

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pembelajaran Biologi dalam Kurikulum Merdeka

Pembelajaran biologi merupakan proses pendidikan yang berfokus pada pemahaman fenomena kehidupan serta penerapan konsep ilmiah dalam kehidupan sehari-hari, pengembangan keterampilan ilmiah, pendekatan ilmiah, dan kemampuan pemecahan masalah yang relevan dengan isu-isu kontekstual di lingkungan peserta didik (Yudhistrian *et al.*, 2026). Pembelajaran biologi tidak hanya bertujuan membekali peserta didik dengan penguasaan konsep, tetapi juga mengembangkan kemampuan berpikir kritis, analitis, dan ilmiah melalui pengalaman belajar yang bermakna. Oleh karena itu, proses pembelajaran perlu dirancang agar peserta didik terlibat secara aktif dalam mengamati, menyelidiki, menganalisis, serta menemukan solusi terhadap berbagai permasalahan yang dijumpai di lingkungan sekitar. Pembelajaran biologi juga berperan penting dalam membantu peserta didik memahami hubungan antara konsep biologi dengan kehidupan nyata sehingga mampu menumbuhkan kepedulian terhadap lingkungan dan mempersiapkan mereka menghadapi perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, serta tantangan global (Putri *et al.*, 2023). Dengan demikian, pembelajaran biologi perlu dilaksanakan secara kontekstual dan berpusat pada peserta didik agar kompetensi pengetahuan, keterampilan, dan sikap dapat berkembang secara optimal.

Sejalan dengan tuntutan tersebut, pembelajaran biologi perlu dirancang untuk keterampilan abad ke-21 yang tidak hanya menekankan penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif. Upaya ini didukung melalui penerapan Kurikulum Merdeka yang dirancang sebagai jawaban terhadap kebutuhan pemulihan pendidikan di Indonesia setelah pandemi Covid-19 dan sebagai langkah strategi dalam meningkatkan kualitas pembelajaran (Setyani *et al.*, 2023). Kurikulum Merdeka berfokus pada pengembangan kompetensi abad ke-21 yang

dikenal sebagai keterampilan **4C** (**Critical Thinking, Communication, Creativity, and Collaboration**). Keterampilan tersebut meliputi: (1) berpikir kritis dan pemecahan masalah (*critical thinking and problem solving*), (2) kemampuan berkomunikasi (*communication*), (3) kreativitas dan inovasi (*creativity and innovation*), serta (4) kolaborasi (*collaboration*). Penguatan keterampilan 4C diharapkan mampu membekali peserta didik agar lebih adaptif, kreatif, dan mampu menyelesaikan berbagai permasalahan dalam kehidupan nyata (Wulandari *et al.*, 2025). Pengembangan keterampilan abad 21 pada pembelajaran biologi, terutama (*Critical thinking, Communication, Collaboration, dan Creativity*), menjadi kebutuhan pokok agar peserta didik siap menghadapi tantangan global.

Selain itu, keterampilan abad 21 bertujuan agar peserta didik dapat belajar hidup bersama di masyarakat (*learning to live together*). Dalam pembelajaran biologi keterampilan 4C mampu meningkatkan literasi sains dan kemampuan peserta didik dalam berpikir kritis serta mampu menyelesaikan masalah kompleks melalui pendekatan yang autentik dan kontekstual (Talaen *et al.*, 2025). Kurikulum merdeka dalam pembelajaran biologi, tidak hanya mengarahkan penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan keterampilan ilmiah dan karakter peserta didik melalui pendekatan yang kontekstual dan kolaboratif sejalan dengan tuntutan Pendidikan abad ke – 21. Pendekatan ini dapat menjadi bagian penting dalam menyusun model pembelajaran yang inovatif dan relevan.

2.2 Model Project Based Learning (PjBL)

2.2.1 Pengertian Project- Based Learning (PjBL)

Pendekatan PJBL menempatkan peserta didik sebagai pusat pembelajaran yang berfokus pada pengalaman nyata untuk menghasilkan sebuah produk. Dalam pendekatan ini, peserta didik memiliki kebebasan untuk merancang kegiatan belajar dan menjalankan proyek secara kolaboratif (Nababan, 2023). Oleh karena itu,

keberhasilan pembelajaran ini sangat bergantung pada partisipasi aktif dan kemandirian peserta didik dalam menuntaskan proyek mereka.

2.2.2 Karakteristik *Project Based Learning* (PjBL)

Thomas (2000) mengatakan bahwa model PjBL memiliki karakteristik tertentu, seperti:

1. Proyek menjadi bagian utama dalam pembelajaran, bukan sekedar pelengkap setelah materi selesai di jelaskan.
2. Pembelajaran dimulai dari pertanyaan atau masalah nyata. Peserta didik diajak untuk memecahkan permasalahan yang relevan sehingga pembelajaran terasa lebih bermakna.
3. Peserta didik melakukan observasi secara aktif. Seperti mencari informasi, melakukan pengamatan, eksperimen, dan diskusi untuk menunjukkan jawaban atau solusi. Peserta didik diharapkan mampu membangun pemahamannya sendiri (konstruktif).
4. Peserta didik diberi kepercayaan untuk merencanakan, melaksanakan, dan menyelesaikan proyek, sehingga peserta didik dapat belajar bertanggung jawab terhadap tugas serta hasil kerjanya.
5. Proyek yang dikerjakan oleh peserta didik berkaitan dengan situasi dunia nyata, sehingga hasil belajar tidak hanya bersifat teori, tetapi mampu memberikan pengalaman yang nyata dan autentik.

2.2.3 Sintaks *Project Based Learning* (PjBL)

Secara umum, sintaks pembelajaran berbasis proyek (*Project Based Learning*) terdiri dari lima tahap yang terintegrasi satu sama lain (Shaumuristi *et al.*, 2025). Proses pembelajaran dimulai dengan mengajukan pertanyaan mendasar sebagai pendorong, diikuti oleh perencanaan proyek serta rencana penyusunan pelaksanaan yang terstruktur. Selanjutnya guru melakukan pengamatan terhadap kemajuan proyek peserta didik hingga akhirnya dilakukan evaluasi hasil sebagai bentuk penilaian capaian pembelajaran.

Tabel 2. 1 Sintaks Model PjBL Shaumuristi, et al (2025)

No	Fase Kegiatan
1.	Pertanyaan mendasar (<i>Start with the essential question</i>)
2.	Perancangan proyek (<i>designing the project</i>)
3.	Penyusunan jadwal (<i>creating a schedule</i>)
4.	Pengamatan proyek (<i>monitoring the students and the progress of the project</i>)
5.	Pengujian hasil (<i>assessing the outcome</i>)
6.	Evaluasi pengalaman belajar (<i>Evaluating the experience</i>)

Sintaks menjadi struktur yang sistematis bagi peserta didik dalam menyelesaikan proyek ilmiah. Dalam pembelajaran biologi, tahapan tersebut memungkinkan peserta didik untuk mengaitkan konsep teoritis dengan praktik nyata melalui kegiatan eksperimen dan observasi (Karmana, 2024).

2.2.4 Tujuan *Project Based Learning*

Secara umum, PjBL bertujuan untuk mengembangkan pengetahuan, keterampilan, dan sikap peserta didik melalui keterlibatan aktif dalam penyelesaian proyek yang berkaitan dengan permasalahan nyata.

1. Memberikan wawasan yang luas terhadap peserta didik ketika menghadapi permasalahan secara langsung, pembelajaran berbasis proyek bertujuan untuk menciptakan peserta didik yang tidak hanya menguasai materi secara teoritis, tetapi juga mampu menghadapi tantangan secara langsung dengan pengetahuan yang luas dan mendalam.
2. Mengembangkan keterampilan dan berpikir kritis dalam menyelesaikan permasalahan nyata, melalui partisipasi aktif dalam proyek nyata peserta didik secara bersamaan mengasah keterampilan berpikir kritis yang diperlukan untuk menganalisis, menilai dan menemukan solusi untuk berbagai isu yang dihadapi.
3. Mengasah peserta didik dalam berpikir kritis untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi dan mengembangkan wawasan peserta didik. Oleh karena itu, PJBL bukan hanya sekedar metode pembelajaran, melainkan sebuah

pendekatan yang menyeluruh mengembangkan pengetahuan serta cara berpikir peserta didik dalam menghadapi tantangan kehidupan nyata (Anggraini, *et al.*, 2021).

2.2.5 Kelebihan dan Kelemahan PjBL

Sebagai model pembelajaran yang berfokus pada pengalaman nyata, PJBL memiliki sejumlah kelebihan sekaligus kelemahan yang perlu dipahami sebelum diterapkan dalam proses pembelajaran. Kelebihan PJBL meliputi kemampuannya dalam meningkatkan pemahaman konsep, mengembangkan pemikiran kritis dan kreatif, mendorong kolaborasi, serta membentuk kemandirian belajar peserta didik, sehingga terbukti lebih efisien dibandingkan metode pembelajaran tradisional. Adapun kelemahan yang perlu diperhatikan seperti kondisi kelas, kebutuhan waktu yang lebih lama, dan kesiapan guru dalam memfasilitasi proyek (Surya *et al.*, 2023).

Tabel 2. 2 Kelebihan dan Kelemahan Model PjBL

No	Kelebihan PJBL	Kelemahan PJBL
1.	Meningkatkan pemahaman konsep secara mendalam	Peserta didik aktif dapat menimbulkan situasi kelas kurang kondusif
2.	Mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif	Membutuhkan waktu yang relatif lebih lama
3.	Meningkatkan kolaborasi dan komunikasi	Memerlukan perancangan yang matang
4.	Membentuk sikap tanggung jawab dan kemandirian belajar	Menuntut kesiapan guru dalam memfasilitasi proyek

2.2.6 Project Based Learning dalam Pembelajaran Biologi

Pembelajaran biologi di tingkat SMA berperan penting dalam membentuk pemahaman ilmiah peserta didik (Tambunan *et al.*, 2024). Materi biologi yang kompleks membutuhkan pendekatan belajar yang tepat agar peserta didik lebih memahami konsep melalui pengalaman yang kontekstual, bukan hanya sekedar menghafal teori (Hasibuan *et al.*, 2024).

Implementasi PJBL pada pembelajaran biologi mampu memberikan kesempatan peserta didik untuk mengeksplorasi konsep secara mendalam. PJBL juga

memberikan pendekatan yang lebih holistik dan interaktif dalam pembelajaran biologi, dengan penerapan yang tepat, peserta didik mampu mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif (Adila *et al.*, 2025).

2.3 Praktikum

2.3.1 Pengertian dan Karakteristik Praktikum Terbimbing

Praktikum merupakan komponen yang tak terpisahkan dari proses pembelajaran biologi di tingkat SMA. Pelajaran biologi memiliki banyak materi yang disesuaikan dengan kebutuhan kurikulum, dan pelaksanaan kegiatan praktikum sangat penting untuk membantu peserta didik memahami konsep yang mungkin sukar dipahami jika hanya diajaran secara teori tanpa adanya praktikum dalam proses pembelajaran (Setiawan, 2017). Kegiatan praktikum pada dasarnya memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengalami langsung fenomena yang sedang dipelajari melalui observasi di laboratorium atau lingkungan sekitar.

Praktikum yang terarah (praktikum terbimbing) adalah sebuah kegiatan di mana peserta didik mengikuti prosedur yang sepenuhnya dirancang dan disiapkan oleh guru. Keterampilan proses ilmiah yang dapat dilatih dalam kegiatan praktikum termasuk keterampilan observasi, klasifikasi, interpretasi, komunikasi, merancang dan melakukan penyelidikan, membuat hipotesis, serta mengajukan pertanyaan. Dalam praktikum yang terarah, peran guru sangat signifikan karena guru menetapkan topik, menyiapkan alat dan bahan, menjelaskan prosedur, serta membimbing peserta didik langkah demi langkah selama kegiatan berlangsung, sehingga peserta didik tinggal mengikuti panduan yang telah disediakan (Suryaningsih, 2022).

2.3.2 Keterbatasan Praktikum Terbimbing

Meskipun praktikum terbimbing memiliki dampak positif dalam membantu peserta didik memahami konsep biologi secara nyata, ada batasan mendasar yang perlu diakui saat tujuan pembelajaran difokuskan pada pengembangan kemampuan metakognitif. Analisis pelaksanaan praktikum biologi di SMA menunjukkan bahwa

secara umum, praktik tersebut belum berjalan dengan optimal, dengan pencapaian sekitar 68%, yang salah satunya disebabkan oleh rendahnya keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran karena praktikum masih banyak dipandu oleh instruksi guru (Susanto, 2025). Praktikum yang terstruktur tidak secara jelas meminta peserta didik untuk merencanakan prosedurnya sendiri, mengutarakan cara berpikir mereka, atau menggunakan strategi yang mereka terapkan. Ketika semua langkah kegiatan telah ditentukan oleh guru, maka peluang untuk berkembangnya komponen regulasi metakognitif terutama perencanaan, pemantauan, perbaikan, dan evaluasi menjadi sangat sempit. Keterampilan metakognitif dan minat membaca dapat dimanfaatkan melalui model pembelajaran yang tepat, sedangkan model pembelajaran yang tidak mendorong refleksi diri cenderung kurang efektif dalam mengembangkan keterampilan metakognitif secara maksimal (Muslihatun *et al.*, 2026).

2.3.3 Landasan Perbandingan

Pemilihan praktikum terbimbing sebagai kelompok kontrol dalam penelitian ini didasari oleh pemikiran bahwa kedua perlakuan PjBL dan praktikum terbimbing sama-sama memanfaatkan konteks proyek pembuatan pupuk organik cair (POC) sebagai sarana belajar. Perbedaan utama antara keduanya tidak terletak pada apa yang dipelajari, melainkan pada cara peserta didik terlibat dalam proses belajar tersebut. Hal ini menjadikan perbandingan keduanya relevan dan adil secara metodologis, karena menggunakan materi bioteknologi yang sama sebagai variabel kontrol, sementara variabel terikat dibuat berbeda (Sugiyono, 2019). Penelitian yang membandingkan PjBL dengan model pembelajaran lainnya menunjukkan bahwa PjBL dan PBL tidak berbeda secara signifikan dalam mengembangkan keterampilan proses sains, tetapi keduanya berbeda secara signifikan jika dibandingkan dengan pembelajaran konvensional, yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis proyek atau masalah secara umum lebih unggul dibandingkan pembelajaran yang tidak bersifat *student center* (Labak *et al.*, 2024).

2.3.4 Perbedaan Keterlibatan Metakognitif

Perbedaan paling mendasar antara PjBL dan praktikum terbimbing dalam konteks pengembangan keterampilan metakognitif terletak pada siapa yang mengendalikan aktivitas berpikir guru atau peserta didik. Dalam praktikum terbimbing, guru memiliki kontrol penuh atas perencanaan, prosedur, dan penilaian. Peserta didik berperan sebagai pelaksana yang mengikuti petunjuk. Dalam PjBL, peserta didik mengikuti pembelajaran sesuai dengan sintaks yang jelas. Keterampilan metakognitif merupakan kemampuan penting dalam belajar biologi agar peserta didik dapat merencanakan, mengoordinasikan, dan menyebarkan proses berpikir mereka dengan efektif, dan model pembelajaran yang tidak memberikan kesempatan untuk kegiatan ketiga ini secara aktif akan menghasilkan perkembangan metakognitif yang lebih terbatas (Musdalifah *et al.*, 2026).

Dalam sintaks PjBL yang digunakan dalam penelitian ini *challenging problem*, *student voice & choice*, *manage inquiry*, *sustained inquiry*, *public product*, dan *reflection/ revision* setiap langkah secara eksplisit mendorong peserta didik untuk mengaktifkan komponen metakognitif yang berbeda (Zulyusri *et al.*, 2023). Penerapan model PjBL dalam pendidikan IPA secara konsisten memberikan kontribusi positif terhadap kreativitas dan kemampuan berpikir tingkat tinggi peserta didik, termasuk keterampilan metakognitif (Malavika *et al.*, 2024).

Selain mengembangkan kemampuan metakognitif, karakteristik PjBL juga mendukung pengembangan literasi kewirausahaan peserta didik. Melalui kegiatan mengidentifikasi permasalahan, merancang solusi, menghasilkan produk, serta mempresentasikan hasil proyek, peserta didik memperoleh pengalaman dalam mengenali peluang, mengembangkan inovasi, mengelola sumber daya, dan mengomunikasikan nilai produk yang dihasilkan. Integrasi proyek dengan konteks bioteknologi memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengembangkan sikap kewirausahaan melalui proses penciptaan produk yang bernilai guna dan berpotensi memiliki nilai ekonomi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan PjBL pada pembelajaran biologi yang diintegrasikan dengan pendekatan bioentrepreneurship mampu melatih keterampilan kewirausahaan peserta didik melalui aktivitas proyek yang autentik dan berorientasi pada produk (Amalia *et al.*, 2023). Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian yang mengembangkan modul PjBL terintegrasi edupreneurship, yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek mampu menjembatani penguasaan konsep biologi dengan pengembangan kompetensi kewirausahaan melalui kegiatan inovasi produk biologi yang kontekstual (Muljasari *et al.*, 2025).

2.4 Keterampilan Metakognitif

2.4.1 Pengertian Metakognisi

Metakognisi adalah salah satu aspek signifikan dalam psikologi kognitif dan pendidikan modern. Secara etimologis, istilah ini berasal dari bahasa Yunani “*meta*” yang berarti mengenai atau di atas, dan “*kognisi*” yang mengacu pada proses mental individu dalam memahami, mengingat, dan menyelesaikan masalah. Oleh karena itu, metakognisi secara harfiah diartikan sebagai kognisi tentang kognisi, pengetahuan tentang pengetahuan, atau yang lebih dikenal sebagai berpikir mengenai cara berpikir (Aziz *et al.*, 2025).

Istilah metakognisi pertama kali dikenalkan oleh John H. Flavell, seorang psikolog asal Amerika Serikat, pada tahun 1976 dan dikembangkan lagi pada tahun 1979. merumuskan metakognisi sebagai pemahaman dan pemikiran seseorang mengenai fenomena-fenomena kognitif, mencakup dua elemen yaitu, pemahaman yang dimiliki seseorang tentang proses kognitifnya sendiri dan pengawasan aktif serta regulasi dan pengorganisaian proses tersebut dalam rangka mencapai tujuan belajar tertentu (Didaktika, 2025).

Metakognisi dapat dijelaskan sebagai kapasitas individu untuk menyadari, memahami, dan mengendalikan proses berpikirnya sendiri dalam kegiatan pembelajaran. Metakognisi mencakup kemampuan untuk melakukan refleksi, memahami, dan mengelola proses belajar, sedangkan Agrawal (2025) menegaskan

bahwa metakognisi merupakan kesadaran dan regulasi kognitif diri yang sangat berperan dalam keberhasilan pembelajaran (Agrawal, 2025). Secara luas, metakognisi melibatkan dua aspek utama, yakni kesadaran akan proses berpikir dan kemampuan untuk mengatur proses tersebut secara aktif (Fontana *et al.*, 2023). Metakognisi berbeda dari kognisi, karena kognisi berhubungan dengan apa yang dipikirkan, sementara metakognisi berhubungan dengan bagaimana proses berpikir itu dikelola dan dikontrol. Oleh karena itu, metakognisi termasuk keterampilan berpikir tingkat tinggi yang krusial untuk mendukung kemandirian belajar para peserta didik.

2.4.2 Pengertian Metakognitif

Metakognitif adalah kemampuan berpikir pada tingkat yang lebih tinggi, memungkinkan peserta didik untuk menyadari, memahami, dan mengendalikan proses berpikir mereka sendiri dalam mengatasi suatu masalah (Aisyah *et al.*, 2020). Menurut Sudjana dan Wijayanti (2018) menjelaskan bahwa metakognitif memiliki peran penting dalam hasil pembelajaran, memungkinkan peserta didik untuk memahami dan menerapkan keterampilan metakognitif mereka untuk mencapai hasil belajar yang diinginkan (Sudjana *et al.*, 2018)

Kemampuan ini diperoleh melalui proses mengamati, bertanya, memahami, dan menganalisis informasi. Metakognitif berperan sebagai kemampuan untuk memadukan dan mengarahkan proses kognitif agar lebih fokus dan optimal (Anggoro, 2019). Pengetahuan metakognitif mencakup pemahaman peserta didik tentang keterampilan serta strategi belajar yang efektif, serta kapan strategi tersebut tepat digunakan. Sedangkan, metakognitif merujuk pada serangkaian aktivitas yang mengontrol proses berpikir dan belajar, terbagi menjadi lima komponen, yaitu perencanaan (*planning*), manajemen informasi (*information management strategies*), pengawasan pemahaman (*comprehension monitoring*), strategi pengoreksian (*strategi debugging*), dan penilaian (*evaluation*). Kesadaran metakognitif ini bersifat berkelanjutan karena perlu diterapkan sebelum, selama, dan setelah proses

pembelajaran berlangsung, sehingga berperan penting dalam membentuk peserta didik menjadi pembelajar yang mandiri, reflektif, dan adaptif (Wardana *et al.*, 2020).

2.4.3 Indikator Kemampuan Metakognitif

Metakognitif telah diidentifikasi dengan dua aspek yakni pengetahuan kognisi (*knowledge of cognition*) dan pengaturan kognisi (*regulation of cognition*). Dalam ranah metakognisi pengetahuan, terdapat tiga sub proses yang mendukung dimensi reflektif dari metakognisi, yaitu: pengetahuan deklaratif, pengetahuan prosedural, dan pengetahuan kondisional. Sementara itu, pengaturan kognisi mencakup lima komponen sub proses yang mendukung aspek kontrol pembelajaran, antara lain: perencanaan, strategi pengelolaan informasi, pemantauan pemahaman, perbaikan, dan evaluasi. Berikut adalah definisi operasional dari kategori komponen tersebut menurut Oktapia (2023):

1. Pengetahuan kognisi (*knowledge of cognition*)
 - a. Pengetahuan deklaratif (pengetahuan deklaratif) yaitu pemahaman mengenai keterampilan individu, sumber daya mental, serta kemampuan sebagai pelajar.
 - b. Pengetahuan prosedural (pengetahuan prosedural) yaitu pemahaman tentang cara menerapkan langkah-langkah pembelajaran.
 - c. Pengetahuan kondisional (pengetahuan kondisional) yaitu pemahaman mengenai kapan dan di mana menggunakan strategi.
2. Pengetahuan kognisi (*knowledge of cognition*)
 - a. Perencanaan (*planning*), meliputi aspek perencanaan, penetapan tujuan, dan pengalokasian sumber daya sebelum proses belajar dimulai.
 - b. Strategi pengelolaan informasi (*information Management Strategy*), strategi keterampilan dan pengembangan secara berurutan yang digunakan untuk memproses informasi secara lebih efisien (seperti pengorganisasian, pemisahan, meringkas, dan fokus pencampuran).

- c. Pemantauan pemahaman (*comprehension monitoring*), penilaian terhadap pembelajaran individu atau strategi perkembangan yang digunakan.
- d. Perbaikan (*debugging strategi*), langkah-langkah yang dipakai untuk memperbaiki pemahaman dan kinerja yang salah.
- e. Evaluasi (evaluasi, analisis mengenai kinerja dan efektivitas strategi setelah proses pembelajaran selesai).

2.4.4 Keterampilan Metakognitif

Menurut KBBI keterampilan adalah kecakapan dalam menyelesaikan tugas. Keterampilan metakognitif (*metacognitive skills*) adalah wujud konkret dan operasional dari kemampuan metakognitif yang tercermin dalam tindakan nyata sepanjang proses pembelajaran. Keterampilan metakognitif merupakan kemampuan krusial dalam pembelajaran biologi agar peserta didik dapat merencanakan, memantau, dan mengevaluasi proses pemikirannya secara efisien (Muslihatun *et al.*, 2026). Setyawati (2022) menekankan bahwa keterampilan metakognitif adalah kemampuan individu untuk mengelola proses berpikir, sedangkan Hidayat et al. (2020) menyebutkan bahwa keterampilan metakognitif adalah suatu level dalam proses berpikir yang digunakan peserta didik untuk menyelesaikan suatu masalah, memiliki kesadaran terhadap proses berpikirnya, dan mengendalikan cara berpikirnya. Keterampilan ini dapat diasah melalui model pembelajaran yang sesuai, dapat diobservasi melalui tindakan peserta didik, dan dapat diukur dengan menggunakan alat seperti kuesioner MAI, jurnal aktivitas, dan lembar observasi (Febrianti *et al.*, 2025). Komponen keterampilan metakognitif mencakup kemampuan merencanakan (*planning*), mengawasi (*monitoring*), dan menghasilkan (*evaluating*). Fungsi keterampilan metakognitif adalah untuk merencanakan, mengawasi, dan memahami rencana atau strategi yang akan diterapkan agar peserta didik mampu memadukan kemajuan belajar mereka (Anwar *et al.*, 2022).

2.4.5 Peran Metakognitif dalam Pembelajaran

Pembelajaran mengenai biologi sangat terkait dengan kehidupan sehari-hari yang penuh dengan kompleksitas dan berbagai tantangan nyata di lingkungan sekitar. Hal yang sama berlaku untuk pengajaran dan pembelajaran sains, yang merupakan proses rumit baik dari segi materi maupun keterampilan berpikir yang dibutuhkan untuk mendalami pemahaman (Listiana *et al.*, 2019). Ini adalah pendorong bagi peserta didik untuk mengembangkan kemampuan sebagai pemecah masalah yang handal. Proses pemecahan masalah dan pencarian solusinya tentu tidak dapat dicapai secara seketika, tetapi memerlukan pembiasaan dan latihan yang konsisten selama proses pembelajaran. Dengan memanfaatkan keterampilan metakognitif dalam kegiatan pembelajaran dan pengajaran, melalui tugas-tugas yang kompleks, peserta didik akan dilatih untuk menjadi mandiri dan terampil dalam memecahkan masalah. Sesuai pandangan Millis (2016), guru sebagai perancang pengalaman belajar harus mendesain kegiatan yang mendukung pengembangan metakognitif mulai dari tahap awal pembelajaran, kegiatan inti, hingga kegiatan penutup (Listiana *et al.*, 2029).

1. Kegiatan Awal Pembelajaran

Tahapan awal proses pembelajaran. Dalam fase ini, guru melaksanakan aktivitas yang mengarahkan peserta didik untuk mengungkapkan pengetahuan awal mengenai konsep yang telah diberikan, pengalaman belajar, serta kemampuan dalam mengevaluasi pemecahan masalah yang sudah dilakukan. Melalui aktivitas ini, keterampilan metakognitif peserta didik dapat ditingkatkan. Menurut **Mursali (2015)** pembelajaran berbasis metakognitif diawali dengan kegiatan yang mendorong peserta didik mengidentifikasi pengetahuan awal, menetapkan tujuan belajar, dan merencanakan strategi penyelesaian masalah. Kegiatan pendahuluan tersebut membantu peserta didik mempersiapkan proses berpikir sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna dan terarah.

2. Kegiatan Selama Proses Pembelajaran

Dalam proses belajar di kelas, aktivitas-aktivitas dioptimalkan untuk memperkuat metakognitif menurut Johnson dan Cooper tahun 2003, terdapat tiga contoh "berpikir cepat" yang dikembangkan sepanjang pembelajaran, yaitu (1) peserta didik diberikan pertanyaan terbuka atau diminta untuk melengkapi kalimat yang belum selesai, (2) peserta didik membandingkan dua hal yang serupa, menjalin hubungan antara keduanya, dan (3) untuk mendukung sebuah pernyataan, peserta didik harus memberikan bukti dengan menggunakan berbagai sumber literatur. Aktivitas ini akan merefleksikan pemahaman peserta didik tentang apa yang telah mereka ketahui dan apa yang belum mereka pahami.

Kegiatan selama pembelajaran, yang juga dikenal sebagai kegiatan utama, memiliki alokasi waktu terbesar, karena banyak aktivitas kognitif dan metakognitif peserta didik dapat dikembangkan melalui sintaks model pembelajaran yang diterapkan oleh guru. Penggunaan model pembelajaran mempengaruhi efektivitas pembelajaran, termasuk pengembangan keterampilan metakognitif dan hasil belajar peserta didik.

3. Kegiatan Setelah Pembelajaran

Setelah proses belajar, aktivitas menggunakan pendekatan metakognitif dilakukan Pertanyaan mengenai kesan penting dari pembelajaran hari ini dan isu yang masih belum terjawab (Millis, 2016). Melalui pertanyaan-pertanyaan ini, peserta didik didorong untuk merefleksikan pengertian mereka tentang materi yang baru saja dipelajari. Aktivitas ini melatih peserta didik untuk memantau pemahaman mereka sendiri, sehingga pada akhirnya mereka dapat memilih dan menerapkan strategi untuk meningkatkan pemahaman mengenai konsep-konsep yang sulit

Penugasan rumah sebagai lanjutan pembelajaran disisipkan dalam kegiatan setelah pembelajaran. Melalui tugas yang kompleks, kemampuan berpikir, kognitif, dan metakognitif peserta didik diharapkan dapat meningkat.

Hal ini didukung oleh penelitian Mota *et al.*, (2019) yang menunjukkan bahwa strategi kerja rumah (*homework*) penting dirancang untuk membantu mengembangkan penilaian diri, metakognitif, dan keterampilan dalam memecahkan masalah secara kolaboratif. Penemuan ini menjelaskan bahwa pendekatan kerja rumah dapat meningkatkan kualitas keterampilan metakognitif peserta didik.

2.5 Literasi Kewirausahaan

2.5.1 Pengertian Literasi Kewirausahaan

Literasi kewirausahaan (*entrepreneurship literacy*) merupakan kemampuan seseorang dalam memahami, menganalisis, dan mengaplikasikan konsep-konsep kewirausahaan dalam konteks kehidupan nyata, mencakup kemampuan mengenali peluang, berpikir kreatif dan inovatif, merencanakan pengembangan produk, serta mengkomunikasikan nilai sebuah ide atau produk kepada pihak lain (Kusmintayu *et al.*, 2022). Literasi kewirausahaan bukan sekadar pengetahuan tentang bisnis secara teoritis, melainkan sebuah kompetensi yang bersifat multidimensional yang meliputi dimensi kognitif, afektif, dan psikomotorik sekaligus. Dalam konteks pendidikan sains, literasi kewirausahaan dikembangkan agar peserta didik tidak hanya mampu memahami konsep ilmiah, tetapi juga mampu melihat potensi aplikasi dan nilai ekonomi dari pengetahuan yang dimiliki untuk memecahkan permasalahan nyata di masyarakat (Hidayatullah, 2025).

2.5.2 Komponen Literasi Kewirausahaan

Dalam penelitian ini, literasi kewirausahaan dioperasionisasikan melalui empat komponen utama yang saling berkaitan. Pertama, identifikasi peluang usaha, yaitu kemampuan peserta didik mengenali potensi ekonomi dari permasalahan lingkungan, khususnya dalam memanfaatkan limbah organik MBG sebagai bahan baku produk bernilai jual. Kedua, kreativitas, yaitu kemampuan menghasilkan ide-ide baru yang orisinal dalam proses pengolahan bahan baku menjadi produk yang menarik dan

memiliki nilai tambah, termasuk dalam hal desain kemasan dan branding produk. Ketiga, inovasi, yaitu kemampuan mengimplementasikan ide kreatif tersebut menjadi produk nyata melalui proses fermentasi pembuatan Pupuk Organik Cair (POC), yang di dalamnya melibatkan penerapan prinsip bioteknologi secara langsung. Keempat, komunikasi kewirausahaan, yaitu kemampuan mempresentasikan produk, menjelaskan nilai jual, dan menyampaikan manfaat produk kepada audiens secara persuasif dan meyakinkan (Kusmintayu *et al.*, 2022).

Keempat komponen tersebut berkembang secara progresif seiring dengan tahapan proyek yang dilalui peserta didik. Pada fase awal, identifikasi peluang dan kreativitas dominan dilatih. Pada fase pelaksanaan, komponen inovasi teraktivasi melalui proses pembuatan produk secara langsung. Pada fase akhir, kemampuan komunikasi kewirausahaan dilatih melalui presentasi produk kepada observer dan teman sebaya. Integrasi keempat komponen dalam satu siklus proyek yang autentik inilah yang menjadikan model *Project Based Learning* (PjBL) sangat relevan sebagai wahana pengembangan literasi kewirausahaan dalam pembelajaran biologi (Gulo *et al.*, 2025).

2.6 Bioteknologi dalam Pembelajaran SMA

2.6.1 Pengertian Bioteknologi

Bioteknologi berasal dari istilah *bios* (hidup), *tekno* (aplikasi), dan *logos* (pengetahuan), umumnya dipahami sebagai penerapan prinsip – prinsip ilmiah dan rekayasa dalam pengolahan bahan mentah baik organik maupun anorganik dengan memanfaatkan mikroorganisme, hewan, tumbuhan, serta bagian-bagiannya, seperti sel dan jaringan, untuk menghasilkan produk dan jasa yang bermanfaat bagi manusia. Produk yang dihasilkan meliputi makanan, obat-obatan, senyawa biokimia, hingga bahan bakar, sedangkan dalam bentuk jasa, bioteknologi berkontribusi dalam pengolahan limbah, pemisahan logam, serta pengendalian hama, termasuk hewan

ternak dan tanaman budidaya sebagai hasil penerapannya dalam sektor pertanian dan peternakan (Irnaningtyas *et al.*, 2021).

2.6.2 Jenis Bioteknologi

Bioteknologi terbagi menjadi dua kategori, yaitu bioteknologi konvensional dan modern. Bioteknologi konvensional menggunakan mikroba secara langsung melalui proses fermentasi sederhana berskala kecil tanpa rekayasa genetika, contohnya pembuatan tempe, tape, dan yogurt. Sementara itu, Bioteknologi modern melibatkan rekayasa genetika yang lebih rumit sehingga mampu menghasilkan DNA rekombinan dan organisme transgenik melalui teknologi seperti kultur jaringan, kloning, dan produksi vaksin (Quintari, 2021).

2.6.3 Penggunaan Mikroorganisme dalam Bioteknologi

Prinsip bioteknologi berfokus pada pemanfaatan mikroorganisme dan enzim yang mereka miliki seperti fungi, bakteri dan alga, untuk menciptakan berbagai barang dan layanan yang bermanfaat bagi kehidupan manusia. Dalam sektor pangan, mikroorganisme berperan melalui proses fermentasi untuk menghasilkan produk seperti tempe, keju, dan tape, sekaligus menciptakan protein sel tunggal, zat organik, enzim dan vitamin yang digunakan dalam industri makanan serta farmasi. Mikroorganisme juga berkontribusi dalam sektor kesehatan melalui produksi antibiotik, vaksin, dan interferon, serta dalam bidang energi melalui penghasilan bioetanol, biogas, dan gas hidrogen. Pemanfaatan bioteknologi meluas ke sektor pertanian dan peternakan seperti pada produksi biopestisida, rekayasa hormon pertumbuhan, pengolahan limbah melalui proses bioremediasi, hingga pengembangan bioplastik yang lebih ramah lingkungan (Irnaningtyas *et al.*, 2021).

2.7 Bioaktivator Mikroorganisme dalam Fermentasi

2.7.1 Pengertian Bioaktivator

Bioaktivator adalah mikroorganisme yang dapat melarutkan bahan organik yang mengandung selulosa, berperan dalam meningkatkan proses pengomposan

(Sutrisno *et al.*, 2020). Bioaktivator dapat berupa larutan, bubuk (*Powder*), pellet atau kapsul, dan padatan (*Slow release*). Selain dapat digunakan sebagai biang atau starter dalam pengomposan, aktivator juga dapat diberikan secara langsung ke dalam tanah, perlakuan tersebut dapat meningkatkan ketahanan tumbuhan terhadap cekaman air, memperbaiki kondisi tanah serta membuat kondisi tumbuhan tahan terhadap penyakit dan hama (Sarijan *et al.*, 2023).

2.7.2 Jenis- Jenis Bioaktivator

Bioaktivator terdiri atas beberapa jenis yang memiliki karakteristik, kandungan mikroorganisme, serta fungsi yang berbeda-beda dalam mempercepat proses penguraian bahan organik. Berikut beberapa jenis bioaktivator yang umum digunakan.

1. *Effective Microorganism- 4*

Em-4 merupakan campuran berbagai mikroorganisme yang digunakan untuk meningkatkan mikroba tanah dan memperbaiki kesehatan serta kualitas tanah (Rizaly, 2022). Bakteri EM4 berperan dalam membentuk sifat- sifat fisik pupuk organik untuk menghilangkan bau busuk dan mempercepat proses dekomposisi (Djuarnani, 2018). Kandungan bakteri yang ada dalam EM4 menurut Rasminto (2019) (1) Bakteri fotosintetik (*Rhodopseudomonas*), bakteri yang memanfaatkan bahan- bahan organik, sekresi, gas-gas berbahaya dari matahari dan energi panas bumi, sebagai sumber energi untuk menghasilkan unsur yang dibutuhkan oleh organisme untuk membantu mempercepat proses pertumbuhan, (2) Bakteri *Lactobacillus* spp (asam laktat), menekan pertumbuhan mikroorganisme yang merugikan. Bakteri asam laktat dapat mempercepat proses pembusukan bahan pupuk organik dalam proses fermentasi tanpa menghasilkan senyawa yang berbahaya, (3) Ragi atau *yeast* (*Saccharomyces* spp), bermanfaat untuk pertumbuhan tumbuhan, zat bioaktif yang terkandung memproses pertumbuhan akar dan menjadi substrat untuk bakteri asam laktat dan *Actinomycetes*, (4) *Actinomycetes*, salah satu mikroba

tanah yang membantu kesuburan tanah, (5) Jamur fermentasi, jamur ini dapat mencegah serangga, ulat dan membantu menghilangkan busuk.

2. Mikroorganisme Lokal (MOL)

MOL adalah Kumpulan mikroorganisme yang dibudidayakan dan dimanfaatkan sebagai starter dalam proses pembuatan pupuk organik cair. Bahan baku pembuatan MOL dapat berupa limbah rumah tangga (buah buahan dan sayur – sayuran yang sudah tidak layak konsumsi) (Afifah *et al.*, 2025). Mikroorganisme ini memberikan hara untuk pertumbuhan tumbuhan. Larutan dalam Mol berisi unsur makro dan mikro serta mengandung bakteri yang membantu perombakan bahan organik, mempercepat pertumbuhan, dan agen pengendali hama dan penyakit tumbuhan. Oleh karena itu MOL digunakan sebagai dekomposer dan pupuk hayati atau pestisida organik.

Larutan MOL diperoleh dengan harga yang ekonomis. Bahan pembuatan larutan MOL mudah didapat seperti sayuran, rebung bambu, dan limbah organik lainnya. Gula merah berfungsi sebagai sumber karbohidrat dan glukosa yang diperlukan mikroorganisme untuk tumbuh dan melakukan proses fermentasi dalam pembuatan MOL (Swandi, 2023). Bahan utama yang menjadi penyusun terbentuknya MOL, yaitu: (1) Karbohidrat dari air cucian beras, nasi bekas (basi), singkong, kentang, dan gandum, (2) glukosa dari gula merah, cairan gula dan air kelapa, (3) bakteri yang diperoleh dari keong mas, limbah sayuran, buah–buahan dan bahan yang berpotensi mengandung bakteri (Afifah *et al.*, 2025).

2.7.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Fermentasi

Fermentasi merupakan proses perubahan kimia yang terjadi pada substrat organik melalui enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme yang merupakan senyawa- senyawa organik yang timbul oleh aktivitas mikroorganisme. Mikroba yang biasanya terlibat dalam fermentasi pangan adalah bakteri, *khamir*, dan kapang. Fermentasi memiliki prinsip dasar dalam prosesnya yaitu pengaktifan aktivitas

mikroba dan merubah sifat bahan sehingga menghasilkan produk fermentasi yang bermanfaat (Amanah, 2023). Faktor fermentasi menurut Rizky (2023) adalah:

1. Keasaman (pH): faktor penting yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dan pembentukan produk dalam proses fermentasi, organisme memiliki pH optimum terhadap kondisi lingkungan.
2. Produksi gas (CO_2): indikator bahwa fermentasi itu berlangsung ditandai dengan adanya produksi gas CO_2 pada substrat.
3. Suhu: kenaikan suhu pada substrat menunjukkan bahwa proses fermentasi sedang berlangsung.
4. Konsentrasi bioaktivator: semakin optimal volume bioaktivator, maka semakin cepat dan maksimal proses dekomposisi bahan organik.
5. Waktu fermentasi: Lama fermentasi menentukan kadar nutrisi yang terkandung dan stabilitas produk yang dihasilkan.

Kecukupan nutrisi dalam substrat adalah faktor krusial dalam proses fermentasi, glukosa berfungsi sebagai sumber karbon utama sekaligus penyedia makanan bagi ragi, dan penambahannya berperan untuk memenuhi kebutuhan starter. Melalui proses fermentasi, mikroorganisme memanfaatkan substrat untuk memecah bahan yang dapat dicerna sehingga menghasilkan enzim yang dapat memperbaiki nutrisi, meningkatkan pertumbuhan, dan memperbaiki kemampuan cerna serat kasar, protein, serta nutrisi lainnya (Tandipayuk, 2020).

2.8 Pupuk Organik Cair (POC)

2.8.1 Pengertian Pupuk

Pupuk merupakan bahan yang kaya akan kandungan unsur hara, sehingga sangat berguna dalam mendukung proses pertumbuhan tumbuhan agar berkembang secara maksimal. Untuk pertumbuhannya, dan perkembangan tanaman membutuhkan 13 macam unsur hara esensial makro seperti N, P, K, S, Mg, Ca. Serta unsur hara

esensial mikro seperti Cl, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo) dan kurang lebih 5 unsur hara non-esensial atau fungsional (Na, Co, V, Si, Ni) (Habib *et al.*, 2022).

2.8.2 Pengertian Pupuk Organik

Pupuk organik merupakan pupuk yang berasal dari bahan organik yang bersumber dari tumbuhan maupun hewan. Bahan organik tersebut dapat berupa daun, batang, akar, bunga, buah, kulit, bulu, cangkang, telur, maupun kotoran hewan yang dimanfaatkan sebagai sumber unsur hara bagi tanaman (Habib *et al.*, 2022).

2.8.3 Pengertian Pupuk Organik Cair

Pupuk organik cair merupakan pupuk yang terbuat dari bahan hewani atau nabati yang telah melalui proses fermentasi menjadi bentuk cair dengan kadar bahan kimia maksimal 5%. POC mengandung unsur hara penting, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Kurniawan *et al.*, 2022). Kandungan unsur hara tersebut juga berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah secara aman sehingga hasil pertanian yang diperoleh bebas dari residu bahan kimia berbahaya dan lebih aman untuk dikonsumsi.

Ekstrak sampah organik memiliki nutrisi seperti bakteri, jamur, protozoa, dan nematoda. POC memiliki kandungan kalium yang tinggi. Kandungan tersebut berperan dalam proses metabolisme tumbuhan, terutama pada sintesis asam amino dan protein dari ion amonium (Putri *et al.*, 2025). Pupuk organik cair adalah alternatif yang menarik karena pembuatannya mudah dan tidak memerlukan biaya yang besar dan bisa dihasilkan dengan memanfaatkan bahan limbah, sehingga memberikan keuntungan tersendiri (Sitanggang *et al.*, 2022).

2.8.4 Bahan Baku Pupuk Organik Cair

Bahan baku yang digunakan dalam membuat POC umumnya berasal dari limbah organik yang mudah terurai seperti sisa makanan, limbah sayuran dan buah, air cucian beras, limbah dapur dan berbagai bahan organik lainnya.

1. Air Cucian Beras

Air cucian beras yang dianggap sebagai sampah domestik sejatinya mengandung karbohidrat, nitrogen, fosfor, kalium, magnesium, sulfur, besi,

dan vitamin B1, bermanfaat untuk pertumbuhan tumbuhan (Sifaunajah et al. 2022). Kandungan karbohidrat yang cukup signifikan dalam air cucian beras menjadi substrat yang sangat ideal bagi bakteri asam laktat (BAL), yaitu kelompok bakteri yang mampu memfermentasi gula menjadi asam laktat dengan memanfaatkan karbohidrat sebagai sumber metabolit aktif dalam proses perkembangannya (Sitepu *et al.*, 2021). Penelitian menunjukkan bahwa air cucian beras yang difermentasi setelah tiga hari mengandung dua jenis bakteri menguntungkan yakni *Lactobacillus* spp., dan *Streptococcus* spp., serta mendukung pertumbuhan *Acetobacter xylinum* yang memerlukan karbohidrat sebagai syarat media pertumbuhannya (Sari *et al.*, 2024).

Bakteri asam laktat dalam air cucian beras juga menghasilkan senyawa antibakteri seperti asam laktat, asam asetat, H₂O₂, dan bakteriosin yang mampu menghambat bakteri patogen seperti *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, sehingga keberadaannya sangat mendukung proses fermentasi pupuk organik cair secara optimal (Rosyidah *et al.*, 2023).

2. Air Kelapa

Air kelapa merupakan salah satu limbah bahan alam yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik cair. Mengandung hormon seperti sitokinin 5,8 mg/l, auksin 0,07 mg/l, dan sejumlah kecil giberelin serta senyawa lain yang dapat mendorong proses perkecambahan dan pertumbuhan (Agustina et al. 2024).

3. Gula Merah

Gula merah adalah zat gizi yang penting untuk mikroorganisme dalam proses fermentasi. Gula merah memiliki sukrosa yang menjadi sumber utama mikroorganisme yang berperan sebagai bioaktivator selama proses fermentasi. Tingginya kandungan sukrosa membuat proses fermentasi berjalan lancar dan menghasilkan pupuk organik berkualitas tinggi yang kaya nutrisi (Umami et al. 2024).

Gula merah berfungsi sebagai sumber karbon dan energi yang dimanfaatkan mikroorganisme selama proses fermentasi. Ketersediaan nutrisi tersebut mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme, termasuk bakteri asam laktat (BAL) seperti *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, dan *Acetobacter*. Mikroorganisme ini menggunakan nutrisi yang terkandung dalam gula untuk melakukan fermentasi menjadi alkohol, asam laktat, atau karbon dioksida (Ramadana *et al.*, 2025).

2.8.5 Proses Pembuatan Pupuk Organik Cair

Pembuatan POC berbeda - beda tergantung bahan dan bioaktivator yang digunakan dalam proses Fermentasi (Masrilurrahman *et al.*, 2023)

1. Proses pembuatan pupuk organik cair dari air cucian beras
 - a. Sebanyak 10 liter air cucian beras dicampurkan dengan 100 ml cairan EM4 dan 100 ml pasir cair.
 - b. Campurkan secara merata dan simpan dalam wadah yang kedap udara serta tertutup dengan baik.
 - c. Biarkan selama 7-10 hari, iPOC akan mengeluarkan busa dan aroma khas dan segar sebagai hasil dari proses fermentasi.
 - d. Cairan yang dihasilkan dari proses fermentasi diaduk kembali dan disaring untuk mendapatkan larutan POC dari air cucian beras, selanjutnya larutan POC tersebut siap digunakan pada tumbuhan dengan takaran satu gelas (250 ml) untuk satu liter air.
2. Proses pembuatan pupuk organik cair dari sisa nasi basi
 - a. Gunakan sarung tangan dan bentuk bola dari nasi yang sudah basi dan belum ditumbuhi jamur. Buatlah sekitar 4 hingga 5 bola
 - b. Simpan bola-bola nasi yang sudah tidak segar kedalam wadah dan tutup dengan rapat. Tunggu selama sekitar satu minggu hingga nasi yang basi telah ditumbuhi oleh jamur. Pastikan untuk tidak menempatkan wadah tersebut di bawah sinar matahari

- c. Setelah nasi berwarna kuning kecoklatan, masukkan ke dalam botol air dengan kapasitas 1,5 liter kemudian simpanlah
 - d. Ambil gula pasir dan larutkan dengan air (rasio 1,5 liter: 5 sendok gula pasir). Gula ini akan digunakan sebagai sumber makanan untuk mendukung pertumbuhan jamur
 - e. Tuangkan larutan itu ke dalam botol yang berisi bola nasi yang sudah basi, lalu tutup dengan rapat.
 - f. Tunggulah selama 4 hingga 5 hari. Setelah mengendap, buka botol untuk mengeluarkan gas dari pupuk cair yang terdapat di dalamnya
 - g. Tutup kembali botol tersebut dan kocok agar nasi basi serta larutan gula tercampur dengan baik. Langkah ini dapat dilakukan dengan botol yang tertutup atau dengan mencampur menggunakan sebuah tongkat.
 - h. Tempatkan botol di area yang tidak terkena sinar matahari hingga pupuk organik cair beraroma tape yang difermentasi. Setelah tercium aroma, pisahkan ampasnya, dan pupuk organik MOL siap untuk digunakan pada tumbuhan.
3. Proses pembuatan pupuk organik cair dari fermentasi limbah kulit buah-buahan dan sayur-sayuran
- a. Bersihkan dahulu ember yang akan digunakan dengan saringan yang ada di ember
 - b. Limbah kulit buah dan sayur-sayuran dirajang kecil
 - c. Masukkan potongan sayur dan buah yang dirajang kecil kedalam ember
 - d. Selanjutnya air ditambahkan pada ember hingga 3/4 tinggi embernya
 - e. Tambahkan gula pasir sebanyak 5 sdm
 - f. Tambahkan EM4 $\pm$ 3 takar (bisa ditakar menggunakan tutup botolnya), setelah itu diaduk hingga tercampur rata
 - g. Tutup rapat ember kemudian simpan.
 - h. Buka tutup 3 hari sekali untuk pengadukan, tutup ember dibuka agar gas yang terkandung di dalam ember dapat keluar kemudian aduk lagi

- i. Fermentasi selesai pada hari ke-21, pupuk cair sudah boleh digunakan, sebelum digunakan saring ampasnya agar lebih bersih. Jika pupuk cairnya masih terlalukental, bisa ditambahkan air sebelum digunakan.

2.8.6 Manfaat Pupuk Organik Cair Bagi Tumbuhan

Pupuk organik cair memiliki manfaat bagi tumbuhan karena mengandung unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Dalam bentuk cairan terlarut yang lebih mudah diserap oleh tumbuhan, meningkatkan struktur tanah, meningkatkan aktivitas mikroba tanah, serta merangsang pertumbuhan akar dan vegetatif (tunas, *rhizome* atau akar tinggal, ubi) pada tumbuhan. Pupuk organik cair (POC) dapat diaplikasikan melalui penyiraman atau penyemprotan dengan perbandingan sekitar 250 mL POC untuk 1 liter air. Meskipun dibuat dari limbah organik sederhana, POC tetap mengandung unsur hara yang dapat diserap tanaman sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. (Bengkal *et al.*, 2023).

2.8.7 Kelebihan Pupuk Organik Cair dibanding Pupuk Kimia

Pupuk organik cair (POC) memiliki banyak keunggulan yang dihasilkan seperti ramah lingkungan karena terbuat dari bahan alami, dapat meningkatkan kesuburan tanah, dan mudah diserap oleh tumbuhan karena berwujud cair. Selain itu, pupuk organik cair juga lebih ekonomis karena menggunakan bahan yang ada disekitar, dan mampu meningkatkan hasil panen. Penggunaan pupuk organik cair hasil olahan limbah dapur atau limbah alami berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan pupuk kimia. Pupuk organik cair dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk mengurangi biaya produksi karena POC menjadi alternatif pupuk yang murah, alami, dan tidak berbahaya (Setiajaya, *et al.*, 2025).

2.9 Penelitian yang Relevan

Penelitian terdahulu digunakan sebagai bahan kajian untuk mengidentifikasi persamaan, perbedaan, kesenjangan penelitian (*research gap*) yang menjadi dasar pengembangan penelitian ini. Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa

model *Project Based Learning* (PjBL) efektif diterapkan dalam pembelajaran bioteknologi untuk meningkatkan berbagai kompetensi peserta didik. Penelitian yang dilakukan oleh Ayudya (2024) menunjukkan bahwa penerapan PjBL mampu meningkatkan keterampilan berpikir kreatif dan literasi sains peserta didik pada materi bioteknologi. Hasil tersebut diperkuat oleh penelitian Setyaningrum (2025) yang menemukan bahwa PjBL efektif meningkatkan penguasaan konsep bioteknologi serta kemampuan bernalar kritis peserta didik dengan kategori peningkatan sedang hingga tinggi. Selain itu, Noviati (2023) menyebutkan bahwa penerapan PjBL pada materi bioteknologi mampu meningkatkan keterampilan proses sains dan partisipasi aktif peserta didik selama pembelajaran. Temuan serupa juga disampaikan oleh Dinanti (2024) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek dapat meningkatkan keterampilan berpikir kreatif peserta didik pada kategori sedang.

Selain meningkatkan hasil belajar dan keterampilan berpikir, PjBL juga berkontribusi terhadap pengembangan kemampuan metakognitif peserta didik. Penelitian Sastria dkk. (2023) menunjukkan bahwa keterampilan metakognitif memiliki hubungan positif dengan kemampuan peserta didik dalam memecahkan masalah melalui penerapan PjBL. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa aktivitas proyek memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk merencanakan, memantau, dan mengevaluasi proses berpikirnya selama menyelesaikan suatu permasalahan.

Di sisi lain, penerapan PjBL juga mendukung pengembangan kompetensi kewirausahaan. Rahmawati (2024) menemukan bahwa pembelajaran berbasis proyek mampu meningkatkan kreativitas sekaligus kompetensi kewirausahaan peserta didik. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa keterlibatan peserta didik dalam menghasilkan suatu produk dapat menumbuhkan kemampuan mengenali peluang, berinovasi, serta mengembangkan nilai ekonomis dari produk yang dihasilkan.

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa PjBL sesuai diterapkan pada pembelajaran bioteknologi yang memanfaatkan konteks nyata di lingkungan peserta didik. Zaldiana (2024) merekomendasikan penerapan PjBL sebagai model pembelajaran kontekstual pada materi bioteknologi karena mampu menghubungkan

konsep dengan permasalahan yang ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Ayudyaningsih dkk. (2024) yang menunjukkan bahwa aktivitas proyek dapat meningkatkan literasi sains dan kemampuan berpikir kreatif peserta didik secara signifikan. Selain itu, penelitian Setyaningrum dkk. (2025) kembali menegaskan bahwa PjBL efektif dalam mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi melalui keterlibatan aktif peserta didik pada setiap tahapan proyek.

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa PjBL merupakan model pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan penguasaan konsep, keterampilan proses sains, kemampuan berpikir tingkat tinggi, keterampilan metakognitif, dan kompetensi kewirausahaan peserta didik. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penerapan PjBL dalam pembelajaran bioteknologi secara umum. Penelitian yang mengintegrasikan proyek pembuatan pupuk organik cair (POC) berbahan limbah organik dari Program Makan Bergizi Gratis (MBG) sebagai konteks pembelajaran untuk mengembangkan kemampuan metakognitif dan literasi kewirausahaan peserta didik masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kebaruan melalui pemanfaatan permasalahan nyata di lingkungan sekolah sebagai dasar pelaksanaan proyek pembelajaran bioteknologi.

2.10 Kerangka Berpikir

2.10.1 Landasan Pemikiran

Pembelajaran biologi pada abad ke-21 memerlukan lebih dari sekedar penguasaan konsep-konsep teori. Peserta didik diharapkan memiliki keterampilan berpikir tingkat tinggi, di antaranya keterampilan metakognitif, yaitu kemampuan untuk merencanakan, mengomunikasikan, dan menyebarkan proses berpikirnya sendiri dengan sadar dan mandiri (Oktapia, 2023). Keterampilan ini menjadi dasar yang signifikan agar peserta didik bisa menjadi adaptif dan reflektif, tidak hanya di sekolah, tetapi juga dalam kehidupan sehari-hari. Pelaksanaan pembelajaran bioteknologi di SMA memerlukan pendekatan yang mampu mengaitkan konsep ilmiah dengan

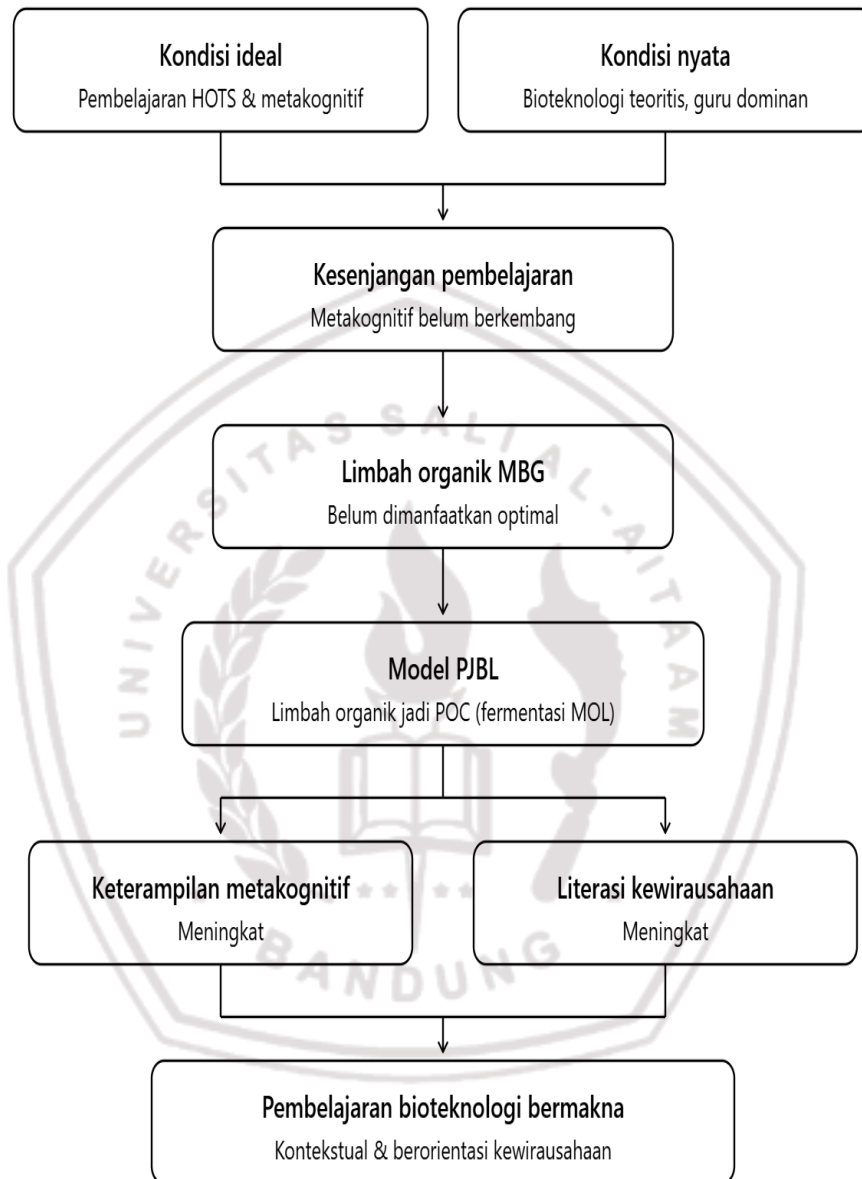
permasalahan nyata sehingga peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang lebih bermakna, masih cenderung bersifat teoritis dan didominasi oleh guru. Akibatnya, peserta didik kurang mendapatkan kesempatan untuk terlibat secara aktif dalam proses belajar yang bermakna, sehingga keterampilan metakognitif mereka tidak berkembang secara maksimal.

Di sisi lain, keberadaan limbah organik di sekolah dari program Makan Bergizi Gratis (MBG) yang belum dimanfaatkan secara optimal sebetulnya menyimpan potensi besar sebagai konteks pembelajaran bioteknologi yang nyata dan berdampak. Limbah organik tersebut dapat diproses menjadi pupuk organik cair (POC) melalui proses fermentasi dengan memanfaatkan Mikroorganisme Lokal (MOL), yang secara langsung relevan dengan sub-materi penggunaan mikroorganisme dalam bioteknologi.

Selain mendukung pemahaman konsep bioteknologi, pemanfaatan limbah organik menjadi pupuk organik cair (POC) juga berpotensi mengembangkan literasi kewirausahaan peserta didik. Melalui kegiatan tersebut, peserta didik tidak hanya belajar menghasilkan produk yang bermanfaat, tetapi juga mengidentifikasi peluang usaha, mengembangkan inovasi produk, mengelola sumber daya yang tersedia di lingkungan sekitar, serta mengomunikasikan nilai produk yang dihasilkan. Dengan demikian, pembelajaran bioteknologi tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga membekali peserta didik dengan kemampuan kewirausahaan yang relevan dengan kehidupan nyata.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan model pembelajaran yang mampu meningkatkan pengalaman belajar yang kontekstual dan relevan dengan kehidupan peserta didik. Sebagai salah satu alternatif yang dirasa mampu meningkatkan aspek tersebut adalah model pembelajaran PJBL yang diimplementasikan dengan pemanfaatan limbah organik sekolah sebagai bahan pembuatan pupuk organik cair melalui proses fermentasi dengan bioaktivator mikroorganisme (Mutiarani *et al.*, 2024).

2.10.2 Bagan Kerangka Berpikir



Gambar 2. 1 Bagan Kerangka Berpikir