

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterampilan Rekayasa adalah kerangka kerja berulang yang mendorong siswa untuk terlibat dalam pemecahan masalah melalui tahapan yang ditentukan (English & King, 2015). Keterampilan rekayasa (*engineering skills*) mengacu pada kemampuan individu dalam mengidentifikasi masalah, merancang solusi, menguji prototipe, serta mengelola proses penyelesaian masalah secara sistematis dan efisien. Proses ini menuntut kecakapan berpikir tingkat tinggi, seperti berpikir kritis, analitis, reflektif, serta pengambilan keputusan berbasis bukti. Menurut Trilling & Fadel (2009), keterampilan rekayasa termasuk dalam domain *higher-order thinking skills* yang penting untuk menghadapi tantangan kompleks di dunia nyata. Generasi muda membutuhkan keterampilan yang dapat membantu mereka beradaptasi dengan perubahan sepanjang hidup. Mereka membutuhkan keterampilan dalam keempat pilar Pendidikan untuk Semua, yaitu belajar untuk mengetahui, belajar untuk melakukan, belajar untuk hidup bersama dan dengan orang lain, serta belajar untuk menjadi (UNESCO, 2004).

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin kompetitif dan cepat berubah, keterampilan semacam ini menjadi semakin krusial dalam mendorong lahirnya inovasi. Dalam konteks ini, keterampilan berpikir kritis, adaptasi, kolaborasi, komunikasi, literasi digital, pemecahan masalah, dan inovasi menjadi kunci untuk menjawab tantangan global (Sujarwo *et al*, 2022). Semua kemampuan-kemampuan yang dibutuhkan dalam menghadapi tantangan ada pada keterampilan rekayasa. Namun, data Global Innovation Index (GII) 2023 menunjukkan bahwa Indonesia masih berada di peringkat ke-61 dari 132 negara, dengan posisi ke-5 di antara negara-negara ASEAN, tertinggal dari Singapura, Malaysia, Thailand, dan Filipina (WIPO, 2023). Kemampuan untuk berinovasi tidak hanya membutuhkan kreativitas, tetapi juga kemampuan untuk merealisasikan ide secara nyata melalui proses sistematis seperti yang dilakukan dalam rekayasa. Fakta ini mengindikasikan

perlunya penguatan kompetensi inovatif melalui pendidikan. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi pembelajaran yang mampu mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi dan kreativitas secara terintegrasi.

Berdasarkan penelitian oleh Nusyirwan *et al.* (2021) mengintegrasikan Keterampilan Rekayasa kedalam pembelajaran dapat meningkatkan pengalaman belajar siswa dan mempersiapkan mereka untuk tantangan abad ke-21 yang dapat mendorong pemikiran kritis, kreativitas, dan kolaborasi, yang merupakan keterampilan penting dalam menghadapi dunia modern. Pembelajaran sains yang diintegrasikan dengan proyek desain rekayasa mampu memberikan peluang bagi siswa untuk bekerja secara kolaboratif dalam memecahkan masalah karena kegiatan rekayasa dapat memberikan pengalaman kepada siswa untuk menemukan hubungan antar konsep sains tertentu dan mengaplikasikannya untuk menyelesaikan masalah dalam konteks dunia nyata (Nuraeni & Zahra, 2021).

Aksi berkelanjutan merupakan serangkaian tindakan sadar yang dilakukan individu maupun kelompok untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan manusia, kelestarian lingkungan, dan keberlangsungan ekonomi dalam jangka panjang. Aksi ini melibatkan pengambilan keputusan yang mempertimbangkan dampak terhadap lingkungan, masyarakat, dan masa depan, baik melalui kebiasaan kecil seperti mengurangi limbah dan konsumsi bijak, maupun partisipasi aktif dalam upaya pelestarian dan perubahan sosial. Dalam laporan UNESCO (2017) aksi berkelanjutan disebut sebagai salah satu indikator penting dari literasi keberlanjutan yang dibentuk melalui pendidikan yang menanamkan nilai-nilai, keterampilan, dan kepekaan terhadap ketidakadilan lingkungan serta tantangan global. Sayangnya, kondisi saat ini menunjukkan bahwa praktik keberlanjutan masih belum menjadi kebiasaan luas.

Sebagian besar masyarakat, termasuk generasi muda, menunjukkan kesenjangan antara pengetahuan dan Tindakan di mana kesadaran terhadap isu-isu global tidak serta merta diterjemahkan menjadi perubahan perilaku (UNEP, 2021). Hal ini menunjukkan perlunya intervensi melalui sistem pendidikan yang tidak hanya bersifat kognitif, tetapi juga transformatif. Ketika aksi berkelanjutan menjadi

bagian dari pembelajaran di sekolah, peserta didik tidak hanya dibekali informasi, tetapi juga dilibatkan untuk bertindak dan merefleksikan perannya dalam dunia sebagai individu. Pendidikan yang mengintegrasikan aksi keberlanjutan dalam proses belajar mampu menumbuhkan kesanggupan berpikir kritis, kemampuan mengambil keputusan berbasis nilai, serta keberanian untuk berkontribusi dalam perubahan sosial (UNESCO, 2020). Pendidikan memiliki peran yang sangat strategis dalam mendorong terwujudnya pembangunan berkelanjutan, karena melalui pendidikan, kapasitas manusia dapat ditingkatkan untuk memahami, merespons, dan mengatasi berbagai persoalan lingkungan serta tantangan pembangunan yang semakin kompleks (Vilmala *et al.*, 2022). Oleh sebab itu, menjadikan aksi berkelanjutan sebagai komponen dalam pendidikan sekolah bukanlah pilihan, melainkan kebutuhan mendesak untuk menyiapkan generasi masa depan yang resilien, bertanggung jawab, dan berdaya saing di tengah kompleksitas global.

Saat ini banyak permasalahan global yang sedang terjadi seperti masalah sosial, lingkungan, kesehatan, kesejahteraan, dll. Pada bulan September 2015, Sidang Umum PBB mengadopsi Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan, yang mencakup 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) yang di dukung oleh hampir seluruh negara di dunia, termasuk Indonesia. Tujuan ini dirancang untuk mencapai pembangunan berkelanjutan dengan mengakhiri kemiskinan, mengurangi kesenjangan, dan melindungi lingkungan. Salah satu tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) tahun 2030, yaitu agenda nomor 6 yang bertujuan untuk meningkatkan akses terhadap air bersih dan sanitasi serta memastikan bahwa masyarakat memiliki akses universal terhadap air bersih dan sanitasi yang layak pada tahun 2030 (Jurnal *et al.*, 2024).

Air merupakan kebutuhan dasar manusia, dimana air digunakan dalam banyak aspek kehidupan manusia seperti mencuci, mandi, memasak, minum dan sebagainya. Seiring bertambahnya populasi manusia di bumi, kebutuhan air bersih yang menjadi kebutuhan dasar juga mengalami peningkatan (Lestari & Susanto, 2021). Badan Pusat Statistik, (2022) menerbitkan data bahwa jumlah air bersih yang dikeluarkan perusahaan air meningkat dari tahun 2018 yang berjumlah 3.856.435

ribu/m³ dan pada tahun 2022 jumlah air bersih yang dikeluarkan Perusahaan air berkisar 4.504.496 ribu/m³. Berdasarkan data tersebut, Dalam 5 tahun pengeluaran air bersih di Indonesia meningkat 16,8%.

Selain masalah kuantitas air bersih, kualitas air bersih juga menurun seiring bertambahnya populasi yang beriringan dengan aktivitas industri, domestik dan aktivitas lainnya (Arni & Susilawati, 2022). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2022) banyaknya desa di Indonesia yang mengalami pencemaran air dari 2014 hingga 2021 meningkat sebanyak 21,5%. Sehingga dalam menjawab masalah tersebut dengan tingkat tinggi PBB berkaitan dengan SDGs menyepakati untuk pemenuhan akses air minum bersih dan sanitasi wajib dicapai masyarakat dunia pada 2030. Masalah air bersih dan sanitasi berhubungan erat dengan pengolahan air limbah. Sejalan dengan bertambahnya populasi dan kebutuhan air bersih yang meningkat, limbah dari penggunaan air juga meningkat, terutama limbah domestik. Kurangnya akses sanitasi yang baik menyebabkan limbah domestik yang diantaranya kotoran manusia dan limbah rumah tangga lainnya, mencemari sumber air. Limbah cair rumah tangga seperti air cucian, mandi, detergen, dan lain-lain dibuang ke aliran sungai tanpa adanya pengolahan limbah terlebih dahulu secara baik dan benar sehingga sungai berubah warna menjadi keruh, mengeluarkan bau tidak sedap dan penurunan kualitas lingkungan serta estetika (Rayma, 2020).

Detergen merupakan salah satu polutan yang menjadi sumber pencemar lingkungan. Berdasarkan penelitian oleh Kusri (2022) limbah detergen mempunyai sifat sebagai toksikan terhadap mortalitas ikan kepala timah (*Aplocheilichthys pangasius*) yang habitatnya di air tawar dan konsentrasi limbah detergen yang tinggi memperbesar toksisitas detergen tersebut. Pencemaran air yang disebabkan oleh limbah detergen dapat mengurangi kualitas hidup bagi organisme yang hidup di air. Bahan kimia dalam detergen, terutama surfaktan dan fosfat, dapat mencemari sumber air minum jika tidak dikelola dengan baik. Untuk itu, perlu adanya sistem pengolahan limbah domestik terutama limbah detergen sebelum dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah detergen dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti menggunakan pasir dan arang aktif, tawas, fitoremediasi menggunakan kayu apu dan genjer dan koagulan kapur (Apriyanti, 2019;

Herlambang & Hendriyanto, 2015; Rahimah *et al.*, 2018; Setyobudiarso & Yuwono, 2014).

Permasalahan dan tantangan dunia yang sedang terjadi membutuhkan solusi dari dasar. Dalam hal ini keterlibatan masyarakat mengenai permasalahan global, pembangunan berkelanjutan, serta pemecahan masalah-masalah dapat ditunjang salah satunya melalui pendidikan. Pendidikan memainkan peran penting dalam menyiapkan individu untuk mengatasi masalah global (CSG-Ed team, 2021). Untuk itu perlu diinisiasikan dalam konteks pendidikan terkait pembelajaran berbasis Pembangunan berkelanjutan agar tercapainya tujuan Pembangunan berkelanjutan tahun 2030.

Berdasarkan penelitian Mardian (2023), Education for sustainable development (ESD) dapat meningkatkan keaktifan siswa dalam belajar sains dan kesadaran lingkungan. ESD merupakan suatu pendekatan pendidikan yang berfokus pada upaya untuk mengintegrasikan nilai-nilai dan prinsip-prinsip berkelanjutan ke dalam proses pembelajaran (Vioresa *et al.*, 2023). Pendekatan STEM terintegrasi ESD efektif untuk meningkatkan sikap siswa, terutama sikap berkelanjutan yang dapat mendorong siswa untuk lebih bertanggung jawab terhadap isu-isu berkelanjutan (Aslam *et al.*, 2024). Hal ini didukung oleh hasil penelitian dari Umar (2023) yaitu, pembelajaran proyek Stem berbasis ESD dapat meningkatkan aksi peduli air bersih. Selain itu, berdasarkan hasil penelitian Abdurrahman *et al.* (2023) mengintegrasikan Keterampilan Rekayasa ke dalam pembelajaran STEM meningkatkan keterlibatan siswa, kolaborasi, dan keterampilan pemecahan masalah.

Dalam upaya meningkatkan keterampilan rekayasa siswa, salah satu pendekatan yang digunakan dalam proyek ini adalah penerapan prinsip *reverse engineering*. *Reverse engineering* merupakan proses sistematis untuk membongkar, menganalisis, dan memahami cara kerja suatu produk guna mengembangkan atau menciptakan solusi baru yang lebih efektif dan efisien (Eilam, 2005). Prinsip ini digunakan dalam proyek filter limbah detergen untuk menganalisis sistem penyaringan air sederhana yang sudah ada, mengidentifikasi kekurangan, lalu

merancang ulang solusi penyaring air yang lebih tepat guna dan kontekstual bagi permasalahan lokal siswa. Dengan pendekatan ini, siswa tidak hanya didorong untuk menciptakan dari nol, tetapi juga untuk memahami struktur dan fungsi dari solusi yang pernah dibuat, sehingga mereka dapat mengembangkan inovasi berbasis kebutuhan dan fakta lapangan. Pendekatan ini sangat sesuai diterapkan dalam konteks pembelajaran proyek karena mendorong siswa melakukan eksplorasi, analisis, dan rekayasa ulang, yang merupakan inti dari proses berpikir kritis dan pemecahan masalah dalam pembelajaran STEM (French, 1999).

Dengan mengintegrasikan pembelajaran biologi dalam proyek STEM-ESD diharapkan dapat mengembangkan keterampilan rekayasa dan menumbuhkan kesadaran dan aksi siswa untuk menyelesaikan permasalahan sanitasi dan air bersih melalui produk rekayasa teknologi. Oleh karena itu, berdasarkan paparan yang telah disampaikan, peneliti bermaksud untuk meneliti pembelajaran proyek STEM – ESD untuk pemecahan masalah sanitasi dan air bersih terkait limbah detergen terhadap aksi dan kemampuan Keterampilan Rekayasa siswa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, permasalahan yang dirumuskan yaitu “Bagaimana Pembelajaran Proyek Filter Air Limbah Detergen Berbasis STEM-ESD Terhadap Keterampilan dan Aksi Siswa SMA?” . Dari rumusan masalah diatas, dapat dibuat menjadi beberapa pertanyaan penelitian, yaitu:

1. Bagaimana Setelah Pembelajaran Proyek Filter Air Limbah Detergen Berbasis STEM-ESD Terhadap Keterampilan Rekayasa siswa SMA?
2. Bagaimana Sebelum dan Sesudah pembelajaran Proyek Filter Air Limbah Detergen Berbasis STEM-ESD Terhadap aksi siswa SMA?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi untuk menganalisis Bagaimana Pembelajaran Proyek Filter Air Limbah Detergen Berbasis STEM-ESD Terhadap Keterampilan Rekayasa dan Aksi Siswa SMA. Adapun tujuan khusus dirinci sebagai berikut:

1. Untuk memperoleh informasi terkait pembelajaran proyek filter air limbah detergen berbasis STEM-ESD terhadap keterampilan rekayasa siswa SMA
2. Untuk memperoleh informasi terkait pembelajaran proyek filter air limbah detergen berbasis STEM-ESD terhadap aksi siswa SMA

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tercapainya hasil penelitian ini adalah dapat memberikan pengalaman, meningkatkan kesadaran aksi siswa, dan mengembangkan Keterampilan Rekayasa dalam pembelajaran proyek STEM – ESD untuk mewujudkan poin SDGs ke-6 yaitu Air bersih dan sanitasi siswa SMA. Selain itu, diharapkan juga dapat turut serta dalam upaya mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan poin keenam yaitu clean water and sanitation dalam ranah pendidikan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini dibuat agar peneliti dapat lebih fokus dan terarah pada tujuan yang telah dikemukakan. Adapun secara rinci mengenai batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Batasan masalah dalam hal keterampilan rekayasa yaitu keterampilan rekayasa diukur berdasarkan LKPD yang siswa kerjakan selama pembelajaran proyek pembuatan alat filter air limbah detergen secara berkelompok.
2. Batasan masalah pada variabel aksi yaitu pada penilaian yang sepenuhnya didasarkan pada pengalaman serta rencana tindakan siswa terkait SDGs-6 (*Clean Water and Sanitation*), yang diperoleh melalui data kuesioner yang diisi secara individu. Penilaian ini tidak disertai proses validasi untuk memastikan kejujuran jawaban siswa, sehingga hasil yang diperoleh bergantung sepenuhnya pada pernyataan subjektif responden.
3. Dalam penelitian ini pembelajaran dilakukan pada jenjang fase f (kelas 10) pada mata pelajaran biologi. Penelitian ini mengintegrasikan model STEM-ESD pada Bab Perubahan lingkungan yang dibatasi pada Sub-Bab pencemaran air.

1.6 Asumsi Penelitian

Berikut diuraikan asumsi yang menjadi dasar pada penelitian ini adalah: Pembelajaran proyek berbasis STEM-ESD yang diterapkan bertujuan untuk merespons permasalahan nyata yang berkaitan dengan isu air bersih dan sanitasi. Melalui keterlibatan dalam proyek tersebut, siswa diberi ruang untuk berpartisipasi secara aktif dalam upaya mengatasi persoalan air bersih di lingkungan sekitar mereka. Keterlibatan ini diharapkan dapat meningkatkan kepedulian lingkungan yang tercermin dalam bentuk tindakan nyata terutama pada permasalahan SDGs poin 6 (*Clean Water and Sanitation*).

1.7 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah diuraikan, maka hipotesis pada penelitian ini adalah pembelajaran proyek filter air limbah detergen berbasis STEM-ESD meningkatkan aksi siswa SMA.

1.8 Struktur Organisasi Skripsi

Penelitian ini berjudul “Pembelajaran Proyek Filter Air Limbah Detergen Berbasis STEM-ESD terkait *Clean Water and Sanitation* terhadap Keterampilan Rekayasa dan Aksi Siswa SMA”. Hasil penelitian ini dilaporkan melalui penulisan skripsi yang mengacu pada Pedoman Penulisan Karya Tulis Ilmiah UPI tahun 2024. Adapun struktur organisasi penulisan skripsi ini sebagai berikut:

1. BAB I Pendahuluan, membahas tentang pentingnya keterampilan rekayasa siswa di Indonesia serta rendahnya aksi siswa dalam isu *clean water and sanitation*. Selain itu, diuraikan juga berbagai permasalahan yang berkaitan dengan isu *clean water and sanitation*. Bagian ini menegaskan pentingnya peningkatan dan pengembangan kedua aspek tersebut jika dilakukan dalam pembelajaran proyek STEM-ESD. Kemudian, di bagian akhir dijelaskan pula dasar-dasar pelaksanaan penelitian secara umum.
2. BAB II Kajian Pustaka, membahas mengenai konsep dan penerapan pembelajaran proyek STEM-ESD sebagai perlakuan dalam penelitian ini. Bagian ini mencakup karakteristik pembelajaran proyek STEM-ESD yang dilengkapi dengan teori dari para ahli serta temuan-temuan dari penelitian

sebelumnya. Selain itu, dijelaskan pula mengenai variabel keterampilan rekayasa dan aksi siswa yang menjadi fokus penelitian, khususnya dalam konteks perubahan lingkungan pada topik *clean water and sanitation*. Penjelasan tersebut didukung dengan teori dan hasil studi terdahulu.

3. BAB III Metode Penelitian, menjelaskan prosedur pelaksanaan penelitian atau proses pengumpulan data. Pembahasan meliputi metode dan desain penelitian yang digunakan, serta berbagai kebutuhan penelitian seperti instrumen penilaian produk rekayasa, kuesioner aksi siswa, instrumen tambahan, dan perangkat pendukung lainnya. Bagian ini juga menguraikan teknik pengolahan data, yakni kategorisasi nilai untuk keterampilan rekayasa serta analisis statistik deskriptif dan kriteria N-Gain untuk aksi siswa.
4. BAB IV Temuan dan Pembahasan, terdiri atas dua subbab yang disusun sesuai jumlah rumusan masalah dan tujuan penelitian. Subbab pertama membahas bagaimana pembelajaran proyek STEM-ESD terhadap keterampilan rekayasa siswa. Subbab kedua menjelaskan bagaimana pembelajaran tersebut terhadap aksi siswa. Penjelasan dalam bab ini diuraikan berdasarkan indikator atau dimensi dari masing-masing variabel, serta diperkuat dengan data dan bukti hasil penelitian.
5. BAB V Kesimpulan, Implikasi, dan Rekomendasi, menyajikan kesimpulan mengenai penerapan pembelajaran proyek STEM-ESD terhadap keterampilan rekayasa dan aksi siswa dalam konteks *clean water and sanitation*. Selain itu, dijelaskan pula implikasi hasil penelitian beserta rekomendasi terkait penerapan pembelajaran proyek STEM-ESD berbasis SDGs-6 untuk pengembangan keterampilan rekayasa dan aksi siswa di masa mendatang.