

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Tanaman kedelai edamame adalah salah satu komoditas pangan yang memiliki peran penting di Indonesia, sehingga kebutuhan kedelai dalam negeri terus meningkat setiap tahun seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Edamame di Indonesia menjadi komoditas unggulan setelah padi dan jagung. Umumnya edamame digunakan sebagai bahan baku pembuatan tahu maupun tempe (Isnaini & Purnomo, 2020). Kabupaten Jember, Jawa Timur, dikenal sebagai sentra utama produksi edamame nasional, dengan luas lahan tanam mencapai sekitar 1.700 hektare yang sebagian besar berada di wilayah tersebut (Zumrotun Solichah, 2018). Menurut Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember produksi edamame di Jember pada tahun 2021 menunjukkan tren peningkatan, dengan total produksi mencapai 7,737.43 ton (BPS Jember, 2021). Sebagian besar produksi ini diekspor ke berbagai negara, termasuk Jepang, Amerika Serikat, Eropa, dan Timur Tengah, dalam bentuk edamame beku siap saji (Pratiwi F., 2024). Permintaan pasar internasional terhadap edamame Indonesia terus meningkat, menjadikan komoditas ini sebagai salah satu andalan ekspor hortikultura nasional.

Peningkatan produksi edamame di Indonesia, khususnya di Kabupaten Jember, Jawa Timur, telah menghasilkan limbah agroindustri dalam jumlah signifikan, meliputi kulit polong, batang, daun, serta biji yang tidak memenuhi

standar ekspor. Limbah tersebut, apabila tidak dikelola dengan baik, berpotensi mencemari lingkungan dan menimbulkan masalah kesehatan masyarakat.

Pengelolaan limbah edamame saat ini masih terbatas, sehingga diperlukan upaya inovatif untuk memanfaatkan limbah tersebut menjadi produk bernilai tambah.

Proses pengolahan limbah edamame untuk menjadi produk yang lebih bernilai ekonomis akan melewati tahap pemilahan, limbah edamame sendiri akan dibagi menjadi beberapa bagian yaitu limbah padat berupa kulit ari dan pohon edamame, sedangkan limbah cair berupa sisa sisa pengolahan yang bentuknya cair, masing-masing limbah dapat dimanfaatkan sebagai biogas maupun kompos. Limbah kedelai dianggap tidak memiliki nilai ekonomis dan jumlahnya yang cukup banyak dan menimbulkan bau yang sangat menyengat jika dibuang langsung serta dapat mencemari lingkungan (Isnaini & Purnomo, 2020). Akan tetapi didalam limbah kulit edamame memiliki kandungan nutrisi yang sangat tinggi diantaranya Protein Kasar 10,5%, serat kasar 29,2%, bahan ekstrak tanpa nitrogen 49,9%, dan total digestible nutrien 64% (Maulana *et al.*, 2024).

Pengelolaan limbah tidak dapat diselesaikan hanya oleh pemerintah daerah dengan metode konvensional kumpul-angkut-buang yang tidak efektif dalam mengurangi volume sampah dan memerlukan biaya tinggi (Sekarsari *et al.*, 2020). Pada tahun 2019, KLHK melaporkan bahwa 50% dari total 175.000 ton sampah harian adalah organik, terutama terdiri dari sisa makanan dan tanaman salah satunya limbah hasil pengolahan kedelai edamame (Anita *et al.*, 2021). Hal tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan limbah masih menjadi tantangan besar di Indonesia. Hal ini juga terjadi di Kabupaten Jember, di mana limbah agroindustri, seperti residu pertanian berupa jerami, sekam, dan tongkol jagung,

pohon dan kulit edamame sering kali dibakar yang justru menimbulkan masalah lingkungan baru (Andikaningrum *et al.*, 2022).

Upaya dalam mencari solusi untuk mengolah limbah hasil pertanian memerlukan inovasi, salah satunya melalui biokonversi, agar limbah agroindustri, khususnya limbah hasil pengolahan edamame, dapat dimanfaatkan secara lebih berkelanjutan dan tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Salah satu solusi inovatif dalam pengelolaan limbah organik, termasuk limbah kedelai edamame, adalah melalui teknologi biokonversi menggunakan larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*). Maggot merupakan suatu organisme yang berasal dari larva *Black Soldier Fly* (BSF) dan dihasilkan pada metamorphosis fase kedua, fase pertama telur, fase kedua yaitu larva, fase larva ini merupakan fase yang paling panjang dari BSF yaitu sekitar 14-28 hari akan tetapi sangat dipengaruhi oleh suhu, kelembabaapn lingkungan, pakan yang baik untuk ternak yaitu larva yang sudah dewasa yang berukuran kurang lebih 1-2 cm. Setelah itu akan memasuki fase ketiga yaitu fase pupa yang nantinya menjadi BSF dewasa (Wiryajati *et al.*, 2024). Maggot atau larva dari lalat *black soldier fly* (*Hermetia illucens*) yaitu salah satu alternatif pakan ternak yang memenuhi persyaratan sebagai sumber protein tinggi dan BSF sendiri memiliki nilai yang ekonomis. BSF sendiri telah terbukti efektif dalam mengkonversi berbagai jenis limbah organik menjadi biomassa yang kaya nutrisi (Rodli *et al.*, 2022).

Metode biokonversi oleh maggot ini mampu mengurangi limbah organik hingga 56%. Pemanfaatan maggot sebagai dekomposer alami ini akan menghasilkan 2 produk utama yaitu larva sebagai pakan ternak, sisa sampah organik kering sebagai pupuk (Wiryajati *et al.*, 2024). Larva BSF mampu

mengkonversi limbah organik dengan efisiensi konversi pakan (ECI) sebesar 20–30%, serta menghasilkan biomassa larva dengan kandungan protein tinggi, yaitu mencapai 40–45% (Surendra *et al.*, 2016). Proses biokonversi ini tidak hanya berfungsi untuk mengurangi volume limbah organik hingga 50–70%, tetapi juga menghasilkan produk sampingan bernilai ekonomis seperti pupa BSF yang dapat digunakan sebagai pakan ternak alternatif. Selain itu, frass hasil biokonversi mengandung unsur hara yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik, sehingga mendukung prinsip ekonomi sirkular dalam pertanian (Diener *et al.*, 2015).

Upaya dalam memecahkan masalah mengenai limbah agroindustri, salah satunya yaitu limbah hasil pengolahan edamame, limbah edamame sendiri memiliki kaya akan kandungan organik dan protein, penggunaan larva *Black Soldier Fly* (BSF) dalam biokonversi menawarkan solusi pengelolaan limbah yang efisien dan ramah lingkungan. Penelitian oleh Parapat *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa penggunaan BSF dapat mengurangi emisi metana hingga 60% dibandingkan dengan metode dekomposisi limbah organik konvensional, karena larva BSF mengubah sebagian besar bahan organik menjadi biomassa, mengurangi potensi pembentukan metana yang terjadi dalam kondisi anaerobik.

Penggunaan larva *Black Soldier Fly* (BSF) dalam biokonversi limbah agroindustri, termasuk limbah edamame, menawarkan solusi inovatif dalam pengelolaan limbah organik. Namun, kandungan lignoselulosa yang tinggi pada limbah edamame, seperti serat kasar, lignin, dan selulosa, menjadi kendala karena larva BSF tidak memiliki enzim lignase yang mampu mendegradasi senyawa tersebut secara efektif (Peguero *et al.*, 2024). Tanpa perlakuan awal, tingkat

efisiensi konversi limbah oleh larva BSF dapat berkurang secara signifikan. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan *pretreatment* substrat sebelum diberikan kepada larva. Salah satu metode *pretreatment* yang paling potensial dan ramah lingkungan adalah fermentasi. Fermentasi substrat menggunakan mikroorganisme tertentu dapat membantu memecah senyawa kompleks lignoselulosa menjadi bentuk yang lebih sederhana, meningkatkan ketersediaan nutrisi, serta mempercepat proses konsumsi dan pertumbuhan larva BSF (Batista *et al.*, 2022). Tujuan dilakukannya fermentasi ini untuk memudahkan larva BSF mencerna substrat yang sulit dicerna.

Pemanfaatan limbah kedelai edamame sebagai substrat pakan larva BSF ini bukan hanya salah satu contoh pemanfaatan limbah lingkungan dalam mengatasi permasalahan lingkungan, tetapi juga memiliki potensi untuk memberikan nilai tambah pada manajemen sampah dan pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan. Upaya pengelolaan limbah yang berkelanjutan seperti ini dapat menjadi solusi dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekaligus menciptakan nilai tambah dari limbah yang dihasilkan. Penerapan pembelajaran kontekstual mengenai pengelolaan limbah edamame melalui biokonversi larva *Black Soldier Fly* (BSF) tidak hanya membekali peserta didik dengan keterampilan praktis, tetapi juga sejalan dengan prinsip *Education for Sustainable Development* (ESD) yang menekankan integrasi isu lingkungan ke dalam pendidikan untuk membentuk perilaku berkelanjutan. Didalam penelitian yang dilakukan oleh Rahman (2020) dijelaskan Pembelajaran kontekstual merupakan pendekatan yang menghubungkan materi pembelajaran dengan situasi dunia nyata siswa, mendorong pemahaman konsep dan penerapan pengetahuan

dalam kehidupan sehari-hari sehingga siswa dapat mengimplimentasikan hasil pembelajaran yang sudah didapatkan.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah melalui pendidikan vokasional, dimana implementasi teknologi biokonversi BSF dapat menjadi sumber belajar yang kontekstual untuk mata pelajaran, khususnya pada fase E proyek IPAS kelas X. Hal ini sesuai dengan capaian pembelajarannya yaitu peserta didik menjelaskan fenomena-fenomena yang terjadi di lingkungan sekitarnya dilihat dari berbagai aspek seperti makhluk hidup dan lingkungannya. Penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis *Projek Based Learning* (PjBL) yang mengintegrasikan isu lingkungan dan teknologi dapat meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan proses sains siswa secara signifikan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Rahayu *et al.*, 2024) dimana Integrasi teknologi dalam PjBL secara konsisten mendukung pengembangan keterampilan dan pemahaman siswa, mempromosikan komunikasi aktif, pemecahan masalah, kreativitas, dan pemikiran kritis. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa PjBL telah terbukti secara efektif meningkatkan keterampilan integrasi teknologi dan kinerja akademik siswa (Rahayu *et al.*, 2024).

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek (*Project Based Learning*) dalam mata pelajaran Projek IPAS di SMK bidang keahlian Agribisnis dan Agroteknologi di Kabupaten Jember telah dilaksanakan dengan menggunakan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbentuk cetak. Meskipun LKPD cetak cukup membantu dalam pengerjaan proyek, sebanyak 70% peserta didik menyatakan bahwa penggunaan e-LKPD

dengan fitur panduan langkah proyek yang lebih terstruktur, dilengkapi animasi, dan video pembelajaran akan lebih memudahkan mereka dalam memahami materi serta menyelesaikan tugas proyek secara mandiri. Peserta didik juga menunjukkan antusiasme tinggi terhadap penerapan proyek yang relevan dengan isu keberlanjutan, seperti pengolahan limbah agroindustri, khususnya limbah pengolahan edamame, melalui metode biokonversi menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF) menjadi produk bernilai guna dan ekonomis. Peserta didik meyakini bahwa proyek semacam ini tidak hanya membantu mengurangi limbah, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap upaya pelestarian lingkungan.

Hasil Analisis kebutuhan yang dilakukan melalui survey kepada guru mata pelajaran Projek IPAS SMK bidang keahlian agribisnis dan agroteknologi menunjukkan bahwa guru belum memanfaatkan isu-isu kontekstual di lingkungan sekitar, seperti permasalahan limbah agroindustri, sebagai stimulus dalam proses pembelajaran. Guru lebih banyak menggunakan pendekatan yang bersifat umum dan kurang mengaitkan pembelajaran dengan kondisi nyata yang dihadapi peserta didik. Selain itu, guru mengalami kendala utama dalam mengajarkan pembelajaran proyek yaitu merancang proyek yang relevan, aplikatif, dan selaras dengan capaian pembelajaran yang ditetapkan dalam Kurikulum Merdeka, khususnya dalam aspek makhluk hidup dan lingkungannya. Temuan ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis proyek yang kontekstual, inovatif, serta mendukung ketercapaian kompetensi pada peserta didik.

Sejalan dengan temuan tersebut, pengembangan e-LKPD yang kontekstual dan berbasis proyek menjadi alternatif solusi yang potensial untuk

mengatasi kendala dalam pembelajaran, sekaligus meningkatkan keterlibatan dan pemahaman peserta didik terhadap materi. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya menurut (Saputra *et al.*, 2024) bahwa e-LKPD terbukti efektif dalam meningkatkan hasil pemahaman bacaan, menumbuhkan partisipasi aktif. E-LKPD pada penelitian ini diharapkan dapat menjadi inovasi sumber belajar digital yang memfasilitasi peserta didik dalam memahami konsep pengelolaan limbah dan interaksi makhluk hidup dengan lingkungannya melalui pendekatan kontekstual.

Implementasi e-LKPD ini juga sejalan dengan capaian pembelajaran, serta tujuan pembelajaran proyek IPAS di SMK, yang berfokus pada eksplorasi, investigasi, serta penerapan ilmu dalam kehidupan nyata sehingga hal tersebut sangat cocok untuk mengajarkan cara pengolahan limbah edamame dengan metode biokonversi menggunakan larva BSF kepada para siswa. Capaian pembelajaran proyek IPAS mengarahkan peserta didik untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mencari solusi terhadap berbagai fenomena di lingkungan sekitarnya melalui pendekatan berbasis sains dan teknologi. Tujuan utama pembelajaran proyek IPAS adalah membangun pemahaman mendalam tentang konsep ilmiah, menumbuhkan kesadaran lingkungan, serta mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah seperti upaya pengolahan limbah edamame.

Melalui proyek biokonversi limbah agroindustri, peserta didik tidak hanya belajar tentang prinsip dasar biokonversi dan keterkaitannya dengan keberlanjutan lingkungan, tetapi juga mengaplikasikan konsep ilmiah dalam praktik nyata. Proyek ini mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis dalam menyelesaikan permasalahan lingkungan, kreativitas

dalam menciptakan solusi inovatif, serta kolaborasi dan komunikasi dalam bekerja secara tim untuk menerapkan teknologi yang berkelanjutan. Dengan demikian, pembelajaran ini tidak hanya membantu peserta didik mencapai capaian pembelajaran proyek IPAS, tetapi juga membekali mereka dengan keterampilan yang relevan dengan dunia industri dan tantangan global, sejalan dengan tujuan pembelajaran proyek IPAS untuk menciptakan lulusan yang kompeten, inovatif, dan peduli terhadap isu keberlanjutan.

1.2 Masalah Penelitian

1. Apakah terdapat pengaruh penggunaan substrat limbah kedelai edamame terhadap performa biokonversi larva *Black Soldier Fly* (BSF)?
2. Bagaimana Kelayakan E-LKPD sebagai produk bahan ajar hasil penelitian biokonversi larva *Black Soldier Fly* (BSF)?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh fermentasi limbah kedelai edamame terhadap performa biokonversi larva *Black Soldier Fly* (BSF)
2. Mengetahui Kelayakan E-LKPD sebagai produk bahan ajar hasil penelitian biokonversi larva *Black Soldier Fly* (BSF)

1.4 Definisi Operasional

Definisi Operasional dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Performa biokonversi yang dimaksud pada penelitian ini adalah kemampuan larva *Black Soldier Fly* (BSF) dalam mengubah dari substrat limbah edamame yang dilihat dari beberapa indikator diantaranya ialah, konsumsi substrat, indeks reduksi limbah, biomassa larva ,dan tingkat keberhasilan hidup

2. Larva *Black Soldier Fly* (BSF) yang menjadi objek penelitian ini adalah larva yang berusia 6 hari dan diperoleh dari budidaya *Black Soldier Fly* (BSF) di Desa Angdongsari Watukebo Ambulu.
3. Limbah kedelai edamame dalam penelitian ini berupa batang, daun, dan kulit hasil pascapanen dari lahan pertanian di Bondowoso, yang kemudian difermentasi dengan durasi waktu berbeda.
4. Sumber belajar yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah sumber belajar yang disajikan dalam bentuk E-LKPD berbasis PjBL, yang dikembangkan berdasarkan hasil penelitian.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi:

1. Peneliti
Mengaplikasikan pengetahuan tentang biokonversi BSF dalam pengembangan sumber belajar serta Memperoleh pengalaman dalam merancang E-LKPD berbasis proyek untuk pembelajaran IPAS.
2. Sekolah
Tersedianya sumber belajar inovatif yang mendukung implementasi pembelajaran berbasis proyek, dan juga meningkatkan kualitas pembelajaran Projek IPAS di SMK melalui pendekatan kontekstual.
3. Peserta didik
Memperoleh pengalaman belajar kontekstual melalui E-LKPD berbasis proyek biokonversi limbah dan Meningkatkan pemahaman tentang konsep interaksi makhluk hidup dengan lingkungannya.

4. Guru

Mendapatkan alternatif sumber belajar digital berbasis proyek untuk mata pelajaran IPAS dan Memperoleh panduan praktis dalam melaksanakan pembelajaran berbasis proyek tentang biokonversi limbah.

5. Lingkungan

Berkontribusi dalam pengurangan timbulan limbah organik dari industri edamame.

1.6 Ruang Lingkup Penelitian

1. Penelitian ini melibatkan larva yang diuji, yaitu larva yang berumur dari 6 hari hingga pre pupa, yang akan diberikan perlakuan berupa limbah kedelai edamame dengan variasi perlakuan pakan yang berbeda.
2. Penelitian ini akan meneliti konsumsi substrat, indeks reduksi limbah, biomassa, dan tingkat keberhasilan hidup dengan pemberian pakan limbah edamame dengan perlakuan berbeda.
3. E-LKPD pembelajaran yang akan dikembangkan dalam penelitian ini akan mengadopsi model 4D, yang melibatkan *Define, Design, Develop*, dan *Disseminate*. Penelitian ini akan membatasi fokus pada tahap pengembangan, di mana E-LKPD tersebut akan dirancang dan diformat sesuai dengan kebutuhan pembelajaran yang ditetapkan.