

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pendidikan abad ke-21 menuntut peserta didik memiliki kompetensi yang tidak terbatas pada penguasaan pengetahuan, melainkan juga kemampuan berpikir kritis, berkomunikasi, berkolaborasi, dan berkreasi sebagai bekal menghadapi dunia kerja dan kehidupan yang semakin kompleks (Miller dkk., 2023). Kompetensi tersebut menuntut proses pembelajaran diarahkan pada penerapan pengetahuan untuk memecahkan persoalan nyata, bukan sekadar penguasaan konsep secara hafalan (Miller dkk., 2023).

Literasi lingkungan menjadi salah satu kompetensi yang penting dikembangkan dalam pembelajaran abad ke-21 karena mencakup kemampuan memahami, menganalisis, dan mengambil keputusan yang bertanggung jawab terhadap isu-isu lingkungan (Mitarlis dkk., 2017). Literasi lingkungan menjadi salah satu komponen penting hasil belajar karena mendukung peserta didik untuk berpartisipasi aktif dalam mengatasi permasalahan lingkungan yang terus berkembang di masyarakat (Mitarlis dkk., 2017). Penguatan literasi lingkungan pada pembelajaran di sekolah masih menjadi tantangan karena pembelajaran belum secara konsisten mengaitkan konsep sains dengan isu lingkungan nyata yang dihadapi peserta didik (Saragih & Tanjung, 2023). Kondisi tersebut mendorong berbagai upaya pengembangan bahan ajar berorientasi literasi lingkungan sebagai solusi untuk mendekatkan pembelajaran dengan permasalahan lingkungan aktual (Sasmita dkk., 2024).

Pembelajaran kimia memiliki peluang untuk mengembangkan literasi lingkungan melalui penerapan konsep kimia pada persoalan lingkungan secara kontekstual. Peserta didik perlu memperoleh ruang untuk menerapkan konsep kimia secara langsung pada persoalan lingkungan, bukan hanya mempelajarinya secara teoretis (Mitarlis dkk., 2017). Pendekatan *green chemistry* yang diintegrasikan ke dalam pembelajaran kimia terbukti dapat menjadi sarana penguatan literasi lingkungan karena mengaitkan prinsip-prinsip kimia dengan upaya pencegahan pencemaran (Mitarlis dkk., 2017).

Dengan demikian, pembelajaran kimia perlu dirancang agar peserta didik mampu menghubungkan pengetahuan kimia dengan pengambilan keputusan dan tindakan nyata terhadap isu lingkungan (Sasmita dkk., 2024).

Pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) menjadi pilihan yang relevan karena mendorong peserta didik mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu dalam merancang solusi atas permasalahan lingkungan (Alkair dkk., 2023). Penerapan STEM pada isu lingkungan terbukti meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap persoalan lingkungan sekaligus melatih keterampilan pemecahan masalah secara kolaboratif (Alkair dkk., 2023). Pendekatan ini juga relevan diterapkan pada pembelajaran kimia karena memungkinkan konsep kimia diaplikasikan secara kontekstual melalui rancangan produk atau solusi berbasis rekayasa (Oktaviani dkk., 2020).

Implementasi pendekatan STEM pada pembelajaran kimia memerlukan dukungan bahan ajar yang mampu memfasilitasi peserta didik memahami konsep sekaligus mengaplikasikannya pada konteks nyata secara sistematis (Oktaviani dkk., 2020). Bahan ajar yang dirancang secara terstruktur berperan penting dalam mengarahkan pengalaman belajar peserta didik menuju pencapaian kompetensi yang diharapkan (Kimianti & Prasetyo, 2019). Oleh karena itu, ketersediaan bahan ajar yang relevan menjadi prasyarat keberhasilan implementasi STEM dalam upaya penguatan literasi lingkungan pada pembelajaran kimia (Oktaviani dkk., 2020).

Modul elektronik (e-modul) menjadi salah satu bentuk bahan ajar yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran tersebut karena mampu menyajikan materi secara sistematis dan dilengkapi fitur interaktif yang dapat mendukung pemahaman serta literasi peserta didik (Kimianti & Prasetyo, 2019). E-modul yang mengintegrasikan pendekatan STEM dan berorientasi pada isu lingkungan telah terbukti efektif meningkatkan literasi lingkungan peserta didik pada berbagai konteks pembelajaran sains dan kimia (Saragih & Tanjung, 2023). Berdasarkan hal tersebut, pengembangan e-modul terintegrasi STEM berorientasi literasi lingkungan menjadi solusi yang relevan untuk memperkuat pembelajaran kimia yang kontekstual (Sasmita dkk., 2024).

Topik biomassa dipilih sebagai konteks pengembangan e-modul karena biomassa merupakan satu-satunya sumber karbon terbarukan yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar, bahan kimia, dan material melalui berbagai proses kimiawi (Serrano-Ruiz, 2020). Pembelajaran kimia pada topik biomassa memungkinkan peserta didik memahami keterkaitan antara reaksi kimia, pemanfaatan sumber daya terbarukan, dan upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil sebagai bagian dari solusi permasalahan lingkungan (Serrano, 2020). Dengan demikian, biomassa menjadi konteks yang tepat untuk memperkuat literasi lingkungan peserta didik melalui pembelajaran kimia berbasis STEM (Sasmita dkk., 2024).

Kajian terdahulu menunjukkan bahwa pengembangan E-modul berbasis STEM pada berbagai topik lingkungan memberikan dampak positif. E-modul STEM dengan pendekatan literasi sains pada materi pencemaran air terbukti valid dan praktis dengan kelayakan tinggi (Almaida dkk., 2026), sementara E-modul kimia lingkungan berbasis etnosains-STEM efektif meningkatkan berpikir kritis dan literasi lingkungan dengan n-gain kategori tinggi (Idrus dkk., 2024). Pada topik energi terbarukan, modul digital berbasis STEM-*Project based learning* baru sampai tahap rancangan produk tanpa uji efektivitas literasi lingkungan (Putri, 2024), sedangkan pembelajaran STEM berbasis *Education for Sustainable Development* terbukti meningkatkan kemampuan berpikir sistem peserta didik (Kurniawan dkk., 2024). Temuan ini memperkuat asumsi bahwa integrasi STEM dalam bahan ajar elektronik berpotensi meningkatkan literasi lingkungan maupun kemampuan berpikir peserta didik.

Hasil penelitian terdahulu mengungkap celah bagi penelitian ini. Pengembangan E-modul berbasis STEM masih berfokus pada pencemaran lingkungan atau energi terbarukan secara umum, sementara biomassa belum banyak diangkat secara spesifik; penelitian pada energi terbarukan pun cenderung berhenti pada validasi produk tanpa pengukuran dampak literasi lingkungan (Putri, 2024), dan penelitian literasi lingkungan empiris umumnya menasar topik ekosistem atau pencemaran, belum menyentuh biomassa. Kondisi ini menegaskan adanya *contextual* gap berupa belum tersedianya E-modul terintegrasi STEM berorientasi literasi lingkungan pada topik

biomassa, sekaligus *empirical gap* berupa minimnya bukti efektivitasnya, yang penting diteliti mengingat relevansi tinggi topik biomassa terhadap isu keberlanjutan energi.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi tiga unsur sekaligus, yaitu bentuk elektronik (E-modul), pendekatan STEM, dan orientasi literasi lingkungan yang dikembangkan secara spesifik pada topik biomassa, kombinasi yang belum banyak dilaporkan dalam literatur yang ditelaah. *Novelty* ini didukung bukti bahwa integrasi STEM dalam E-modul efektif meningkatkan literasi lingkungan pada topik lain (Idrus dkk., 2024), namun belum diverifikasi pada konteks biomassa yang berkarakteristik keilmuan dan permasalahan lingkungan berbeda.

Urgensi penelitian ini tampak baik secara teoretis, yakni memperkaya khazanah keilmuan mengenai integrasi STEM dan literasi lingkungan pada topik biomassa yang belum banyak dikaji, maupun secara praktis sebagai alternatif bahan ajar bagi guru untuk menyampaikan materi biomassa secara kontekstual dan interaktif sekaligus menumbuhkan kepedulian nyata peserta didik terhadap keberlanjutan energi. Kesenjangan ideal-aktual, keterbatasan penelitian terdahulu, serta kebaruan dan urgensi tersebut menegaskan perlunya penelitian pengembangan yang menghasilkan E-modul terintegrasi STEM berorientasi literasi lingkungan pada topik biomassa, yang menjadi dasar rumusan permasalahan mengenai proses pengembangan, kevalidan, dan kelayakannya.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka permasalahan yang menjadi fokus dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana tampilan produk E-modul terintegrasi STEM Berorientasi Literasi Lingkungan pada topik Biomassa?
2. Bagaimana hasil uji validasi E-modul terintegrasi STEM Berorientasi Literasi Lingkungan pada topik Biomassa?
3. Bagaimana hasil uji kelayakan E-modul terintegrasi STEM Berorientasi Literasi Lingkungan pada topik Biomassa?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah yang telah disampaikan, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan tampilan produk E-modul terintegrasi STEM Berorientasi Literasi Lingkungan pada topik Biomassa
2. Menganalisis hasil uji validasi E-modul terintegrasi STEM Berorientasi Literasi Lingkungan pada topik Biomassa
3. Menganalisis hasil uji kelayakan E-modul terintegrasi STEM Berorientasi Literasi Lingkungan pada topik Biomassa

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini meliputi:

1. Memfasilitasi literasi lingkungan dan pemahaman konsep biomassa melalui E-modul terintegrasi STEM Berorientasi Literasi Lingkungan yang interaktif dan kontekstual.
2. Menyediakan media pembelajaran inovatif berupa E-modul terintegrasi STEM yang mendukung pembelajaran kimia berbasis isu lingkungan.
3. Menjadi kontribusi ilmiah dalam pengembangan media pembelajaran STEM dan menjadi dasar bagi penelitian lanjutan terkait energi terbarukan serta literasi lingkungan.

E. Kerangka Berpikir

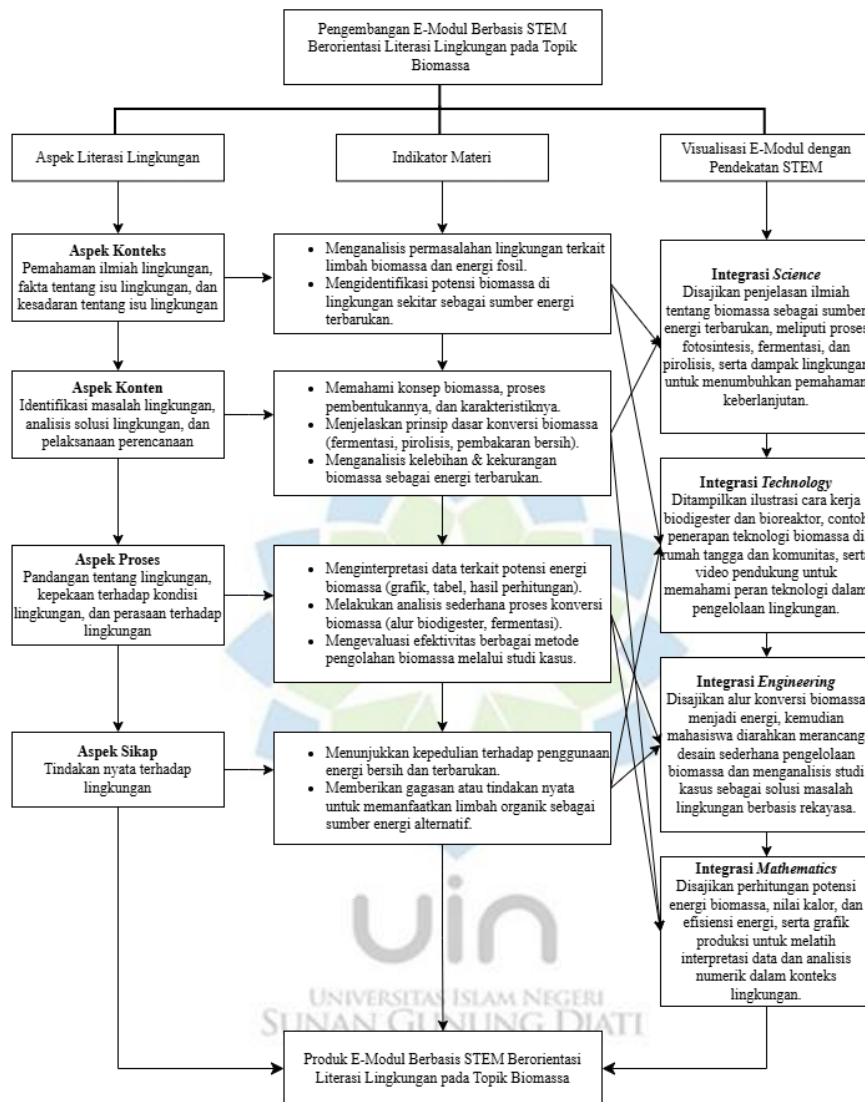
Pembelajaran sains pada topik energi terbarukan idealnya menumbuhkan literasi lingkungan peserta didik secara utuh mencakup aspek konteks, konten, proses, dan sikap melalui pendekatan STEM yang mengaitkan sains dengan teknologi, rekayasa, dan matematika pada topik biomassa. Namun kondisi nyata menunjukkan kesenjangan: profil literasi lingkungan peserta didik belum merata pada seluruh aspek, terutama pada keterampilan kognitif dan perilaku bertanggung jawab terhadap lingkungan, sementara bahan ajar berbasis STEM pada isu lingkungan masih terbatas dan jarang divisualisasikan secara eksplisit dalam bahan ajar elektronik.

Kesenjangan ini dianalisis lebih lanjut melalui kajian kurikulum dan literatur, guna memetakan capaian pembelajaran, karakteristik materi biomassa, serta indikator literasi lingkungan yang relevan sebagai dasar pengembangan. Hasil analisis ini menjadi acuan untuk merancang integrasi antara aspek literasi lingkungan, indikator materi biomassa, dan visualisasi STEM ke dalam satu kerangka desain E-modul.

Kerangka desain tersebut kemudian diwujudkan menjadi prototipe E-modul, yang selanjutnya divalidasi oleh ahli materi dan ahli media untuk menilai kesesuaian isi, konstruksi, dan keterbacaan. Masukan dari proses validasi digunakan untuk merevisi prototipe sebelum diujicobakan secara terbatas kepada peserta didik dan pendidik pada konteks pembelajaran yang autentik.

Data dari uji coba terbatas meliputi respons pengguna dan keterlaksanaan pembelajaran digunakan untuk merevisi E-modul hingga diperoleh produk yang valid dan praktis digunakan pada topik biomassa. Mengingat penelitian ini baru mencakup satu siklus awal DBR, potensi dampak E-modul terhadap peningkatan literasi lingkungan peserta didik belum diklaim sebagai temuan final, melainkan menjadi dasar rekomendasi bagi siklus pengembangan berikutnya, termasuk uji efektivitas pada skala yang lebih luas.





Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir

F. Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian ini merujuk pada beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penggunaan media pembelajaran yang serupa, meskipun diterapkan pada konsep materi yang berbeda.

Penelitian pertama yang relevan dengan penelitian ini dilakukan oleh Almaida dkk. (2026) dengan judul "SciLENS: E-Modul Berbasis STEM dengan Pendekatan Literasi

Sains untuk Materi Pencemaran Lingkungan" yang dipublikasikan dalam Jurnal Petisi (Pendidikan Teknologi Informasi) volume 7 nomor 1. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul STEM berbasis literasi sains pada sub-materi pencemaran lingkungan, khususnya topik pencemaran air, yang dilengkapi dengan produk penunjang berupa alat filtrasi air sederhana sebagai wujud implementasi pendekatan STEM. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE yang mencakup lima tahap, yaitu Analisis, Desain, Pengembangan, Implementasi, dan Evaluasi. Uji coba dilakukan terhadap 14 peserta didik kelas VII SMP Itas Rios Sorong. Hasil penelitian menunjukkan tingkat kelayakan yang sangat tinggi, dengan penilaian ahli materi mencapai 88,91% hingga 100%, penilaian ahli media mencapai 99,17% hingga 99,31%, serta respons peserta didik yang positif sebesar 96,67% . Penelitian ini relevan dengan penelitian yang akan dilakukan karena sama-sama mengembangkan e-modul yang memadukan pendekatan STEM dengan isu lingkungan melalui model R&D berbasis ADDIE, sehingga memberikan gambaran empiris mengenai kelayakan desain dan tahapan pengembangan bahan ajar digital bermuatan STEM dan isu lingkungan yang dapat dijadikan rujukan metodologis bagi pengembangan e-modul biomassa.

Penelitian kedua dilakukan oleh Saragih & Tanjung (2023) dengan judul "*Development of STEM-Based Environmental Change Module to Enhance Environmental Literacy*" yang dipublikasikan dalam Biosfer: Jurnal Tadris Biologi volume 14 nomor 1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui validitas, kepraktisan, dan efektivitas modul berbasis STEM pada materi perubahan lingkungan dalam meningkatkan literasi lingkungan peserta didik. Penelitian ini menggunakan model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*) dan dilaksanakan pada peserta didik kelas X Sekolah Menengah Atas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul berbasis STEM yang dikembangkan dinyatakan valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan tingkat literasi lingkungan peserta didik kelas X. Penelitian ini sangat relevan dengan penelitian yang akan dilakukan karena secara eksplisit menggabungkan integrasi STEM dengan tujuan peningkatan literasi lingkungan sebagaimana fokus

utama penelitian ini, sehingga menjadi bukti empiris bahwa pendekatan STEM efektif digunakan sebagai kerangka pengembangan bahan ajar berorientasi literasi lingkungan, meskipun topik materi yang diangkat adalah perubahan lingkungan secara umum, bukan biomassa secara khusus.

Penelitian ketiga dilakukan oleh Sasmita et al., (2024) dengan judul *"Inquiry-Based E-module with an Ethno-STEM Approach to Develop Sustainable Environmental Literacy Skills"* yang dipublikasikan dalam JTK (Jurnal Tadris Kimiya) volume 9 nomor 1. Penelitian ini bertujuan mengembangkan e-modul inkuiri dengan pendekatan etno-STEM pada konsep senyawa aromatik atsiri (volatile aromatic compounds) untuk mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) melalui penguatan literasi lingkungan. Subjek penelitian melibatkan 46 mahasiswa program studi pendidikan kimia yang menempuh mata kuliah kimia organik bahan alam, dan pengumpulan data dilakukan menggunakan angket literasi lingkungan yang mencakup empat domain, yaitu pengetahuan, keterampilan kognitif, sikap, dan perilaku. Hasil penelitian menunjukkan validitas materi sebesar 82,5% dan validitas media sebesar 93,25% dengan kategori sangat valid, serta skor rata-rata keempat domain literasi lingkungan berada pada kategori tinggi. Penelitian ini memiliki relevansi yang tinggi dengan penelitian yang akan dilakukan karena berada dalam ranah pembelajaran kimia, menggunakan e-modul berbasis inkuiri yang diintegrasikan dengan STEM dan konteks kearifan lokal (etno-STEM), serta secara eksplisit mengukur literasi lingkungan sebagai variabel hasil belajar; namun perlu digarisbawahi bahwa uji coba pada penelitian tersebut dilakukan pada mahasiswa program studi pendidikan kimia, bukan pada siswa jenjang sekolah menengah, sehingga penelitian ini justru menegaskan bahwa efektivitas pendekatan inkuiri berbasis etno-STEM untuk literasi lingkungan baru terbukti pada jenjang pendidikan tinggi, sementara penerapannya pada jenjang sekolah menengah yang menjadi target subjek penelitian ini masih menjadi celah (gap) yang belum terisi, dan hal ini diperkuat pula oleh perbedaan konten kimia yang diangkat, yaitu senyawa aromatik atsiri pada penelitian Sasmita dkk. dibandingkan dengan biomassa pada penelitian ini.

Penelitian keempat dilakukan oleh Remindima dkk. (2024) dengan judul "Pengembangan *E-module* Keanekaragaman Hayati Bermuatan Potensi Lokal Sumba Berbasis Inkuiri Terbimbing dengan Pendekatan JAS untuk Meningkatkan Literasi Lingkungan Siswa SMA" yang dipublikasikan dalam Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi volume 12 nomor 2. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan penggunaan e-modul keanekaragaman hayati bermuatan potensi lokal Sumba berbasis inkuiri terbimbing dengan pendekatan Jelajah Alam Sekitar (JAS) terhadap peningkatan literasi lingkungan peserta didik pada materi biologi SMA. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (R&D) dengan model Lee dan Owens (2004), yang melibatkan 33 peserta didik kelas eksperimen dan 37 peserta didik kelas kontrol dari kelas X SMA Negeri 6 Malang. Analisis data literasi lingkungan menggunakan uji ANACOVA dengan taraf signifikansi 5%, dan hasil penelitian menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,008 yang berarti terdapat perbedaan signifikan peningkatan literasi lingkungan antara kelas yang menggunakan e-modul dengan kelas control. Penelitian ini relevan dengan penelitian yang akan dilakukan karena menunjukkan bahwa e-modul yang dirancang dengan model pengembangan sistematis (dalam hal ini Lee & Owens) dan diuji secara kuantitatif melalui desain eksperimen mampu meningkatkan literasi lingkungan secara terukur, sehingga memperkuat justifikasi metodologis bagi pengujian efektivitas e-modul biomassa terhadap literasi lingkungan peserta didik.

Penelitian kelima dilakukan oleh Andaresta dkk. (2021) dengan judul "Pengembangan *E-Book* Berbasis STEM pada Materi Ekosistem untuk Melatihkan Kemampuan Literasi Sains Siswa" yang dipublikasikan dalam Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu) volume 10 nomor 3. Penelitian ini bertujuan menghasilkan bahan ajar elektronik (*e-book*) berbasis pendekatan STEM pada materi ekosistem yang layak digunakan untuk melatih kemampuan literasi sains peserta didik SMA. Penelitian ini menggunakan metode R&D dengan pengujian kelayakan secara teoritis melalui validasi ahli dan kelayakan empiris melalui uji coba terbatas kepada peserta didik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *e-book* berbasis STEM

pada materi ekosistem dinyatakan layak secara teoritis dengan persentase rata-rata kelayakan sebesar 98,92% dengan kategori sangat valid. Penelitian ini relevan dengan penelitian yang akan dilakukan karena menunjukkan pola pengembangan bahan ajar digital berbasis STEM pada mata pelajaran IPA/Biologi yang berorientasi pada penguatan literasi meskipun berfokus pada literasi sains, bukan literasi lingkungan sehingga dapat menjadi pembanding penting untuk menunjukkan bahwa integrasi STEM lebih banyak diarahkan pada penguatan literasi sains dibandingkan literasi lingkungan secara spesifik, dan lebih jarang lagi diterapkan pada topik biomassa dalam konteks pembelajaran kimia.

Dari kelima penelitian terdahulu, kesenjangan utama terletak pada belum adanya penelitian yang memadukan ketiga unsur sekaligus: integrasi STEM, orientasi literasi lingkungan, dan bentuk e-modul. Saragih dkk. (2023) memadukan STEM dan literasi lingkungan namun produknya modul cetak bertopik perubahan lingkungan umum; Almaida dkk. (2026) memadukan STEM dan e-modul namun orientasinya literasi sains, bukan literasi lingkungan. Kesenjangan kedua terletak pada topik: penelitian yang mengaitkan STEM dan literasi lingkungan umumnya berada di ranah biologi (ekosistem, keanekaragaman hayati, perubahan lingkungan), sementara biomassa sebagai topik kimia yang relevan dengan energi terbarukan belum tersentuh. Kesenjangan ketiga terletak pada jenjang pendidikan: penelitian yang paling dekat secara disiplin ilmu dan orientasi, yaitu Sasmita dkk. (2024), justru dilakukan pada jenjang pendidikan tinggi, bukan sekolah menengah. Ketiga kesenjangan ini secara kolektif menunjukkan perlunya penelitian mengenai pengembangan e-modul STEM berorientasi literasi lingkungan pada topik biomassa.

Penelitian ini menawarkan kebaruan pada tiga aspek utama. Pertama, kombinasi tiga unsur yang selama ini terpisah pada penelitian terdahulu e-modul, integrasi STEM yang seimbang pada keempat aspeknya, dan orientasi literasi lingkungan digabungkan secara utuh. Kedua, topik biomassa diangkat sebagai materi kimia strategis yang berkaitan dengan energi terbarukan dan keberlanjutan lingkungan, area yang belum banyak disentuh dibanding topik biologi seperti ekosistem atau perubahan lingkungan.

Ketiga, penelitian ini mengisi kekosongan penerapan pendekatan STEM berorientasi literasi lingkungan pada pembelajaran kimia di jenjang sekolah menengah, sementara penelitian sejenis terdekat (Sasmita dkk., 2024) dilakukan di jenjang pendidikan tinggi. Dengan demikian, penelitian ini menjadi pelengkap dan perluasan dari garis penelitian yang dirintis oleh Saragih dkk. (2023), Sasmita dkk. (2024), Almaida dkk. (2026), dan Remindima dkk. (2024), sekaligus menghadirkan bahan ajar digital yang belum tersedia pada penelitian-penelitian sebelumnya.

