

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Keterampilan rekayasa merupakan kompetensi penting dalam membentuk generasi muda yang adaptif dan inovatif di era disrupsi teknologi. Kemampuan ini mencakup keterampilan dalam merancang, membuat, mengevaluasi, serta memperbaiki produk teknologi secara sistematis. Negara-negara dengan sumber daya manusia yang unggul dalam keterampilan rekayasa akan lebih siap menghadapi transformasi digital dan revolusi industri berkelanjutan (Nagatomo, 2024; Vrchota *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2024). Namun demikian, Indonesia masih menghadapi tantangan serius dalam pengembangan kemampuan rekayasa dan inovasi generasi muda. Berdasarkan data dari Global Innovation Index (GII), Indonesia berada di peringkat 61 dari 132 negara, dengan skor inovasi hanya 30,3 dari 67,6. Di tingkat ASEAN, Indonesia tertinggal dari Singapura, Malaysia, Thailand, Vietnam, serta Filipina (World Intellectual Property Organization, 2023), yang menunjukkan urgensi perbaikan dalam pengembangan rekayasa.

Penguasaan keterampilan rekayasa tidak dapat dicapai melalui proses belajar yang bersifat pasif dan berpusat pada hafalan. Pengalaman belajar yang hanya menekankan pemberian informasi teoritis tanpa keterlibatan aktif tidak mampu dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kreativitas siswa, yang menjadi ciri khas dari rekayasa (AlAli *et al.*, 2023; Kennedy & Sundberg, 2025; Laseinde & Dada, 2024). Oleh karena itu, dibutuhkan pembelajaran yang mengintegrasikan eksplorasi, desain, eksperimen, dan evaluasi terhadap solusi nyata. Dalam konteks ini, strategi pembelajaran proyek *Science, Technology, Engineering, and Mathematic* (STEM) telah terbukti mampu menstimulasi keterlibatan siswa secara aktif dan meningkatkan kompetensi rekayasa (Arango-Caro *et al.*, 2025; Guerra *et al.*, 2025).

Keterampilan rekayasa tidak akan bermakna sepenuhnya jika tidak disertai dengan kesadaran aksi dan tanggung jawab terhadap lingkungan sosial dan ekologi. Generasi masa depan tidak hanya dituntut untuk cerdas secara kognitif, tetapi juga

memiliki kemampuan mengambil keputusan dan bertindak nyata dalam menyelesaikan masalah kehidupan yang kompleks, seperti krisis lingkungan, ketimpangan sosial, dan pola konsumsi yang berlebihan (Arefin *et al.*, 2025). Aksi nyata dalam pembelajaran mendorong siswa untuk berpartisipasi aktif, memahami konsekuensi dari keputusan siswa, dan menumbuhkan kepedulian terhadap dampak dari solusi yang siswa kembangkan (García-Llamas *et al.*, 2025; Tang *et al.*, 2024).

Pendidikan yang mengarahkan siswa untuk bertindak nyata dalam menjawab permasalahan lingkungan membentuk karakter yang solutif dan reflektif. Ketika siswa terlibat dalam proyek seperti pemanfaatan limbah rumah tangga atau produksi bahan alternatif pengganti plastik, siswa tidak hanya belajar secara kognitif tetapi juga membentuk kepedulian dan tanggung jawab terhadap lingkungan sekitarnya (Siek *et al.*, 2025). Selain itu, pengalaman belajar berupa aksi yang melibatkan rekayasa berkelanjutan dapat menumbuhkan kepemilikan siswa terhadap solusi yang siswa hasilkan (Simanjuntak *et al.*, 2025). Oleh karena itu, kegiatan aksi dalam pendidikan bukan sekedar sarana belajar, tetapi berfungsi sebagai sarana pembentukan perilaku dan karakter yang berkelanjutan sejak dini (Sukardi *et al.*, 2025).

Limbah organik menjadi salah satu isu lingkungan yang semakin mendesak untuk ditangani, terutama di kawasan perkotaan saat ini tengah menghadapi permasalahan serius berupa penumpukan sisa makanan, pertanian, dan rumah tangga. Data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) menunjukkan bahwa lebih dari 34,2 juta ton limbah dihasilkan setiap tahun di Indonesia, sekitar 50% diantaranya merupakan limbah organik yang belum tertangani (Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, 2024). Akumulasi limbah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) memperparah pencemaran dan emisi gas rumah kaca seperti metana yang berdampak pada kesehatan masyarakat dan perubahan iklim (Cao *et al.*, 2023). Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif yang tidak hanya mengurangi volume limbah tetapi juga memberikan perubahan terhadap lingkungan.

Solusi potensial yang terus dikembangkan di berbagai negara adalah konversi limbah organik menjadi bioplastik ramah lingkungan. Teknologi ini menjanjikan pengurangan penggunaan plastik berbahan bakar fosil dan membuka peluang pemanfaatan limbah menjadi produk bernilai guna tinggi (Vargas Vargas & Silva, 2025). Bioplastik yang dihasilkan dari limbah organik yang mengandung pati, selulosa, dan asam lemak memiliki karakter biodegradable yang dapat terurai secara alami, sehingga berpotensi besar dalam mitigasi emisi gas rumah kaca dan pencemaran lingkungan (Pasquale *et al.*, 2025). Siswa yang terlibat dalam proyek pembuatan bioplastik dari limbah organik memperoleh kesempatan untuk mengembangkan keterampilan rekayasa sekaligus meningkatkan kesadaran terhadap *Responsible Consumption and Production*, sejalan dengan prinsip pendidikan berkelanjutan (Sakarika *et al.*, 2024).

Konsep *Responsible Consumption and Production* yang tercantum dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs) ke-12 menekankan pentingnya perubahan pola konsumsi dan produksi. Tujuan ini mendorong transisi dari sistem produksi linear yang hanya membuat, menggunakan, lalu membuang, menjadi sistem yang lebih berkelanjutan. Dalam sistem ini, barang-barang bekas tidak lagi dianggap sebagai limbah, melainkan sebagai sumber daya yang dapat digunakan kembali, didaur ulang, atau diolah menjadi produk yang bermanfaat. Strategi ini terbukti mampu menurunkan dampak negatif terhadap lingkungan sekaligus menciptakan nilai ekonomi dari limbah (Leal Filho *et al.*, 2022). Dalam konteks pendidikan, *Sustainable Development Goals* (SDGs) 12 dapat diintegrasikan melalui proyek pembuatan alat reaktor bioplastik yang melibatkan siswa dalam aksi nyata (Nguyen, 2023). Hal tersebut selaras dengan prinsip *Science, Technology, Engineering, and Mathematic* (STEM) dalam memecahkan masalah.

Pembelajaran STEM di bidang biologi memungkinkan siswa mengintegrasikan teori ilmiah dan keterampilan rekayasa dalam konteks nyata yang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Tidak hanya memahami konsep seperti reaksi biokimia, siswa juga aktif menciptakan solusi seperti bioplastik dari limbah organik dengan memodifikasi alat dan menguji hasilnya secara langsung

Alya Syahryanida, 2025

PEMBELAJARAN PROYEK STEM-ESD TERKAIT RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION DENGAN ALAT REAKTOR PEMBUAT BIOPLASTIK TERHADAP KETERAMPILAN REKAYASA DAN AKSI SISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repostory.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

(Caratozzolo *et al.*, 2025). Pembelajaran STEM ini terbukti meningkatkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan literasi ilmiah yang kuat (Lucietto & Peters, 2024). Selain itu, pembelajaran proyek STEM memperkuat pemahaman sains siswa, meningkatkan kepercayaan diri, serta membangun keterampilan abad ke-21 seperti kolaborasi dan komunikasi ilmiah (Mims *et al.*, 2025). Dalam melibatkan siswa dalam tantangan yang relevan, pengalaman belajar menjadi lebih bermakna dan mampu mempersiapkan siswa menghadapi isu-isu biologi yang kompleks secara kreatif.

Proyek STEM memberikan pengalaman autentik yang membangun rasa tanggung jawab dan kepedulian siswa terhadap isu lingkungan dan sosial. Misalnya, proyek pembuatan kemasan makanan biodegradable (Daulay, 2023), *food box safer LED lamp* untuk pengawetan makanan (Ainisyifa, 2024), Bioplastik yaitu plastik yang dapat terurai (Shadrina, 2024), serta proyek *air pollution blocker* yang dirancang untuk mengurangi pencemaran udara (Afifah, 2023). Pembelajaran menjadi lebih dari sekadar transfer ilmu, karena mendorong siswa merancang dan menerapkan solusi nyata (Jaya & Zaharudin, 2024). Ketika siswa terlibat dalam proyek dengan relevansi sosial tinggi, motivasi belajar dan empati siswa meningkat. Selain itu, STEM juga dapat membentuk karakter siswa menjadi problem solver yang peka terhadap perubahan sosial dan lingkungan (Bilgin *et al.*, 2022).

Pembelajaran STEM semakin diperkuat melalui kolaborasinya dengan *Education for Sustainable Development* (ESD), seiring dengan meningkatnya urgensi menghasilkan teknologi yang tidak hanya inovatif namun juga ramah lingkungan serta berkelanjutan (Sposab & Rieckmann, 2024). ESD menekankan pembelajaran yang kontekstual, reflektif, dan berorientasi pada tindakan nyata dalam kehidupan sehari-hari (Waltner *et al.*, 2020). Siswa dilibatkan sebagai agen perubahan yang mampu memahami keterkaitan antara aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi dalam menghasilkan solusi teknologi yang ramah lingkungan (Hoque *et al.*, 2022). Proyek seperti pembuatan reaktor bioplastik melatih siswa berpikir kritis sekaligus menumbuhkan tanggung jawab terhadap *Responsible Consumption*

and Production, yang menuntut kesadaran dalam pengelolaan sumber daya alam dan pengurangan limbah.

Kurikulum Merdeka menempatkan siswa sebagai subjek aktif dalam pembelajaran kontekstual. Dalam mata pelajaran Biologi, pembelajaran proyek menjadi sarana efektif untuk mengintegrasikan isu lingkungan seperti pencemaran dan perubahan iklim dengan materi ajar. Siswa didorong untuk memahami degradasi lingkungan sekaligus mencari solusi berbasis sains, seperti membuat bioplastik dari limbah organik (Rahmawati *et al.*, 2022). Penerapan pembelajaran proyek memperkuat keterampilan kolaboratif serta nilai-nilai berkelanjutan melalui praktik ilmiah secara langsung. Misalnya siswa dapat merancang, menguji, dan mengevaluasi alat reaktor pembuat bioplastik, menjadikan pelajaran Biologi lebih bermakna (Purba *et al.*, 2024). Proyek juga memungkinkan interkoneksi antar mata pelajaran seperti kimia dan kewirausahaan. Dengan demikian, pembelajaran proyek dalam Kurikulum Merdeka mampu menumbuhkan agen perubahan lingkungan sejak bangku sekolah (Fuentes-Helguera *et al.*, 2024).

Dalam Capaian Pembelajaran (CP) Fase E Biologi kelas X, siswa diharapkan mampu memahami dan menganalisis dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan serta menerapkan prinsip berkelanjutan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu bentuk nyata untuk mencapai tujuan ini adalah melalui proyek pembelajaran berbasis pemecahan masalah lingkungan, seperti pengolahan limbah organik menjadi bioplastik (Basheer *et al.*, 2025). Proyek ini mendukung pengembangan kesadaran terhadap isu *Responsible Consumption and Production*, sebagaimana tercantum dalam *Sustainable Development Goals (SDGs) 12* (Boca & Saraçlı, 2023). Melalui pelaksanaan proyek nyata, siswa tidak hanya mempelajari konsep tentang daur ulang dan biodegradasi, tetapi juga memahami penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* dengan alat reaktor pembuat bioplastik terhadap keterampilan rekayasa dan aksi siswa. Fokus penelitian diarahkan pada keterlibatan siswa secara aktif dalam

Alya Syahryanida, 2025

PEMBELAJARAN PROYEK STEM-ESD TERKAIT RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION DENGAN ALAT REAKTOR PEMBUAT BIOPLASTIK TERHADAP KETERAMPILAN REKAYASA DAN AKSI SISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repostory.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

mengidentifikasi, merancang, dan mengimplementasikan solusi nyata dari isu limbah organik menjadi bioplastik. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap inovasi pendidikan yang sejalan dengan tuntutan SDGs serta peningkatan kualitas pembelajaran sains.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, permasalahan yang dirumuskan dalam penelitian ini yaitu “Bagaimana keterampilan rekayasa dan aksi siswa setelah pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* dengan alat reaktor pembuat bioplastik?” Adapun pertanyaan penelitian berdasarkan rumusan masalah tersebut, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana peningkatan keterampilan rekayasa siswa setelah pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* dengan alat reaktor pembuat bioplastik?
2. Bagaimana aksi siswa sebelum dan setelah pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* dengan alat reaktor pembuat bioplastik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai keterampilan rekayasa dan aksi siswa setelah pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* dengan alat reaktor pembuat bioplastik. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mendapatkan informasi peningkatan keterampilan rekayasa siswa setelah pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* dengan alat reaktor pembuat bioplastik.
2. Mendapatkan informasi aksi siswa sebelum dan setelah pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* dengan alat reaktor pembuat bioplastik.

Alya Syahryanida, 2025

PEMBELAJARAN PROYEK STEM-ESD TERKAIT RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION DENGAN ALAT REAKTOR PEMBUAT BIOPLASTIK TERHADAP KETERAMPILAN REKAYASA DAN AKSI SISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repostory.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat dalam memberikan pengalaman baru bagi siswa melalui pembelajaran STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* dalam proyek pembuatan alat reaktor bioplastik. Proyek ini tidak hanya mengembangkan keterampilan rekayasa siswa, tetapi juga mendorong aksi nyata dalam menerapkan nilai-nilai berkelanjutan. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi sumber rujukan dan inspirasi bagi pendidik maupun peneliti lain dalam mengembangkan pembelajaran proyek yang bermakna dan kontekstual.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dirancang agar lebih terarah dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Adapun batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* dengan fokus pada pengolahan limbah organik menggunakan alat reaktor pembuat plastik, dan diterapkan pada siswa kelas X dengan materi Perubahan Lingkungan dan sub materi Pencemaran Lingkungan.
2. Keterampilan rekayasa siswa diukur dalam bentuk kerja kelompok, berdasarkan dua puluh dua indikator pencapaian yang disajikan melalui hasil pengisian Lembar Kerja Peserta Didik selama pelaksanaan pembelajaran proyek STEM-ESD dengan memodifikasi alat reaktor pembuat bioplastik.
3. Aksi siswa terkait isu *Responsible Consumption and Production* diukur secara individu, menggunakan kuesioner skala Likert 4 poin untuk mengevaluasi perubahan sikap dan perilaku siswa berdasarkan empat aspek, yaitu masa lalu (kondisi sebelum pembelajaran dengan batas waktu 1 tahun), masa sekarang (kondisi saat pembelajaran berlangsung), masa depan (kondisi setelah pembelajaran), serta capaian kompetensi pada *pretest* dan *posttest*. Pengukuran tersebut diperkuat dengan data dari hasil wawancara perwakilan kelompok.

4. Penggunaan alat reaktor pembuat bioplastik dalam pembelajaran proyek STEM-ESD dibatasi hanya sebagai media pembelajaran, bukan untuk produksi bioplastik dalam skala besar.
5. Penelitian ini tidak mengukur kemampuan STEM secara terpisah (Science, Technology, Engineering, Mathematics), karena fokus utama penelitian adalah peningkatan pembelajaran proyek STEM-ESD dalam menumbuhkan keterampilan rekayasa dan aksi nyata siswa dalam isu *Responsible Consumption and Production*.

1.6 Asumsi Penelitian

Penelitian ini berasumsi bahwa melalui pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production*, siswa dilibatkan secara aktif dalam proses mengeksplorasi permasalahan nyata yang relevan dengan kehidupan sehari-hari untuk meningkatkan kesadaran akan dampak dari pola konsumsi dan produksi yang tidak berkelanjutan. Selain itu, siswa didorong untuk merancang dan menerapkan solusi konkret, seperti memproduksi bioplastik, sebagai bentuk aksi nyata dalam mendukung *Responsible Consumption and Production*.

1.7 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini dirumuskan bahwa pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* dengan alat reaktor pembuat bioplastik dapat meningkatkan aksi siswa.

1.8 Struktur Organisasi Skripsi

Penelitian ini berjudul “Pembelajaran Proyek STEM-ESD Terkait *Responsible Consumption and Production* dengan Alat Reaktor Pembuat Bioplastik terhadap Keterampilan Rekayasa dan Aksi Siswa” Seluruh proses kegiatan penelitian disusun dan disajikan dalam bentuk laporan berupa skripsi, yang merujuk pada Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Pendidikan Indonesia Tahun 2024. Adapun struktur organisasi penulisan skripsi ini disusun sebagai berikut:

Alya Syahryanida, 2025

PEMBELAJARAN PROYEK STEM-ESD TERKAIT RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION DENGAN ALAT REAKTOR PEMBUAT BIOPLASTIK TERHADAP KETERAMPILAN REKAYASA DAN AKSI SISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repostory.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

1. Bab I Pendahuluan, memaparkan latar belakang dan konteks dari permasalahan yang diteliti, yaitu pentingnya integrasi pendidikan STEM-ESD dalam pembelajaran biologi untuk mendukung *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya poin ke-12 mengenai *Responsible Consumption and Production*. Penelitian ini menyoroti keterlibatan siswa dalam proyek memodifikasi alat reaktor bioplastik sebagai sarana untuk meningkatkan keterampilan rekayasa dan aksi nyata terhadap akumulasi limbah organik. Bab ini juga mencakup komponen penting seperti rumusan masalah yang merinci permasalahan utama, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah untuk menjaga fokus penelitian pada topik utama, asumsi penelitian, hipotesis penelitian sebagai dugaan sementara, serta struktur organisasi skripsi.
2. Bab II Kajian Pustaka, membahas konsep, teori, temuan, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan variabel bebas dan terikat, yakni pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production*, alat reaktor pembuat bioplastik, keterampilan rekayasa, serta aksi siswa. Dalam bab ini, indikator dari masing-masing variabel dijelaskan secara mendalam melalui kajian literatur untuk memberikan landasan teoritis dan konseptual bagi pelaksanaan serta analisis penelitian.
3. Bab III Metode Penelitian, bagian yang membahas secara menyeluruh teknis pelaksanaan penelitian, dimulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan, hingga analisis data. Bab ini mencakup metode dan desain penelitian yaitu pre-eksperimen dengan *one group pretest posttest design*, populasi dan sampel penelitian, definisi operasional variabel, alur dan tahapan penelitian, instrumen penelitian, prosedur penelitian, serta analisis data secara statistik deskriptif.
4. Bab IV Temuan dan Pembahasan, menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari proses pengumpulan, pengolahan, dan analisis data yang telah dilakukan sesuai dengan rumusan masalah. Hasil penelitian disajikan secara sistematis dalam bentuk tabel, grafik batang, diagram pie, dan visualisasi data lainnya untuk memperjelas pemaknaan terhadap variabel dan indikator yang diteliti.

Seluruh hasil yang diperoleh di bahas dengan merujuk pada teori-teori yang telah dijabarkan, serta dibandingkan dengan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan. Bab ini terbagi ke dalam dua sub-bab, yang pertama mengenai pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* terhadap keterampilan rekayasa siswa, dan yang kedua mengenai pembelajaran proyek STEM-ESD terkait *Responsible Consumption and Production* terhadap aksi siswa.

5. Bab V Simpulan, Implikasi, dan Rekomendasi, menyajikan penarikan simpulan secara menyeluruh berdasarkan hasil temuan dan analisis data yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Simpulan disusun sebagai jawaban atas rumusan masalah dan pertanyaan penelitian, disertai implikasi teoritis dan praktis atas temuan penelitian serta rekomendasi yang ditujukan bagi guru, institusi pendidikan, dan peneliti selanjutnya dalam mengembangkan pembelajaran STEM-ESD yang kontekstual dan berorientasi pada aksi berkelanjutan.