

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Pengembangan Produk

Penelitian yang bertujuan untuk menciptakan serta menyempurnakan perangkat pembelajaran dikenal sebagai penelitian dan pengembangan atau Research and Development (R&D). Pendekatan ini menggabungkan kegiatan penelitian dan praktik pengembangan produk pendidikan secara sistematis untuk menghasilkan perangkat pembelajaran yang valid, praktis, dan efektif (Rakhmawati & Suparmi, 2020). Dalam konteks pendidikan, pengembangan instruksional mengacu pada proses perancangan, pengembangan, dan evaluasi bahan ajar termasuk modul dengan pendekatan sistematis guna meningkatkan mutu pembelajaran (Hakim & Ristanto, 2022). Pengembangan modul merupakan bagian dari strategi perancangan edukatif yang bertujuan menyusun materi secara sistematis agar mudah dipahami siswa dan dapat diimplementasikan dalam proses pembelajaran. Produk yang dikembangkan tidak hanya mendukung pencapaian tujuan kognitif, tetapi juga afektif dan psikomotorik siswa, termasuk dalam menanamkan kesadaran lingkungan (Nurhidayati & Wahyuni, 2021).

Dengan mempertimbangkan definisi tersebut, sangat penting untuk memahami berbagai metodologi yang dapat digunakan untuk melakukan penelitian pengembangan di bidang pendidikan. Penelitian dan pengembangan (R&D) adalah metode yang tidak hanya berfokus pada pengumpulan data tetapi juga pada proses perancangan, pengujian, dan penyempurnaan produk pembelajaran agar lebih efektif dan sesuai dengan kebutuhan siswa. R&D sangat relevan untuk pengembangan bahan ajar seperti modul karena melibatkan tahapan sistematis mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi produk (Febriana & Wahyuni, 2020).

Dalam penelitian pengembangan, pemilihan model pengembangan merupakan langkah penting yang perlu dipertimbangkan oleh peneliti. Setiap model pengembangan memiliki karakteristik, kelebihan, dan kekurangan yang

berbeda sehingga penggunaannya perlu disesuaikan dengan tujuan penelitian serta jenis produk yang dikembangkan. Beberapa model yang sering digunakan dalam penelitian pengembangan antara lain model ADDIE, Borg & Gall, dan 4D (Four-D).

Model pengembangan ADDIE memiliki beberapa kelebihan, yaitu bersifat sistematis dan fleksibel, mudah diterapkan dalam berbagai jenis penelitian, serta dapat digunakan untuk mengembangkan berbagai produk pembelajaran. Selain itu, model ini memiliki tahapan yang jelas dan terstruktur sehingga memudahkan peneliti dalam mengikuti setiap proses pengembangan. Model ADDIE juga memungkinkan adanya revisi pada setiap tahap sehingga produk yang dihasilkan dapat diperbaiki secara bertahap. Namun, model ini juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu waktu pengerjaan dapat menjadi lebih lama apabila semua tahapan dilakukan secara penuh. Selain itu, kurang memberikan rincian yang mendalam mengenai evaluasi formatif. Dalam praktiknya, tidak semua tahapan ADDIE selalu diterapkan secara lengkap dan terkadang model ini dapat menjadi kaku apabila tidak digunakan secara fleksibel.

Model Borg & Gall dikenal sebagai model pengembangan yang sangat detail dan sistematis. Model ini memiliki kelebihan berupa proses validasi yang menyeluruh sehingga produk yang dihasilkan memiliki tingkat kelayakan yang tinggi. Selain itu, model ini dirancang agar produk yang dikembangkan dapat disebarluaskan secara luas dan melibatkan berbagai pihak dalam proses pengembangannya. Evaluasi dalam model ini juga dilakukan secara bertahap sehingga memungkinkan perbaikan produk secara berkelanjutan. Meskipun demikian, model Borg & Gall memiliki beberapa kekurangan, yaitu proses pengembangannya relatif panjang dan kompleks. Model ini juga memerlukan waktu serta biaya yang cukup besar, sehingga kurang efisien untuk penelitian dengan skala kecil. Selain itu, model ini membutuhkan uji coba yang luas dan sering kali kurang cocok digunakan dalam penelitian yang dilakukan secara individu.

Model 4D (Four-D) memiliki kelebihan karena bersifat praktis dan efisien sehingga mudah diterapkan dalam penelitian pengembangan. Model ini juga lebih menekankan pada proses validasi produk dan memungkinkan revisi dilakukan secara langsung pada tahap pengembangan. Oleh karena itu, model 4D sering digunakan dalam pengembangan media atau perangkat pembelajaran. Namun, model ini juga memiliki beberapa kekurangan, di antaranya tahap diseminasi sering kali tidak dilaksanakan secara optimal dalam praktik penelitian. Selain itu, proses evaluasi dalam model ini cenderung kurang mendalam dan kurang cocok digunakan untuk mengembangkan produk yang kompleks. Model ini juga tidak menekankan uji coba dalam skala luas sehingga kurang sesuai apabila digunakan untuk pengembangan kurikulum dalam lingkup yang besar.

Upaya ini menjadikan pengembangan modul berbasis *circular economy* pada materi reaksi kimia menjadi sangat relevan untuk mengaitkan pembelajaran sains dengan isu nyata di sekitar siswa, seperti pengelolaan sampah organik melalui biokonversi. Agar produk yang dikembangkan memiliki landasan yang kuat dan layak digunakan, diperlukan model pengembangan yang sistematis dan teruji. Model yang digunakan dalam pengembangan modul berbasis *circular economy* adalah ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*), yang memberikan kerangka kerja terstruktur dalam perancangan hingga evaluasi produk pendidikan. Namun, dalam penelitian pengembangan modul berbasis *circular economy* perhatian utama umumnya diarahkan pada mutu produk yang dihasilkan. Penilaian mutu produk dalam penelitian *R&D* mencakup aspek desain, kelayakan, kepraktisan, dan keefektifan modul berbasis *circular economy* (Branch & Varank, 2009). Dengan model ini, modul yang dikembangkan diharapkan mampu meningkatkan kesadaran lingkungan siswa.

B. Konsep Produk Yang Dikembangkan

1. Modul

a. Pengertian Modul

Modul adalah jenis bahan ajar yang disusun secara sistematis dalam bentuk cetakan atau noncetak dan berisi materi, teknik, batasan, dan metode untuk membantu siswa mencapai tujuan pembelajaran. Modul biasanya mencakup materi pelajaran, tujuan pembelajaran, latihan soal, evaluasi, dan umpan balik untuk membantu siswa mengetahui seberapa baik mereka menguasai materi (Putri & Muslim, 2020).

Modul pembelajaran adalah bahan ajar yang disusun secara sistematis dan lengkap untuk membantu peserta didik mencapai tujuan pembelajaran tertentu (Shidqon dkk., 2024). Modul ajar adalah rencana pembelajaran yang dibuat oleh guru sebagai pengganti RPP dalam Kurikulum Merdeka yang lebih sederhana tetapi lengkap. Ini juga memberi guru kebebasan untuk berinovasi sesuai dengan karakteristik siswa mereka (Handayani & Susilo, 2023). Dari beberapa teori sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa modul adalah bahan ajar cetak atau noncetak yang disusun sistematis untuk mendukung pembelajaran mandiri, berisi materi, tujuan, dan evaluasi, serta dapat disesuaikan dengan karakteristik dan kebutuhan siswa. Modul pembelajaran berbasis *circular economy* ini dirancang dengan mengacu pada teori konstruktivisme, yang memandang bahwa pengetahuan dibangun secara aktif oleh siswa melalui pengalaman langsung dan interaksi dengan lingkungan (Vygotsky, 1978). sehingga siswa tidak hanya memahami konsep reaksi kimia secara teoretis, tetapi juga mengaplikasikannya dalam praktik biokonversi sampah organik.

b. Tujuan pembuatan modul

Tujuan utama dari pengembangan modul pembelajaran berbasis *circular economy* ini yaitu sebagai berikut :

- 1) Membantu siswa memahami pentingnya pengelolaan sampah organik melalui ide *circular economy*, yang mendorong sikap peduli dan bertanggung jawab terhadap lingkungan.
- 2) menganalisis masalah lingkungan dan mencari solusi dengan pemanfaatan reaksi kimia yang ramah lingkungan.
- 3) mendukung pembentukan karakter pelajar yang mandiri, bernalar kritis, dan peduli lingkungan sebagai bagian dari implementasi Kurikulum Merdeka.
- 4) mendorong siswa melakukan praktik biokonversi seperti fermentasi pupuk organik cair pemanfaatan limbah organik di lingkungan sekolah dan rumah.

c. Karakteristik

- 1) Modul dirancang dengan mengambil isu nyata, seperti sampah organik di lingkungan sekolah atau sekitarnya, sebagai bahan kajian.
- 2) Modul tidak hanya menekankan pada aspek kognitif, tetapi juga afektif dan psikomotorik.
- 3) Siswa diarahkan untuk membuat proyek sederhana, misalnya pembuatan pupuk organik cair atau mengamati proses penguraian sampah, sebagai bentuk praktik *circular economy*.
- 4) mendorong siswa untuk mengamati, menanya, mengeksperimen, dan menyimpulkan proses biokonversi, seperti pembuatan pupuk cair organik (Nasution, 2021).

d. Fungsi Modul dalam Pembelajaran IPA

- 1) membantu siswa memahami bahwa ilmu kimia bukan hanya teori, tetapi memiliki aplikasi dalam kehidupan sehari-hari.
- 2) Modul dirancang dengan prinsip *circular economy*, sehingga berfungsi menanamkan nilai dan sikap peduli lingkungan kepada siswa sejak dini.

- 3) Modul dirancang agar siswa dapat belajar mandiri di dalam maupun luar kelas.
 - 4) mendukung pencapaian kompetensi sains yang holistik.
 - 5) Guru dapat memantau pemahaman, sikap, dan keterampilan siswa secara menyeluruh.
 - 6) Mendorong cara berpikir sistemik dan menyeluruh dalam menyelesaikan masalah lingkungan.
- e. Manfaat modul
- a. Bagi siswa
 - 1) Meningkatkan pemahaman konsep reaksi kimia secara kontekstual
 - 2) Menumbuhkan kesadaran dan kepedulian lingkungan
 - 3) Mendorong perubahan perilaku ramah lingkungan
 - 4) Menumbuhkan jiwa proyek dan kolaborasi melalui pembelajaran aktif
 - 5) memberi ruang bagi siswa untuk menganalisis masalah lingkungan, mencari solusi, dan melakukan eksperimen sederhana.
 - b. Bagi guru
 - 1) Guru dapat menanamkan nilai-nilai seperti tanggung jawab, peduli lingkungan, kerja sama, dan mandiri melalui aktivitas di dalam modul.
 - 2) Sebagai panduan pembelajaran yang terstruktur dan inovatif
 - 3) Memudahkan guru dalam menilai kompetensi holistik siswa
 - 4) Meningkatkan efektivitas pembelajaran kontekstual
- f. Kelebihan dan Kekurangan Modul Berbasis *circular economy*
- a. Kelebihan
 - 1) Mendorong pembentukan karakter peduli lingkungan
 - 2) Meningkatkan keterampilan abad 21, melalui kegiatan proyek dan diskusi, siswa dilatih berpikir kritis, kreatif, mampu berkomunikasi, dan bekerja sama.

3) Mengintegrasikan pembelajaran dengan kehidupan nyata.

b. Kekurangan

1) Membutuhkan waktu dan sumber daya lebih banyak

2) Membutuhkan pelatihan atau pendampingan agar guru benar-benar memahami konsep *circular economy* dan mampu mengintegrasikannya dalam pembelajaran.

3) Tidak semua siswa memiliki pengalaman atau pengetahuan awal yang sama tentang pengelolaan sampah atau isu lingkungan, sehingga diperlukan strategi diferensiasi (Putri & Wulandari, 2022).

2. *Circular economy*

a. Pengertian *Circular economy*

Menurut Kirchherr, dkk., (2017), *Circular economy* adalah sistem ekonomi yang memiliki tujuan untuk semaksimal mungkin mempertahankan nilai produk, material, dan sumber daya sambil mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan. Menurut Ghisellini, dkk. 2016, *Circular economy* merupakan model pembangunan berkelanjutan yang bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan dari produksi dan konsumsi melalui penggunaan sumber daya yang lebih efisien, desain ulang proses industri, dan penggunaan kembali. Menurut D'Amato, dkk., (2017) *Circular economy* adalah bagian dari pendekatan ekonomi hijau dan bioekonomi, yang berfokus pada daur ulang dan perubahan sistemik dari sistem lingkungan, ekonomi, dan social. Dari beberapa pernyataan sebelumnya dapat disimpulkan, *Circular economy* adalah sistem ekonomi berkelanjutan yang bertujuan meminimalkan limbah dan dampak lingkungan melalui efisiensi sumber daya, daur ulang, dan perubahan sistemik dalam aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial.

b. Prinsip – Prinsip *Circular economy*

Adapun prinsip-prinsip *circular economy* sebagai berikut:

- 1) Reduce, mengurangi, menurunkan penggunaan bahan baku dan sumber daya alam.
- 2) Reuse, penggunaan kembali barang atau bagian.
- 3) Recycle, mengubah limbah menjadi barang baru.
- 4) Recover, proses memanfaatkan kembali bahan atau energi dari limbah.
- 5) Redesign, proses membuat produk menjadi lebih tahan lama, lebih mudah diperbaiki, dan lebih dapat digunakan kembali.

Menurut Khoironi., dkk (2020) *Circular economy* berprinsip pada pengurangan (*reduce*), penggunaan kembali (*reuse*), dan daur ulang (*recycle*) material, serta pemanfaatan kembali energi (*recovery*) dan perancangan ulang produk (*redesign*) agar lebih ramah lingkungan dan berumur panjang (Khoironi, dkk., 2020).

c. Keunggulan *Circular economy*

- 1) mendukung pembangunan berkelanjutan melalui peningkatan efisiensi sumber daya dan pengelolaan limbah yang lebih efektif.
- 2) memperpanjang umur pakai produk, mengurangi konsumsi bahan baku baru, dan mempromosikan penggunaan kembali serta daur ulang, ekonomi sirkular juga mengurangi emisi karbon dan menghemat biaya operasional berbagai sektor industri dan masyarakat
- 3) Menciptakan peluang ekonomi inklusif dan ketahanan rantai pasokan. Pendekatan ini membuka akses bagi usaha mikro, kecil, dan informal dalam ekosistem daur ulang dan pemanfaatan kembali material yang dapat meningkatkan lapangan kerja dan kesejahteraan social
- 4) meningkatkan daya tahan rantai pasokan nasional, karena mengurangi ketergantungan pada bahan baku impor dan fluktuatifnya harga global. Dengan demikian, ekonomi circular

menjadi strategi yang tidak hanya mempertahankan kelangsungan lingkungan, tetapi juga mendukung stabilitas ekonomi dan pertumbuhan yang inklusif (Irawan & Marita, 2024).

3. Reaksi Kimia Dalam Biokonversi

a. Konsep Reaksi Kimia dan Pengertian Biokonversi Sampah Organik

1) Konsep Reaksi Kimia

Reaksi kimia adalah proses perubahan zat pereaksi (reaktan) menjadi zat baru (produk) dengan sifat kimia yang berbeda. Proses ini ditandai oleh terbentuknya gas, endapan, perubahan warna, atau perubahan suhu (Wahyuni & Sulastrri, 2020). Reaksi kimia dalam pembuatan pupuk organik cair, antara lain:

a) Penguraian Karbohidrat

Pada proses fermentasi pupuk organik cair (POC), karbohidrat yang berasal dari sisa buah, sayuran, atau daun akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi gula sederhana. Gula tersebut kemudian mengalami fermentasi dan menghasilkan alkohol serta gas karbon dioksida. Proses ini dibantu oleh mikroorganisme seperti ragi (*Saccharomyces*). Reaksi fermentasi glukosa dapat dituliskan sebagai berikut:



b) Pembentukan Asam Organik

Selain menghasilkan alkohol, fermentasi juga menghasilkan asam organik, terutama asam laktat. Bakteri asam laktat mengubah glukosa menjadi asam laktat yang berfungsi menjaga kestabilan proses fermentasi dan membantu mengurangi bau tidak sedap pada pupuk organik cair. Reaksi pembentukan asam laktat adalah



c) Penguraian Protein

Bahan organik yang mengandung protein akan diuraikan menjadi asam amino, kemudian berubah menjadi amonia.

Amonia yang terbentuk dapat bereaksi dengan air menghasilkan ion amonium yang menjadi sumber nitrogen bagi tanaman. Reaksi yang terjadi adalah $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

d) Penguraian Senyawa Organik Kompleks

Selama fermentasi, senyawa organik kompleks seperti selulosa dan lignin pada daun, jerami, atau sisa tumbuhan akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi senyawa yang lebih sederhana. Selulosa terlebih dahulu dipecah menjadi glukosa, kemudian diubah lagi menjadi berbagai senyawa organik sederhana yang lebih mudah dimanfaatkan tanaman. Proses ini membantu meningkatkan kandungan unsur hara dalam pupuk organik cair.

e) Pembentukan Gas

Aktivitas mikroorganisme selama fermentasi juga menghasilkan gas, terutama karbon dioksida (CO_2). Jika fermentasi berlangsung secara anaerob berlebihan, dapat terbentuk gas metana (CH_4). Pembentukan gas ini menandakan bahwa proses penguraian bahan organik sedang berlangsung. Oleh karena itu, wadah fermentasi biasanya perlu dibuka secara berkala agar tekanan gas tidak terlalu tinggi (Sormin dkk., 2025).

2) Pengertian Biokonversi Sampah Organik

Biokonversi sampah organik merupakan proses pengolahan limbah berbasis biologis yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme atau enzim untuk mengubah bahan organik menjadi produk yang lebih bermanfaat, seperti pupuk cair organik. Selama proses ini terjadi reaksi kimia fermentasi (Aisyah & Hakim, 2022). Biokonversi juga dapat digunakan sebagai media pembelajaran kontekstual dalam pemberdayaan masyarakat dan pendidikan. Ini dapat meningkatkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan sampah yang ramah lingkungan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Maulidah dan Wibowo (2020), biokonversi adalah pendekatan edukatif yang efektif untuk menerapkan prinsip

circular economy di rumah tangga dan sekolah. Praktik seperti fermentasi pembuatan pupuk organik cair mengajarkan siswa konsep ilmiah seperti reaksi kimia dan mikrobiologi serta nilai tanggung jawab sosial terhadap lingkungan (Maulidah & Wibowo, 2020).

b. Jenis Reaksi Kimia yang terjadi dalam fermentasi

Katalisis oleh konsorsium mikroba dalam kondisi anaerob, berbagai reaksi kimia terjadi selama proses fermentasi limbah organik menjadi pupuk cair. Pada tahap awal, enzim bakteri seperti protease, amilase, dan lipase memecah molekul kompleks seperti karbohidrat, protein, dan lemak menjadi monomer sederhana seperti glukosa, asam amino, dan asam lemak. Lalu pada fase asidogenesis, monomer tersebut difermentasi menjadi asam-asam volatil seperti asam asetat, propionat, butirat, dan laktat; juga tersedia hasil samping berupa amonia, karbon dioksida, dan hydrogen. Reaksi ini membantu menurunkan pH medium dan membentuk kondisi yang mendukung pertumbuhan mikroba spesifik selanjutnya. Tahapan selanjutnya adalah asetogenesis, di mana asam-asam volatil dan alkohol hasil asidogenesis diubah menjadi asam asetat, CO_2 , dan H_2 oleh kelompok bakteri seperti homoacetogens (misalnya *Clostridium acetium*, *Acetobacter woodii*) dan bakteri sintropik dalam kemitraan dengan metanogen. Akhirnya, pada fase metanogenesis, metanogen mengonversi asetat, hydrogen, dan CO_2 menjadi metana (CH_4) dan air (H_2O) melalui reaksi biologis (Kurniawan, dkk., 2022).

4. Sampah Organik

Sampah organik adalah jenis sampah yang berasal dari sisa makhluk hidup, baik hewan maupun tumbuhan, yang mudah terurai secara alami oleh mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Sampah ini bersifat biodegradable, artinya dapat mengalami proses pelapukan secara biologis dan kembali menjadi bagian dari siklus alam. Menurut Permen LH No. 13 Tahun 2012, sampah organik digolongkan sebagai sampah yang mudah

terurai (degradable waste) dan dapat dimanfaatkan kembali melalui proses fermentasi menjadi produk bernilai seperti pupuk organik cair. Sampah organik umumnya dibagi menjadi dua kategori utama.

a. Sampah Organik Basah

Contohnya sisa makanan, kulit buah (pisang, jeruk, semangka), sayuran, nasi, daging, limbah dapur, dan sisa makanan kantin sekolah.

Ciri khas : mengandung kadar air tinggi dan cepat membusuk.

b. Sampah Organik Kering

Contohnya daun kering, ranting kecil, serbuk gergaji, jerami, sekam padi, dan potongan kayu. Ciri khas: kadar air rendah, pembusukan lambat, tetapi sangat baik untuk bahan baku kompos atau pupuk organik padat (Hidayat, dkk., 2024).

5. Pupuk Organik Cair

a. Pengertian dan Karakteristik Pupuk Organik Cair

Pupuk organik cair adalah larutan yang dibuat dengan fermentasi atau dekomposisi berbagai bahan organik, seperti sisa tanaman, buah, kotoran hewan, limbah dapur, atau limbah dagang, sehingga menjadi cair dan siap digunakan. Berikut karakteristik dari pupuk organik cair :

- 1) Karena bentuknya cair, mudah diserap oleh akar dan daun.
- 2) Terdiri dari unsur hara mikro (Fe, Mn, Zn) dan makro (N, P, K).
- 3) Aplikasinya mudah melalui penyemprotan atau penyiraman.
- 4) Tanaman menyerap nutrisi dengan cepat dan menghasilkan dampak pertumbuhan yang lebih cepat.
- 5) Menggunakan limbah organik menghemat uang dan ramah lingkungan.
- 6) Jika difermentasi dengan baik, pH netral hingga sedikit asam (sekitar 6–7), warna cokelat pekat tanpa bau busuk berlebih (IAR Foundation Indonesia).

- 7) Mengandung mikroorganisme bermanfaat, yang membantu melawan patogen tanah dan meningkatkan struktur media tanam (Ananda, 2025).

b. Bahan Baku dan Proses Pembuatan Pupuk Organik Cair

Bahan baku umum: sisa sayuran/buah (seperti tithonia, kulit pisang, kulit nanas), hijauan, air kelapa atau air beras, gula merah sebagai nutrisi fermentasi, dan inokulan mikroba seperti EM-4 (Chairunnisak, dkk., 2024). Proses fermentasi pupuk organik cair umumnya dimulai dengan pemilihan bahan baku, seperti limbah buah, sayur yang memiliki kandungan air dan gula tinggi. Limbah ini dihancurkan atau dicacah hingga halus lalu dimasukkan ke dalam wadah fermentasi (seperti galon plastik) dan dicampur dengan air dan gula merah sebagai sumber karbon – sekaligus memberikan media bagi mikroorganisme. Bioaktivator berupa EM-4 (Effective Microorganisme) ditambahkan dalam volume tertentu (misalnya 40–60 ml per 5 liter bahan), lalu proses fermentasi dilakukan secara tertutup (anaerob) selama 9–24 hari, bervariasi sesuai penelitian dan volume aktivator EM-4 yang digunakan (Meriatna, dkk., 2018). Selama fermentasi, parameter yang dipantau mencakup pH, suhu, warna, bau, serta kandungan unsur hara seperti C-organik, N-total, P, dan K (Putra & Ratnawati, 2019).

c. Manfaat Pupuk Organik Cair Bagi Tanaman dan Lingkungan

- 1) Menyediakan nutrisi lengkap (makro dan mikro), mempercepat pertumbuhan dan produktivitas, serta meningkatkan hasil panen (buah lebih segar dan berkualitas)
- 2) Mengurangi limbah organik (sampah kulit buah/sayur/kotoran), berdampak positif pada pengelolaan sampah dan pencemaran lingkungan.
- 3) Memperbaiki struktur dan fisik tanah, meningkatkan bahan organik, kapasitas tukar kation (KTK), daya ikat air, dan kesuburan tanah secara keseluruhan

- 4) Pupuk fermentasi yang baik tidak menghasilkan bau menyengat, sehingga lebih nyaman digunakan, khususnya di lingkungan sekolah atau rumah tangga
- 5) Suporta mikroba tanah alami yang menekan patogen dan memperkuat ekosistem tanah (Al Mubarak, dkk., 2019)

d. Kelebihan Pupuk Organik Cair Dibanding Pupuk Kimia padat

- 1) Lebih alami dan ramah lingkungan, tidak mengandung bahan kimia sintetis; membantu pemulihan tanah dan mengurangi akumulasi residu kimia
- 2) Hemat biaya karena bahan baku limbah organik tersedia gratis atau murah, serta proses fermentasi sederhana
- 3) Mendukung keseimbangan mikroorganisme tanah, meningkatkan kesuburan tanah secara berkelanjutan dan alami.
- 4) Nutrisi cepat tersedia dan langsung diserap, termasuk melalui daun sehingga respons tanaman cepat terlihat dibanding pupuk padat atau kimia
- 5) Aplikasi fleksibel, bisa melalui penyemprotan daun atau penyiraman akar, cocok untuk bidang sekolah/lokasi sempit.
- 6) POC yang difermentasi baik tidak berbau menyengat, berbeda dengan beberapa pupuk kimia yang menimbulkan bau kuat atau residu.
- 7) Pupuk kimia biasanya hanya fokus pada NPK, sedangkan POC menyediakan unsur mikro dan organik lainnya yang penting untuk tanah hidup dan panen berkualitas (Sibakul. 2022).

6. Kesadaran Lingkungan

a. Pengertian Kesadaran Lingkungan

Kesadaran lingkungan memiliki peran krusial dalam pendidikan dan pembentukan karakter siswa, terutama tentang masalah seperti pencemaran, kerusakan ekosistem, dan perubahan iklim. Menurut Dunlap & Van Liere (1978) yang menjelaskan bahwa kesadaran lingkungan seseorang dipengaruhi oleh paradigma atau cara

pandangannya terhadap alam. Dalam paradigma lama (*Dominant Social Paradigm*), manusia dianggap sebagai pusat dan penguasa alam. Sedangkan dalam paradigma baru (*New Environmental Paradigm*), manusia dipandang sebagai bagian dari ekosistem yang saling bergantung. Semakin tinggi tingkat penerimaan seseorang terhadap NEP, semakin tinggi pula kesadarannya terhadap pentingnya menjaga lingkungan (Dunlap & Van Liere 1978). Menurut Hungerford & Volk (1990), kesadaran lingkungan tidak hanya mencakup pengetahuan, tetapi juga nilai, sikap, dan keterampilan untuk bertindak. Teori ini menekankan bahwa perilaku sadar lingkungan (*environmentally responsible behavior*) terbentuk melalui tiga aspek penting: (1) pengetahuan ekologi, (2) kepedulian dan sikap pro-lingkungan, serta (3) keterampilan bertindak nyata. Dengan kata lain, kesadaran lingkungan tidak akan terbentuk hanya melalui teori, melainkan perlu latihan praktik dan keterlibatan langsung (Hungerford & Volk 1990).

Teori yang dikembangkan oleh Ajzen (1991) menjelaskan bahwa kesadaran lingkungan berhubungan dengan niat (*intention*) seseorang untuk bertindak. Dalam TPB, ada tiga faktor utama yang memengaruhi kesadaran dan perilaku pro-lingkungan: (1) sikap terhadap perilaku (*attitude toward the behavior*), (2) norma subjektif (*subjective norms*), dan (3) kontrol perilaku yang dirasakan (*perceived behavioral control*). Jika ketiga aspek ini positif, maka individu cenderung memiliki kesadaran dan melakukan tindakan nyata yang mendukung kelestarian lingkungan (Ajzen, 1991). Dari ketiga teori tersebut menunjukkan bahwa kesadaran lingkungan bukan hanya soal pengetahuan, tetapi merupakan hasil keterpaduan antara pemahaman, sikap, nilai, dan kebiasaan yang diwujudkan dalam tindakan nyata. Dengan kata lain, seseorang baru dapat dikatakan memiliki kesadaran lingkungan apabila ia mampu memahami peran manusia dalam ekosistem, menginternalisasi nilai peduli lingkungan, serta konsisten menerapkannya dalam perilaku sehari-hari.

Secara umum, kesadaran lingkungan adalah perasaan dan pemahaman seseorang tentang pentingnya mempertahankan, melestarikan, dan memperbaiki lingkungan tempat mereka tinggal. Santoso dan Fitriyah (2020) menjelaskan kesadaran lingkungan sebagai tingkat kepedulian seseorang terhadap lingkungan yang tercermin dalam pengetahuan, sikap, dan tindakan yang diambil untuk melestarikan lingkungan hidup secara berkelanjutan (Santoso & Fitriyah, 2020). Selain itu, kesadaran lingkungan adalah kemampuan untuk berpikir kritis tentang masalah lingkungan dan keinginan untuk berpartisipasi aktif dalam pelestarian. Hal ini sejalan dengan pendapat Suprpto dan Widiastuti (2019), yang menyatakan bahwa kesadaran lingkungan mencakup keterlibatan emosional dan tindakan aktif dalam menjaga kebersihan dan keseimbangan lingkungan serta pengetahuan teoretis. Oleh karena itu, program pendidikan lingkungan harus dirancang untuk tidak hanya memberikan pengetahuan tetapi juga menanamkan kepedulian dan tanggung jawab terhadap lingkungan (Suprpto & Widiastuti, 2019).

Lingkungan pembelajaran di sekolah menunjukkan kesadaran lingkungan menjadi indikator penting keberhasilan pendidikan karakter. Menurut Sari dan Anugrah (2021), integrasi pendidikan lingkungan dalam pembelajaran IPA dapat meningkatkan kesadaran siswa terhadap pentingnya pengelolaan sampah, konservasi energi, dan perlindungan sumber daya alam. Mereka menekankan bahwa pembelajaran berbasis masalah lingkungan lokal sangat efektif dalam membangun kesadaran ekologis siswa sejak dini. Kesadaran ini diharapkan berkembang menjadi perilaku yang konsisten dalam kehidupan sehari-hari, baik di rumah, sekolah, maupun masyarakat (Sari & Anugrah, 2021).

c. Indikator Kesadaran Lingkungan Pada Siswa

Menurut Hines, Hungerford & Tomera, (1987) kesadaran lingkungan pada siswa dapat diidentifikasi melalui beberapa

indikator utama yang mencakup beberapa aspek yaitu sebagai berikut :

1) Kognitif

Siswa secara kognitif memahami konsep dasar tentang lingkungan, isu-isu lingkungan, dan pentingnya pelestarian alam.

2) Afektif

Sifat peduli, rasa tanggung jawab, dan keterlibatan emosional siswa terhadap masalah lingkungan adalah komponen afektif kesadaran lingkungan. Perhatian siswa terhadap kebersihan lingkungan sekolah, partisipasi dalam kegiatan pelestarian, dan kepedulian terhadap kelestarian makhluk.

3) Psikomotorik

Siswa terbiasa melakukan tindakan nyata, seperti membuang sampah pada tempatnya, hemat energi, dan menjaga kebersihan lingkungan.

c. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kesadaran Lingkungan Siswa

1. Pengetahuan Lingkungan

Siswa yang memiliki pengetahuan tentang masalah lingkungan seperti pencemaran, daur ulang, dan pelestarian alam, cenderung menunjukkan perilaku yang lebih peduli terhadap lingkungan.

2. Sikap terhadap Lingkungan

Sikap positif terhadap upaya pelestarian lingkungan berperan penting. Sikap ini terbentuk dari nilai-nilai yang dipelajari siswa, baik di sekolah maupun dari keluarga.

3. Pengaruh Lingkungan Sekolah

Program sekolah seperti Adiwiyata, kebiasaan gotong royong, kebijakan pemilahan sampah, serta pembiasaan hidup bersih memberikan pengalaman langsung yang mendorong siswa menjadi lebih sadar dan peduli lingkungan.

4. Peran Orang Tua dan Keluarga

Lingkungan keluarga yang membiasakan hidup bersih, hemat energi, dan peduli alam akan menular kepada anak-anak (Kastawaningtyas & Martini, 2018).

C. Kerangka Teoritik

Kerangka teoritik ini berfungsi untuk menjelaskan konsep, indikator, serta hubungan antar variabel sebagai dasar dalam pengembangan modul pembelajaran. Kerangka teoritik dalam penelitian ini disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Judul & Sumber	Kelebihan	Kelemahan	Perbedaan dengan Modul Anda
Praktik Composting sebagai Pengenalan <i>Circular economy</i> untuk Siswa SD (Ilmi, dkk., 2024)	Edukasi composting langsung sebagai aplikasi ekonomi sirkular bagi siswa SD.	Fokus kompos saja, belum mencakup biokonversi atau reaksi kimia.	Modul dirancang lebih luas mencakup reaksi kimia, biokonversi, dan <i>circular economy</i> untuk SMP.
<i>Circular economy</i> dalam Pengelolaan Sampah Organik (Bahtiar & Kamelia, 2023)	Fokus pada zero waste & <i>circular economy</i> . Studi kasus nyata di lingkungan urban.	Praktik komunitas, bukan siswa SMP. Tidak membentuk modul ajar dengan struktur kegiatan.	Modul mengkonversi temuan ini jadi bahan ajar terstruktur berbasis Reaksi Kimia.
Pengembangan modul IPA materi penanganan sampah berbasis 3R (Reduce, Reuse, dan Recycle) menuju zero waste. (Marsolina, dkk., 2022)	Fokus pada pembentukan sikap peduli lingkungan melalui penerapan prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle). Relevan dengan konteks kehidupan siswa, karena membahas sampah rumah tangga dan sekolah.	Tidak secara khusus mengintegrasikan materi IPA seperti reaksi kimia sebagai konsep inti. Tidak melibatkan proses biologis/biokimia seperti fermentasi atau biokonversi, sehingga lebih fokus pada perilaku daur ulang. Kurang menekankan pada proses ilmiah yang terjadi pada pengolahan limbah.	Jurnal Marsolina lebih menitikberatkan pada perubahan perilaku lingkungan melalui pendekatan 3R tanpa eksplorasi mendalam pada konsep sains. Sementara modul berbasis <i>circular economy</i> lebih menekankan pada integrasi antara konsep ilmiah (reaksi kimia) dan pengelolaan lingkungan

Berdasarkan telaah terhadap berbagai artikel ilmiah yang mengangkat pengembangan modul pembelajaran yang mengadopsi konsep *circular economy* dan biokonversi sampah organik, diketahui bahwa pendekatan ini memberikan dampak positif terhadap peningkatan kesadaran lingkungan siswa. Modul-modul yang dikembangkan pada studi sebelumnya terbukti mampu menumbuhkan sikap peduli lingkungan, serta memperkenalkan cara-cara pengolahan limbah organik yang ramah lingkungan, seperti pemanfaatan *larva Black Soldier Fly* (BSF) dalam proses biokonversi. Namun demikian, sebagian besar penelitian belum secara langsung memeriksa konteks pembelajaran formal di SMP. Ini mencakup keterlibatan guru dalam proses pembelajaran, struktur materi yang disajikan, dan hubungan langsung dengan kompetensi dasar yang terkandung dalam kurikulum. Beberapa modul yang dikaji tidak dirancang secara sistematis sebagai paket pelajaran yang lengkap untuk ruang kelas, tetapi lebih cocok untuk masyarakat umum. Selain itu, banyak modul belum membahas materi kimia secara menyeluruh, membuatnya tidak relevan untuk subjek seperti reaksi kimia.

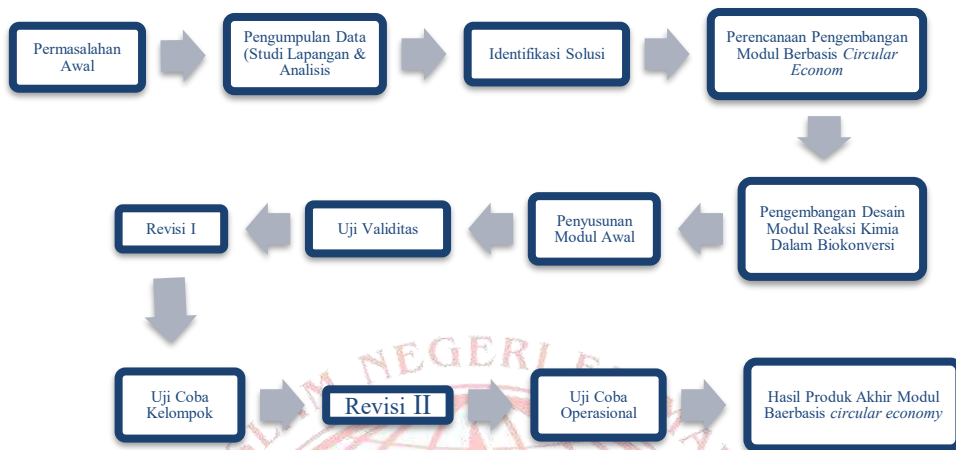
Hasil analisis tersebut, peneliti mengembangkan suatu modul pembelajaran dengan fokus pada materi reaksi kimia dan isu lingkungan berupa pengelolaan sampah organik melalui biokonversi. Penelitian ini merupakan upaya awal dalam mengintegrasikan konsep *circular economy* dan biokonversi sampah organik secara eksplisit dengan materi reaksi kimia yang diajarkan pada jenjang SMP. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya menekankan pada pengelolaan sampah secara umum atau pada level pendidikan masyarakat. Modul yang dikembangkan menggunakan masalah lokal di SMP IT Khairunnas Kota Bengkulu, seperti limbah kantin, limbah rumah tangga, dan limbah yang ada dilingkungan sekitar sekolah, sebagai konteks pembelajaran. Ini menjadikan pembelajaran lebih bermakna dan sesuai dengan lingkungan siswa. Tujuan utama pengembangan ini adalah untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa dalam konteks nyata serta menumbuhkan pemahaman terhadap pentingnya menjaga

keseimbangan ekosistem melalui daur ulang alami. Modul yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan adaptasi dari berbagai pendekatan yang telah berhasil diterapkan sebelumnya, namun dengan penyesuaian terhadap kebutuhan siswa tingkat SMP. Aspek-aspek penting dalam modul meliputi struktur penyajian masalah yang kontekstual, strategi pembelajaran berbasis eksplorasi dan diskusi kelompok, serta penugasan berbasis proyek sederhana yang mendorong partisipasi aktif siswa. Keunikan modul ini terletak pada pengintegrasian materi kimia, khususnya reaksi penguraian dalam proses biokonversi, dengan isu lingkungan aktual seperti pengelolaan sampah. Dengan pendekatan ini, diharapkan modul dapat menjadi media pembelajaran yang inovatif dan solutif dalam meningkatkan kesadaran lingkungan siswa.

D. Rancangan Produk

Pengembangan produk dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis untuk menghasilkan modul pembelajaran IPA berbasis *circular economy* pada materi reaksi kimia dalam biokonversi sampah organik. Tahapan pengembangan produk mengacu pada model ADDIE yang meliputi lima tahap, yaitu: Analysis (analisis kebutuhan), Design (perancangan), Development (pengembangan), Implementation (implementasi), dan Evaluation (evaluasi). Proses ini dirancang agar produk yang dihasilkan tidak hanya valid secara isi, tetapi juga praktis digunakan oleh guru dan efektif meningkatkan pemahaman serta kesadaran lingkungan siswa.

Bagan 2.1. Rancangan Produk



Tahapan pengembangan modul dimulai dari identifikasi masalah dan kebutuhan, peneliti melakukan observasi awal dan wawancara dengan guru serta siswa di SMP IT Khairunnas Kota Bengkulu. Ditemukan bahwa materi reaksi kimia belum dikaitkan dengan kehidupan nyata siswa dan kesadaran lingkungan masih rendah. Hal ini menunjukkan perlunya bahan ajar kontekstual. Setelah kebutuhan diketahui, dilakukan perencanaan produk modul yang mencakup: struktur isi, pemetaan kompetensi dasar, tujuan pembelajaran, serta integrasi konteks *circular economy* dan biokonversi. Strategi pembelajaran dirancang berbasis proyek dan kontekstual. Modul dikembangkan berdasarkan desain yang telah dibuat. Penyusunan mencakup materi utama, evaluasi formatif dan sumatif, serta penugasan berbasis proyek. Modul disusun dalam format cetak dengan tampilan visual yang menarik. Produk awal divalidasi oleh ahli materi, ahli media, dan ahli bahasa. Hasil validasi menjadi dasar untuk melakukan revisi tahap pertama agar modul sesuai dengan standar kualitas pembelajaran. Modul yang telah direvisi diuji cobakan secara terbatas pada kelompok kecil siswa untuk mengukur kepraktisan dan daya tarik. Setelah evaluasi awal, dilakukan uji coba operasional pada kelompok yang lebih luas dan diukur dengan pretest–

posttest. Berdasarkan masukan uji coba operasional, dilakukan revisi tahap akhir. Modul final dinilai dari segi kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan untuk digunakan secara lebih luas dalam pembelajaran IPA berbasis lingkungan.

