Peserta Didik

Kepraktisan e-modul yang ditunjukkan melalui kemudahan penggunaan, kejelasan instruksi, serta kemenarikan tampilan terbukti mendukung proses pengembangan kemampuan berpikir kritis peserta didik.

Berdasarkan indikator berpikir kritis yang dikemukakan oleh (Facione, 2023), aktivitas pembelajaran dalam e-modul telah memfasilitasi proses interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, penjelasan, dan pengaturan diri secara sistematis.

Pada aspek interpretasi, peserta didik mampu memahami makna permasalahan pencemaran lingkungan melalui penyajian kasus kontekstual, gambar, serta data yang disediakan dalam e-modul. Proses ini membantu peserta didik menafsirkan informasi berdasarkan pengalaman dan fenomena nyata di lingkungan sekitar. Selanjutnya, pada aspek analisis, peserta didik dilatih mengidentifikasi hubungan sebab-akibat antara aktivitas manusia dan dampak pencemaran melalui kegiatan observasi, diskusi, dan eksplorasi konsep sains.

Indikator evaluasi terlihat ketika peserta didik menilai efektivitas solusi yang dirancang dalam proyek, seperti pembuatan alat penyaring air atau pengelolaan sampah sederhana. Peserta didik membandingkan hasil percobaan dan mempertimbangkan kelebihan serta keterbatasan solusi yang dikembangkan. Pada tahap inferensi, peserta didik mampu menarik kesimpulan dari data hasil eksperimen serta merumuskan dugaan atau alternatif solusi terhadap permasalahan lingkungan yang dikaji.

Kemampuan penjelasan tercermin dari aktivitas presentasi hasil proyek dan diskusi kelompok, di mana peserta didik menyampaikan alasan pemilihan solusi serta menjelaskan hubungan antara konsep sains dan penerapannya secara logis dan sistematis. Sementara itu, indikator pengaturan diri terlihat pada kegiatan refleksi pembelajaran yang

memungkinkan peserta didik mengevaluasi proses berpikir, menilai hasil kerja, serta memperbaiki strategi penyelesaian masalah yang dilakukan.

Selain kemampuan berpikir kritis, kepraktisan e-modul juga berdampak terhadap berkembangnya kemampuan berpikir kreatif peserta didik. Berdasarkan indikator berpikir kreatif menurut (Auliyah *et al*, 2021), kegiatan proyek dalam e-modul memberikan ruang bagi peserta didik untuk menghasilkan berbagai ide solusi terhadap masalah pencemaran lingkungan. Pada aspek kelancaran, peserta didik mampu mengemukakan banyak gagasan alternatif dalam mengatasi permasalahan lingkungan yang disajikan.

Pada aspek fleksibilitas, peserta didik menunjukkan kemampuan menggunakan berbagai pendekatan dalam menyelesaikan proyek, baik melalui eksperimen, diskusi, maupun analisis data. Indikator orisinalitas tampak pada variasi rancangan solusi yang dihasilkan setiap kelompok, yang menunjukkan adanya ide-ide baru dan berbeda. Selanjutnya, pada aspek elaborasi, peserta didik mampu mengembangkan ide secara rinci melalui perencanaan proyek, pengolahan data, dan penyusunan laporan kegiatan.

Adapun indikator berpikir metaforis terlihat ketika peserta didik mengaitkan konsep ilmiah dengan fenomena kehidupan sehari-hari, misalnya menjelaskan proses pencemaran melalui analogi sederhana yang mudah dipahami. Hal ini menunjukkan kemampuan peserta didik dalam mengonstruksi pemahaman secara kreatif dan kontekstual.

Dengan demikian, kepraktisan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan tidak hanya ditunjukkan oleh kemudahan penggunaan dan respons positif dari peserta didik serta guru, tetapi juga oleh kontribusinya dalam memfasilitasi perkembangan indikator berpikir kritis dan kreatif. Temuan ini menegaskan bahwa e-modul yang dikembangkan tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga efektif secara pedagogis dalam mendukung pembelajaran yang berorientasi pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi peserta didik.

5. Keunggulan Dan Kelemahan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan

Kepraktisan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan tidak hanya tercermin dari kemudahan penggunaan dan kemenarikan tampilan, tetapi juga dari efektivitasnya dalam meningkatkan kemampuan berpikir peserta didik. Hasil uji paired sample t-test menunjukkan adanya peningkatan signifikan antara nilai pretest dan posttest pada kedua kelas, yang menegaskan efektivitas produk secara empiris (Creswell & Creswell, 2023). Temuan ini memperlihatkan bahwa desain pembelajaran yang sistematis dan berbasis evaluasi mampu memberikan dampak nyata terhadap hasil belajar.

E-modul ini memfasilitasi indikator berpikir kritis meliputi interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, penjelasan, dan pengaturan diri sebagaimana ditegaskan oleh Facione (2023). Melalui penyajian kasus pencemaran lingkungan yang kontekstual dan kegiatan proyek eco enzyme, peserta didik dilatih menganalisis hubungan sebab-akibat, mengevaluasi

efektivitas solusi, menarik kesimpulan berbasis data, serta melakukan refleksi terhadap proses berpikirnya. Proses tersebut sejalan dengan pandangan bahwa pembelajaran berbasis masalah dan kontekstual mampu memperkuat kualitas penalaran dan kesadaran metakognitif peserta didik (Bailin *et al.*, 2021).

Selain itu, e-modul juga berkontribusi terhadap pengembangan kemampuan berpikir kreatif yang mencakup kelancaran, fleksibilitas, orisinalitas, dan elaborasi gagasan. Aktivitas proyek berbasis STEM mendorong peserta didik menghasilkan solusi inovatif melalui eksplorasi bahan, modifikasi desain, dan pengembangan laporan secara sistematis. Hal ini sejalan dengan teori kreativitas kontemporer yang menegaskan bahwa pembelajaran autentik dan kolaboratif mampu menstimulasi kapasitas inovatif peserta didik (Plucker *et al.*, 2022). Integrasi pendekatan STEM dalam konteks lingkungan juga memperkuat keterkaitan multidisipliner yang relevan dengan tantangan abad ke-21.

Keunggulan e-modul ini terletak pada integrasi STEM yang kontekstual, keselarasan antara indikator berpikir tingkat tinggi dan instrumen evaluasi, desain interaktif yang mendukung pembelajaran mandiri, serta efektivitas pedagogis yang terbukti secara statistik. Namun, terdapat beberapa kelemahan, antara lain ketergantungan pada kesiapan perangkat digital dan akses internet, kebutuhan pendampingan guru dalam pengelolaan proyek, serta keterbatasan waktu pembelajaran yang dapat memengaruhi kedalaman eksplorasi materi (Hew *et al.*, 2022). Secara keseluruhan, kepraktisan e-modul ini tidak hanya memenuhi aspek teknis

penggunaan, tetapi juga memiliki landasan teoretis mutakhir dan kontribusi empiris dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik secara signifikan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengembangan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan untuk menstimulasi kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik SMA, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Proses dan hasil pengembangan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan

Pengembangan e-modul dilaksanakan melalui tahapan model ADDIE yang meliputi analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Tahap analisis menunjukkan adanya kebutuhan bahan ajar digital yang kontekstual, interaktif, dan mampu mengintegrasikan pendekatan STEM dengan proyek lingkungan. Tahap desain menghasilkan rancangan e-modul berbasis Eco-STEM yang sistematis, memuat kegiatan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika yang terintegrasi dengan permasalahan pencemaran lingkungan. Tahap pengembangan menghasilkan produk e-modul digital yang dilengkapi materi kontekstual, aktivitas proyek, eksperimen sederhana, lembar diskusi, refleksi, serta evaluasi berbasis kemampuan berpikir kritis dan kreatif. Hasil pengembangan menunjukkan bahwa e-modul yang dihasilkan relevan dengan capaian pembelajaran, karakteristik peserta didik, serta kebutuhan pembelajaran abad ke-21.

2. Tingkat kevalidan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan

Berdasarkan hasil validasi oleh ahli media dan ahli konten, e-modul yang dikembangkan berada pada kategori sangat valid. Validasi ahli media menunjukkan persentase kelayakan sebesar 98%, sedangkan validasi ahli konten memperoleh persentase sebesar 92%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi aspek kelayakan isi, ketepatan konsep, sistematika penyajian, kualitas visual, navigasi, interaktivitas, serta keterpaduan pendekatan STEM dalam proyek lingkungan. Dengan demikian, e-modul dinyatakan layak digunakan sebagai bahan ajar digital dalam pembelajaran biologi.

3. Tingkat kepraktisan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan

Kepraktisan e-modul ditinjau melalui uji coba I dan uji coba II yang melibatkan peserta didik dan guru. Pada uji coba I, respons peserta didik memperoleh persentase 97% dengan kategori sangat praktis, sedangkan respons guru mencapai 96% dengan kategori sangat praktis. Pada uji coba II, respons peserta didik menunjukkan persentase 93% dan respons guru sebesar 97%, keduanya berada pada kategori sangat praktis. Hasil tersebut menunjukkan bahwa e-modul mudah digunakan, memiliki instruksi yang jelas, tampilan menarik, serta mendukung pelaksanaan pembelajaran berbasis proyek secara sistematis.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Bagi Peserta didik

Peserta didik disarankan memanfaatkan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan secara optimal, baik secara mandiri maupun kolaboratif. Penggunaan e-modul hendaknya tidak hanya berfokus pada penyelesaian tugas, tetapi juga pada proses eksplorasi konsep, analisis permasalahan, serta pengembangan ide-ide kreatif dalam merancang solusi terhadap persoalan lingkungan. Melalui keterlibatan aktif dalam kegiatan berbasis proyek, peserta didik diharapkan terus melatih kemampuan berpikir kritis dan kreatif sebagai keterampilan esensial dalam menghadapi tantangan abad ke-21.

2. Bagi Guru

Guru disarankan menjadikan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan sebagai alternatif bahan ajar inovatif yang mendukung pembelajaran kontekstual dan berorientasi pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Guru dapat menyesuaikan pelaksanaan proyek dengan kondisi lingkungan sekolah serta karakteristik peserta didik agar pembelajaran lebih efektif dan bermakna. Selain itu, guru diharapkan terus mengembangkan strategi pembelajaran berbasis STEM yang terintegrasi dengan isu lingkungan guna memperkuat kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik secara berkelanjutan.

3. Bagi sekolah

Sekolah disarankan mendukung penggunaan bahan ajar digital berbasis STEM dengan menyediakan fasilitas teknologi yang memadai serta

mendorong inovasi pembelajaran berbasis proyek lingkungan sebagai bagian dari penguatan profil pelajar dan literasi ekologis.

4. Bagi peneliti selanjutnya

Penelitian ini masih terbatas pada pengembangan dan uji kepraktisan serta validitas e-modul. Peneliti selanjutnya disarankan melakukan penelitian lanjutan untuk menguji efektivitas e-modul secara eksperimen dengan desain yang lebih luas, mengintegrasikan materi lain dalam pembelajaran biologi, serta mengembangkan fitur interaktif yang lebih kompleks untuk meningkatkan kualitas pembelajaran digital berbasis STEM.

C. Implikasi

Penggunaan e-modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan berkontribusi dalam menstimulasi kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik. Aktivitas pembelajaran berbasis masalah, eksperimen, analisis data, perancangan solusi, serta refleksi mendorong peserta didik mengembangkan kemampuan interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, penjelasan, dan pengaturan diri. Selain itu, kegiatan proyek juga memberikan ruang bagi peserta didik untuk mengembangkan kelancaran ide, fleksibilitas dalam pemecahan masalah, orisinalitas gagasan, elaborasi solusi, serta kemampuan mengaitkan konsep dengan fenomena kehidupan nyata. Dengan demikian, e-modul tidak hanya praktis digunakan, tetapi juga memiliki potensi pedagogis dalam mendukung pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. (2025). *Effectiveness of STEM Integration in Curriculum Development*.
- Agnafia. (2019). Kompetensi Sikap, Pengetahuan, dan Keterampilan dalam Kurikulum 2013. *Jurnal Pendidikan Karakter*.
- Agung, Suardana, & Repi. (2022). Integrasi Aspek Sains dalam Pembelajaran STEM. *Jurnal Pendidikan IPA*.
- Ananda, & Fadhilaturrahmi. (2018). Strategi Pembelajaran untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep. *Jurnal Pendidikan Dasar*.
- Apriyanti, Fitriarini, Putri, & Fitriyah. (2024). *Critical Thinking and Perspective Analysis in Learning*.
- Aqil. (2017). Implementasi Kurikulum 2013 dalam Pembelajaran Biologi. *Jurnal Kurikulum Dan Pembelajaran*.
- Armalia, Ardiyansyah, Putra, Reflis, & Utama. (2025). Analisis Pencemaran Air dan Udara di Wilayah Pesisir. *Jurnal Ilmu Lingkungan*.
- Arsyad, A. (2020). *Media Pembelajaran* (Revisi (ed.)). Rajawali Pers.
- Auliyah, N., Rahmawati, D., & Pratama, A. (2021). Indikator kemampuan berpikir kreatif siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika*.
- Branch, R. M. (2020). *Instructional Design: The ADDIE Approach (Updated Edition)*. Springer.
- Bybee, R. W. (2020). *STEM Education: From Theory to Practice*. NSTA Press.
- Capobianco, & DeLisi. (2019). *Pengembangan Modul Digital STEM untuk Meningkatkan Keterampilan Abad 21 Siswa SMA melalui Isu Lingkungan Global*.
- Chania, Medriati, & Mayub. (2020). *Barriers in Developing Critical Thinking through STEM*.
- Ching, & Chang. (2020). Development of STEM-Based E-Module to Improve Critical Thinking in Environmental Science. *International Journal of Science Education*.
- Clem, H., & Diane, B. (2019). STEM Education as Innovation in 21st Century Learning. *International Journal of STEM Education*.
- Darmawan, Yusnaeni, Ismirawati, & Ristanto. (2021). Hakikat Biologi sebagai Ilmu

- dan Proses Penemuan dalam Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Biologi*.
- Davidi, EIN, Sennen, & Suprudi. (2021). *Critical Thinking Skills in Education*.
- Dewi, & Widiyatmoko. (2022). *Interactive STEM E-Module with Augmented Reality on Environmental Issues: Effects on Critical and Creative Thinking in Senior High School*.
- Djulia, E., Sari, R., & Pratama, A. (2020). Evaluasi dan penilaian hasil belajar biologi di sekolah menengah. *Jurnal Evaluasi Pendidikan*.
- Elmiana, & Kashardi. (2016). Pengaruh Model Pembelajaran terhadap Pemahaman Konsep Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan Matematika*.
- Facione. (2023). Critical Thinking: Core Skills and Assessment Indicators. *Journal of Educational Assessment*.
- Fazla, Sari, & Wardani. (2024). Modul Berbasis STEM untuk Meningkatkan Berpikir Kreatif. *Jurnal Pendidikan STEM*.
- Felia. (2022). Dampak Pencemaran Air terhadap Ekosistem Perairan. *Jurnal Sains Lingkungan*.
- Fiteriani, Diani, Hamidah, & Anwar. (2021). Integrasi Teknologi dan Rekayasa dalam Pembelajaran STEM. *Jurnal Teknologi Pendidikan*.
- Fitriani, Suhandi, & Rustaman. (2024). Integrasi STEM dalam Pembelajaran Berbasis Proyek. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*.
- Hadi, & Nurhayati. (2022). Contextual Learning to Improve Student Engagement and Motivation. *Jurnal Pendidikan Biologi*.
- Hafiza, Sari, N., & Pratama, A. (2022). Pengembangan kemampuan berpikir kreatif dalam pembelajaran. *Jurnal Inovasi Pendidikan*.
- Harpian. (2023). Tantangan Integrasi STEM dalam Pendidikan Indonesia. *Jurnal Pendidikan Nasional*.
- Haryanto, Suyatno, & Supriyadi. (2024). *STEM Project-Based Learning in High School Environmental Science: Impacts on Student Creativity and Problem-Solving*.
- Hidayat, A., Sari, M., & Pratama, D. (2019). Analisis keterampilan berpikir kritis siswa. *Jurnal Pendidikan Sains*.
- Hindun. (2021). Konsep dalam Pembelajaran Biologi dan Implikasinya terhadap Pemahaman Siswa. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi*.

- Idayanti. (2024). *Pengembangan E-Modul untuk Meningkatkan Motivasi dan Hasil Belajar*.
- Ikhsan. (2021). Faktor Alam dan Antropogenik dalam Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Lingkungan Hidup*.
- Intan. (2025). Evaluasi implementasi kurikulum STEM di sekolah Indonesia. *Jurnal Kebijakan Pendidikan*.
- Ismail. (2024). *Integrasi Aplikasi Digital dalam Pengembangan Buku Interaktif*.
- Izzani. (2019). Analisis Kendala Pembelajaran STEM di Sekolah. *Jurnal Pendidikan Sains*.
- Junita, S., & Kashardi. (2021). Pengembangan Soal Open-Ended Berorientasi pada Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa Materi Operasi Pecahan untuk Siswa SMP Kelas VII. *Jurnal MATH-UMB.EDU*, 9(1), 43–49.
- Kalengkongan, Regar, & Mangelep. (2021). Analisis Pendekatan Konvensional dalam Pembelajaran Biologi SMA. *Jurnal Pendidikan Biologi*.
- Kartini, & Santoso. (2023). Inovasi Teknologi dalam Pembelajaran STEM. *Jurnal Pendidikan Teknologi*.
- Kementerian Pendidikan Riset, dan Teknologi, K. (2022). *Kebijakan Pendidikan Nasional dan Implementasi Nilai Pancasila dalam Pembelajaran*. Kemdikbudristek.
- Khalid, & Owusu-Boateng. (2024). *Digital Transformation in Education and Adaptive Learning Materials*.
- Komalasari. (2024). Integration of STEM approach to improve higher order thinking skills in environmental learning. *Journal of Science Education Research*.
- Kwangmuang, Jarutkamolpong, Sangboonraung, & Daungtod. (2021). *Creative Thinking Skills in Education*.
- Laila. (2019). Pengembangan bahan ajar cetak dalam meningkatkan kualitas pembelajaran. *Jurnal Pendidikan*.
- Laili. (2019). *E-Modul sebagai Modul Elektronik dalam Pembelajaran*.
- Lassig. (2021). *Developing Creative Potential in Students*.
- Lawe, Noge, Wade, & Itu. (2021). *Penggunaan Bahan Ajar Digital untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains*.

- Lestari, Nulhakim, & Indah. (2022). Analisis Kelayakan E-modul sebagai Bahan Ajar Mandiri. *Jurnal Inovasi Pendidikan*.
- Lestari, Sarwi, & Sumarti. (2018). Peran Engineering dalam Pembelajaran Berbasis STEM. *Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*.
- Lubis, & Ismaya. (2020). Bahan Ajar sebagai Instrumen Perencanaan Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Dasar*.
- Lufri, Yogica, Muttaqqin, & Fitri. (2020). Persepsi Peserta Didik terhadap Pembelajaran Biologi Berbasis Higher Order Thinking Skills. *Jurnal Pendidikan Sains*.
- Lumbantobing, & Azzahra. (2020). Implementasi Pendekatan STEM dalam Pembelajaran Tematik. *Jurnal Pendidikan Dasar*.
- Magdalena, Sundari, Nurkamilah, Nasrullah, & Amalia. (2020). Konsep dan Fungsi Bahan Ajar dalam Proses Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran*.
- Mangelep, Pinontoan, Runtu, Kumesan, & Tiwow. (2023). Strategi Pembelajaran Biologi dalam Mengembangkan Keterampilan Abad 21. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*.
- Marhadi, M., Siregar, R., & Pratama, A. (2023). Pengembangan LKPD dan modul sebagai bahan ajar cetak. *Jurnal Pendidikan Sains*.
- Mayer, R. E. (2021). *Multimedia Learning (3rd Edition)*. Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2023). *Principles of Multimedia Learning*. Cambridge University Press.
- Melati, Fayola, Hita, Saputra, Zamzami, & Ninasari. (2023). *Transformasi Media Pembelajaran Visual Berbasis Teknologi*.
- Monalisa, M., Sari, N., & Pratama, A. (2019). Analisis kreativitas siswa dalam pemecahan masalah. *Jurnal Pendidikan Sains*.
- Mudrikah, S., Wulandari, R., & Prasetyo, A. (2022). Aksesibilitas media cetak dalam dunia pendidikan. *Jurnal Pendidikan Nasional*.
- Mufid, & Budianta. (2021). Pencemaran Tanah dan Dampaknya terhadap Produktivitas Lahan. *Jurnal Lingkungan Dan Pembangunan*.
- Muttaqiin. (2023). *STEM Approach in Science Learning for Higher Order Thinking Skills*.

- Nieveen, N. (2023). *Educational Design Research*. Netherlands Institute for Curriculum Development.
- Novak, J. D. (2020). *Meaningful Learning: The Essential Factor for Conceptual Change*. Routledge.
- Novitasari. (2023). Environmental Learning to Enhance Students' Conceptual Understanding. *Jurnal Pendidikan Lingkungan*.
- Novitasari, Adrian, & Kurnia. (2021). Pengembangan Bahan Ajar untuk Meningkatkan Pengalaman Belajar. *Jurnal Inovasi Pendidikan*.
- Nuranggraeni, N., Wibowo, A., & Lestari, D. (2020). Karakteristik individu kreatif dalam proses pembelajaran. *Jurnal Psikologi Pendidikan*.
- Nurdiyanto, Wulandari, Jamal, Karman, & Maslani. (2024). Karakteristik Bahan Ajar Digital Berbasis Multimedia. *Jurnal Teknologi Pendidikan*.
- Nurhayati, & Supriatna. (2022). Project Based Learning Berbasis STEM untuk Keterampilan Abad 21. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*.
- Odume. (2022). Anthropogenic Environmental Pollution in the 21st Century. *Environmental Research Journal*.
- Pahrudin, Alisia, Saregar, Asyhari, Anugrah, & Susilowati. (2019). Pengembangan Modul Elektronik dalam Pembelajaran Sains. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*.
- Prasetyo, & Sari. (2023). Interactive Digital Teaching Materials to Improve Learning Effectiveness. *Journal of Educational Technology*.
- Pratama, Anggraini, Yusri, & Mufit. (2021). Struktur dan Desain E-modul dalam Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi*.
- Pratiwi, & Suyatno. (2023). Pembelajaran Kontekstual Berbasis STEM dalam Proyek Lingkungan. *Jurnal Pendidikan Lingkungan*.
- Pujiati. (2020). STEM sebagai Solusi Pembelajaran Kontekstual di Indonesia. *Jurnal Pendidikan IPA*.
- Purmanna, R., Santoso, B., & Wulandari, D. (2024). Creative thinking development through contextual STEM-based learning. *Journal of Educational Innovation*.
- Putra, Avivudin, & Pertiwi. (2024). *Historical Development of STEM Education Approach*.
- Putri, R. N., Heriyadi, S., & Mudakir, I. (2023). *Pengembangan Model Pembelajaran Berbasis STEM pada Materi Pencernaan Lingkungan untuk*

Meningkatkan Literasi Sains dan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa.

- Rabbani, & Muftianti. (2020). *Konsep dan Pengembangan Bahan Ajar dalam Pembelajaran.*
- Riduwan. (2010). *Skala Pengukuran Variabel-Variabel Penelitian.* Alfabeta.
- Riduwan, & Sunarto. (2013). *Pengantar Statistika untuk Penelitian Pendidikan, Sosial, Ekonomi, dan Bisnis.* Alfabeta.
- Ridwan, Hidayanti, & Nilfatri. (2021). Pencemaran Lingkungan dan Dampaknya terhadap Ekosistem. *Jurnal Ilmu Lingkungan.*
- Rinaryati. (2021). *Kepraktisan dan Aksesibilitas Bahan Ajar Digital.*
- Rohmah, & Linuwih. (2024). Interactive STEM E-Module on Climate Change to Enhance 4C Skills of Senior High School Students. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia.*
- Rukmi, & Diyana. (2024). Efektivitas E-modul dalam Meningkatkan Kompetensi Dasar Siswa. *Jurnal Pendidikan Digital.*
- Rustamana, Ridwan, Purnamasari, & Yasser. (2023). Penggunaan Media Noncetak dalam Pembelajaran. *Jurnal Teknologi Pendidikan.*
- Sahrul, Khumaedi, & Masrukan. (2022). *Creative Thinking in Problem Solving.*
- Sani, R. A., Abdullah, M., & Prasetyo, D. (2019). Strategi pengembangan berpikir kritis dan kreatif. *Jurnal Pendidikan Modern.*
- Saputra. (2020). Kemampuan Berpikir Kritis dalam Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan.*
- Semiring, Sudatha, & Simamora. (2021). Pengembangan E-modul Interaktif untuk Pembelajaran Mandiri. *Jurnal Teknologi Pembelajaran.*
- Seruni, Munawaoh, Kurniadewi, & Nurjayadi. (2019). *Pengembangan Modul Elektronik untuk Pembelajaran Mandiri.*
- Setiawan. (2019). Implementasi Kurikulum 2013 dalam Mata Pelajaran Biologi. *Jurnal Pendidikan Menengah.*
- Shoffa, S., Hidayat, A., & Kurniawan, D. (2021). Media dan bahan ajar dalam perspektif komunikasi pembelajaran. *Jurnal Teknologi Pendidikan.*
- Siddiq, & Asrizal. (2023). *STEM-Based Learning and 21st Century Skills Development.*

- Slavin, R. E. (2021). *Educational Psychology: Theory and Practice*. Pearson.
- Sriwahyuni, Risdianto, & Johan. (2019). *Interaktivitas Bahan Ajar Digital Berbasis Multimedia*.
- Sriyanti. (2021). *Dampak Perkembangan Teknologi terhadap Berbagai Bidang Kehidupan*.
- Sugianto, Rusilowati, Widiyatmoko, Puspitasari, Arifa, & Roziqin. (2023). *Teachers' Challenges in Implementing STEM-Based Learning*.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian dan Pengembangan (Research and Development/R&D)*. Alfabeta.
- Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Suharsaputra, U. (2023). *Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif: Pendekatan Riset Pendidikan*. Refika Aditama.
- Sumanti, Asprasto, & Suhandoko. (2025). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis STEM untuk Meningkatkan Berpikir Kritis. *Jurnal Pendidikan Indonesia*.
- Sumaya, Salsabila, & Wijiningsih. (2021). Kelebihan dan Tantangan Implementasi STEM. *Jurnal Inovasi Pendidikan*.
- Sunaryo. (2020). *Fungsi E-Modul dalam Pembelajaran Efektif*.
- Susanti. (2022). Klasifikasi dan implementasi bahan ajar cetak dan noncetak. *Jurnal Pendidikan Indonesia*.
- Susanti, & Wijaya. (2025). Pengaruh Model STEM terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa. *Jurnal Pendidikan Sains*.
- Tartiyoso. (2025). Efektivitas E-Modul STEM dalam Meningkatkan Literasi Sains. *Jurnal Pendidikan Biologi*.
- Tasruddin. (2020). Pemanfaatan Media Digital dalam Proses Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi*.
- Tessmer, M. (2019). *Planning and Conducting Formative Evaluations*. Routledge.
- Thio. (2025). Project-based STEM learning to improve analytical and critical thinking skills. *International Journal of STEM Education*.
- Thomas, J. W. (2022). *Project-Based Learning: A Handbook for Middle and High School Teachers*. Buck Institute for Education.

- Tobing, & Sulastri. (2024). *Difficulties in Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics*.
- Verdinandus, & Taufik. (2019). *Pendidikan Digital Berbasis Multimedia dalam Pembelajaran*.
- Wahyuni. (2024). Peran dan Inovasi Media Pembelajaran dalam Pendidikan Modern. *Jurnal Pendidikan Kontemporer*.
- Wardathi, & Pradipta. (2019). Efektivitas E-book STEM Berbasis Android dalam Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Sains*.
- Widiyono, & Ghufron. (2024). STEM-Project Learning to Enhance Students' Creativity Skills. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*.
- Widodo, Sumaya, & Salsabill. (2025). Tahapan Engineering Design Process dalam Pembelajaran STEM. *Jurnal Pendidikan STEM*.
- Wulandari, Salsabila, Cahyani, Nurazizah, & Ulfiah. (2023). *Implementasi E-Modul dalam Pembelajaran Digital*.
- Yonanda, Supriatna, Hakam, & Sopandi. (2022). Efektivitas Bahan Ajar Cetak dalam Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Dasar*.
- Yuliati, & Saputra. (2019). *Revolusi Industri 4.0 dan Implikasinya terhadap Pendidikan Sains*.
- Yunita. (2024). Peran Matematika dalam Pendekatan STEM. *Jurnal Pendidikan Matematika*.
- Zalsa. (2025). Peran Matematika dalam Analisis Data Pembelajaran STEM. *Jurnal Pendidikan Matematika Modern*.
- Ziraluo. (2021). Peran Pembelajaran Biologi dalam Pengembangan Kompetensi Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan IPA*.
- Zuhaida, & Widodo. (2023). Komponen Science dan Engineering dalam Model STEM. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*.

L

A

M

P

I

R

A

N

Lampiran 1 Surat Izin Penelitian dari Kampus



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

● Kampus I, Jl. Bali, Kampung Bali, Teluk Segara, Kota Bengkulu, 38119
 ● fkip.umb.ac.id
 ● fkip@umb.ac.id

☎ (0736) 22765
 ☎ (0736) 26161

Nomor : /SI/ DF-01/ IL.3.AU/ C/ 2026
 Lampiran : 1 (Satu) Berkas
 Perihal : Izin Penelitian

Kepada Yth.
Bapak/ Ibu Kepala SMA Negeri 4 Bengkulu
 di
 Bengkulu

Asalamualaikum Wr .Wb

Dalam rangka memperoleh data untuk penyusunan tesis, kami mohon kiranya bapak/ibu dapat memberikan izin penelitian kepada mahasiswa kami sebagai berikut :

Nama : Metia Vinliani
 NPM : 2484105004
 Program Studi : Pendidikan Magister Pendidikan Biologi
 Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Untuk melakukan penelitian dengan judul tesis :
 “Pengembangan e-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif”.

Tempat Penelitian : SMA Negeri 7, SMA Negeri 2 dan SMA Negeri 4 Bengkulu
 Objek Penelitian : Siswa kelas X
 Lama Penelitian : 23 Januari s/d 23 Maret 2026

Sebagai bahan pertimbangan kami lampirkan proposal tesis yang telah di setujui oleh pembimbing.

Demikianlah surat ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bengkulu, 26 Februari 2026

Dekan



Dr. Santoso, M. Si
 NIP. 1967061319933031004

umb.ac.id
 humas@umb.ac.id
 0822-3546-1991

um bengkulu
 um bengkulu
 um bengkulu

um bengkulu
 umb tv
 Radio Jazirah FM 104,3 M.Hz



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

Kampus I, Jl. Bali, Kampung Bali, Teluk Segara, Kota Bengkulu, 38119

fkp.umb.ac.id

fkp@umb.ac.id

(0736) 22765

(0736) 26161

Nomor : /SI/ DF-01/ II.3.AU/ C/ 2026
 Lampiran : 1 (Satu) Berkas
 Perihal : Izin Penelitian

Kepada Yth.
Bapak/ Ibu Kepala SMA Negeri 7 Bengkulu
 di
Bengkulu

Asalamualaikum Wr.Wb

Dalam rangka memperoleh data untuk penyusunan tesis, kami mohon kiranya bapak/ibu dapat memberikan izin penelitian kepada mahasiswa kami sebagai berikut :

Nama : Metia Vinliani
 NPM : 2484105004
 Program Studi : Pendidikan Magister Pendidikan Biologi
 Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Untuk melakukan penelitian dengan judul tesis :
 “Pengembangan e-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Projek Lingkungan untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif”.

Tempat Penelitian : SMA Negeri 7, SMA Negeri 2 dan SMA Negeri 4 Bengkulu
 Objek Penelitian : Siswa kelas X
 Lama Penelitian : 23 Januari s/d 23 Maret 2026

Sebagai bahan pertimbangan kami lampirkan proposal tesis yang telah di setujui oleh pembimbing.

Demikianlah surat ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bengkulu, 26 Februari 2026



Drs. Santoso, M. Si
 NIP. 1967061519933031004

umb.ac.id

humas@umb.ac.id

0822-3545-1991

um bengkulu

um bengkulu

um bengkulu

um bengkulu

umb tv

Radio Jazirah FM 104,3 M.Hz





UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

● Kampus I, Jl. Bali, Kampung Bali, Teluk Segara, Kota Bengkulu, 38119
 ● fkip.umb.ac.id
 ● fkip@umb.ac.id

☎ (0736) 22765
 ☎ (0736) 26161

Nomor : /SI/ DF-01/ II.3.AU/ C/ 2026
 Lampiran : 1 (Satu) Berkas
 Perihal : **Izin Penelitian**

Kepada Yth.
Bapak/ Ibu Kepala SMA Negeri 2 Bengkulu
 di
Bengkulu

Asalamualaikum Wr .Wb

Dalam rangka memperoleh data untuk penyusunan tesis, kami mohon kiranya bapak/ibu dapat memberikan izin penelitian kepada mahasiswa kami sebagai berikut :

Nama : Metia Vinliani
 NPM : 2484105004
 Program Studi : Pendidikan Magister Pendidikan Biologi
 Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Untuk melakukan penelitian dengan judul tesis :
 “Pengembangan e-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Projek Lingkungan untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif”.

Tempat Penelitian : SMA Negeri 7, SMA Negeri 2 dan SMA Negeri 4 Bengkulu
 Objek Penelitian : Siswa kelas X
 Lama Penelitian : 23 Januari s/d 23 Maret 2026


Sebagai bahan pertimbangan kami lampirkan proposal tesis yang telah di setuju oleh pembimbing.

Demikianlah surat ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bengkulu, 26 Februari 2026

Dekan


Drs. Santoso, M. Si
 NIP. 1967061519933031004

umb.ac.id
 humas@umb.ac.id
 0822-3546-1991

um bengkulu
 um bengkulu
 um bengkulu

um bengkulu
 umb tv
 Radio Jazirah FM 104,3 M.Hz



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

● Kampus I, Jl. Bali, Kampung Bali, Teluk Segara. Kota Bengkulu, 38119
 ● fkip.umb.ac.id
 ● fkip@umb.ac.id

☎ (0736) 22765
 ☎ (0736) 26161

Nomor : /SI/ DF-01/ II.3.AU/ C/ 2026
 Lampiran : 1 (Satu) Berkas
 Perihal : **Izin Penelitian**

Kepada Yth.
Bapak/ Ibu Kepala Badan Kesbangpol Provinsi Bengkulu
 di
Bengkulu

Asalamualaikum Wr. Wb

Dalam rangka memperoleh data untuk penyusunan tesis, kami mohon kiranya bapak/ibu dapat memberikan izin penelitian kepada mahasiswa kami sebagai berikut :

Nama : Metia Vinliani
 NPM : 2484105004
 Program Studi : Pendidikan Magister Pendidikan Biologi
 Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Untuk melakukan penelitian dengan judul tesis :
 “Pengembangan e-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif”.

Tempat Penelitian : SMA Negeri 7, SMA Negeri 2 dan SMA Negeri 4 Bengkulu
 Objek Penelitian : Siswa kelas X
 Lama Penelitian : 23 Januari s/d 23 Maret 2026

Sebagai bahan pertimbangan kami lampirkan proposal tesis yang telah di setujui oleh pembimbing.

Demikianlah surat ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bengkulu, 26 Februari 2026

Dekan



Drs. Santosa, M. Si

NIP. 1967061519933031004

● umb.ac.id
 ● humas@umb.ac.id
 ● 0822-3546-1991

● um bengkulu
 ● um bengkulu
 ● um bengkulu

● um bengkulu
 ● umb tv
 ● Radio Jazirah FM 104,3 M.Hz



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

● Kampus I, Jl. Bali, Kampung Bali, Teluk Segara. Kota Bengkulu, 38119
 ● fkip.umb.ac.id
 ● fkip@umb.ac.id

☎ (0736) 22765
 ☎ (0736) 26161

Nomor : /SI/ DF-01/ II.3.AU/ C/ 2026
 Lampiran : 1 (Satu) Berkas
 Perihal : **Izin Penelitian**

Kepada Yth.
Bapak/ Ibu Kepala Dinas DPMTSP Provinsi Bengkulu
 di
Bengkulu

Asalamualaikum Wr .Wb

Dalam rangka memperoleh data untuk penyusunan tesis, kami mohon kiranya bapak/ibu dapat memberikan izin penelitian kepada mahasiswa kami sebagai berikut :

Nama : Metia Vinliani
 NPM : 2484105004
 Program Studi : Pendidikan Magister Pendidikan Biologi
 Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Untuk melakukan penelitian dengan judul tesis :
 “Pengembangan e-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Projek Lingkungan untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif”.

Tempat Penelitian : SMA Negeri 7, SMA Negeri 2 dan SMA Negeri 4 Bengkulu
 Objek Penelitian : Siswa kelas X
 Lama Penelitian : 23 Januari s/d 23 Maret 2026

Sebagai bahan pertimbangan kami lampirkan proposal tesis yang telah di setujui oleh pembimbing.

Demikianlah surat ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bengkulu, 26 Februari 2026

Dekan



Drs. Santoso, M. Si

NIP. 1967061519933031004

umb.ac.id
 humas@umb.ac.id
 0822-3546-1991

um bengkulu
 um bengkulu
 um bengkulu

um bengkulu
 umb tv
 Radio Jazirah FM 104,3 M.Hz



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

Kampus I, Jl. Bali, Kampung Bali, Teluk Segara, Kota Bengkulu, 38119
 fkip.umb.ac.id
 fkip@umb.ac.id

(0736) 22765
 (0736) 26161

Nomor : /SI/ DF-01/ II.3.AU/ C/ 2026
 Lampiran : 1 (Satu) Berkas
 Perihal : **Izin Penelitian**

Kepada Yth.
Bapak/ Ibu Kepala Dikbud Provinsi Bengkulu
 di
Bengkulu

Asalamualaikum Wr.Wb

Dalam rangka memperoleh data untuk penyusunan tesis, kami mohon kiranya bapak/ibu dapat memberikan izin penelitian kepada mahasiswa kami sebagai berikut :

Nama : Metia Vinliani
 NPM : 2484105004
 Program Studi : Pendidikan Magister Pendidikan Biologi
 Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Untuk melakukan penelitian dengan judul tesis :
 “Pengembangan e-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif”.

Tempat Penelitian : SMA Negeri 7, SMA Negeri 2 dan SMA Negeri 4 Bengkulu
 Objek Penelitian : Siswa kelas X
 Lama Penelitian : 23 Januari s/d 23 Maret 2026

Sebagai bahan pertimbangan kami lampirkan proposal tesis yang telah di setujui oleh pembimbing.

Demikianlah surat ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bengkulu, 26 Februari 2026

Dekan

Drs. Santosa, M. Si
 NIP. 1967061519933031004

umb.ac.id
 humas@umb.ac.id
 0822-3546-1991

um bengkulu
 um bengkulu
 um bengkulu

um bengkulu
 umb tv
 Radio Jazirah FM 104,3 M.Hz

Lampiran 2 Surat Izin Penelitian DPMTSP



PEMERINTAH PROVINSI BENGKULU
DINAS PENANAMAN MODAL DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
 Jalan Batang Hari No.108, Kelurahan Tanah Patah, Kecamatan Ratu Agung, Kota Bengkulu
 Website: <https://dpmtsp.bengkuluprov.go.id> | Email: dpmtsp@bengkuluprov.go.id
BENGKULU 38224

REKOMENDASI

Nomor : 503/82.650/93/DPMTSP-P.4/2026

TENTANG PENELITIAN

- Dasar :
1. Peraturan Gubernur Bengkulu Nomor 13 Tahun 2022 Tentang Pendelegasian Wewenang Penyelenggaraan Pelayanan Perizinan Berusaha Berbasis Resiko dan Non perizinan Kepada Kepala Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu.
 2. Surat Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Bengkulu Nomor : 067/SI/DF-01/IL3.AU/C/2026, Tanggal 23 Januari 2026 Perihal Rekomendasi Penelitian. Permohonan diterima tanggal 23 Januari 2026.

Nama / NPM	: METIA VINLIANI/2484105004
Pekerjaan	: Mahasiswa
Maksud	: Melakukan Penelitian
Judul Proposal Penelitian	: Pengembangan e-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif
Daerah Penelitian	: SMA Negeri 7 Kota Bengkulu, SMA Negeri 2 Kota Bengkulu, SMA Negeri 4 Kota Bengkulu,
Waktu Penelitian/Kegiatan	: 26 Januari 2026 s.d 26 Maret 2026
Penanggung Jawab	: Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Dengan ini merekomendasikan penelitian yang akan diadakan dengan ketentuan :

- a. Sebelum melakukan penelitian harus melapor kepada Gubernur/Bupati/Walikota Cq.Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik atau sebutan lain setempat.
- b. Harus mentaati semua ketentuan Perundang-undangan yang berlaku.
- c. Selesai melakukan penelitian agar melaporkan/menyampaikan hasil penelitian kepada Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Provinsi Bengkulu.
- d. Apabila masa berlaku Rekomendasi ini sudah berakhir, sedangkan pelaksanaan penelitian belum selesai, perpanjangan Rekomendasi Penelitian harus diajukan kembali kepada instansi pemohon.
- e. Rekomendasi ini akan dicabut kembali dan dinyatakan tidak berlaku, apabila ternyata pemegang surat rekomendasi ini tidak mentaati/mengindahkan ketentuan-ketentuan seperti tersebut di atas.

Demikian Rekomendasi ini dikeluarkan untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya



Ditetapkan di : Bengkulu
 Pada tanggal : 23 Januari 2026


Prt. KEPALA DINAS PENANAMAN MODAL DAN
 PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
 PROVINSI BENGKULU

YULIZON HIKMA PUTRA, SE., M.M.
 Pembina / IV.a
 NIP. 19750714 199403 1 003

Tembusan disampaikan kepada Yth :

1. Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Provinsi Bengkulu
2. Kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Provinsi Bengkulu
3. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Bengkulu
4. Yang bersangkutan

Lampiran 3 Surat Izin Penelitian Dikbud



PEMERINTAH PROVINSI BENGKULU
DINAS PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
 Jalan S. Parman Nomor 7, Padang Jati, Ratu Samban, Kota Bengkulu, Bengkulu 38227,
 Telepon (0736) 21620, Faksimile (0736) 22117,
 Laman dikbud.bengkuluprov.go.id, Pos-el dinas@dikbud.bengkuluprov.go.id

REKOMENDASI
 NOMOR : B.000.9/73.S/Dikbud/2026

TENTANG PENELITIAN

Dasar : 1. Surat dari Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Bengkulu, Nomor : 067/ SI/ DF-01/ II.3.AU/ 3/ 2026, Tanggal 23 Januari 2026 Perihal : Izin Penelitian
 2. Surat dari Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Nomor : 503/ 82.650/ 93/ DPMPTSP-P.4/ 2026, tanggal 23 Januari 2026 tentang Penelitian.

Dengan ini memberikan rekomendasi kepada :


Nama	: METIA VINLIANI
NPM	: 2484105004
Judul Proposal Penelitian	: Pengembangan E-modul Berbasis STEM Terintegrasi Projek Lingkungan Untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif
Lokasi Penelitian	: SMA Negeri 7 Kota Bengkulu, dan SMA Negeri 2 Kota Bengkulu SMA Negeri 4 Kota Bengkulu
Waktu Penelitian/Kegiatan	: 26 Januari 2026 s.d 26 Maret 2026
Penanggung Jawab	: Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Untuk melakukan penelitian yang akan diadakan dengan ketentuan :

- a. Sebelum melakukan penelitian harus melapor kepada Gubernur/Bupati/Walikota Cq. Kepala Badan/Kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Provinsi Bengkulu atau sebutan lain setempat.
- b. Harus mentaati semua ketentuan Perundang-undangan yang berlaku.
- c. Selesai melakukan penelitian agar melaporkan/menyampaikan hasil penelitian kepada kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Provinsi Bengkulu.
- d. Apabila masa berlaku Rekomendasi ini sudah berakhir, sedangkan pelaksanaan penelitian belum selesai, maka perpanjangan Rekomendasi Penelitian harus diajukan kembali kepada instansi pemohon.
- e. Rekomendasi ini akan dicabut kembali dan dinyatakan tidak berlaku, apabila ternyata pemegang surat rekomendasi ini tidak mentaati/mengindahkan ketentuan-ketentuan seperti tersebut di atas.

Demikian Rekomendasi ini dikeluarkan untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Bengkulu
 pada tanggal 29 Januari 2026
 a.n. Kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan
 Provinsi Bengkulu
 Kepala Bidang Pembinaan SMA,



M. Syukur, S.Ag., M.Si.
 Penata Tingkat I (III/d)
 NIP 197704122006041006

Tembusan :

1. Kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Provinsi Bengkulu
2. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Bengkulu
3. Kepala SMA Negeri 7 Kota Bengkulu, dan SMA Negeri 2 Kota Bengkulu SMA Negeri 4 Kota Bengkulu

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN).

CS Dipindai dengan CamScanner

E-MODUL BERBASIS ECO-STEM



Pokok Bahasan:

Pencemaran Lingkungan

**SMA/MA
KELAS**

X
Semester 2

Metia Vinliani

*Program Studi Pendidikan Biologi S2
Universitas Muhammadiyah Bengkulu*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis berhasil menyusun E-Modul Biologi Berbasis eco-STEM Pada Materi Pencemaran Lingkungan untuk Siswa Kelas X SMA Semester 2. Modul ini disusun sebagai bahan ajar Biologi agar siswa dapat belajar secara mandiri dan dapat dengan mudah memahami konsep Biologi.

E-Modul ini akan memandu siswa untuk lebih memahami materi Biologi terkait dengan Pencemaran Air, Pencemaran Udara, dan Pencemaran Tanah. Diharapkan dengan modul ini dapat meningkatkan motivasi dan kemandirian peserta didik dalam belajar Biologi.

E-Modul ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan bahan ajar cetak lainnya. Kelebihannya yaitu mengintegrasikan materi dengan beberapa aspek ilmu dalam eco-STEM dan memberikan pengetahuan tambahan bagi peserta didik berkenaan dengan materi dan pengaplikasiannya dalam kehidupan sehari-hari. Untuk mendukung peserta didik memperoleh tambahan informasi, dalam modul ini disajikan fitur-fitur yang menarik seperti fitur link youtube yang dapat langsung terhubung ke video berkaitan dengan topik yang sedang dibahas. Modul ini menggunakan permasalahan yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari dan disajikan secara sederhana, ringkas, dan komunikatif agar mudah dipahami.

Bengkulu, 2025

Penulis



UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
PENDAHULUAN.....	1
A. Capaian Pembelajaran.....	1
B. Materi Pembelajaran.....	1
C. Identitas Modul.....	1
D. Peta Konsep.....	2
KEGIATAN PEMBELAJARAN I.....	3
A. Tujuan Pembelajaran.....	3
B. Uraian Materi.....	3
C. Rangkuman.....	12
D. Penugasan.....	13
E. Penilaian Diri.....	14
KEGIATAN PEMBELAJARAN II.....	15
A. Tujuan Pembelajaran.....	15
B. Uraian Materi.....	16
C. Rangkuman.....	25
D. Projek Eco-Enzyme.....	26
E. Latihan Soal.....	28
F. Penilaian Diri.....	30
DAFTAR PUSTAKA.....	32





ECO-STEM

(ECOLOGICAL-SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING AND MATHEMATICS)

eco-STEM (ecological-Science, Technology, Engineering, and Mathematics) adalah pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan prinsip STEM dengan nilai keberlanjutan lingkungan, menjadikan isu ekologis seperti penanganan sampah organik sebagai konteks bermakna untuk eksplorasi ilmiah dan inovasi solutif. Dalam e-modul ini, eco-STEM diwujudkan melalui **projek lingkungan pembuatan eco-enzyme dari limbah dapur**, sebuah kegiatan yang tidak hanya melatih keterampilan berpikir kritis dan kreatif melalui perancangan eksperimen, analisis data, serta rekayasa sederhana, tetapi juga menumbuhkan kesadaran ekologis dan tanggung jawab sosial sebagai bagian dari Profil Pelajar Pancasila. Melalui projek ini, ilmu pengetahuan tidak lagi abstrak ia hadir dalam botol daur ulang, berubah dari “sampah” menjadi solusi nyata bagi lingkungan sekitar. Anda dapat mengakses video pengenalan eco-enzyme, manfaat dan cara pembuatannya “Sampah organik pun bisa disulap menjadi eco-enzyme”



Scan Me



UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP



INDIKATOR PERPIKIR KRITIS

Facione (2023) mengemukakan bahwa terdapat enam hal yang menjadi indikator dalam mengukur kemampuan berpikir kritis yaitu:

1. **Interpretasi:** Memahami dan mengungkap makna dari informasi, pengalaman, data, atau pernyataan secara tepat dan kontekstual.
2. **Analisis:** Mengidentifikasi hubungan logis antara pernyataan, konsep, atau deskripsi untuk memahami struktur argumen atau gagasan.
3. **Evaluasi:** Menilai kredibilitas sumber dan kekuatan logis suatu argumen atau klaim.
4. **Inferensi:** Menarik kesimpulan masuk akal, membentuk hipotesis, dan mempertimbangkan konsekuensi berdasarkan informasi yang ada.
5. **Penjelasan:** Menyajikan penalaran secara koheren dan meyakinkan, disertai justifikasi berbasis bukti, konsep, dan konteks.
6. **Pengaturan diri:** Merefleksikan dan mengevaluasi proses berpikir sendiri untuk memperbaiki atau memvalidasi hasil penalaran.





INDIKATOR PERPIKIR KREATIF

Auliyah et al (2021) mengemukakan bahwa terdapat lima hal yang menjadi indikator dalam mengukur kemampuan berpikir kreatif yaitu:

1. **Kelancaran** (berpikir lancar) menganalisis penerapan hukum Pascal dalam kehidupan sehari-hari. Menganalisis penerapan hukum Archimedes dalam kehidupan sehari-hari.
2. **Fleksibilitas** (berpikir fleksibel) menganalisis penerapan tekanan pada zat gas dalam kehidupan. Menganalisis daya apung.
3. **Orisinalitas** (pemikiran asli) menganalisis hubungan antar gaya dan luas permukaan terhadap besarnya tekanan.
4. **Elaborasi** (berpikir secara rinci) menganalisis hubungan antara gaya dan luas permukaan terhadap besarnya tekanan.
5. **Berpikir metaforis** (berpikir secara metaforis) makhluk hidup, menjelaskan pengertian konsep tekanan pada tekanan hidrostatik.





PENDAHULUAN



A. Capaian Pembelajaran

Peserta didik mampu menganalisis berbagai bentuk pencemaran lingkungan yang terjadi di sekitarnya, menjelaskan hubungan antara aktivitas manusia dan kerusakan ekosistem, serta menerapkan solusi berbasis sains lokal khususnya pemanfaatan limbah organik rumah tangga untuk menghasilkan eco-enzyme sebagai alternatif ramah lingkungan.

B. Materi Pembelajaran

E-modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, penugasan, latihan soal, dan penilaian diri.

Pertemuan Pertama:

1. Definisi Pencemaran Lingkungan
2. Pencemaran Udara, Pencemaran Air, Pencemaran Tanah

Pertemuan Kedua:

1. Pengelolaan Limbah Organik Menjadi Eco-Enzyme
2. Kaitannya Eco-Enzyme dengan eco-STEM

C. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: Biologi
Kelas/Semester	: X/Genap
Alokasi Waktu	: 3x45 Menit (2 Pertemuan)
Judul Modul	: E-Modul Berbasis eco-STEM



UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP



Peta Konsep



Gambar 1. Pencemaran Lingkungan

Sumber: shutterstock.com



UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP



MATERI I



1. Definisi Pencemaran Lingkungan
2. Jenis-Jenis Pencemaran Lingkungan

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari e-modul ini, Siswa diharapkan mampu:

1. Menganalisis jenis-jenis pencemaran lingkungan (air, udara, dan tanah) serta dampaknya bagi ekosistem.
2. Mengidentifikasi penyebab dan sumber pencemaran di lingkungan sekitar.
3. Menganalisis hubungan sebab-akibat antara aktivitas manusia (industri, transportasi, konsumsi rumah tangga) dengan peningkatan beban pencemaran
4. Memahami konsep pengolahan limbah organik secara berkelanjutan

B. Uraian Materi

1. Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan adalah masuknya zat, energi, atau komponen asing ke dalam lingkungan alam dalam jumlah atau konsentrasi yang



Scan Me



UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP



melebihi daya dukung alam, sehingga mengganggu keseimbangan ekosistem, membahayakan kesehatan manusia, dan merusak keberlanjutan sumber daya (UNEP, 2024).



Gambar 2. Pencemaran lingkungan
Sumber. banksampahindukbna.com



Gambar 3. Pencemaran lingkungan
Sumber. lingkarinews.id

Namun, yang sering kita lupa: pencemaran bukanlah “kesalahan alam”. Ia adalah cermin dari pilihan kolektif kita sebagai individu, masyarakat, dan sistem.

Mari kita telusuri tiga bentuk pencemaran utama yang paling nyata dirasakan di Indonesia dan bagaimana mereka saling terhubung dalam satu rantai masalah.

a. Pencemaran Udara

Ketika Napas Menjadi Komoditas yang Harus Diperjuangkan

Bayangkan paru-parumu bekerja 24 jam sehari, tanpa libur. Sekarang bayangkan setiap tarikan napas membawa partikel halus yang mampu



Scan Me



UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP



menembus dinding alveoli, masuk ke aliran darah, lalu mengendap di jantung, otak, atau plasenta.

Itulah kenyataan jutaan orang di kota-kota besar Indonesia.

Sumber Utama Pencemaran Udara di Indonesia:

1. **Emisi kendaraan bermotor:** Indonesia memiliki lebih dari 150 juta sepeda motor. Sebagian besar menggunakan bahan bakar fosil yang menghasilkan partikel halus (PM_{2.5}), karbon monoksida (CO), dan nitrogen oksida (NO_x) (World Bank & KLHK, 2024).
2. **Pembakaran sampah terbuka:** Di permukiman padat, membakar sampah masih jadi cara “praktis” menghilangkan limbah padahal, asapnya mengandung dioxin dan furan, senyawa karsinogenik yang bisa menyebabkan kanker dan gangguan reproduksi (WHO, 2023).
3. **Kebakaran hutan dan lahan:** Setiap musim kemarau, ribuan hektar lahan gambut terbakar di Sumatra dan Kalimantan. Asapnya tidak hanya menutupi langit lokal, tapi menyebar lintas negara menjadi bencana transnasional (Ge, C., et al, 2024).



Gambar 3. asap kendaraan
Sumber. economictimes.indiatimes.com



Gambar 4. Kebakaran hutan
Sumber. wri-indonesia.org





Gambar. dibawah ini dapat kita lihat bahwa pencemaran udara diakibatkan oleh kepulan asap yang berasal dari asap kendaraan bermotor (a), dan juga asap dari kebakaran hutan (c).

Fakta mengejutkan:

Menurut Laporan Kualitas Udara Dunia 2024 oleh IQAir, Jakarta menempati peringkat ke-6 kota dengan polusi udara terburuk di Asia Tenggara. Rata-rata konsentrasi PM2.5 di sana mencapai 2,7 kali batas aman WHO

Dampaknya nyata:

Anak-anak di sekolah pinggir jalan raya memiliki risiko 40% lebih tinggi terkena ISPA (Infeksi Saluran Pernapasan Akut). Guru sering mengeluh batuk kronis. Dan di hari-hari berkabut tebal, jumlah kunjungan ke puskesmas melonjak drastis.

b. Pencemaran Air

Ketika Sungai Jadi Tempat Pembuangan, Bukan Sumber Kehidupan

Sungai seharusnya mengalirkan kehidupan: menjadi sumber air, jalur transportasi, dan habitat ribuan spesies. Tapi banyak sungai di Indonesia kini lebih mirip selokan raksasa.





Ambil contoh **Sungai Citarum di Jawa Barat yang pernah disebut “sungai terkotor di dunia”** oleh Bank Dunia (World Bank, 2023). Warnanya tidak lagi bening, tapi cokelat pekat, hijau lumut, atau bahkan ungu tergantung limbah pabrik tekstil yang dibuang hari itu. Di beberapa titik, sampah plastik menumpuk setebal 1 meter, membentuk “jembatan sampah” yang bisa dilewati orang (KLHK, 2023; World Bank, 2023).

Sumber pencemaran air sangat dekat dengan kehidupan kita:

1. **Limbah domestik:** Air bekas mencuci, mandi, dan memasak yang mengandung deterjen, minyak, dan sisa makanan sering langsung dialirkan ke selokan tanpa pengolahan. Deterjen mengandung fosfat yang memicu eutrofikasi: ledakan pertumbuhan alga, lalu kematian ikan karena kekurangan oksigen (Corcoran et al., 2023).
2. **Limbah industri:** Pabrik tekstil, makanan, dan kimia sering membuang cairan berwarna, beracun, dan bersuhu tinggi langsung ke badan air. Logam berat seperti timbal (Pb) dan kromium (Cr) menumpuk di dasar sungai, lalu masuk ke rantai makanan lewat ikan (Ali, Khan, & Sajad, 2024).
3. **Sampah plastik & limbah padat:** Botol, kantong, sedotan yang tidak terurai dalam ratusan tahun menyumbat saluran, memperparah banjir, dan melukai satwa laut (Rochman et al., 2023).





Gambar 5. Limbah industri
Sumber. nagamasprima.com



Gambar 6. Sampah plastik
Sumber. antarafoto.com

Gambar. Sungai di daerah perkotaan yang sudah tercemar (a), dan tercemar limbah industri (b)

Dan dampaknya menyentuh langsung ke dapur kita:

Ikan dari sungai tercemar mengandung logam berat yang menumpuk di hati dan ginjal manusia. Air tanah di permukiman padat mulai berbau dan berwarna karena terkontaminasi air lindi dari TPA atau septictank yang bocor.

c. Pencemaran Tanah

Ketika Bumi Kita Kehilangan “Ingatan” Menjadi Subur

Tanah adalah organisme tempat jutaan mikroba, cacing, dan jamur bekerja sama mengurai bahan organik, menyediakan nutrisi, dan menjaga struktur tanah. Tapi kini, banyak lahan pertanian dan permukiman kehilangan nyawa itu.





Penyebab Utamanya:

1. **Tumpukan sampah di TPA (Tempat Pembuangan Akhir):**

Indonesia menghasilkan sekitar 67,8 juta ton sampah per tahun (KLHK, 2023). Sekitar 60% adalah sampah organik, yang seharusnya bisa kembali ke tanah sebagai kompos. Tapi karena sistem pengelolaan yang buruk, hampir semua dikubur begitu saja di TPA terbuka. Di sana, tanpa oksigen, sampah organik membusuk dan menghasilkan gas metana (CH_4) gas rumah kaca 28 kali lebih kuat dari CO_2 serta air lindi, cairan hitam pekat yang meresap ke tanah dan mencemari sumber air bawah tanah (World Bank & KLHK, 2023).

2. **Penggunaan pestisida & pupuk kimia berlebihan:** Petani sering terjebak “efek kecanduan” kimia semakin sering dipakai, tanah semakin keras, mikroba mati, dan hasil panen justru menurun. Residu kimia itu tersisa di tanah selama puluhan tahun (Setyanto et al., 2023).

3. **Limbah plastik yang terpendam:** Plastik tidak terurai ia hanya pecah menjadi mikroplastik, lalu masuk ke rantai makanan lewat sayuran yang akarnya menyerap partikel itu (Li, Wang, & Rillig, 2023).



Gambar 7. Tumpukan sampah di TPA
Sumber. nagamasprima.com



Gambar 8. tanah mengering
Sumber. aktual.com





Gambar. Tumpukan sampah di TPA (a), tanah mengering akibat penggunaan pestisida berlebihan (b),

Di beberapa daerah, tanah sudah tidak bisa menahan air. Saat hujan, air langsung mengalir ke bawah (run-off), membawa lapisan tanah subur menyebabkan erosi dan banjir bandang. Saat kemarau, tanah retak-retak, tandus, tak bisa ditanami (FAO & UNEP, 2024).

Dan ironisnya: kita membuang “makanan” untuk tanah setiap hari. Kulit buah, sisa sayur, ampas kopi yang seharusnya jadi kompos alami justru dikirim ke TPA, memperparah pencemaran, alih-alih memperbaiki tanah.

d. Keterkaitan Antar Jenis Pencemaran

Satu Masalah Banyak Wajah

Pencemaran tidak pernah berdiri sendiri. Ia adalah sistem dan setiap bagian saling memperkuat kerusakan.





Contoh nyata:

1. **Sampah organik di TPA** → membusuk tanpa oksigen → menghasilkan gas metana (pencemaran udara) + air lindi (pencemaran air & tanah).
2. **Air lindi meresap ke tanah** → mencemari sumur warga → memicu penyakit pencernaan (dampak kesehatan).
3. **Tanah tercemar tidak subur** → petani pakai lebih banyak pupuk kimia → residu masuk ke sungai → ikan mati → nelayan kehilangan penghasilan (dampak sosial-ekonomi).

Inilah sebabnya kita butuh solusi yang holistik, berkelanjutan, dan berbasis sistem, bukan sekadar bersih-bersih sungai sekali setahun.



Gambar 9. Pembakaran hutan
Sumber. www.greeners.co



Gambar 10. Pencemaran lahan
Sumber. www.alodokter.com

Gambar. Pembakaran hutan (a), pencemaran lahan (b),





C. Rangkuman

Pencemaran lingkungan terjadi ketika zat, energi, atau bahan berbahaya masuk ke dalam lingkungan, baik udara, air, maupun tanah dalam jumlah yang melebihi daya dukung alam, sehingga menurunkan kualitas lingkungan dan mengancam kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, serta keseimbangan ekosistem. Sumber pencemaran sangat beragam: aktivitas industri menghasilkan limbah cair dan gas beracun seperti logam berat, sulfur dioksida, dan partikulat; kendaraan bermotor menyumbang polusi udara berupa karbon monoksida dan nitrogen oksida; pertanian intensif menggunakan pestisida dan pupuk kimia yang mencemari air tanah dan sungai; sementara sampah rumah tangga terutama plastik dan limbah elektronik menumpuk di TPA atau masuk ke perairan, merusak habitat alami. Dampaknya luas: pada kesehatan manusia muncul gangguan pernapasan, keracunan, bahkan penyakit kronis seperti kanker; pada ekosistem, terjadi kematian massal biota air akibat eutrofikasi atau tumpahan minyak, penurunan keanekaragaman hayati, serta degradasi lahan; secara global, emisi gas rumah kaca mempercepat perubahan iklim, menaikkan suhu bumi, dan memicu bencana alam ekstrem. Tanpa kesadaran kolektif dan tindakan nyata seperti pengelolaan limbah yang baik, penggunaan energi bersih, dan gaya hidup berkelanjutan dampak pencemaran akan terus memburuk bagi generasi kini dan mendatang.





D. Penugasan

Cermati berbagai gambar perubahan lingkungan di bawah ini:



Gambar 1. Tanah Longsor
Sumber. www.balipost.com



Gambar 2. Banjir
Sumber. www.dailymirror.lk



Gambar 3. Limbah Sampah
Sumber. envilife.co.id



Gambar 4. Asap Kendaraan
Sumber. aktual.com

1. Sebutkan faktor-faktor yang mengakibatkan perubahan lingkungan pada gambar 1, 2, 3 dan 4!
2. Jelaskan jenis pencemaran yang terjadi pada gambar 3 dan 4!
3. Jelaskan dampak perubahan lingkungan yang terjadi pada peristiwa di gambar 4 serta carilah alternatif penanggulangannya!
4. Dari keempat gambar, manakah yang menurutmu memiliki dampak paling serius terhadap kesehatan manusia dalam jangka panjang? Berikan alasanmu.

SCAN ME



UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP



E. Penilaian Diri

Nama : _____

Kelas : _____

Materi : Pencemaran Lingkungan (Dampak & Solusi)

Tanggal : _____

SCAN ME



Berilah tanda centang (✓) pada pernyataan yang paling sesuai dengan dirimu, lalu jawab pertanyaan refleksi di akhir.

NO	PERNYATAAN	SERING	KADANG - KADANG	JARANG
1	Saya dapat menjelaskan minimal 3 jenis pencemaran (udara, air, tanah) beserta contoh penyebabnya.			
2	Saya memahami hubungan antara aktivitas manusia (misal: membuang sampah sembarangan, membakar lahan) dengan dampak lingkungan (banjir, kabut asap, kematian ikan).			
3	Saya bisa menyebutkan minimal 2 solusi konkret untuk mengurangi pencemaran di lingkungan sekolah/rumah (misal: pilah sampah, kompos, hemat listrik).			
4	Saya bisa menyebutkan minimal 2 solusi konkret untuk mengurangi pencemaran di lingkungan sekolah/rumah (misal: pilah sampah, kompos, hemat listrik).			
5	Saya tertarik untuk terlibat dalam kegiatan nyata terkait pengurangan pencemaran (misal: bersih-bersih lingkungan, kampanye sampah, proyek eco-enzyme).			





MATERI II

1. Pengelolaan Limbah Organik Menjadi Eco-Enzyme
2. Kaitannya Eco-Enzyme dengan eco-STEM



A. Tujuan Pembelajaran

1. Menjelaskan hubungan antara limbah organik dan pencemaran lingkungan dari sudut pandang sains.
2. Merancang dan merekayasa proses pembuatan eco-enzyme dengan pendekatan teknik sederhana.
3. Menggunakan matematika untuk menghitung rasio, menganalisis data, dan memprediksi dampak skala besar.
4. Mengembangkan ide kreatif dalam pemanfaatan eco-enzyme untuk kehidupan sehari-hari.
5. Mengajukan argumen berbasis bukti mengenai efektivitas solusi berkelanjutan.





B. Uraian Materi

Hai, Sobat Bumi!

Kamu pernah membuang kulit jeruk, nanas, atau apel ke tempat sampah? Tahukah kamu, limbah dapur yang sering kita abaikan itu bisa menjadi senjata ampuh melawan pencemaran lingkungan tanpa listrik, tanpa bahan kimia, dan tanpa biaya mahal.

Di e-modul ini, kamu tidak hanya belajar tentang masalah lingkungan, tapi juga **merancang, membuat, dan menguji solusi nyata: eco-enzyme**.

1. Limbah Organik

Limbah organik adalah sisa bahan yang berasal dari makhluk hidup (tumbuhan, hewan, manusia) dan mengandung senyawa karbon yang dapat diurai secara alami oleh mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan cacing. Kata kuncinya bukan “sampah”, tapi “bisa kembali ke alam” asalkan kondisinya mendukung (Kaza et al., 2024).

Ciri utamanya:

1. **Mudah terurai (biodegradable):** dalam kondisi ideal (lembab, beroksigen, suhu 30–40°C), limbah organik bisa terurai dalam hitungan minggu hingga bulan (Zhang et al., 2023).
2. **Kaya nutrisi:** mengandung karbon, nitrogen, fosfor, kalium unsur hara utama bagi tanaman (Lehmann et al., 2024).
3. **Berpeluang tinggi untuk didaur ulang hayati:** bisa diubah menjadi kompos, biogas, pupuk cair, atau eco-enzyme (Kurniawan et al., 2024).





Kenapa Kita Harus Peduli pada Sampah Organik?

Sampah bukan hanya soal “kotor” atau “bau”. Ia adalah cermin dari pola konsumsi kita dan dampaknya nyata, bahkan jika kamu tidak melihatnya langsung.

Bayangkan ini:

Setiap hari, satu keluarga di Indonesia rata-rata menghasilkan sekitar satu kilogram sampah organik. Kalikan dengan 70 juta rumah tangga hasilnya adalah **puluhan juta ton limbah** yang berujung di tempat pembuangan akhir (TPA). Di sana, tanpa oksigen, sampah itu membusuk dan melepaskan gas metana, salah satu gas rumah kaca yang 25 kali lebih kuat dari karbon dioksida dalam mempercepat pemanasan global. Selain itu, air lindi (cairan hitam dari tumpukan sampah) meresap ke tanah dan sungai, mencemari sumber air minum serta membunuh biota air. Di banyak daerah, bau menyengat dari TPA bahkan mengganggu kesehatan warga sekitar (Sultoni et al., 2024).

Pertanyaannya bukan lagi apakah kita punya masalah, tapi:
 Apa yang bisa kita lakukan, mulai dari hal
 paling sederhana untuk mengubah arah
 cerita ini?





“DARI SAMPAH MENJADI SOLUSI”

**PROJEK ECO-ENZYME BERBASIS STEM
UNTUK MENUMBUHKAN JIWA KRITIS DAN KREATIF**



**“KARENA SETIAP KULIT BUAH PUNYA
POTENSI MENYELAMATKAN BUMI.”**



UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP



2. Eco-Enzyme

Apa Itu Eco-Enzyme?

Eco-enzyme pertama kali dipopulerkan oleh **Dr. Rosukon Poompanvong**, seorang praktisi pengobatan alternatif dan aktivis pertanian organik dari Thailand, pada awal tahun 2000-an. Ia memperkenalkan eco-enzyme sebagai solusi alami ramah lingkungan yang dibuat dari limbah dapur (terutama sisa buah-buahan), gula (biasanya gula merah atau molase), dan air melalui proses fermentasi anaerob selama 3 bulan (Arifin et al., 2023).

Eco-enzyme adalah cairan ajaib yang lahir dari proses alami: fermentasi anaerobik. Kata “anaerobik” berarti “tanpa oksigen” jadi, proses ini terjadi dalam wadah tertutup, seperti botol plastik bekas (Chen et al., 2024).

Meskipun konsep fermentasi limbah organik telah lama dikenal dalam berbagai budaya, Dr. Rosukon mengembangkan dan menyebarkan formula spesifik dengan rasio 1 bagian gula : 3 bagian limbah buah : 10 bagian air, serta mempromosikan berbagai manfaatnya mulai dari pembersih rumah tangga, pupuk cair, hingga penjernih air (Kurniawan et al., 2024.)





Istilah “eco-enzyme” sendiri diciptakan oleh Dr. Rosukon untuk menekankan aspek ekologis dan enzimatik dari produk fermentasi ini, meskipun secara ilmiah cairan tersebut lebih tepat disebut sebagai **fermentat limbah organik** karena tidak mengandung enzim dalam arti biokimiawi murni (yaitu protein katalitik), melainkan mengandung asam organik, alkohol, dan mikroorganisme hasil fermentasi (Chen et al., 2024).

Bahan Utama Eco-Enzyme Sangat Sederhana:

1. **Limbah buah-buahan**, khususnya kulit yang kaya enzim dan minyak atsiri (jeruk, nanas, apel sangat ideal).
2. **Gula alami**, seperti gula merah atau tetes tebu, yang berfungsi sebagai “makanan” bagi mikroba baik.
3. **Air bersih**, sebagai media pelarut dan pengatur konsentrasi.

Dalam waktu 3 hingga 6 minggu, mikroorganisme alami terutama ragi dan bakteri asam laktat mulai bekerja. Mereka mengubah gula menjadi alkohol, lalu alkohol itu diubah lagi menjadi asam organik: asam asetat, asam laktat, dan asam sitrat. Hasil akhirnya adalah cairan berwarna coklat kemerahan, beraroma asam segar seperti cuka buah, yang mengandung enzim aktif dan senyawa antimikroba alami.

Yang menakjubkan: eco-enzyme bisa digunakan sebagai pembersih lantai, penghilang bau, pelunak pakaian, pupuk cair, bahkan pengolahan air limbah domestik semua tanpa residu berbahaya.





3. Eco-STEM dalam Setiap Tetes Eco-Enzyme

Pendekatan eco-STEM bukan sekadar singkatan eco-STEM adalah cara berpikir menyeluruh untuk memecahkan masalah dunia nyata. Dan eco-enzyme adalah contoh sempurna integrasi keempat pilar itu.



Kata eco- pada eco-STEM berasal dari **ecological**, bukan sekadar “hijau” atau “alami”.

Artinya: STEM yang dirancang dengan pertimbangan ekologis sebagai prinsip utama, bukan pelengkap (Zimmerman & Bell, 2024).



Sains membantu kita memahami mengapa proses ini bekerja: bagaimana mikroba mengurai senyawa organik, mengapa pH turun seiring waktu, dan bagaimana asam organik bisa melarutkan lemak atau menekan pertumbuhan bakteri



Teknologi muncul dalam bentuk sederhana: penggunaan botol daur ulang sebagai bioreaktor mini, aplikasi ponsel untuk mencatat perubahan harian, atau alat ukur pH digital yang membuat observasi lebih akurat.





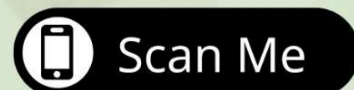
Rekayasa (Engineering) hadir saat kita merancang proses: memilih wadah yang aman (tahan tekanan gas), menentukan rasio bahan agar fermentasi optimal, atau merancang sistem ventilasi sederhana agar gas tidak membuat botol meledak



Matematika menjadi alat untuk memastikan keberhasilan: menghitung komposisi 1 bagian gula, 3 bagian limbah, dan 10 bagian air; menganalisis tren penurunan pH; memperkirakan penghematan biaya jika eco-enzyme menggantikan produk kimia komersial.

Langkah-Langkah Membuat Eco-Enzyme Sebuah Proses Rekayasa

Anda dapat mengakses video langkah-langkah membuat eco-enzyme pada Qr code berikut:





Siapkan Bahan



- Wadah plastik (bukan kaca) 1,6 liter, bersih dan kering. Pastikan tutupnya tidak bocor.
- Kulit buah segar: 300 gram (seperti kulit jeruk, nanas, apel). hindari buah berminyak seperti alpukat atau durian.
- Gula merah: 100 gram/molase
- Air bersih (bukan air panas): 1000ml

Langkah Pembuatan

1. Siapkan bahan dengan rumus 1:3:10.
2. Siapkan air bersih 1000ml lalu masukkan gula merah/molase.
3. Jika memakai gula merah aduk sampai larut lalu tuangkan air yang sudah tercampur gula merah sedikit demi sedikit ke dalam wadah eco-enzyme.
4. Masukkan potongan kulit buah, hindari buah yang berminyak, sudah busuk atau yang sudah berjamur.
5. Tutup wadah eco-enzyme dengan rapat. lalu buka 1-2 kali sehari selama 1-2 minggu pertama untuk membuang gas CO₂.
6. Simpan di tempat teduh, jauh dari sinar matahari langsung.
7. Tunggu waktu fermentasi minimal 3 bulan.





Refleksi – Menumbuhkan Kesadaran Mendalam

“Di akhir proyek, luangkan waktu untuk merenung secara pribadi atau dalam diskusi kelompok.

Tanyakan pada dirimu:

1. Apa momen paling mengejutkan selama eksperimen ini?
2. Apakah persepsiku tentang “sampah” berubah? Jika ya, bagaimana?
3. Jika proyek ini dilakukan oleh 100 sekolah di kotaku, berapa ton sampah yang bisa dialihkan dari TPA dalam satu tahun? Berapa karbon yang bisa dikurangi?
4. Apa hambatan terbesar dalam mengajak orang lain bergabung? Bagaimana cara mengatasinya?

Refleksi bukan sekadar formalitas. Ia adalah jembatan antara pengetahuan dan tindakan antara “tahu” dan “peduli”.





C. Rangkuman

Pemanfaatan limbah organik dapur (seperti kulit buah dan sisa sayur) untuk membuat eco-enzyme adalah solusi ramah lingkungan yang menerapkan pendekatan eco-STEM:

1. Science, fermentasi anaerob selama 3 bulan oleh mikroba alami menghasilkan enzim dan asam organik yang berfungsi sebagai pembersih, pengurai, atau pupuk cair.
2. Technology, proses ini memanfaatkan alat sederhana (botol daur ulang) dan aplikasi digital untuk memantau perkembangan fermentasi.
3. Engineering, siswa merancang variabel eksperimen (misalnya rasio 1:3:10 gula, limbah, air, atau modifikasi wadah) serta mengembangkan formulasi akhir sesuai kebutuhan.
4. Mathematics, dilakukan perhitungan rasio bahan, analisis data (rata-rata, persentase pengurangan noda/pertumbuhan tanaman), dan estimasi dampak (misal: 1 kg limbah/hari menghasilkan 30 liter eco-enzyme/tahun).

Sehingga kegiatan ini tidak hanya mengurangi sampah organik, tetapi juga memperkuat pemahaman sains terapan dan keterampilan berpikir kritis dan kreatif berbasis lingkungan.





D. Projek Eco-Enzyme

1. Tahap Perencanaan (Minggu 1)

- Bentuk kelompok (4-5 orang).
- Lakukan survei kecil: catat jenis & volume limbah organik di rumah masing-masing (3 hari).
- Rancang eksperimen dengan 1 variabel bebas (contoh jenis limbah jeruk dan nanas dengan rasio gula 2:1 dan 3:1).
- Buat proposal singkat (1 halaman): latar belakang, tujuan, desain percobaan, dan pembagian tugas.

2. Tahap Pelaksanaan (Minggu 2-4)

- Buat eco-enzyme sesuai rancangan (gunakan wadah transparan berlabel).
- Lakukan observasi harian/mingguan: catat perubahan bau, warna dan gelembung gas.
- Dokumentasikan dengan foto/video.

3. Tahap Pelaporan & Presentasi (Minggu 4)

- Buat produk akhir berupa:
- Laporan tertulis (format sederhana: pendahuluan, metode, hasil & grafik, pembahasan, kesimpulan).
- Video singkat proses pembuatan dan proses fermentasi eco enzyme (3-5 menit) atau poster digital yang menjelaskan proses, hasil, dan pesan lingkungan.





Kisi-Kisi Tes Kemampuan Berpikir Kritis (Facione, 2023)

NO	Indikator Berpikir Kritis	PERNYATAAN	Bentuk Soal	No. Soal
1	Interpretasi	Memahami makna data pengamatan (gelembung gas, bau, kekeruhan) selama pembuatan eco-enzyme	Uraian	1
2	Analisis	Mengidentifikasi hubungan sebab-akibat antara komposisi bahan, waktu fermentasi, dan kualitas eco-enzyme	Uraian	2
3	Evaluasi	Menilai kredibilitas klaim “eco-enzyme bisa atasi pencemaran sungai” berdasarkan bukti ilmiah	Uraian	3
4	Inferensi	Menarik kesimpulan dari data eksperimen: apakah eco-enzyme efektif mengurangi BOD limbah cair?	Uraian	4
5	Eksplanasi	Menjelaskan proses fermentasi dan peran mikroba dalam eco-enzyme secara ilmiah & logis	Uraian	5
6	Regulasi Diri	Merefleksi kelemahan desain eksperimen & memperbaiki proses berpikir	Terintegrasi dalam penilaian diri	-





E. Latihan Soal

1. Siswa mencatat perubahan selama 30 hari: hari ke-7: bau alkohol, hari ke-14: gelembung gas, hari ke-30: cairan bening berbau asam. Jelaskan makna perubahan tersebut dalam konteks proses fermentasi.

Jawaban:

.....

2. Dua kelompok merancang campuran awal untuk pembuatan eco-enzyme dengan rasio bahan berbeda: Kelompok A menggunakan perbandingan 1:3:10 (gula : buah : air), sedangkan Kelompok B menggunakan perbandingan 1:1:10. Jelaskan secara ilmiah bagaimana perbedaan rasio gula dan buah dalam campuran awal dapat memengaruhi proses fermentasi yang akan terjadi nanti.

Jawaban:

.....

3. Ada pernyataan yang beredar: “Karena eco-enzyme terbuat dari bahan alami, maka aman digunakan untuk mengolah semua jenis limbah.” Evaluasilah pernyataan tersebut berdasarkan prinsip keamanan dan kelayakan penggunaan eco-enzyme.

Jawaban:

.....





4. Dalam suatu uji coba, limbah kantin yang diolah dengan eco-enzyme menunjukkan pengurangan bau yang signifikan, namun endapan padat tetap tersisa. Apa kesimpulan logis yang dapat diambil mengenai kemampuan eco-enzyme berdasarkan hasil tersebut?

Jawaban:

.....

5. Jika proses pembuatan eco-enzyme dilakukan dalam wadah yang tertutup rapat (kedap udara), apa dampaknya terhadap proses fermentasi dan keselamatan? Jelaskan dari segi biokimia dan keselamatan.

Jawaban:

.....

Berikut link pengisian jawaban soal di atas

SCAN ME



UNTUK SMA/MA KELAS X SEMESTER GENAP



F. Penilaian Diri

Nama : _____

Kelas : _____

Kelompok : _____

Tanggal : _____

SCAN ME



Berilah tanda centang (✓) pada kolom yang paling sesuai dengan pengalaman dan usahamu selama proyek. Lalu, tuliskan penjelasan singkat atau contoh di kolom "Refleksi".

NO	PERNYATAAN	IYA	TIDAK
1	Saya memahami konsep ilmiah di balik fermentasi eco-enzyme (misal: peran mikroba, gas yang dihasilkan).		
2	Saya terlibat aktif dalam perencanaan & pelaksanaan eksperimen (misal: menyiapkan bahan, mencatat data, mengamati perubahan).		
3	Saya berusaha memecahkan masalah secara kreatif saat menghadapi kendala (misal: bau menyengat, wadah bocor, fermentasi gagal).		
4	Saya melakukan pengukuran atau perhitungan dengan teliti (misal: rasio bahan, perubahan tinggi tanaman, persentase keberhasilan).		
5	Saya berkontribusi dalam diskusi kelompok & menghargai pendapat teman.		
6	Saya mampu menghubungkan proyek ini dengan isu lingkungan di sekitar (misal: pengurangan sampah, penggunaan bahan kimia).		
7	Saya berani menyampaikan hasil/menjawab pertanyaan saat presentasi (lisan/tertulis/video).		





Refleksi Diri (Jawab dengan jujur dan Kritis)

1. Apa hal paling menarik atau mengejutkan yang kamu pelajari selama proyek ini?

.....

2. Apa satu hal yang ingin kamu perbaiki jika mengulang proyek ini?

.....

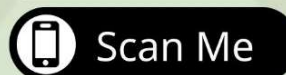
3. Bagaimana proyek ini mengubah cara pandangmu terhadap “sampah”?

.....

4. Apa manfaat nyata eco-enzyme menurutmu untuk keluarga, sekolah, atau lingkungan?

.....

Berikut link pengisian jawaban soal di atas





DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2024). Heavy metal contamination in aquatic ecosystems: Sources, bioaccumulation, and ecotoxicological effects. *Journal of Hazardous Materials*, 462, 132789.
- Arifin, N., Sari, D. K., & Wijayanti, M. (2023). Eco-enzyme from kitchen waste: A sustainable alternative for agroecological farming. *Journal of Environmental Management*, 345, 118642.
- Chen, Y., Liu, X., & Wang, J. (2024). Biochemical characterization and application potential of fruit waste-derived eco-enzyme. *Bioresource Technology Reports*, 25, 101678.
- Corcoran, E., Scott, R., & UNEP. (2023). Wastewater Management and Eutrophication: A Global Review. *Environmental Science & Technology*, 57(12), 4567–4579.
- Dr. Roslan J. (2018). *Eco-Enzyme: The Miracle Solution for Environmental Problems*. Malaysia: Eco-Enzyme Research Centre.
- Food and Agriculture Organization (FAO) & United Nations Environment Programme (UNEP). (2024). *Global Land Outlook: Thematic Report on Soil Health*. Rome: FAO.
- Ge, C., et al. (2024). Transboundary haze pollution from Indonesian peatland fires. *Nature Communications*, 15, 1123.
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2024). Organic waste management for circular economies: Principles and practices. *Journal of Cleaner Production*, 432, 139987.





- KLHK RI. (2023). Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2023.
- Kurniawan, T. A., Hapsari, D. R., & Ouyang, D. (2024). From waste to resource: Circular management of urban organic waste for soil regeneration in Southeast Asia. *Waste Management*, 175, 1–10.
- IQAir. (2024). World Air Quality Report 2024.
- Lehmann, J., Bossio, D., & Solomon, D. (2024). Organic waste recycling for soil health and climate resilience. *Nature Sustainability*, 6(5), 508–516.
- Li, W., Wang, J., & Rillig, M. C. (2023). Microplastic uptake by crop plants in agricultural soils: Evidence from field studies and implications for food safety. *Nature Food*, 4(9), 723–731.
- Rochman, C. M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., ... & Vermeiren, P. (2023). Plastic pollution in the world's oceans and freshwater systems. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(5), 332–347.
- Setyanto, P., Mariana, A., & Fiantis, D. (2023). Soil health degradation due to intensive agrochemical use in Indonesian rice and vegetable farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 356, 108642.
- Sultoni, M. I., Prayoga, I. G. A. A., & Wijaya, A. (2024). Methane emissions from municipal solid waste landfills in tropical developing countries: A case study from Java, Indonesia. *Environmental Pollution*, 340, 122876.





- United Nations Environment Programme (UNEP). (2024). Global environment outlook: Environmental pollution and planetary health. United Nations. World Bank. (2023). Indonesia Solid Waste Management Program: Progress and Challenges.
- World Health Organization. (2023). Health Impacts of Open Waste Burning in Southeast Asia.
- World Bank & Ministry of Environment and Forestry RI. (2024). Urban Air Quality Management in Indonesia.ada
- Zhang, Y., Venkataraman, K., & Wang, C. (2023). Kinetics and microbial dynamics of organic waste decomposition under controlled composting. *Bioresource Technology*, 387, 129678.
- Zimmerman, A., & Bell, P. (2024). Reimagining STEM education through an ecological lens: Toward eco-STEM as a transformative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(2), 1–24.



Lampiran 5 Angket Validasi Konten

**ANGKET VALIDASI AHLI KONTEN E-MODUL BERBASIS STEM
TERINTEGRASI PROJEK LINGKUNGAN**

A. Identitas Validator

Komponen	Keterangan
Nama Validator	<u>Dr. Nopriyani, M.Pd</u>
Bidang Keahlian	<input checked="" type="checkbox"/> Ahli Konten <input type="checkbox"/> Ahli Media
Jabatan/Instansi	<u>Dosen UMB</u>
Pendidikan Terakhir	<u>S3</u>
Tanggal Pengisian	<u>19 / 01 / 2026</u>

B. Petunjuk Pengisian

1. Dimohon Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap konten E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang telah dibuat sesuai dengan kriteria yang telah termuat dalam instrumen penelitian.
2. Berilah tanda centang (checkmark) pada kolom yang telah tersedia, dengan memilih alternatif jawaban yang tersedia. Terdapat lima alternatif jawaban, yaitu:

Skor	Keterangan
1	Sangat Tidak Baik
2	Tidak Baik
3	Cukup Baik
4	Baik
5	Sangat Baik

3. Apabila Bapak/Ibu menilai kurang sesuai atau terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki, dimohon untuk memberikan tanda sehingga dapat dilakukan revisi lebih lanjut lagi.
4. Bapak/Ibu dimohon memberikan saran pada halaman yang telah disediakan.
5. Bapak/Ibu dimohon memberikan tanda centang (checkmark) terhadap hasil akhir penilaian penelitian terhadap pengembangan E-Modul ini.

C. Lembar Penilaian Ahli

No	Aspek Penilaian	Indikator	Sub-Indikator	Skor				
				1	2	3	4	5
1	Kelayakan Isi	Kesesuaian dengan capaian pembelajaran (CP)	Kesesuaian materi pencemaran lingkungan CP				✓	
			Keterkaitan antara					

			materi dan CP					✓
2	Akurasi Konten Ilmiah	Ketepatan konsep STEM	Ketepatan konsep sains tentang pencemaran					✓
			Keterpaduan sains, teknologi, teknik, dan matematika					✓
3	Keterpaduan dengan Proyek Lingkungan	Relevansi aktivitas proyek	Kesesuaian aktivitas proyek dengan masalah lingkungan nyata					✓
			Keterhubungan teori dan praktik					✓
4	Kejelasan Penyajian Informasi	Struktur penyajian	Urutan materi logis dan runtut					✓
			Bahasa mudah dipahami siswa SMA					✓
5	Kualitas Ilustrasi & Media Pembelajaran	Relevansi gambar/diagram	Gambar mendukung pemahaman konsep					✓
6	Keterlibatan Peserta Didik	Aktivitas belajar siswa	Adanya tugas reflektif/eksploratif					✓
			Keterlibatan dalam proses proyek					✓
7	Ketepatan Penilaian & Instrumen Evaluasi	Evaluasi formatif	Variasi soal sesuai level kognitif					✓
			Instrumen proyek jelas					✓
8	Originalitas & Kebaruan Konten	Kebaruan materi	Ide atau pendekatan baru					✓
			Kebebasan plagiarisme				✓	

D. Kriteria Penilaian

Kriteria	Kategori
Kelayakan E-Modul secara umum	Sangat layak digunakan tanpa revisi
	Layak digunakan dengan revisi kecil
	Cukup Layak digunakan dengan revisi besar
	Belum layak digunakan

E. Komentar dan Saran

Sudah diperbaiki & layak v/ digunakan

Bengkulu, 19 Januari 2026

Dr. Nopriveni, M.Pd

NP. 198811032017012128

**ANGKET VALIDASI AHLI KONTEN E-MODUL BERBASIS STEM
TERINTEGRASI PROJEK LINGKUNGAN**

A. Identitas Validator

Komponen	Keterangan
Nama Validator	<u>Helita M. Pd</u>
Bidang Keahlian	<input type="checkbox"/> Ahli Konten <input type="checkbox"/> Ahli Media
Jabatan/Instansi	<u>Guru / SMAN 11 Kota Bengkulu</u>
Pendidikan Terakhir	<u>ST.</u>
Tanggal Pengisian	<u>23 / 01 / 2026.</u>

B. Petunjuk Pengisian

1. Dimohon Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap konten E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang telah dibuat sesuai dengan kriteria yang telah termuat dalam instrumen penelitian.
2. Berilah tanda centang (checkmark) pada kolom yang telah tersedia, dengan memilih alternatif jawaban yang tersedia. Terdapat lima alternatif jawaban, yaitu:

Skor	Keterangan
1	Sangat Tidak Baik
2	Tidak Baik
3	Cukup Baik
4	Baik
5	Sangat Baik

3. Apabila Bapak/Ibu menilai kurang sesuai atau terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki, dimohon untuk memberikan tanda sehingga dapat dilakukan revisi lebih lanjut lagi.
4. Bapak/Ibu dimohon memberikan saran pada halaman yang telah disediakan.
5. Bapak/Ibu dimohon memberikan tanda centang (checkmark) terhadap hasil akhir penilaian penelitian terhadap pengembangan E-Modul ini.

C. Lembar Penilaian Ahli

No	Aspek Penilaian	Indikator	Sub-Indikator	Skor					
				1	2	3	4	5	
1	Kelayakan Isi	Kesesuaian dengan capaian	Kesesuaian materi pencemaran lingkungan CP						✓

		pembelajaran (CP)	Keterkaitan antara materi dan CP						
2	Akurasi Konten Ilmiah	Ketepatan konsep STEM	Ketepatan konsep sains tentang pencemaran						✓
			Keterpaduan sains, teknologi, teknik, dan matematika						✓
3	Keterpaduan dengan Proyek Lingkungan	Relevansi aktivitas proyek	Kesesuaian aktivitas proyek dengan masalah lingkungan nyata						✓
			Keterhubungan teori dan praktik					✓	
4	Kejelasan Penyajian Informasi	Struktur penyajian	Urutan materi logis dan runtut					✓	
			Bahasa mudah dipahami siswa SMA						✓
5	Kualitas Ilustrasi & Media Pembelajaran	Relevansi gambar/diagram	Gambar mendukung pemahaman konsep						✓
6	Keterlibatan Peserta Didik	Aktivitas belajar siswa	Adanya tugas reflektif/eksploratif						✓
			Keterlibatan dalam proses proyek					✓	
7	Ketepatan Penilaian & Instrumen Evaluasi	Evaluasi formatif	Variasi soal sesuai level kognitif						✓
			Instrumen proyek jelas						✓
8	Originalitas & Kebaruan Konten	Kebaruan materi	Ide atau pendekatan baru						✓
			Kebebasan plagiarisme						✓

D. Kriteria Penilaian

Kriteria	Kategori
Kelayakan E-Modul secara umum	Sangat layak digunakan tanpa revisi
	Layak digunakan dengan revisi kecil
	Cukup Layak digunakan dengan revisi besar
	Belum layak digunakan

E. Komentor dan Saran

.....
.....
.....

Bengkulu, Januari 2026



.....
Herita M. pd.
.....

Lampiran 6 Angket Validasi Media

**ANGKET VALIDASI AHLI MEDIA E-MODUL BERBASIS STEM TERINTEGRASI
PROJEK LINGKUNGAN**

A. Identitas Validator

Komponen	Keterangan
Nama Validator	<u>Dr. Nopriyeni, M.Pd</u>
Bidang Keahlian	<input type="checkbox"/> Ahli Konten <input checked="" type="checkbox"/> Ahli Media
Jabatan/Instansi	<u>Dosen UMB</u>
Pendidikan Terakhir	<u>S3</u>
Tanggal Pengisian	<u>19 / 01 / 2026</u>

B. Petunjuk Pengisian

1. Dimohon Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap produk E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang telah dibuat sesuai dengan kriteria yang telah termuat dalam instrumen penelitian.
2. Berilah tanda centang (checkmark) pada kolom yang telah tersedia, dengan memilih alternatif jawaban yang tersedia. Terdapat lima alternatif jawaban, yaitu:

Skor	Keterangan
1	Sangat Tidak Baik
2	Tidak Baik
3	Cukup Baik
4	Baik
5	Sangat Baik

3. Apabila Bapak/Ibu menilai kurang sesuai atau terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki, dimohon untuk memberikan tanda sehingga dapat dilakukan revisi lebih lanjut lagi.
4. Bapak/Ibu dimohon memberikan saran pada halaman yang telah disediakan.
5. Bapak/Ibu dimohon memberikan tanda centang (checkmark) terhadap hasil akhir penilaian penelitian terhadap pengembangan E-Modul ini.

C. Lembar Penilaian Ahli

No	Aspek	Indikator	Skor				
			1	2	3	4	5
A Aspek Tampilan							
1	Konsistensi Desain	Konsistensi tata letak, font, dan skema warna di seluruh e-modul.				✓	
2	Keterbacaan Teks	Penggunaan jenis, ukuran, dan warna font yang mudah dibaca.				✓	

3	Tata Letak (Layout)	Organisasi elemen visual (teks, gambar, video) yang seimbang dan tidak padat.						✓
4	Kualitas Grafis	Kualitas gambar, ilustrasi, dan diagram yang jelas dan relevan dengan materi lingkungan.						✓
5	Desain Antarmuka (Interface)	Tampilan antarmuka menarik, ramah pengguna, dan intuitif.					✓	
B Aspek Fungsional								
6	Navigasi	Kemudahan berpindah antar halaman/menu (tombol navigasi berfungsi dengan baik).						✓
7	Interaktivitas	Fitur interaktif (kuis, simulasi, tautan eksternal) berfungsi optimal dan mendukung pembelajaran STEM.						✓
8	Kompatibilitas	E-modul dapat diakses dengan baik di berbagai perangkat (komputer, tablet, smartphone).						✓
9	Pemuatan (Loading)	Waktu pemuatan e-modul dan elemen di dalamnya cepat dan efisien.						✓
C Aspek Media & Integrasi Projek Lingkungan								
10	Pemanfaatan Media	Penggunaan media (video, audio, animasi) mendukung pemahaman konsep STEM dan projek lingkungan.						✓
11	Relevansi Projek Lingkungan	Media yang digunakan relevan untuk memfasilitasi kegiatan projek nyata terkait isu lingkungan.						✓
12	Kejelasan Instruksi Projek	Instruksi terkait tahapan projek lingkungan dalam e-modul disajikan secara jelas.						✓

D. Kriteria Penilaian

Kriteria	Kategori
Kelayakan E-Modul secara umum	Sangat layak digunakan tanpa revisi
	Layak digunakan dengan revisi kecil
	Cukup Layak digunakan dengan revisi besar
	Belum layak digunakan

E. Komentar dan Saran

.....
Sudah diperbaiki layak / digunakan
.....

Bengkulu, 19 Januari 2026



Dr. Noprieni, M.Pd
NP. 198811032017012128

**ANGKET VALIDASI AHLI MEDIA E-MODUL BERBASIS STEM TERINTEGRASI
PROJEK LINGKUNGAN**

A. Identitas Validator

Komponen	Keterangan
Nama Validator	<u>Dedhy Pirolosa</u>
Bidang Keahlian	<input type="checkbox"/> Ahli Konten <input type="checkbox"/> Ahli Media
Jabatan/Instansi	<u>Guru / SMA N 11 Kota Bengkulu</u>
Pendidikan Terakhir	<u>S2</u>
Tanggal Pengisian	<u>23 / 01 / 2026</u>

B. Petunjuk Pengisian

1. Dimohon Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap produk E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang telah dibuat sesuai dengan kriteria yang telah termuat dalam instrumen penelitian.
2. Berilah tanda centang (\checkmark) pada kolom yang telah tersedia, dengan memilih alternatif jawaban yang tersedia. Terdapat lima alternatif jawaban, yaitu:

Skor	Keterangan
1	Sangat Tidak Baik
2	Tidak Baik
3	Cukup Baik
4	Baik
5	Sangat Baik

3. Apabila Bapak/Ibu menilai kurang sesuai atau terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki, dimohon untuk memberikan tanda sehingga dapat dilakukan revisi lebih lanjut lagi.
4. Bapak/Ibu dimohon memberikan saran pada halaman yang telah disediakan.
5. Bapak/Ibu dimohon memberikan tanda centang (\checkmark) terhadap hasil akhir penilaian penelitian terhadap pengembangan E-Modul ini.

C. Lembar Penilaian Ahli

No	Aspek	Indikator	Skor				
			1	2	3	4	5
A Aspek Tampilan							
1	Konsistensi Desain	Konsistensi tata letak, font, dan skema warna di seluruh e-modul.					✓
2	Keterbacaan Teks	Penggunaan jenis, ukuran, dan warna font yang mudah dibaca.					✓

		pembelajaran (CP)	Keterkaitan antara materi dan CP					
2	Akurasi Konten Ilmiah	Ketepatan konsep STEM	Ketepatan konsep sains tentang pencemaran					✓
			Keterpaduan sains, teknologi, teknik, dan matematika					✓
3	Keterpaduan dengan Proyek Lingkungan	Relevansi aktivitas proyek	Kesesuaian aktivitas proyek dengan masalah lingkungan nyata					✓
			Keterhubungan teori dan praktik					✓
4	Kejelasan Penyajian Informasi	Struktur penyajian	Urutan materi logis dan runtut					✓
			Bahasa mudah dipahami siswa SMA					✓
5	Kualitas Ilustrasi & Media Pembelajaran	Relevansi gambar/diagram	Gambar mendukung pemahaman konsep					✓
6	Keterlibatan Peserta Didik	Aktivitas belajar siswa	Adanya tugas reflektif/eksploratif					✓
			Keterlibatan dalam proses proyek					✓
7	Ketepatan Penilaian & Instrumen Evaluasi	Evaluasi formatif	Variasi soal sesuai level kognitif					✓
			Instrumen proyek jelas					✓
8	Originalitas & Kebaruan Konten	Kebaruan materi	Ide atau pendekatan baru					✓
			Kebebasan plagiarisme					✓

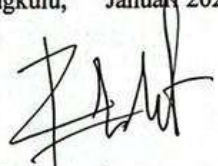
D. Kriteria Penilaian

Kriteria	Kategori
Kelayakan E-Modul secara umum	Sangat layak digunakan tanpa revisi
	Layak digunakan dengan revisi kecil
	Cukup Layak digunakan dengan revisi besar
	Belum layak digunakan

E. Komentar dan Saran

.....
.....
.....

Bengkulu, Januari 2026


.....
Dedy Pinoloz

**ANGKET VALIDASI AHLI MEDIA E-MODUL BERBASIS STEM TERINTEGRASI
PROJEK LINGKUNGAN**

A. Identitas Validator

Komponen	Keterangan
Nama Validator	<u>Patonu M.Pa</u>
Bidang Keahlian	<input type="checkbox"/> Ahli Konten <input type="checkbox"/> Ahli Media
Jabatan/Instansi	<u>Guru / SMPN 11 Kota Bengkulu.</u>
Pendidikan Terakhir	<u>S2</u>
Tanggal Pengisian	<u>23 / 01 / 2026</u>

B. Petunjuk Pengisian

1. Dimohon Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap produk E-Modul berbasis STEM terintegrasi proyek lingkungan yang telah dibuat sesuai dengan kriteria yang telah termuat dalam instrumen penelitian.
2. Berilah tanda centang (✓) pada kolom yang telah tersedia, dengan memilih alternatif jawaban yang tersedia. Terdapat lima alternatif jawaban, yaitu:

Skor	Keterangan
1	Sangat Tidak Baik
2	Tidak Baik
3	Cukup Baik
4	Baik
5	Sangat Baik

3. Apabila Bapak/Ibu menilai kurang sesuai atau terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki, dimohon untuk memberikan tanda sehingga dapat dilakukan revisi lebih lanjut lagi.
4. Bapak/Ibu dimohon memberikan saran pada halaman yang telah disediakan.
5. Bapak/Ibu dimohon memberikan tanda centang (✓) terhadap hasil akhir penilaian penelitian terhadap pengembangan E-Modul ini.

C. Lembar Penilaian Ahli

No	Aspek	Indikator	Skor				
			1	2	3	4	5
A	Aspek Tampilan						
1	Konsistensi Desain	Konsistensi tata letak, font, dan skema warna di seluruh e-modul.					
2	Keterbacaan Teks	Penggunaan jenis, ukuran, dan warna font yang mudah dibaca.					

3	Tata Letak (Layout)	Organisasi elemen visual (teks, gambar, video) yang seimbang dan tidak padat.					
4	Kualitas Grafis	Kualitas gambar, ilustrasi, dan diagram yang jelas dan relevan dengan materi lingkungan.					
5	Desain Antarmuka (Interface)	Tampilan antarmuka menarik, ramah pengguna, dan intuitif.					
B Aspek Fungsional							
6	Navigasi	Kemudahan berpindah antar halaman/menu (tombol navigasi berfungsi dengan baik).					
7	Interaktivitas	Fitur interaktif (kuis, simulasi, tautan eksternal) berfungsi optimal dan mendukung pembelajaran STEM.					
8	Kompatibilitas	E-modul dapat diakses dengan baik di berbagai perangkat (komputer, tablet, smartphone).					
9	Pemuatan (Loading)	Waktu pemuatan e-modul dan elemen di dalamnya cepat dan efisien.					
C Aspek Media & Integrasi Projek Lingkungan							
10	Pemanfaatan Media	Penggunaan media (video, audio, animasi) mendukung pemahaman konsep STEM dan projek lingkungan.					
11	Relevansi Projek Lingkungan	Media yang digunakan relevan untuk memfasilitasi kegiatan projek nyata terkait isu lingkungan.					
12	Kejelasan Instruksi Projek	Instruksi terkait tahapan proyek lingkungan dalam e-modul disajikan secara jelas.					


D. Kriteria Penilaian

Kriteria	Kategori
Kelayakan E-Modul secara umum	Sangat layak digunakan tanpa revisi
	Layak digunakan dengan revisi kecil
	Cukup Layak digunakan dengan revisi besar
	Belum layak digunakan

E. Komentor dan Saran

.....
.....
.....

Bengkulu, Januari 2026


.....
Fahrah M. Pd

Lampiran 8 Angket Respon Siswa

**ANGKET RESPON PESERTA DIDIK MENGGUNAKAN E-MODUL BERBASIS
STEM TERINTEGRASI PROJEK LINGKUNGAN**

Mata Pelajaran : Biologi
Materi : Pencemaran Lingkungan
Jenjang : SMA
Responden : Peserta Didik

A. Identitas Peserta Didik

Komponen	Keterangan
Nama Peserta Didik	<u>Rahma Musimah</u>
Kelas	<u>X-12</u>
Tanggal Pengisian	<u>13 / 02 / 2026</u>

B. Petunjuk Pengisian

Angket ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepraktisan e-modul berbasis STEM yang terintegrasi dengan proyek lingkungan pada materi pencemaran lingkungan.

Berilah tanda (✓) pada salah satu pilihan jawaban yang paling sesuai dengan pengalaman Anda setelah menggunakan e-modul ini.

Skala penilaian:

- 4 = Sangat Setuju (SS)
 3 = Setuju (S)
 2 = Tidak Setuju (TS)
 1 = Sangat Tidak Setuju (STS)

C. Lembar Penilaian

No	Aspek Penilaian	Pernyataan	Skor			
			1	2	3	4
1	Kemudahan Penggunaan (Usability)	E-modul mudah diakses melalui perangkat yang saya gunakan (HP/Laptop).			✓	
		Petunjuk penggunaan e-modul disajikan dengan jelas dan mudah dipahami.			✓	
		Navigasi (menu, tombol, tautan) pada e-modul mudah digunakan.			✓	
		Saya tidak mengalami kesulitan teknis saat menggunakan e-modul.				✓
2	Kejelasan Materi dan Penyajian	Materi pencemaran lingkungan disajikan secara sistematis dan runtut.				✓
		Bahasa yang digunakan dalam e-modul mudah dipahami.				✓
		Contoh dan ilustrasi dalam e-modul membantu saya memahami materi.			✓	
		Keterkaitan konsep sains, teknologi, teknik, dan matematika (STEM) dijelaskan dengan jelas.				✓

3	Keterpaduan Projek Lingkungan	Projek lingkungan yang disajikan relevan dengan materi pencemaran lingkungan.			✓	
		Langkah-langkah pelaksanaan projek dijelaskan dengan jelas.			✓	
		Projek mendorong saya untuk mengamati permasalahan lingkungan di sekitar.			✓	
		Projek dalam e-modul dapat dilaksanakan dengan alat dan bahan yang mudah diperoleh.			✓	
4	Kemenarikan dan Motivasi Belajar	Tampilan e-modul menarik dan tidak membosankan.				✓
		E-modul membuat saya lebih tertarik mempelajari materi pencemaran lingkungan.			✓	
		Aktivitas dalam e-modul mendorong saya untuk belajar secara mandiri.			✓	
		E-modul meningkatkan motivasi saya untuk menjaga lingkungan.				✓
5	Kepraktisan dalam Pembelajaran	E-modul dapat digunakan kapan saja dan di mana saja.				✓
		Waktu pembelajaran menjadi lebih efisien dengan menggunakan e-modul ini.				✓
		E-modul membantu saya memahami materi tanpa harus selalu dibimbing guru.			✓	
		Secara keseluruhan, e-modul ini praktis digunakan dalam pembelajaran Biologi.			✓	

D. Saran dan Masukan

.....

.....

.....

Bengkulu, Februari 2026

Rahma
Rahma

**ANGKET RESPON PESERTA DIDIK MENGGUNAKAN E-MODUL BERBASIS
STEM TERINTEGRASI PROJEK LINGKUNGAN**

Mata Pelajaran : Biologi
Materi : Pencemaran Lingkungan
Jenjang : SMA
Responden : Peserta Didik

A. Identitas Peserta Didik

Komponen Keterangan
Nama Peserta Didik Meta Elviana
Kelas X.K
Tanggal Pengisian 05 / 02 / 2026

B. Petunjuk Pengisian

Angket ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepraktisan e-modul berbasis STEM yang terintegrasi dengan proyek lingkungan pada materi pencemaran lingkungan.

Berilah tanda (✓) pada salah satu pilihan jawaban yang paling sesuai dengan pengalaman Anda setelah menggunakan e-modul ini.

Skala penilaian:

4 = Sangat Setuju (SS)

3 = Setuju (S)

2 = Tidak Setuju (TS)

1 = Sangat Tidak Setuju (STS)

C. Lembar Penilaian

No	Aspek Penilaian	Pernyataan	Skor			
			1	2	3	4
1	Kemudahan Penggunaan (Usability)	E-modul mudah diakses melalui perangkat yang saya gunakan (HP/Laptop).				✓
		Petunjuk penggunaan e-modul disajikan dengan jelas dan mudah dipahami.			✓	
		Navigasi (menu, tombol, tautan) pada e-modul mudah digunakan.				✓
		Saya tidak mengalami kesulitan teknis saat menggunakan e-modul.				✓
2	Kejelasan Materi dan Penyajian	Materi pencemaran lingkungan disajikan secara sistematis dan runtut.				✓
		Bahasa yang digunakan dalam e-modul mudah dipahami.				✓
		Contoh dan ilustrasi dalam e-modul membantu saya memahami materi.				✓
		Keterkaitan konsep sains, teknologi, teknik, dan matematika (STEM) dijelaskan dengan jelas.				✓

3	Keterpaduan Projek Lingkungan	Projek lingkungan yang disajikan relevan dengan materi pencemaran lingkungan.			✓
		Langkah-langkah pelaksanaan projek dijelaskan dengan jelas.			✓
		Projek mendorong saya untuk mengamati permasalahan lingkungan di sekitar.			✓
		Projek dalam e-modul dapat dilaksanakan dengan alat dan bahan yang mudah diperoleh.			✓
4	Kemenarikan dan Motivasi Belajar	Tampilan e-modul menarik dan tidak membosankan.			✓
		E-modul membuat saya lebih tertarik mempelajari materi pencemaran lingkungan.			✓
		Aktivitas dalam e-modul mendorong saya untuk belajar secara mandiri.			✓
		E-modul meningkatkan motivasi saya untuk menjaga lingkungan.			✓
5	Kepraktisan dalam Pembelajaran	E-modul dapat digunakan kapan saja dan di mana saja.			✓
		Waktu pembelajaran menjadi lebih efisien dengan menggunakan e-modul ini.			✓
		E-modul membantu saya memahami materi tanpa harus selalu dibimbing guru.			✓
		Secara keseluruhan, e-modul ini praktis digunakan dalam pembelajaran Biologi.			✓

D. Saran dan Masukan

e modulnya sangat mudah diakses dan mudah dipahami

.....

.....

Bengkulu, Februari 2026



Meta Elviana

**ANGKET RESPON PESERTA DIDIK MENGGUNAKAN E-MODUL BERBASIS
STEM TERINTEGRASI PROJEK LINGKUNGAN**

Mata Pelajaran : Biologi
Materi : Pencemaran Lingkungan
Jenjang : SMA
Responden : Peserta Didik

A. Identitas Peserta Didik

Komponen Keterangan
Nama Peserta Didik Violata Indah Sakar
Kelas X.10
Tanggal Pengisian 10 / 02 / 2026

B. Petunjuk Pengisian

Angket ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepraktisan e-modul berbasis STEM yang terintegrasi dengan proyek lingkungan pada materi pencemaran lingkungan.

Berilah tanda (✓) pada salah satu pilihan jawaban yang paling sesuai dengan pengalaman Anda setelah menggunakan e-modul ini.

Skala penilaian:

- 4 = Sangat Setuju (SS)
 3 = Setuju (S)
 2 = Tidak Setuju (TS)
 1 = Sangat Tidak Setuju (STS)

C. Lembar Penilaian


No	Aspek Penilaian	Pernyataan	Skor			
			1	2	3	4
1	Kemudahan Penggunaan (Usability)	E-modul mudah diakses melalui perangkat yang saya gunakan (HP/Laptop).				✓
		Petunjuk penggunaan e-modul disajikan dengan jelas dan mudah dipahami.				✓
		Navigasi (menu, tombol, tautan) pada e-modul mudah digunakan.				✓
		Saya tidak mengalami kesulitan teknis saat menggunakan e-modul.				✓
2	Kejelasan Materi dan Penyajian	Materi pencemaran lingkungan disajikan secara sistematis dan runtut.				✓
		Bahasa yang digunakan dalam e-modul mudah dipahami.				✓
		Contoh dan ilustrasi dalam e-modul membantu saya memahami materi.				✓
		Keterkaitan konsep sains, teknologi, teknik, dan matematika (STEM) dijelaskan dengan jelas.			✓	

3	Keterpaduan Projek Lingkungan	Projek lingkungan yang disajikan relevan dengan materi pencemaran lingkungan.			✓	
		Langkah-langkah pelaksanaan projek dijelaskan dengan jelas.				✓
		Projek mendorong saya untuk mengamati permasalahan lingkungan di sekitar.			✓	
		Projek dalam e-modul dapat dilaksanakan dengan alat dan bahan yang mudah diperoleh.				✓
4	Kemenarikan dan Motivasi Belajar	Tampilan e-modul menarik dan tidak membosankan.				✓
		E-modul membuat saya lebih tertarik mempelajari materi pencemaran lingkungan.				✓
		Aktivitas dalam e-modul mendorong saya untuk belajar secara mandiri.				✓
		E-modul meningkatkan motivasi saya untuk menjaga lingkungan.				✓
5	Kepraktisan dalam Pembelajaran	E-modul dapat digunakan kapan saja dan di mana saja.				✓
		Waktu pembelajaran menjadi lebih efisien dengan menggunakan e-modul ini.				✓
		E-modul membantu saya memahami materi tanpa harus selalu dibimbing guru.				✓
		Secara keseluruhan, e-modul ini praktis digunakan dalam pembelajaran Biologi.				✓

D. Saran dan Masukan

Saya jadi banyak mengetahui manfaat limbah organik. Salah satunya dibuat menjadi eco-enzyme

Bengkulu, Februari 2026


Violeta Indan Sakar

Lampiran 9 Angket Respon Guru

**ANGKET UJI KEPRAKTISAN GURU
E-MODUL BERBASIS STEM TERINTEGRASI PROJEK LINGKUNGAN**

Mata Pelajaran : Biologi
Materi : Pencemaran Lingkungan
Jenjang : SMA
Responden : Guru SMA

A. Identitas

Komponen	Keterangan
Nama	<u>Marcherry Susanti</u>
Jabatan/Instansi	<u>Guru</u>
Pendidikan Terakhir	<u>SI</u>
Tanggal Pengisian	<u>19 / 02 / 2026</u>

B. Petunjuk Pengisian

Angket ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepraktisan e-modul berbasis STEM yang terintegrasi dengan proyek lingkungan pada materi pencemaran lingkungan.

Berilah tanda (✓) pada salah satu pilihan jawaban yang paling sesuai dengan pengalaman Anda setelah menggunakan e-modul ini.

Skala penilaian:

4 = Sangat Setuju (SS)

3 = Setuju (S)

2 = Tidak Setuju (TS)

1 = Sangat Tidak Setuju (STS)

C. Lembar Penilaian

No	Aspek Penilaian	Pernyataan	Skor			
			1	2	3	4
1	Kesesuaian dengan Kurikulum dan Pembelajaran	E-modul sesuai dengan capaian pembelajaran/kompetensi pada materi pencemaran lingkungan SMA.				✓
		Tujuan pembelajaran dalam e-modul dirumuskan dengan jelas.				✓
		Materi dalam e-modul mendukung penerapan pembelajaran berbasis proyek.				✓
		Integrasi pendekatan STEM dalam e-modul sesuai dengan karakteristik materi.				✓
2	Kemudahan Penggunaan oleh Guru	E-modul mudah digunakan sebagai bahan ajar dalam pembelajaran di kelas.				✓
		Petunjuk penggunaan e-modul bagi guru disajikan dengan jelas.				✓
		Guru tidak memerlukan pelatihan khusus				✓

		untuk menggunakan e-modul ini.				
		E-modul mudah dipadukan dengan metode pembelajaran yang biasa digunakan guru.				✓
3	Kejelasan Materi dan Aktivitas Pembelajaran	Materi pencemaran lingkungan disajikan secara sistematis dan mudah dipahami peserta didik.				✓
		Aktivitas pembelajaran dalam e-modul mendukung keterlibatan aktif peserta didik.				✓
		Tugas dan latihan dalam e-modul sesuai dengan tingkat kemampuan peserta didik SMA.				✓
		Projek lingkungan dalam e-modul membantu peserta didik mengaitkan materi dengan masalah nyata.				✓
4	Kepraktisan Pelaksanaan Projek Lingkungan	Langkah-langkah pelaksanaan projek dijelaskan dengan jelas dan mudah diikuti.				✓
		Alat dan bahan yang diperlukan dalam projek mudah diperoleh di lingkungan sekolah.				✓
		Waktu pelaksanaan projek sesuai dengan alokasi waktu pembelajaran.				✓
		Projek lingkungan dalam e-modul memungkinkan penerapan pembelajaran kontekstual.				✓
5	Efisiensi dan Manfaat dalam Pembelajaran	Penggunaan e-modul membantu guru dalam mengelola pembelajaran.				✓
		E-modul mengurangi ketergantungan pada sumber belajar lain.				✓
		E-modul membantu meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap materi pencemaran lingkungan.				✓
		Secara keseluruhan, e-modul ini praktis digunakan dalam pembelajaran Biologi SMA.				✓


D. Saran dan Masukan

.....

.....

.....

Bengkulu, Februari 2026


Marcella Susanti

**ANGKET UJI KEPRAKTISAN GURU
E-MODUL BERBASIS STEM TERINTEGRASI PROJEK LINGKUNGAN**

Mata Pelajaran : Biologi
Materi : Pencemaran Lingkungan
Jenjang : SMA
Responden : Guru SMA

A. Identitas

Komponen	Keterangan
Nama	<u>HELMI MARSONI</u>
Jabatan/Instansi	<u>GURU</u>
Pendidikan Terakhir	<u>S1</u>
Tanggal Pengisian	<u>13 / 02 / 2026</u>

B. Petunjuk Pengisian

Angket ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepraktisan e-modul berbasis STEM yang terintegrasi dengan proyek lingkungan pada materi pencemaran lingkungan.

Berilah tanda (✓) pada salah satu pilihan jawaban yang paling sesuai dengan pengalaman Anda setelah menggunakan e-modul ini.

Skala penilaian:

4 = Sangat Setuju (SS)

3 = Setuju (S)

2 = Tidak Setuju (TS)

1 = Sangat Tidak Setuju (STS)

C. Lembar Penilaian

No	Aspek Penilaian	Pernyataan	Skor			
			1	2	3	4
1	Kesesuaian dengan Kurikulum dan Pembelajaran	E-modul sesuai dengan capaian pembelajaran/kompetensi pada materi pencemaran lingkungan SMA.				✓
		Tujuan pembelajaran dalam e-modul dirumuskan dengan jelas.				✓
		Materi dalam e-modul mendukung penerapan pembelajaran berbasis proyek.				✓
		Integrasi pendekatan STEM dalam e-modul sesuai dengan karakteristik materi.				✓
2	Kemudahan Penggunaan oleh Guru	E-modul mudah digunakan sebagai bahan ajar dalam pembelajaran di kelas.				✓
		Petunjuk penggunaan e-modul bagi guru disajikan dengan jelas.			✓	
		Guru tidak memerlukan pelatihan khusus				✓

		untuk menggunakan e-modul ini.			✓
		E-modul mudah dipadukan dengan metode pembelajaran yang biasa digunakan guru.			✓
3	Kejelasan Materi dan Aktivitas Pembelajaran	Materi pencemaran lingkungan disajikan secara sistematis dan mudah dipahami peserta didik.		✓	
		Aktivitas pembelajaran dalam e-modul mendukung keterlibatan aktif peserta didik.			✓
		Tugas dan latihan dalam e-modul sesuai dengan tingkat kemampuan peserta didik SMA.			✓
		Projek lingkungan dalam e-modul membantu peserta didik mengaitkan materi dengan masalah nyata.			✓
4	Kepraktisan Pelaksanaan Projek Lingkungan	Langkah-langkah pelaksanaan projek dijelaskan dengan jelas dan mudah diikuti.			✓
		Alat dan bahan yang diperlukan dalam projek mudah diperoleh di lingkungan sekolah.			✓
		Waktu pelaksanaan projek sesuai dengan alokasi waktu pembelajaran.			✓
		Projek lingkungan dalam e-modul memungkinkan penerapan pembelajaran kontekstual.			✓
5	Efisiensi dan Manfaat dalam Pembelajaran	Penggunaan e-modul membantu guru dalam mengelola pembelajaran.			✓
		E-modul mengurangi ketergantungan pada sumber belajar lain.		✓	
		E-modul membantu meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap materi pencemaran lingkungan.			✓
		Secara keseluruhan, e-modul ini praktis digunakan dalam pembelajaran Biologi SMA.			✓

D. Saran dan Masukan

.....

.....

.....

Bengkulu, Februari 2026

Pening
HELMY MARJUGI

**ANGKET UJI KEPRAKTISAN GURU
E-MODUL BERBASIS STEM TERINTEGRASI PROJEK LINGKUNGAN**

Mata Pelajaran : Biologi
Materi : Pencemaran Lingkungan
Jenjang : SMA
Responden : Guru SMA

A. Identitas

Komponen	Keterangan
Nama	<u>Lola Febriani, S.Pd</u>
Jabatan/Instansi	<u>Guru</u>
Pendidikan Terakhir	<u>Si</u>
Tanggal Pengisian	<u>13 / 02 / 2026</u>

B. Petunjuk Pengisian

Angket ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepraktisan e-modul berbasis STEM yang terintegrasi dengan proyek lingkungan pada materi pencemaran lingkungan.

Berilah tanda (✓) pada salah satu pilihan jawaban yang paling sesuai dengan pengalaman Anda setelah menggunakan e-modul ini.

Skala penilaian:

4 = Sangat Setuju (SS)

3 = Setuju (S)

2 = Tidak Setuju (TS)

1 = Sangat Tidak Setuju (STS)

C. Lembar Penilaian


No	Aspek Penilaian	Pernyataan	Skor			
			1	2	3	4
1	Kesesuaian dengan Kurikulum dan Pembelajaran	E-modul sesuai dengan capaian pembelajaran/kompetensi pada materi pencemaran lingkungan SMA.				✓
		Tujuan pembelajaran dalam e-modul dirumuskan dengan jelas.				✓
		Materi dalam e-modul mendukung penerapan pembelajaran berbasis proyek.			✓	
		Integrasi pendekatan STEM dalam e-modul sesuai dengan karakteristik materi.				✓
2	Kemudahan Penggunaan oleh Guru	E-modul mudah digunakan sebagai bahan ajar dalam pembelajaran di kelas.				✓
		Petunjuk penggunaan e-modul bagi guru disajikan dengan jelas.			✓	

		Guru tidak memerlukan pelatihan khusus untuk menggunakan e-modul ini.				✓
		E-modul mudah dipadukan dengan metode pembelajaran yang biasa digunakan guru.				✓
3	Kejelasan Materi dan Aktivitas Pembelajaran	Materi pencemaran lingkungan disajikan secara sistematis dan mudah dipahami peserta didik.				✓
		Aktivitas pembelajaran dalam e-modul mendukung keterlibatan aktif peserta didik.				✓
		Tugas dan latihan dalam e-modul sesuai dengan tingkat kemampuan peserta didik SMA.				✓
		Projek lingkungan dalam e-modul membantu peserta didik mengaitkan materi dengan masalah nyata.				✓
4	Kepraktisan Pelaksanaan Projek Lingkungan	Langkah-langkah pelaksanaan projek dijelaskan dengan jelas dan mudah diikuti.		✓		
		Alat dan bahan yang diperlukan dalam projek mudah diperoleh di lingkungan sekolah.		✓		
		Waktu pelaksanaan projek sesuai dengan alokasi waktu pembelajaran.				✓
		Projek lingkungan dalam e-modul memungkinkan penerapan pembelajaran kontekstual.				✓
5	Efisiensi dan Manfaat dalam Pembelajaran	Penggunaan e-modul membantu guru dalam mengelola pembelajaran.				✓
		E-modul mengurangi ketergantungan pada sumber belajar lain.				✓
		E-modul membantu meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap materi pencemaran lingkungan.				✓
		Secara keseluruhan, e-modul ini praktis digunakan dalam pembelajaran Biologi SMA.				✓

D. Saran dan Masukan

.....

Bengkulu, Februari 2026


 Lola Febriani S-Pd

Lampiran 10 Rekapitulasi Respon Siswa

**REKAPITULASI PENILAIAN KEPERAKTISAN
SISWA UJI COBA TERBATAS**

No	Nama Siswa	Aspek yang dinilai																			Jumlah	Nilai (%)	Kriteria	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				20
1	Ade Syafutra	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
2	Aurelia Putri Rahmadani	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	76	95%	Sangat Praktis
3	Faza Talita Atsilah	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
4	Kheila Novlya Putri	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	78	98%	Sangat Praktis
5	M. Sergio Al Rizki	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
6	Rizki Abillah	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	80	100%	Sangat Praktis
7	Ahmad Davilla	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
8	Balqis Meda Aulia	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	76	95%	Sangat Praktis
9	Gea Nadia Pahera	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
10	Michael Rafilus Al-Fajar	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
11	Nadine Pratama Vanza	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
12	Sendy Dwi Anugrah	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	78	98%	Sangat Praktis
13	Aisyah Octafiani	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	75	94%	Sangat Praktis
14	Clara Athallah Salma	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
15	Genta Yudha	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	78	98%	Sangat Praktis

16	M. Aditya Marwan	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
17	Nanda Keyza Prawesty	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	80	100%	Sangat Praktis
18	Tri Handoyo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
19	Alifah Izzatunnisa R	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
20	Dhea Zia Salemba	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	80	100%	Sangat Praktis
21	Ibrahim Movic	4	4	4	3	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	74	93%	Sangat Praktis
22	M. Daffa Al Furqan	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
23	Nazhifah Humaira Annisa	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	76	95%	Sangat Praktis
24	Violeta Indah Sekar N	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
25	Annisa Tsamratul Qolby	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	75	94%	Sangat Praktis
26	Dirli Aldhul Setiawan	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
27	Jihan Putri Pratama	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	80	100%	Sangat Praktis
28	M.Naufal Radithya	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	78	98%	Sangat Praktis
29	Rana Annisa	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
30	Yunika Putri Lestari	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
31	Zhizu Tri Ramadhan F	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
32	Sayfa Tusyadiyah Safitri	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
33	Faisal Noka Abiyyu P	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
34	Keysha Lova Dewanka	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis

35	M.Ridho Zulita P	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis	
36	Reynal Muhammad Gusti	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	71	89%	Sangat Praktis	
Total																										
Rata-rata																										

Total Skor Keseluruhan = 2782

Persentase Keseluruhan = $(2782 \div 2880) \times 100\% = 97\%$

Kriteria Umum = Sangat Praktis

REKAPITULASI NILAI ANGGKET KEPRAKTISAN RESPON SISWA KELAS UJI COBA LUAS

No	Nama Siswa	Aspek yang dinilai																				Jumlah	Nilai (%)	Kriteria
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
1	Qonita Fitri Rahmadani	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4	3	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
2	Rivaldi Chesar Hutauruk	4	4	4	2	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	76	95%	Sangat Praktis
3	Sarah Nurrahma	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	76	95%	Sangat Praktis
4	Selvia Wulandari	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	73	91%	Sangat Praktis
5	Sri Martin	4	3	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	79	99%	Sangat Praktis
6	Chantika Putri Juwardi	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	76	95%	Sangat Praktis

7	Fathina Muzhaffira	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
8	Key Rin	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	75	94%	Sangat Praktis
9	Nadhira Syaqla Janeeta	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	75	94%	Sangat Praktis
10	Reycal Aqbar Ritandi	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	76	95%	Sangat Praktis
11	Theresia Nainggolan	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	74	93%	Sangat Praktis
12	Fariel Adi Putra	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	76	95%	Sangat Praktis
13	Kevin Pratama	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	78	98%	Sangat Praktis
14	M. Zikri	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	74	93%	Sangat Praktis
15	Tirani Dwi Tasari	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	2	4	4	4	4	76	95%	Sangat Praktis
16	Queensyah Yang Dynanti	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	67	84%	Praktis
17	Faiz Alberto Verwin P	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	75	94%	Sangat Praktis
18	Jesica Mutiara Sella	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	75	94%	Sangat Praktis
19	Meta Elpiana	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	72	90%	Sangat Praktis
20	Queen Tere	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	78	98%	Sangat Praktis
21	Maju Falentina M	4	4	4	3	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	65	81%	Praktis
22	Aqilla Mehrunisa Endikat	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	75	94%	Sangat Praktis

23	Isa Bella	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
24	Meisya Putri	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	76	95%	Sangat Praktis
25	Qory Marysca	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	70	88%	Sangat Praktis
26	M Dzaka Muludurrrajab	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	80	100%	Sangat Praktis	
27	Andre Arshavin Putra	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	70	88%	Sangat Praktis	
28	Gian Pradana Putra	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	74	93%	Sangat Praktis	
29	Kirana Ayudia Mufidah	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	74	93%	Sangat Praktis	
30	Rido Kristian Sinaga	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	71	89%	Sangat Praktis	
31	Nindia Aqilla Mehrunisa	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	67	84%	Praktis	
32	Ahmad Arsha Nur R	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis	
33	Fatih Alfarizqi	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	80	100%	Sangat Praktis	
34	Khofidh Gemilang Aldrin	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	74	93%	Sangat Praktis	
35	Nanda Ayu Azza	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	66	83%	Praktis	
37	Alfian Dwi Putra	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	67	84%	Praktis	
38	Dirga Aldy Utama	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	4	3	4	3	4	4	69	86%	Sangat Praktis	
39	Farel Putra	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	73	91%	Sangat Praktis	
40	Keyla Asyfa	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	74	93%	Sangat Praktis	

41	Mutiara Nul Fadhilah	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	76	95%	Sangat Praktis
42	Shangzah	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	75	94%	Sangat Praktis
43	Alqian Zacky	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	67	84%	Praktis
44	Cinta Rahmadani	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
45	Syafira	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	71	89%	Sangat Praktis
46	Feni Rahma	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	72	90%	Sangat Praktis
47	Naomi Gracia	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	4	4	80	100%	Sangat Praktis
48	Arlina Suci R	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
49	Dora Juliani	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	3	3	4	3	4	4	4	3	3	4	76	95%	Sangat Praktis
50	Ferdinan	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	76	95%	Sangat Praktis
51	M Azzam	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	73	91%	Sangat Praktis
52	Nurul Wafa	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	79	99%	Sangat Praktis
53	Aryaguna Pandega	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3	76	95%	Sangat Praktis
54	Erfilia Nurbasid	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
55	Haskel Zivano	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	75	94%	Sangat Praktis
56	M. Fathian Akbar	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	75	94%	Sangat Praktis

57	Rahma Muslima	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	3	3	76	95%	Sangat Praktis
58	Azhara Aurelia	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	74	93%	Sangat Praktis
59	Evanesa	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	76	95%	Sangat Praktis
60	Homaira	4	4	4	4	4	4	2	3	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	78	98%	Sangat Praktis
61	M.Varel	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	74	93%	Sangat Praktis
62	Ramegza	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	76	95%	Sangat Praktis
63	Zahra	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	67	84%	Praktis
64	Fahri Aditya	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	75	94%	Sangat Praktis
65	Jela Lerzan	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	75	94%	Sangat Praktis
66	M.Wisnu	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4	72	90%	Sangat Praktis
67	Raynalda	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	78	98%	Sangat Praktis
68	M. Fadhil larika	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	65	81%	Praktis
Total																									
Rata-rata																									

Total Skor Keseluruhan = 5055

Persentase Keseluruhan = $(5055 \div 5440) \times 100\% = 93\%$

Kriteria Umum = Sangat Praktis

Lampiran 11 Rekapitulasi Respon Guru

REKAPITULASI NILAI ANGKET KEPERAKTISAN RESPON GURU UJI TERBATAS

No	Nama Siswa	Aspek yang dinilai																				Jumlah	Nilai (%)	Kriteria
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
1	Lola Febriani, S.Pd	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
2	Nurhaini, S.Pd	4	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	76	95%	Sangat Praktis
Total																						153		Sangat Praktis
Rata-rata																							96%	Sangat Praktis

REKAPITULASI NILAI ANGKET KEPRAKTISAN RESPON GURU UJI LUAS

No	Nama Siswa	Aspek yang dinilai																				Jumlah	Nilai (%)	Kriteria
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
1	Prichilia Agustin, S.Pd	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	80	100%	Sangat Praktis
2	Marchelly Susanti, S.Pd	4	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	76	95%	Sangat Praktis
3	Nadya Agmira, S.Pd	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	77	96%	Sangat Praktis
4	HelmiMarzizi, S.Pd	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	76	95%	Sangat Praktis
Total																						309		Sangat Praktis
Rata-rata																							97%	Sangat Praktis

Lampiran 12 Dokumentasi Penelitian

Kegiatan Uji Terbatas



Kegiatan pendahuluan, penjelasan maateri pencemaran lingkungan



Kegiatan inti, pelaksanaan dan monitoring proyek



Presentasi dan refleksi

Kegiatan Uji Lanjutan SMAN 4 Kota Bengkulu



Kegiatan pendahuluan, penjelasan maateri pencemaran lingkungan





Kegiatan inti, pelaksanaan dan monitoring proyek



Presentasi dan refleksi

Kegiatan Uji Lanjutan SMAN 7 Kota Bengkulu



Kegiatan pendahuluan, penjelasan maateri pencemaran lingkungan



Kegiatan inti, pelaksanaan dan monitoring proyek



Presentasi dan refleksi

Lampiran 13 Surat Selesai Penelitian



PEMERINTAH PROVINSI BENGKULU
SMA NEGERI 7 KOTA BENGKULU

Jalan Jenggalu Nomor 1, Lingkar Barat, Gading Cempaka, Bengkulu 38225,
 Telepon 0736 25355, Pos-el smanegeri7kotabengkulu@gmail.com



SURAT SELESAI PENELITIAN

Nomor : 400.3.8/ 58 / SMA N 7/2026

Kepala SMA Negeri 7 Kota Bengkulu menerangkan bahwa :

NAMA : **METIA VINLIANI**
 NPM : 2484105004
 Prodi : S2 Pendidikan Biologi
 Universitas : Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Telah melakukan penelitian di SMA Negeri 7 Kota Bengkulu, dengan judul
"Pengembangan E-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan Untuk Menstimulasi Keterampilan Berfikir Kritis Dan Kreatif Siswa SMA". Dari tanggal 10 Februari – 25 Februari 2026.

Demikian surat ini di buat dengan sebenarnya, agar dapat dipergunakan
 sebagaimana mestinya.



Bengkulu, 02 Maret 2026
 Kepala Sekolah,

MANOGU SINABUTAR, S.Pd
 Pembina Utama Muda IV/c
 NIP. 197304151994121001



PEMERINTAH PROVINSI BENGKULU
SMA NEGERI 4 KOTA BENGKULU

Jalan Zainal Arifin, Timur Indah, Singaran Pa0, Kota Bengkulu 38229,
Telepon (0736) 22061, Faksimile (0736) 22061,
Laman smanpa-kotabengkulu.sch.id, Pos-el sman04bengkulu@gmail.com



SURAT KETERANGAN SELESAI PENELITIAN
NOMOR B.400.3.10.8/19/SMAN4KB/2026

Yang bertandatangan dibawah ini :

nama : Sariful Maliki, M.Pd.
NIP : 197206052005021002
jabatan : Kepala SMA Negeri 4 Kota Bengkulu
pangkat/gol : Pembina Tingkat I (IV/b)
unit kerja : SMA Negeri 4 Kota Bengkulu

dengan ini menerangkan bahwa:

nama : Metia Vinliani
NPM : 2484105004
prodi : Pendidikan Magister Pendidikan Biologi
universitas : Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Telah melaksanakan penelitian di SMA Negeri 4 Kota Bengkulu.

Pada tanggal 26 Januari 2026 s/d 26 Februari 2026,

dengan Judul : "Pengembangan e-Modul Berbasis STEM Terintegrasi Proyek Lingkungan untuk Menstimulasi Keterampilan Berfikir Kritis dan Kreatif".

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bengkulu, 26 Februari 2026
Kepala SMA Negeri 4 Kota Bengkulu,



Sariful Maliki, M.Pd.
Pembina Tingkat I (IV/b)
NIP 197206052005021002



Dipindai dengan CamScanner

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Badan Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN).



PEMERINTAH PROVINSI BENGKULU
SMA NEGERI 2 KOTA BENGKULU
Jl. Mahoni No. 14, Padang Jati, Ratu Samban, Bengkulu 38227
Telepon (0736) 21022, Faksimile (0736) 349123 Pos-el smanda.kotabengkulu02@gmail.com



SURAT KETERANGAN SELESAI PENELITIAN

Nomor : 070/ 230/SMA N 2/2026

Yang bertanda tangan dibawah ini Kepala Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 2 Kota Bengkulu, menerangkan bahwa :

nama : **Metia Vinliani**
npm : 2484105004
program study : Magister Pendidikan Biologi

Berdasarkan surat izin dari Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Provinsi Bengkulu Nomor : B.000.9/73.S/Dikbud/2026 Tanggal 29 Januari 2026, yang bersangkutan telah selesai mengadakan penelitian di SMA Negeri 2 Kota Bengkulu dengan judul Penelitian :

“Pengembangan E-modul Berbasis STEM Terintegrasi Projek Lingkungan Untuk Menstimulasi Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif”.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya, untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Bengkulu, 2 Maret 2026
Kepala Sekolah


Wanpisata, S.Pd, M.Pd
NIP. 19721107 200312 1 003