

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Keterampilan rekayasa di kalangan siswa SMA masih tergolong rendah, yang berdampak pada minimnya inovasi dalam menangani permasalahan lingkungan termasuk pengelolaan limbah organik. Hanya sekitar 35% siswa SMA di Indonesia yang mencapai tingkat keterampilan dasar dalam kompetensi sains dan teknologi, yang mencakup kemampuan menganalisis masalah, merancang, mengembangkan dan menerapkan solusi berbasis teknologi yang relevan dalam kehidupan sehari-hari (OECD, 2023). Kondisi ini juga berkaitan dengan rendahnya keterlibatan siswa dalam konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab. Penelitian oleh Sari *et al.* (2022) menunjukkan bahwa hanya 45% siswa yang terlibat dalam program keberlanjutan menunjukkan perilaku menuju aksi nyata. Kurangnya keterlibatan dalam aksi nyata menyebabkan rendahnya kesadaran siswa terhadap isu keberlanjutan, sehingga sulit bagi mereka untuk mengadopsi praktik yang lebih bertanggung jawab dalam kehidupan sehari-hari (Torsdottir *et al.*, 2024).

Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap rendahnya keterampilan rekayasa dan minimnya keterlibatan siswa dalam aksi nyata adalah terbatasnya penerapan pembelajaran berbasis proyek di sekolah (Wulandari, 2022). Kondisi ini terjadi karena pembelajaran berbasis proyek belum menjadi fokus utama dalam pendidikan saat ini (Abdurrahman *et al.*, 2023). Pembelajaran berbasis proyek secara langsung mendorong keterlibatan siswa dalam eksplorasi dan pemecahan masalah yang relevan dengan lingkungan sekitar, sehingga mampu mengembangkan keterampilan rekayasa yang mencakup kemampuan merancang, mengembangkan, dan menerapkan solusi inovatif berbasis teknologi, serta mendorong keterlibatan siswa dalam aksi nyata untuk mengatasi permasalahan lingkungan.

Indonesia sebagai negara berkembang menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan limbah padat yang berasal dari berbagai sumber, seperti sampah perumahan, komersial, institusi, dan industri (Eshete *et al.*, 2024). Pengelolaan

sampah sering terkendala oleh kurangnya infrastruktur yang memadai, pengelolaan yang belum optimal, serta tingginya produksi sampah organik yang berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia (Audu *et al.*, 2020). Indonesia menempati urutan kedua sebagai penyumbang sampah terbesar setelah Cina, dengan jumlah limbah yang diperkirakan mencapai 36 juta ton per tahun, di mana sebanyak 57% merupakan sampah organik (Budhijanto *et al.*, 2024). Lebih dari separuh total sampah tersebut adalah sampah organik, termasuk limbah makanan dan buah-buahan yang tidak terpakai, yang jika terus meningkat dan tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan dampak serius bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Salah satu tantangan nyata yang dihadapi adalah meningkatnya jumlah sampah buah, yang banyak terbuang tanpa dimanfaatkan secara optimal. Pengelolaan limbah yang tidak tepat dapat mengakibatkan efek yang besar terhadap lingkungan, seperti polusi udara, tanah, dan air (Eshete *et al.*, 2024). Sekitar 60% pencemaran air tanah di daerah perkotaan disebabkan oleh rembesan lindi dari tempat pembuangan akhir (TPA), yang membawa zat beracun seperti logam dan senyawa organik berbahaya. Selain itu, proses pembusukan limbah organik menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang merupakan gas rumah kaca penyebab pemanasan global. Diperkirakan bahwa TPA di Indonesia menyumbang sekitar 6% dari total emisi gas rumah kaca nasional, yang berdampak negatif terhadap perubahan iklim (Mahyudin & Herlintama, 2023). Selain itu, gas beracun seperti hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) yang dihasilkan dari pembusukan sampah dapat menyebabkan gangguan pernapasan bagi masyarakat yang tinggal di sekitar TPA (Moussaoui *et al.*, 2022). Oleh karena itu, diperlukan strategi yang inovatif untuk mencegah buah terbuang menjadi sampah serta meningkatkan keberlanjutan konsumsi yang bertanggung jawab.

Salah satu teknologi yang relevan untuk diintegrasikan dalam pembelajaran proyek bertujuan untuk mengurangi limbah buah adalah *food dehydrator*, yaitu alat yang dapat memperpanjang masa simpan buah, mengurangi pemborosan makanan, serta mengurangi jumlah buah yang terbuang sebagai sampah organik (Jena *et al.*, 2022). Di wilayah seperti Jawa Barat yang merupakan salah satu penghasil buah

terbesar di Indonesia dengan rata-rata limbah buah di tingkat rumah tangga mencapai sekitar 12 kg per minggu, hal ini menunjukkan pengelolaan limbah buah menjadi tantangan yang signifikan (BPS Jawa Barat, 2023), pengelolaan limbah buah menjadi tantangan besar. Melalui proyek pengembangan *food dehydrator*, siswa dapat mengidentifikasi masalah, merancang dan mengembangkan teknologi pengeringan makanan, serta menguji efektivitasnya sebagai solusi untuk pengurangan limbah. Proses pembelajaran yang aplikatif dan kontekstual ini tidak hanya melatih keterampilan teknis dan berpikir kritis, tetapi juga menginternalisasi nilai-nilai keberlanjutan sekaligus mendorong siswa berperan aktif dalam aksi nyata menuju konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab (Ratna *et al.*, 2023; Abdurrahman *et al.*, 2023).

Pembelajaran STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) mendorong siswa untuk menggunakan teknologi dan pengetahuan yang dimiliki untuk mendukung keberlanjutan, sehingga mengembangkan kemampuan berpikir kritis, memecahkan masalah, serta inovasi yang diterapkan dalam konteks keberlanjutan. Sementara itu, *Education for Sustainable Development* (ESD) bertujuan membekali individu dengan pengetahuan, keterampilan, nilai dan sikap yang dibutuhkan agar dapat berkontribusi secara aktif dalam pembangunan berkelanjutan. ESD menekankan pentingnya memahami keterkaitan antara aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial budaya ketika menghadapi tantangan global (Nurwidiawati, 2024). Pada penerapannya, ESD tidak hanya berfokus pada aspek teori, tetapi juga mengedepankan pembelajaran yang bersifat kontekstual dan relevan dengan kehidupan sehari-hari serta lingkungan tempat siswa berada (Muntamah, 2024).

Model pembelajaran proyek dengan mengintegrasikan STEM dan ESD, khususnya dalam konteks *Responsible Consumption and Production*, memberikan ruang bagi siswa untuk merancang solusi teknologi yang relevan dengan permasalahan lingkungan di sekitarnya (Rasyid *et al.*, 2023). Melalui keterlibatan aktif dalam proses merancang, membangun, dan menguji produk, siswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, serta keterampilan teknis yang esensial dalam rekayasa

(Rukoyah, 2020). Selain itu, pembelajaran ini memperkuat kesadaran siswa terhadap isu keberlanjutan dan pentingnya konsumsi serta produksi yang bertanggung jawab (Bajželj *et al.*, 2020). ESD sebagai pendekatan pendidikan holistik dan kontekstual membekali siswa dengan pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang memungkinkan mereka untuk memahami dan mengimplementasikan pola konsumsi dan produksi yang efisien dan berkelanjutan sesuai dengan tujuan poin ke-12 SDG (Nurwidiawati, 2024; Muntamah, 2024) sehingga mempersiapkan generasi yang aktif berkontribusi dalam pembangunan berkelanjutan dan perubahan sosial positif.

Pembelajaran STEM di bidang biologi memungkinkan siswa untuk mengintegrasikan teori ilmiah dengan keterampilan rekayasa dalam konteks nyata yang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Siswa tidak hanya memahami konsep-konsep ilmiah seperti siklus kehidupan, mikroorganisme, dan proses pembusukan buah, tetapi juga secara aktif menciptakan solusi inovatif untuk mengurangi produksi sampah organik dari buah. Melalui pendekatan pembelajaran berbasis proyek STEM, siswa terdorong untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan keterampilan pemecahan masalah, sekaligus meningkatkan literasi ilmiah yang mendalam. Selain itu, pembelajaran proyek ini memperkuat pemahaman siswa terhadap konsep sains secara praktis dan aplikatif, sehingga mereka dapat menghubungkan teori dengan praktik nyata dalam upaya menjaga keberlanjutan lingkungan serta mendukung pembangunan berkelanjutan. (Dewati *et al.*, 2019; Setyowati *et al.*, 2022).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rukoyah (2020) menunjukkan bahwa pembelajaran STEM dapat mengembangkan keterampilan rekayasa siswa ke arah yang lebih baik, dengan rata-rata keterampilan rekayasa berada pada tingkat berkembang (*developing designer*) hingga tingkat lanjut (*informed designer*). Studi oleh Nurbayani *et al.* (2023) juga menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek terintegrasi STEM efektif dalam meningkatkan keterampilan rekayasa siswa. Sementara itu, penelitian oleh Solihat *et al.* (2024), Ainisyifa (2024), dan Fadilah, (2024) menunjukkan bahwa pembelajaran proyek STEM-ESD berdampak positif terhadap kesadaran dan tindakan siswa dalam aspek keberlanjutan. Namun,

hingga saat ini belum ada penelitian yang secara spesifik mengkaji keterampilan rekayasa dan aksi siswa secara bersamaan, khususnya dalam konteks pembelajaran terkait materi perubahan lingkungan yang difokuskan pada pengurangan limbah buah melalui integrasi teknologi pengeringan makanan (*food dehydrator*). Sehingga ada kekosongan literatur yang perlu diisi.

Pengkajian keterampilan rekayasa dan aksi siswa secara bersamaan dalam konteks pengurangan limbah buah melalui penerapan teknologi pengeringan makanan memberikan kontribusi positif dalam pengembangan pembelajaran STEM-ESD. Hal ini tidak hanya menumbuhkan kompetensi teknik siswa, tetapi juga meningkatkan kesadaran untuk tanggung jawab ekologis mereka. Melalui pembelajaran proyek STEM-ESD yang sistematis, siswa difasilitasi untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif secara terpadu melalui tahapan pembelajaran yang komprehensif, mulai dari identifikasi masalah merancang solusi, hingga pengujian produk sebagai bentuk tanggapan terhadap isu keberlanjutan (Rukoyah, 2020). Proses ini melatih siswa untuk menghadapi permasalahan lingkungan yang kompleks dan kontekstual sekaligus memperkuat kesadaran dan tanggung jawab mereka terhadap keberlanjutan (Sihombing *et al.*, 2024; Fathurohman *et al.*, 2023). Selain menguasai konsep sains, teknologi, teknik (rekayasa), dan matematika, siswa juga dilatih berkolaborasi, mengambil keputusan, dan merancang solusi inovatif yang berkelanjutan (Rahman *et al.*, 2023), sehingga pembelajaran ini relevan untuk memperkuat keterampilan rekayasa sekaligus aksi nyata dalam menghadapi tantangan lingkungan, khususnya dalam konteks *SDG Responsible Consumption and Production* (Bardoe *et al.*, 2023; Fathurohman *et al.*, 2023).

Integrasi STEM dan ESD melalui pembelajaran berbasis proyek tidak hanya memberikan pemahaman teoritis, tetapi juga membentuk karakter siswa sebagai agen perubahan dengan mengembangkan kepekaan terhadap isu sosial, ekonomi, dan lingkungan melalui pengalaman belajar yang kontekstual dan reflektif (Faustino & Kaur, 2023). Kegiatan proyek seperti pemanfaatan buah yang tidak dikonsumsi menjadi produk bernilai guna mendorong pengembangan kemampuan

berpikir kritis, kreatif dan kolaboratif dalam merancang solusi teknologi yang aplikatif dan berkelanjutan.

Sejalan dengan tujuan akhir pembelajaran pada Fase E Kurikulum Merdeka tahun 2024, siswa didorong untuk memahami perubahan iklim dan mampu berperan aktif dalam mengatasi isu-isu lingkungan, baik secara lokal maupun global, sebagai bagian dari upaya untuk mencapai SDGs (*Sustainable Development Goals*). Dalam konteks ini, teknologi pengeringan makanan (*food dehydrator*) yang dapat memperpanjang masa simpan buah sekaligus mengurangi limbah organik dan pemanfaatan sumber daya secara efisien, dapat diintegrasikan ke dalam pembelajaran proyek STEM-ESD pada topik pencemaran lingkungan dalam bab perubahan lingkungan (Rauf & Alamsyah, 2023). Kondisi ini memberi pemahaman komprehensif mengenai pencemaran lingkungan, pengelolaan limbah organik, dan solusi teknologi inovatif. Dengan demikian, siswa dapat mendukung pencapaian SDG *Responsible Consumption and Production*.

Berdasarkan paparan yang telah disampaikan, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan literatur dengan mengkaji dan menganalisis “Pembelajaran Proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production* terhadap Keterampilan Rekayasa dan Aksi Siswa”. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran menyeluruh mengenai pembelajaran proyek STEM-ESD terhadap keterampilan rekayasa dan aksi siswa, sekaligus mendukung konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab sesuai dengan SDG *Responsible Consumption and Production*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang dirumuskan dalam penelitian ini yaitu: “Bagaimana keterampilan rekayasa siswa dan peningkatan aksi siswa setelah pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production*?” Rumusan masalah tersebut dirinci menjadi dua pertanyaan penelitian berikut.

1. Bagaimana keterampilan rekayasa siswa setelah pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production*?

2. Bagaimana aksi siswa sebelum dan setelah pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production* terhadap keterampilan rekayasa dan aksi siswa. Adapun tujuan khusus dirinci sebagai berikut.

1. Mendapatkan informasi mengenai keterampilan rekayasa siswa setelah pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production*.
2. Mendapatkan informasi mengenai aksi siswa sebelum dan setelah pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production*.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tercapainya hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan pengalaman langsung dan pengetahuan kepada siswa mengenai keterampilan rekayasa melalui proyek pembuatan alat *food dehydrator*, serta membangun kesadaran aksi dalam konteks pembelajaran proyek STEM-ESD untuk mewujudkan poin SDG *Responsible Consumption and Production*.
2. Memberikan informasi baru, sumber inspirasi, referensi untuk evaluasi dan panduan bagi guru dan peneliti mengenai pembelajaran proyek STEM-ESD yang berfokus pada SDG *Responsible Consumption and Production*.
3. Mengingat pembelajaran berbasis proyek masih jarang diimplementasikan di tingkat SMA, hasil penelitian ini diharapkan menjadi pertimbangan penting untuk mendorong penerapan pembelajaran proyek secara lebih luas, sehingga siswa dapat meningkatkan partisipasi, mengembangkan keterampilan praktis, mempersiapkan diri menghadapi permasalahan kehidupan nyata, serta memperdalam pemahaman dan keterlibatan aktif dalam aksi nyata untuk mendukung pencapaian SDGs.

## 1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini ditetapkan untuk memastikan fokus dan arah yang jelas pada tujuan yang telah ditentukan. Berikut adalah batasan masalah yang ditetapkan.

1. Variabel bebas yang diterapkan adalah model pembelajaran proyek STEM-ESD berfokus pada SDG *Responsible Consumption and Production*, diintegrasikan pada materi perubahan lingkungan kelas X, sub topik pencemaran lingkungan. Teknologi dalam pembelajaran proyek ini adalah *food dehydrator* untuk mengurangi produksi sampah buah di lingkungan sekitar sebagai upaya pencegahan pencemaran lingkungan.
2. Variabel keterampilan rekayasa difokuskan pada proses merancang dan membuat prototipe sederhana berdasarkan alat yang sudah ada dengan tujuan mendorong pola konsumsi yang berkelanjutan dan bertanggung jawab, sehingga mendukung pencapaian SDG *Responsible Consumption and Production*.
3. Keterampilan rekayasa diukur secara kelompok menggunakan rubrik penilaian yang mencakup empat fase, yaitu: masalah (*problem*), solusi (*solution*), implementasi (*implementation*) dan manajemen proses (*process management*), berdasarkan 22 indikator penilaian. Data keterampilan rekayasa dijaring menggunakan LKPD dan observasi aktivitas siswa berskala 4.
4. Variabel aksi siswa berfokus pada tindakan yang dilakukan untuk mengurangi produksi sampah buah di lingkungan sekitar, dengan harapan mendorong pencapaian SDG *Responsible Consumption and Production*.
5. Aksi diukur secara individu, berdasarkan tindakan yang telah dilakukan di masa lalu (dalam waktu satu tahun ke belakang), masa sekarang, rencana aksi yang akan dilakukan di masa depan, serta capaian kompetensi siswa. Data aksi dijaring menggunakan lembar kuesioner pernyataan aksi melalui *pretest* dan *posttest*.

## 1.6 Asumsi Penelitian

Asumsi yang menjadi dasar penelitian ini, yaitu: “Pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production* mendorong keterlibatan aktif siswa dalam mengeksplorasi masalah nyata dan menghasilkan tindakan konkret melalui penerapan teknologi sebagai kontribusi langsung dalam mendukung SDG *Responsible Consumption and Production*.”

## 1.7 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah diuraikan, terdapat hipotesis bahwa terjadi peningkatan aksi siswa setelah pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production*.

## 1.8 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production* terhadap keterampilan rekayasa dan aksi siswa, termasuk penjelasan mengenai setiap indikatornya. Penelitian ini mencakup pengukuran keterampilan rekayasa dan aksi siswa dalam mengurangi produksi sampah buah melalui upaya pencegahan, dengan menggunakan alat *food dehydrator* untuk memperpanjang masa simpan buah. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan informasi mengenai keterampilan rekayasa siswa setelah pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production* dan mendapatkan informasi mengenai aksi siswa sebelum dan setelah pembelajaran tersebut. Analisis deskriptif dilakukan untuk melihat variabel-variabel yang diteliti, dan hasilnya dikaitkan dengan penelitian sebelumnya. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai keterampilan rekayasa dan aksi siswa setelah pembelajaran proyek STEM-ESD *Responsible Consumption and Production*.