

BAB 2 TINJAUAN TEORITIS

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Keterampilan Metakognitif

2.1.1.1 Definisi dan Komponen Keterampilan Metakognitif

Keterampilan metakognitif merupakan fondasi penting dalam proses belajar mandiri dan pemecahan masalah. Secara konseptual, metakognisi pertama kali diperkenalkan oleh Flavell (1979) dan kemudian dikembangkan secara sistematis oleh Schraw & Dennison (1994), yang menjadi landasan bagi studi-studi kontemporer seperti Tuononen *et al.* (2023) dan Fleur *et al.* (2021). Para ahli menunjukkan konsensus kuat bahwa metakognisi terdiri dari dua dimensi fundamental yang saling terkait yaitu Pengetahuan tentang Kognisi dan Regulasi Kognisi.

Dimensi pertama, *Knowledge about Cognition (meta-knowledge)*, merujuk pada kesadaran siswa terhadap strategi belajar yang siswa miliki termasuk pengetahuan deklaratif (apa), prosedural (bagaimana), dan kondisional (kapan) serta pemahaman tentang mengapa strategi tersebut harus digunakan secara efektif. Dimensi kedua, yang dikenal sebagai *Regulation of Cognition (meta-control)*, merupakan mekanisme regulasi diri untuk mengendalikan proses kognitif. Regulasi ini mencakup tiga proses utama yang dikelompokkan oleh Schraw & Dennison (1994), dan Tuononen *et al.* (2023), yaitu Perencanaan (*Planning*), Pemantauan (*Monitoring*), dan Evaluasi (*Evaluation*).

Dalam konteks pembelajaran Biologi, khususnya yang berkaitan dengan pemecahan masalah lingkungan, metakognitif menjadi sangat krusial. Keterampilan ini berfungsi untuk memastikan siswa tidak hanya menghafal konsep tetapi juga secara aktif merencanakan langkah-langkah penelitian, memantau kemajuan proyek, dan mengevaluasi keakuratan data keanekaragaman hayati yang siswa kumpulkan. Oleh karena itu, metakognisi adalah prasyarat fundamental untuk capaian belajar yang kompleks.

2.1.1.2 Urgensi dan Cara Peningkatan Keterampilan Metakognitif

Keterampilan metakognitif memiliki peranan krusial dalam keberhasilan akademik karena berkorelasi erat dengan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kemandirian belajar (Craig *et al.*, 2020; Pandey & Mohan, 2024). Siswa yang menguasai keterampilan metakognitif mampu mengatur strategi belajar secara adaptif, mengenali kesalahan dalam proses belajar, serta melakukan refleksi yang mendalam untuk memperbaiki pemahaman dan hasil belajar siswa (Kusuma & Busyairi, 2024). Oleh karena itu, pengembangan keterampilan metakognitif harus menjadi fokus utama dalam desain pembelajaran.

Model pembelajaran yang menuntut keterlibatan aktif siswa dalam merancang, mengawasi, dan merefleksikan proses belajar, seperti *Project Based Learning* (PjBL), terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan ini (Murisqa *et al.*, 2025). Melalui proses perencanaan proyek, pemantauan kemajuan, dan evaluasi hasil, siswa secara sistematis dilatih untuk mengelola proses berpikir siswa sendiri secara mandiri dan kritis (Prado & Panoy, 2023).

2.1.1.3 Indikator Keterampilan Metakognitif

Pengukuran keterampilan metakognitif secara komprehensif menurut Schraw & Dennison (1994) mencakup dua indikator utama yang yaitu Pengetahuan tentang Kognisi (*Knowledge of Cognition*) dan Regulasi Kognisi (*Regulation of Cognition*). Pengetahuan tentang Kognisi (*Knowledge of Cognition*) adalah pemahaman individu mengenai dirinya sendiri sebagai pelajar. Komponen ini memiliki tiga indikator, yaitu (1) pengetahuan deklaratif (pengetahuan tentang "apa" yang perlu diketahui); (2) pengetahuan prosedural (pengetahuan tentang "bagaimana" cara melakukan suatu hal); dan (3) pengetahuan kondisional (pengetahuan tentang "kapan" dan "mengapa" suatu strategi digunakan).

Sementara itu, Regulasi Kognisi (*Regulation of Cognition*) merujuk pada kemampuan individu untuk mengelola dan mengontrol proses belajarnya secara aktif, yang terdiri dari (1) perencanaan, yaitu kemampuan menetapkan tujuan dan strategi sebelum memulai tugas; (2) manajemen informasi, yaitu cara seseorang mengorganisir dan menyusun informasi yang baru dipelajari; (3) pemantauan adalah proses evaluasi diri secara terus-menerus selama belajar untuk memeriksa

pemahaman dan kemajuan; (4) strategi perbaikan untuk mengatasinya; (5) evaluasi untuk menilai kembali kinerja dan efektivitas metode yang telah digunakan. Indikator-indikator ini menjadi dasar dalam merancang instrumen pengukuran keterampilan metakognitif dan sebagai panduan dalam mengembangkan Model pembelajaran yang efektif.

Pengukuran MAI menggunakan skala nominal, di mana skor 1 diberikan untuk jawaban "benar" dan 0 untuk jawaban "salah" pada setiap butir. Analisis terhadap tingkat metakognitif ini bertujuan untuk mengukur peningkatan kemampuan berpikir siswa sekaligus menilai tingkat pemberdayaan kognitif siswa yang dihasilkan dari penerapan Model *Project Based Learning* (PjBL) berbantuan *iNaturalist*.

2.1.1.4 Pemberdayaan Keterampilan Metakognitif dalam Pembelajaran Biologi

Pemberdayaan kognitif dalam penelitian ini didefinisikan sebagai pengembangan otonomi belajar dan kemampuan *self-regulation* siswa, yang secara langsung diukur melalui dimensi-dimensi MAI. Peningkatan yang Signifikan pada dimensi-dimensi ini akan menjadi bukti empiris terjadinya pemberdayaan sebagai berikut:

- 1) Dimensi Pengetahuan Kognisi (*Knowledge of Cognition*): Peningkatan pada dimensi ini menunjukkan siswa diberdayakan untuk menyadari dan memahami strategi belajar mana yang paling efektif untuk proyek biodiversitas. Siswa menjadi tahu (sadar) bagaimana strategi pengumpulan data menggunakan *iNaturalist* (teknologi *citizen science*) membantu siswa dalam identifikasi organisme.
- 2) Dimensi Regulasi Kognisi (*Regulation of Cognition*): Peningkatan pada dimensi ini membuktikan siswa telah diberdayakan untuk menjadi pembelajar otonom (*self-regulated learners*). Siswa mampu merencanakan langkah-langkah proyek secara mandiri, memantau akurasi data yang siswa unggah, dan mengevaluasi keberhasilan strategi siswa tanpa bergantung penuh pada intervensi guru.

2.1.2 Literasi Biodiversitas

2.1.2.1 Definisi dan Ruang Lingkup Literasi Biodiversitas

Literasi biodiversitas didefinisikan secara komprehensif sebagai kemampuan individu untuk memahami, mengapresiasi, dan bertindak secara bertanggung jawab terhadap keanekaragaman hayati di lingkungan sekitarnya (Hiola *et al.*, 2023; Khush, 2023). Konsep ini menekankan bahwa pemahaman tentang keanekaragaman hayati melampaui sekadar pengetahuan faktual, tetapi merupakan prasyarat untuk pengambilan keputusan yang bertanggung jawab. Literasi ini mencakup kemampuan untuk mengenali, memahami, dan menghargai keanekaragaman hayati, yang berperan penting dalam meningkatkan kesadaran, apresiasi, dan partisipasi dalam kegiatan konservasi.

Lebih lanjut, literasi biodiversitas melibatkan tiga dimensi utama yaitu pengetahuan, sikap/apresiasi, dan keterampilan bertindak. Studi menunjukkan bahwa literasi ini melibatkan kemampuan membangun makna, nilai, dan perilaku melalui komunikasi, narasi, dan pengalaman sehari-hari, serta meliputi pemahaman mendalam mengenai isu-isu konservasi dan interaksi ekologis (Fajri *et al.*, 2024; Fish *et al.*, 2024; Katili *et al.*, 2021). Dimensi keterampilan menjadi sangat penting, di mana siswa harus mampu melakukan observasi, identifikasi, dan dokumentasi keanekaragaman hayati secara sistematis di lapangan. Pengetahuan dan persepsi yang kuat tentang biodiversitaslah yang terbukti mendorong keterlibatan dan perilaku pelestarian yang berkelanjutan (Breitschopf & Bråthen, 2023).

Literasi biodiversitas merupakan hasil akhir yang diharapkan dalam pembelajaran biologi abad ke-21, terutama mengingat krisis keanekaragaman hayati yang masif dan menuntut populasi yang literat (Fajri *et al.*, 2024). Literasi ini penting untuk membentuk sikap dan tindakan nyata dalam pelestarian lingkungan. Dalam penelitian ini, Literasi Biodiversitas dipandang sebagai hasil akhir yang dioptimalkan melalui pengalaman belajar otentik. Oleh karena itu, pendekatan Model *Project Based Learning* (PjBL) yang diintegrasikan dengan aplikasi *iNaturalist* dipilih karena secara eksplisit mendukung pengembangan dimensi pengetahuan, apresiasi, dan keterampilan observasi-identifikasi keanekaragaman hayati.

2.1.2.2 Kondisi dan Urgensi Literasi Biodiversitas

Tingkat literasi biodiversitas di kalangan pelajar saat ini masih sangat rendah dan cenderung terbatas pada pengenalan spesies secara dangkal tanpa pemahaman yang komprehensif tentang peran ekosistem dan aspek genetika yang mendasari keanekaragaman hayati (Barrutia *et al.*, 2023; Fajri *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2025). Kondisi ini sangat memprihatinkan mengingat literasi biodiversitas yang baik merupakan prasyarat penting dalam membentuk kesadaran ekologis dan perilaku pelestarian lingkungan yang efektif (Fajri *et al.*, 2024; Richardson *et al.*, 2020). Pengetahuan yang mendalam dan sikap yang positif terhadap keanekaragaman hayati dapat meningkatkan kesadaran akan dampak tindakan manusia terhadap alam dan mendorong partisipasi aktif dalam konservasi (Fornara *et al.*, 2020). Oleh karena itu, peningkatan literasi biodiversitas menjadi salah satu fokus utama dalam pendidikan Biologi yang harus diupayakan melalui pendekatan pembelajaran yang inovatif dan kontekstual.

2.1.2.3 Indikator Literasi Biodiversitas

Pengukuran literasi biodiversitas secara menyeluruh, indikator dari Katili *et al.* (2021) dapat menjadi acuan dengan beberapa indikator, yaitu (1) Kemampuan Mendefinisikan Biodiversitas dan Pemanfaatannya; (2) Kemampuan Mendefinisikan Biodiversitas Tingkat Gen, Spesies, dan Ekosistem; (3) Kemampuan Menguraikan Hilangnya Keanekaragaman Hayati dan Faktor Penyebabnya; (4) Kemampuan Memahami Prinsip-prinsip Pelestarian Biodiversitas; (5) Kemampuan Membedakan Upaya Konservasi Biodiversitas; dan (6) Kemampuan Mengomunikasikan dan Membuat Solusi dari Berbagai Masalah yang Berhubungan dengan Biodiversitas. Indikator-indikator ini penting untuk dijadikan dasar dalam pengembangan materi pembelajaran dan evaluasi literasi biodiversitas siswa secara holistik.

Instrumen ini berupa tes pilihan ganda yang terdiri dari 36 soal. Sistem penilaian yang digunakan adalah pemberian skor 1 untuk setiap jawaban yang benar dan skor 0 untuk jawaban yang salah. Meskipun skor per butir soal termasuk dalam skala nominal (benar/salah), total skor akhir yang diperoleh siswa dari keseluruhan tes diperlakukan sebagai data interval.

Analisis kategorisasi ini digunakan untuk menilai tingkat Pemberdayaan Lingkungan Siswa yang dihasilkan dari perlakuan Model *Project Based Learning* (PjBL) berbantuan *iNaturalist*. Pemberdayaan lingkungan di sini didefinisikan sebagai pengembangan kompetensi dan rasa tanggung jawab siswa untuk bertindak sebagai warga negara yang aktif dan kompeten dalam isu konservasi dan keanekaragaman hayati.

2.1.2.4 Pemberdayaan Literasi Biodiversitas dalam Pembelajaran Biologi

Peningkatan literasi biodiversitas, terutama pergeseran dari kategori Rendah/Sangat Rendah ke Sedang/Tinggi, adalah bukti nyata terjadinya pemberdayaan melalui tiga aspek sebagai berikut.

- 1) Pemberdayaan Pengetahuan dan Keterampilan: literasi biodiversitas yang tinggi mencerminkan penguasaan siswa terhadap konten keanekaragaman hayati dan keterampilan nyata (observasi, identifikasi, dan dokumentasi). Penggunaan *iNaturalist* dalam proyek secara langsung memberdayakan siswa dengan alat dan *platform* yang dibutuhkan untuk memetakan dan mengidentifikasi kekayaan ekologis di lingkungan sekitar siswa.
- 2) Pemberdayaan Aksi dan Keputusan: Inti dari literasi adalah kemampuan untuk bertindak. Siswa dengan literasi biodiversitas yang baik diberdayakan untuk mengambil keputusan lingkungan yang bertanggung jawab dan terlibat dalam upaya konservasi lokal. Siswa tidak hanya tahu tentang krisis keanekaragaman hayati (kognitif), tetapi juga mampu menggunakan data otentik yang siswa kumpulkan (aksi) untuk mengadvokasi pelestarian.
- 3) Peningkatan Rasa Kepemilikan: Keterlibatan dalam proyek nyata menggunakan *iNaturalist* meningkatkan koneksi emosional siswa dengan ekosistem lokal. Peningkatan literasi biodiversitas menunjukkan siswa merasa diberdayakan untuk menjadi bagian dari solusi krisis keanekaragaman hayati di Indonesia, sebagai negara *megabiodiversity*.

2.1.3 Integrasi Model *Project Based Learning* (PjBL) dan *iNaturalist*

2.1.3.1 Model *Project Based Learning* (PjBL)

Model *Project Based Learning* (PjBL) adalah model pembelajaran yang berakar pada teori konstruktivisme progresif Dewey, yang menekankan

pembelajaran melalui pengalaman langsung dan pemecahan masalah kontekstual (Chen, 2025). *Project Based Learning* (PjBL) menuntut siswa untuk terlibat secara aktif dalam proyek nyata yang relevan dengan kehidupan sehari-hari, sehingga pembelajaran menjadi bermakna dan aplikatif (Fitri *et al.*, 2024). Sintaks *Project Based Learning* (PjBL) dari The George Lucas Educational Foundation (2005) terdiri dari beberapa tahap sistematis yang saling terkait, yaitu: (1) *Start with the Essential Question* (Penentuan Pertanyaan Mendasar); (2) *Design a Plan for the Project* (Merancang Perencanaan Proyek); (3) *Create a Schedule* (Menyusun Jadwal); (4) *Monitor the Students and the Progress of the Project* (Melaksanakan Proyek dan Monitoring); (5) *Assess the Outcome* (Menilai Hasil Proyek); (6) *Evaluate the Experience* (Evaluasi Pengalaman Belajar). Melalui sintaks ini, *Project Based Learning* (PjBL) secara sistematis melatih keterampilan metakognitif siswa, khususnya dalam perencanaan, pemantauan, dan evaluasi proses belajar siswa sendiri (Payoungkiattikun *et al.*, 2025). Selain itu, *Project Based Learning* (PjBL) juga meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kemandirian belajar karena siswa bertanggung jawab penuh atas proyek yang siswa kerjakan.

Meskipun model *Project Based Learning* (PjBL) memiliki banyak keunggulan, model *Project Based Learning* (PjBL) konvensional memiliki beberapa kelemahan dalam praktiknya, terutama dalam konteks proyek berbasis data *real-world*. Kelemahan tersebut antara lain adalah risiko mengalami kelemahan dalam kontrol alur proyek dan kurangnya relevansi *real-time* atau otentisitas data. Kekurangan ini menjadi krusial dalam pembelajaran biologi yang menuntut otentisitas data keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, diperlukan intervensi teknologi, seperti integrasi aplikasi *iNaturalist*, untuk mengatasi kelemahan tersebut dan mengoptimalkan dampak model *Project Based Learning* (PjBL).

2.1.3.2 Aplikasi *iNaturalist* dan Prosedur Penggunaanya

iNaturalist adalah *platform citizen science* yang berfungsi sebagai jejaring sosial global bagi para pengguna untuk berbagi informasi dan data keanekaragaman hayati secara *real-time* (Ipin *et al.*, 2023). Integrasi *iNaturalist* dalam pembelajaran

memungkinkan siswa untuk menerapkan *Project Based Learning* (PjBL) dalam konteks yang autentik dan nyata, di mana siswa dapat melakukan observasi langsung terhadap spesies di lingkungan sekitar, mendokumentasikan temuan, serta berinteraksi dengan komunitas ilmiah dan pengguna lain secara *online* (Hitchcock *et al.*, 2021; Ipin *et al.*, 2023; Niemiller *et al.*, 2021).

Penggunaan *iNaturalist* tidak hanya meningkatkan literasi biodiversitas siswa melalui pengalaman langsung dalam klasifikasi, identifikasi, dan analisis data, tetapi juga memperkuat keterampilan metakognitif melalui proses refleksi dan evaluasi yang terjadi selama interaksi di *platform* tersebut (Herodotou *et al.*, 2024). Dengan demikian, *iNaturalist* menjadi media yang efektif untuk menghubungkan pembelajaran di kelas dengan dunia nyata, sekaligus memfasilitasi kolaborasi dan komunikasi ilmiah yang autentik.

Secara keseluruhan, integrasi *Project Based Learning* (PjBL) dan *iNaturalist* menciptakan pengalaman belajar yang holistik, otentik, dan aplikatif, yang sejalan dengan prinsip Dewey bahwa pembelajaran harus kontekstual dan berorientasi pada pemecahan masalah nyata. Pendekatan ini diyakini mampu meningkatkan motivasi, keterampilan metakognitif, dan literasi biodiversitas siswa secara simultan (Dominici, 2023).

Pelaksanaan proyek pada penelitian ini menggunakan beberapa fitur-fitur *iNaturalist* yang umum digunakan dalam proses mengidentifikasi berbagai spesies. Prosedur Penggunaan Fitur *iNaturalist* tersebut adalah sebagai berikut.

1) Unggah Pengamatan (Observasi)

Prosedur pendokumentasian temuan biodiversitas dilakukan dengan memanfaatkan fitur unggah pada aplikasi *iNaturalist*. Langkah-langkah sistematis dalam proses pengamatan tersebut disajikan pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Tahapan Unggah Pengamatan *iNaturalist*

Sumber: Tangkapan Layar Peneliti (*iNaturalist*, 24 September 2025)

Gambar 2.1 merupakan tahapan pengunggahan pengamatan. Proses pendokumentasian diawali dengan membuka aplikasi *iNaturalist* dan menekan ikon kamera pada menu utama. Pengguna diberikan opsi untuk mengambil foto secara langsung melalui kamera perangkat atau memilih media yang telah tersimpan dalam perpustakaan foto. Setelah media terpilih, aplikasi *iNaturalist* secara otomatis mencatat data waktu serta koordinat lokasi pengamatan secara presisi. Pengguna juga dapat melengkapi informasi pengamatan dengan menambahkan deskripsi tambahan pada kolom catatan yang tersedia. Langkah akhir dari prosedur ini adalah menekan tombol bagikan untuk mengunggah dan mempublikasikan data pengamatan ke dalam basis data komunitas *iNaturalist*.

2) Identifikasi Otomatis (*Computer Vision*)

Setelah data awal terunggah, aplikasi *iNaturalist* akan memproses identifikasi terhadap organisme yang diamati. Tahapan identifikasi spesies melalui fitur saran otomatis tersebut disajikan pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Tahapan Identifikasi Otomatis *iNaturalist*

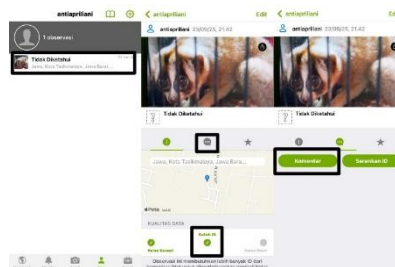
Sumber: Tangkapan Layar Peneliti (*iNaturalist*, 24 September 2025)

Gambar 2.2 merupakan tahapan identifikasi otomatis *iNaturalist*. Fitur identifikasi pada *iNaturalist* diaktifkan dengan menekan kolom "Apa yang Anda lihat?" yang memicu sistem untuk memberikan daftar saran spesies

berdasarkan kemiripan visual dan data lokasi pengamatan. Pengguna dapat meninjau detail setiap spesies yang disarankan dengan menekan ikon informasi pada daftar tersebut, yang akan menampilkan deskripsi taksonomi serta profil singkat mengenai karakteristik organisme terkait. Setelah melakukan verifikasi, pengguna dapat memilih takson yang paling akurat dari daftar saran yang disediakan untuk melengkapi data observasi. Proses ini membantu pengguna dalam mengenali biodiversitas di lingkungan sekitar melalui integrasi basis data komunitas *iNaturalist* yang komprehensif.

3) Interaksi dengan Komunitas

Setelah data observasi terunggah, proses validasi dilakukan melalui interaksi dengan komunitas global untuk memastikan akurasi identifikasi taksonomi. Mekanisme interaksi dan validasi data tersebut disajikan pada Gambar 2.3 berikut.



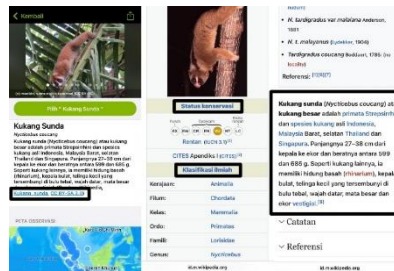
Gambar 2.3 Tahapan Interaksi dengan Komunitas *iNaturalist*

Sumber: Tangkapan Layar Peneliti (*iNaturalist*, 24 September 2025)

Gambar 2.3 merupakan tahapan interaksi dengan komunitas. Validasi data pada *iNaturalist* melibatkan peran aktif komunitas dalam meninjau dan mengonfirmasi temuan yang diunggah oleh pengguna. Setelah pengamatan terbuka, peneliti dapat memantau status identifikasi pada bagian "Identifikasi Komunitas" untuk melihat kontribusi dari pengguna lain. Pengguna memiliki fleksibilitas untuk berinteraksi langsung dengan anggota komunitas melalui fitur komentar dengan menekan ikon *bubble* guna menanyakan informasi lebih lanjut atau menanggapi masukan terkait identifikasi spesies. Sistem kolaboratif ini memastikan setiap data yang terkumpul mendapatkan verifikasi yang kredibel, sehingga meningkatkan kualitas data observasi menjadi lebih akurat sesuai standar riset biodiversitas.

4) Mencari Informasi Taksonomi

Setelah memperoleh saran identifikasi yang tepat, peneliti dapat mengakses data komprehensif mengenai spesies tersebut untuk mendukung kebutuhan proyek. Prosedur akses informasi taksonomi dan profil spesies disajikan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Tahapan Mencari Informasi Taksonomi

Sumber: Tangkapan Layar Peneliti (*iNaturalist*, 24 September 2025)

Gambar 2.4 merupakan tahapan mencari informasi taksonomi. Untuk mendapatkan informasi mendalam, peneliti dapat menekan nama spesies pada daftar saran, yang akan mengarahkan pengguna ke halaman profil spesies secara spesifik. Halaman ini menyediakan data taksonomi lengkap mulai dari *kingdom* hingga spesies, serta deskripsi karakteristik fisik dan biologis organisme tersebut pada bagian "Tentang" (*About*). Selain itu, *iNaturalist* juga menyajikan data krusial terkait status konservasi yang merujuk pada standar *IUCN Red List*, sehingga pengguna dapat memahami tingkat keterancaman spesies tersebut di alam liar. Aksesibilitas data yang terintegrasi ini memudahkan peneliti dalam melakukan analisis berbasis literatur sekaligus observasi langsung.

2.1.3.3 Prototyping Model Project Based Learning (PjBL) terintegrasi Aplikasi *iNaturalist*

Menurut Pantiwati *et al.* (2023) Model *Project Based Learning* (PjBL) diakui mampu meningkatkan keterampilan metakognitif, berpikir kritis, dan kemandirian siswa. Namun, *Project Based Learning* (PjBL) konvensional memiliki kelemahan praktis seperti kebutuhan waktu yang lama, serta risiko kurangnya otentisitas data dan relevansi *real-time*. Dalam mengatasi kelemahan tersebut, penelitian ini memadukan sintaks *Project Based Learning* (PjBL) dengan

mengintegrasikan aplikasi *iNaturalist* sebagai teknologi *citizen science*. Integrasi ini menciptakan sinergi komplementer, dimana *iNaturalist* menutup kelemahan *Project Based Learning* (PjBL) dengan menjamin otentisitas data dan validasi ilmiah (melalui basis data global), sekaligus menawarkan efisiensi waktu dan kerangka kerja observasi terstruktur (Aristeidou *et al.*, 2021; Hitchcock *et al.*, 2021; Stevenson *et al.*, 2021). Model *Project Based Learning* (PjBL) memastikan data otentik dari *iNaturalist* diolah lebih lanjut, bukan sekadar dikumpulkan, sehingga mendorong perencanaan metakognitif dan berpikir kritis siswa untuk mencapai pemecahan masalah yang komprehensif.

Adapun sintak Modul *Project Based Learning* (PjBL) yang dipadukan dengan aplikasi *iNaturalist* dalam proses pembelajaran adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 *Prototyping Model Project Based Learning (PjBL) Terintegrasi Aplikasi iNaturalist*

Tahapan Sintaks <i>Project Based Learning</i> (PjBL)	Aktivitas Siswa
<i>Start with the Essential Question</i> (Penentuan Pertanyaan Mendasar)	Menganalisis masalah hilangnya keanekaragaman hayati yang disampaikan guru. Merumuskan pertanyaan mendasar (<i>Driving Question</i>) proyek yang spesifik mengenai identifikasi hayati di lingkungan sekolah dan analisis statusnya.
<i>Design a Plan for the Project</i> (Merancang Perencanaan Proyek)	Berdiskusi dalam kelompok untuk menyusun rencana proyek secara detail. Menentukan pembagian tugas (riset, dokumentasi, identifikasi <i>iNaturalist</i> , pencatatan) dan menetapkan standar fotografi sesuai acuan <i>iNaturalist</i> .
<i>Create a Schedule</i> (Menyusun Jadwal)	Menyusun jadwal kerja kolaboratif yang realistis. Menentukan tenggat waktu untuk observasi lapangan dan alokasi waktu khusus untuk proses digitalisasi/unggahan data.

Tahapan Sintaks <i>Project Based Learning (PjBL)</i>	Aktivitas Siswa
<i>Monitor the Students and the Progress of the Project</i> (Memantau Siswa dan Kemajuan Proyek)	Bergerak ke area observasi yang telah direncanakan (lapangan). Melakukan observasi, menggunakan aplikasi <i>iNaturalist</i> untuk mengambil foto, sistem GPS, dan mencatat saran identifikasi dari <i>iNaturalist</i> ke dalam Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD). Guru memonitor (sebagai mentor) kemajuan proyek dan kualitas data yang terkumpul.
<i>Assess the Outcome</i> (Menilai Hasil)	Siswa memproses data (verifikasi mandiri terhadap saran dari <i>iNaturalist</i> dan literatur) dan menentukan identifikasi final agar bisa dikomunikasikan dengan mempresentasikan hasil temuan. Guru menilai laporan dan presentasi lisan temuan lapangan, termasuk penggunaan tata nama binomial dan klasifikasi organisme, dengan bukti foto dari <i>iNaturalist</i> .
<i>Evaluate the Experience</i> (Evaluasi Pengalaman Belajar)	Melakukan refleksi mendalam terhadap proses kerja (metakognitif) dan temuan yang didapatkan. Menganalisis upaya pelestarian (<i>In situ</i> atau <i>Ex situ</i>) yang relevan dengan temuan. Menyampaikan <i>lesson learned</i> mengenai proses kerja dan strategi belajar yang telah dilakukan.

2.1.3.4 Pemberdayaan Keterampilan Metakognitif dan Literasi Biodiversitas

Pemberdayaan variabel terikat, yaitu Keterampilan Metakognitif dan Literasi Biodiversitas, merupakan inti dari desain pembelajaran dalam penelitian ini. Pemberdayaan diartikan sebagai proses pemberian kemampuan, otoritas, dan tanggung jawab kepada siswa untuk secara aktif mengelola proses kognitif dan meningkatkan kesadaran ekologis siswa. Keterampilan metakognitif diberdayakan melalui model pembelajaran yang menuntut otonomi dan refleksi diri, di mana siswa didorong untuk menguasai proses perencanaan, pemantauan, dan evaluasi

(Schraw & Dennison, 1994). Model *Project Based Learning* (PjBL) secara inheren menyediakan kerangka kerja ini, memaksa siswa untuk secara mandiri mengambil keputusan strategis proyek, yang merupakan inti dari regulasi kognisi (Prado *et al.*, 2023). Pemberdayaan ini semakin dikuatkan oleh interaksi dengan *iNaturalist*, karena *platform* ini menuntut siswa untuk melakukan validasi mandiri dan refleksi atas identifikasi spesies, sehingga secara sistematis melatih fungsi-fungsi metakognitif.

Literasi biodiversitas diberdayakan melalui pembelajaran autentik dan kontekstual yang menghubungkan teori kelas dengan praktik lingkungan nyata. Rendahnya literasi biodiversitas yang sebelumnya disebabkan oleh pembelajaran berbasis hafalan (Barrutia *et al.*, 2023) diatasi dengan memberikan pengalaman langsung. Penggunaan *iNaturalist* dalam sintaks Model *Project Based Learning* (PjBL) memungkinkan siswa tidak hanya mendefinisikan konsep, tetapi juga mengomunikasikan dan membuat solusi terhadap masalah biodiversitas di lingkungan siswa, yang merupakan indikator tertinggi literasi biodiversitas (Katili *et al.*, 2021). Dengan demikian, pendekatan inovatif ini berfungsi sebagai mekanisme pemberdayaan ganda: memberdayakan keterampilan metakognitif melalui manajemen proyek mandiri dan memberdayakan literasi biodiversitas melalui keterlibatan *citizen science* yang autentik dan aplikatif (Dominici, 2023).

2.1.4 Teknologi dalam Pembelajaran Biologi

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan revolusioner dalam metode pembelajaran, khususnya dalam bidang Biologi. Penggunaan teknologi seperti aplikasi *mobile*, *platform citizen science*, dan media interaktif memungkinkan siswa untuk belajar secara lebih aktif, kontekstual, dan kolaboratif (Nofamataro Zebua, 2025). Teknologi ini tidak hanya menyediakan akses ke sumber belajar yang lebih luas dan beragam, tetapi juga memfasilitasi pengumpulan data lapangan secara *real-time*, kolaborasi antar siswa, serta refleksi yang lebih mendalam terhadap proses belajar (Nurdin *et al.*, 2025).

Aplikasi *citizen science* seperti *iNaturalist* dalam konteks pembelajaran keanekaragaman hayati, memberikan kesempatan bagi siswa untuk berpartisipasi langsung dalam pengamatan dan dokumentasi spesies di lingkungan sekitar siswa.

Hal ini meningkatkan keterlibatan dan motivasi belajar secara signifikan, sekaligus memperkuat literasi biodiversitas melalui pengalaman autentik yang menghubungkan teori dengan praktik nyata (Hitchcock *et al.*, 2021). Selain itu, integrasi teknologi dalam pembelajaran juga mendukung pengembangan keterampilan metakognitif, karena siswa didorong untuk merencanakan, memantau, dan mengevaluasi aktivitas belajar siswa secara mandiri melalui *platform* digital yang interaktif dan kolaboratif (Herodotou *et al.*, 2024).

Akan tetapi, penggunaan teknologi juga menghadirkan tantangan yang tidak dapat diabaikan, seperti kebutuhan akan pelatihan guru yang memadai, ketersediaan perangkat teknologi yang memadai, serta kesiapan dan literasi digital siswa dalam menggunakan teknologi secara efektif (Farhana *et al.*, 2024; Nofamataro Zebua, 2025). Oleh karena itu, integrasi teknologi harus dirancang secara sistematis dan didukung oleh model pembelajaran yang tepat agar dapat memberikan dampak positif yang maksimal dan berkelanjutan.

2.1.5 Deskripsi Materi Keanekaragaman Hayati dan Klasifikasi Makhluk Hidup

2.1.5.1 Tingkat Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati (*biodiversity*) adalah variasi makhluk hidup yang mencakup keanekaragaman gen, jenis, dan ekosistem dalam suatu wilayah. Keanekaragaman hayati menjadi salah satu kajian penting dalam biologi karena menunjukkan kekayaan makhluk hidup yang ada di bumi (Urry *et al.*, 2021). Menurut UU No. 5 Tahun 1994, keanekaragaman hayati merupakan keanekaragaman di antara makhluk hidup dari semua sumber, di antaranya daratan, lautan, dan ekosistem akuatik (perairan) lain, serta kompleks-kompleks ekologi yang merupakan bagian dari keanekaragamannya, mencakup keanekaragaman dalam spesies, antara spesies dengan ekosistem

Keanekaragaman hayati tidak hanya menunjukkan banyaknya makhluk hidup yang ada di suatu wilayah, tetapi juga mencerminkan hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Keanekaragaman ini berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan membantu makhluk hidup beradaptasi terhadap perubahan lingkungan (Reece *et al.*, 2012). Kajian keanekaragaman hayati

berkaitan erat dengan ilmu ekologi, yaitu ilmu yang mempelajari hubungan antara organisme dengan lingkungannya. Berdasarkan tingkat organisasinya, keanekaragaman hayati dibedakan menjadi keanekaragaman gen, keanekaragaman jenis, dan keanekaragaman ekosistem (Smith & Smith, 2015).

1) Keanekaragaman Gen (*Genetic Diversity*)

Keanekaragaman gen merupakan variasi gen yang terdapat dalam satu spesies atau populasi. Perbedaan susunan gen pada setiap individu menyebabkan munculnya berbagai karakteristik yang berbeda, meskipun masih termasuk dalam spesies yang sama. Keanekaragaman genetik dapat terjadi karena mutasi, rekombinasi gen selama reproduksi, dan perpindahan gen antarpopulasi. Populasi dengan keanekaragaman genetik tinggi memiliki kapasitas adaptasi yang lebih besar terhadap perubahan lingkungan, sementara populasi dengan variasi rendah cenderung rentan terhadap penyakit dan tekanan lingkungan (Reece *et al.*, 2012). Keanekaragaman genetik penting karena membantu organisme bertahan hidup dan beradaptasi. Jika variasi genetik berkurang, kemampuan suatu spesies untuk menghadapi perubahan lingkungan juga dapat menurun.

Keanekaragaman gen dapat ditemukan pada berbagai varietas tanaman, seperti mangga (*Mangifera indica*), padi (*Oryza sativa*), dan jagung (*Zea mays*). Perbedaan warna, ukuran, bentuk, rasa, maupun ketahanan terhadap hama menunjukkan adanya variasi gen dalam satu spesies. Berikut contoh dari keanekaragaman hayati tingkat gen pada tanaman jagung (*Zea mays*).



Gambar 2.5 Keanekaragaman Hayati Tingkat Gen
pada Jagung (*Zea mays*)

Sumber: Jiang *et al.* (2023)

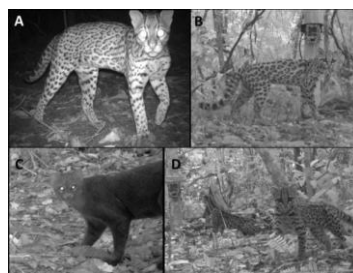
Gambar 2.5 menunjukkan keanekaragaman hayati tingkat gen pada tanaman jagung (*Zea mays*). Variasi yang terlihat pada gambar berupa perbedaan warna biji, mulai dari putih, kuning, merah keunguan, hingga ungu kehitaman.

Meskipun seluruh sampel merupakan spesies yang sama, yaitu *Zea mays*, perbedaan warna tersebut menunjukkan adanya variasi genetik antarvarietas. Variasi genetik menyebabkan munculnya karakteristik yang berbeda pada setiap varietas, termasuk warna biji yang dihasilkan.

2) Keanekaragaman Jenis (*Species Diversity*)

Keanekaragaman jenis merupakan variasi berbagai spesies yang hidup dalam suatu wilayah atau komunitas. Semakin banyak jenis makhluk hidup yang ditemukan di suatu wilayah, semakin tinggi tingkat keanekaragaman jenisnya (Urry *et al.*, 2021). Keanekaragaman jenis lebih mudah diamati dibandingkan keanekaragaman gen. Di lingkungan sekitar, seperti taman atau kebun, dapat ditemukan berbagai jenis tumbuhan dan hewan yang berbeda. Setiap spesies memiliki ciri khas yang membedakannya dari spesies lain. (Smith & Smith, 2015).

Keanekaragaman jenis dapat diamati pada kelompok organisme yang masih memiliki hubungan kekerabatan dekat, tetapi berbeda spesies. Contohnya adalah famili Palmae yang terdiri atas kelapa (*Cocos nucifera*), pinang (*Areca catechu*), aren (*Arenga pinnata*), dan kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). Meskipun memiliki beberapa kesamaan, masing-masing merupakan spesies yang berbeda. Berikut contoh dari keanekaragaman hayati tingkat spesies pada famili *Felidae* (kucing-kucingan).



Gambar 2.6 Keanekaragaman hayati tingkat jenis pada famili Felidae

a) ocelot *Leopardus pardalis*; b) margay *Leopardus wiedii*; c) jaguarundi *Herpailurus yagouaroundi*; d) oncatilla *Leopardus tigrinus*

Sumber:Schimtz (2007)

Gambar 2.6 menunjukkan keanekaragaman hayati tingkat jenis pada famili Felidae. Gambar tersebut menampilkan beberapa spesies kucing liar yang berbeda, yaitu ocelot (*Leopardus pardalis*), margay (*Leopardus wiedii*), jaguarundi

(*Herpailurus yagouaroundi*), dan onchilla (*Leopardus tigrinus*). Meskipun termasuk dalam famili yang sama, setiap spesies memiliki ciri morfologi dan genetik yang berbeda. Hal ini menunjukkan adanya keanekaragaman pada tingkat jenis.

3) Keanekaragaman Ekosistem (*Ecosystem Diversity*)

Keanekaragaman ekosistem merupakan variasi berbagai ekosistem yang terdapat dalam suatu wilayah. Keanekaragaman ini terbentuk karena adanya perbedaan kondisi lingkungan, seperti suhu, curah hujan, kelembapan, dan jenis tanah (Urry *et al.*, 2021). Ekosistem adalah hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungan tempat hidupnya. Perbedaan kondisi lingkungan menyebabkan terbentuknya berbagai jenis ekosistem, seperti hutan hujan tropis, padang rumput, danau, sungai, terumbu karang, dan laut (Smith & Smith, 2015).

Keanekaragaman ekosistem sangat penting karena membantu menjaga keseimbangan lingkungan dan mendukung kehidupan berbagai makhluk hidup. Setiap ekosistem memiliki karakteristik yang berbeda sehingga menjadi habitat bagi organisme yang berbeda pula. Keanekaragaman ekosistem dapat diamati pada berbagai habitat, seperti hutan, terumbu karang, padang lamun, estuari, danau, sawah, dan padang rumput. Setiap ekosistem memiliki komponen biotik dan abiotik yang khas sehingga membentuk komunitas makhluk hidup yang berbeda. Salah satu contoh keanekaragaman hayati tingkat ekosistem adalah ekosistem terumbu karang pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Keanekaragaman Hayati Tingkat Ekosistem Pada Ekosistem Terumbu Karang

Sumber: Reece *et al.*(2012)

Gambar 2.7 menunjukkan ekosistem terumbu karang yang memiliki keanekaragaman organisme yang tinggi. Pada ekosistem ini terdapat berbagai jenis karang, ikan, alga, dan hewan laut lainnya yang hidup bersama dan berinteraksi

dengan lingkungan sekitarnya. Perbedaan komponen biotik dan abiotik tersebut menjadikan terumbu karang memiliki karakteristik yang berbeda dari ekosistem lainnya.

2.1.5.2 Manfaat Keanekaragaman Hayati Indonesia

Indonesia merupakan salah satu negara dengan keanekaragaman hayati tertinggi di dunia. Kondisi iklim tropis, letak geografis yang strategis, serta beragam tipe ekosistem menjadikan Indonesia kaya akan flora dan fauna. Keanekaragaman hayati tersebut memberikan berbagai manfaat bagi kehidupan manusia, baik sebagai sumber kebutuhan hidup maupun sebagai penunjang keseimbangan lingkungan. Berikut adalah manfaat dari keanekaragaman hayati.

a) Sebagai Sumber Pangan, dan Papan

Keanekaragaman hayati menyediakan berbagai sumber pangan bagi masyarakat. Indonesia memiliki ratusan jenis tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber buah, sayuran, rempah-rempah, dan bahan pangan pokok. Selain padi, sumber karbohidrat juga dapat diperoleh dari sukun, ganyong, dan ubi jalar. Di samping itu, berbagai jenis kayu, seperti jati, meranti, keruing, dan bambu, dimanfaatkan sebagai bahan bangunan dan perabot rumah tangga.

b) Sebagai Sumber Obat-obatan

Indonesia memiliki banyak jenis tumbuhan yang berpotensi sebagai bahan obat. Beberapa di antaranya adalah kina (*Cinchona succirubra*) yang dimanfaatkan sebagai bahan obat malaria, mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*) yang digunakan dalam pengobatan tradisional, serta mengkudu (*Morinda citrifolia*) yang dikenal dapat membantu mengontrol tekanan darah. Potensi ini menunjukkan pentingnya keanekaragaman hayati sebagai sumber pengembangan obat-obatan.

c) Sebagai Sumber Kosmetik

Berbagai jenis tumbuhan juga dimanfaatkan sebagai bahan kosmetik alami. Bengkuang, kemuning, dan alpukat sering digunakan untuk perawatan kulit, sedangkan urang-aring, pandan, dan mangkogan dimanfaatkan untuk perawatan rambut. Pemanfaatan tersebut menunjukkan bahwa keanekaragaman hayati memiliki nilai ekonomi yang tinggi dalam industri kosmetik.

d) Sebagai Sumber Plasma Nutfah

Plasma nutfah merupakan sumber keragaman genetik yang dimiliki oleh makhluk hidup dan berperan penting dalam pemuliaan tanaman maupun hewan. Keberadaan plasma nutfah memungkinkan pengembangan varietas unggul yang lebih produktif, tahan hama, dan mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Oleh karena itu, plasma nutfah menjadi sumber daya penting bagi ketahanan pangan dan pembangunan pertanian berkelanjutan.

e) Manfaat Ekologi dan Budaya

Keanekaragaman hayati memiliki manfaat ekologis yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan. Hutan berperan sebagai paru-paru dunia karena menghasilkan oksigen dan menyerap karbon dioksida. Selain itu, hutan juga membantu menjaga siklus air, mencegah erosi, serta mengurangi risiko banjir. Keanekaragaman hayati juga mendukung berbagai jasa ekosistem, seperti penyerbukan oleh serangga, dekomposisi bahan organik, penyimpanan karbon, dan penyediaan habitat bagi berbagai organisme (Smith & Smith, 2015).

Selain memberikan manfaat ekologis, keanekaragaman hayati juga memiliki nilai budaya. Berbagai jenis tumbuhan dan hewan dimanfaatkan dalam upacara adat dan tradisi masyarakat di berbagai daerah Indonesia. Dengan demikian, keanekaragaman hayati tidak hanya bernilai ekonomis, tetapi juga memiliki nilai sosial dan budaya yang penting bagi kehidupan masyarakat. Keanekaragaman hayati juga dapat dipandang sebagai *ecosystem capital*, yaitu modal alami yang menopang kehidupan manusia melalui berbagai jasa ekosistem. Hilangnya satu spesies dapat memengaruhi keseimbangan rantai makanan dan fungsi ekosistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, pelestarian keanekaragaman hayati menjadi sangat penting untuk menjaga keberlanjutan kehidupan.

Selain itu, keanekaragaman hayati menyediakan potensi besar untuk kegiatan *bioprospecting* dan bioteknologi konservasi, yaitu pemanfaatan sumber daya hayati untuk menemukan senyawa baru yang bermanfaat dalam bidang kesehatan maupun industri tanpa merusak keseimbangan alam. Dengan demikian, konservasi keanekaragaman hayati merupakan bagian penting dari upaya pembangunan berkelanjutan (Smith & Smith, 2015).

2.1.5.3 Menghilangnya Keanekaragaman Hayati dan Usaha Pelestariannya

Keanekaragaman hayati di berbagai belahan dunia terus mengalami penurunan akibat aktivitas manusia. Berkurangnya keanekaragaman hayati tidak hanya menyebabkan menurunnya jumlah spesies, tetapi juga mengganggu keseimbangan ekosistem dan berbagai jasa lingkungan yang penting bagi kehidupan manusia, seperti penyerbukan, pengendalian hama alami, dan siklus hara (Reece *et al.*, 2012). Oleh karena itu, upaya pelestarian keanekaragaman hayati perlu dilakukan untuk menjaga keberlanjutan kehidupan dan keseimbangan lingkungan (Smith & Smith, 2015).

1) Faktor Penyebab Menghilangnya Keanekaragaman Hayati

a) Hilangnya Habitat

Hilangnya habitat merupakan penyebab utama berkurangnya keanekaragaman hayati. Kondisi ini umumnya terjadi akibat alih fungsi lahan untuk pertanian, permukiman, industri, dan pembangunan infrastruktur. Selain mengurangi ruang hidup organisme, hilangnya habitat juga dapat memisahkan populasi ke dalam kelompok-kelompok kecil sehingga meningkatkan risiko kepunahan. Fragmentasi habitat juga dapat menimbulkan *edge effect*, yaitu perubahan kondisi lingkungan di tepi habitat yang menyebabkan beberapa spesies sulit bertahan hidup (Smith & Smith, 2015).

b) Pencemaran Tanah, Udara, dan Air

Pencemaran lingkungan terjadi akibat masuknya zat pencemar yang berasal dari limbah industri, pertanian, maupun rumah tangga. Pencemaran dapat menurunkan kualitas lingkungan dan membahayakan organisme yang hidup di dalamnya. Sebagai contoh, limbah yang dibuang ke sungai dapat menyebabkan kematian ikan dan organisme air lainnya sehingga mengganggu keseimbangan ekosistem. Selain itu, pencemaran udara juga dapat memicu hujan asam dan memperburuk kondisi lingkungan.

c) Perubahan Iklim

Perubahan iklim merupakan salah satu ancaman utama bagi keanekaragaman hayati. Peningkatan kadar karbon dioksida (CO₂) di atmosfer menyebabkan suhu bumi meningkat dan memengaruhi pola curah hujan. Perubahan

kondisi lingkungan tersebut dapat mengubah persebaran organisme, waktu reproduksi, serta hubungan antarspesies. Salah satu dampaknya adalah *phenological mismatch*, yaitu ketidaksesuaian waktu antara dua spesies yang saling berinteraksi, misalnya antara waktu berbunga tumbuhan dan periode aktif serangga penyerbuk (Urry *et al.*, 2021).

d) Eksploitasi Tanaman dan Hewan

Pemanfaatan tumbuhan dan hewan secara berlebihan dapat menyebabkan penurunan populasi bahkan kepunahan. Kegiatan seperti penebangan liar, perburuan satwa, dan penangkapan ikan yang berlebihan mengurangi jumlah organisme lebih cepat daripada kemampuan mereka untuk berkembang biak. Akibatnya, keseimbangan ekosistem dapat terganggu dan keanekaragaman hayati menurun (Smith & Smith, 2015).

e) Adanya Spesies Pendatang

Masuknya spesies dari luar suatu wilayah dapat mengancam keberadaan spesies asli. Spesies pendatang sering kali bersaing dalam memperoleh makanan dan habitat sehingga menekan populasi spesies lokal. Sebagai contoh, ikan mas (*Cyprinus carpio*) dapat mengancam keberadaan ikan endemik di suatu perairan. Selain itu, eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat menutupi permukaan air dan mengurangi kadar oksigen yang dibutuhkan organisme perairan.

f) Industrialisasi Pertanian dan Hutan

Untuk meningkatkan produksi, manusia sering menanam atau membudidayakan jenis yang dianggap paling unggul dan menguntungkan. Praktik ini dapat menyebabkan berkurangnya variasi genetik karena jenis atau varietas lain tidak lagi digunakan. Sistem pertanian monokultur yang hanya mengandalkan satu varietas tanaman juga membuat organisme lebih rentan terhadap serangan hama, penyakit, dan perubahan lingkungan (Reece *et al.*, 2012).

2) Usaha Pelestarian (Konservasi)

Meningkatnya kebutuhan manusia terhadap sumber daya alam menyebabkan pemanfaatan keanekaragaman hayati semakin tinggi. Oleh karena itu, diperlukan upaya pelestarian atau konservasi untuk menjaga keberlanjutan sumber daya tersebut. Konservasi merupakan usaha pengelolaan sumber daya alam

hayati yang dilakukan secara bijaksana agar keberadaannya tetap terjaga dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Tujuan konservasi adalah melindungi keanekaragaman hayati pada tingkat gen, spesies, dan ekosistem, serta memulihkan lingkungan yang telah mengalami kerusakan (Smith & Smith, 2015).

a) Pelestarian *In situ*

Konservasi *in situ* merupakan upaya pelestarian makhluk hidup di habitat aslinya. Metode ini bertujuan menjaga keutuhan ekosistem sehingga proses alami dapat berlangsung dengan baik. Contoh konservasi *in situ* adalah cagar alam, suaka margasatwa, dan taman nasional. Melalui konservasi *in situ*, spesies dapat tetap hidup dan berkembang dalam lingkungan alaminya.

b) Pelestarian *Ex situ*

Konservasi *ex situ* merupakan upaya pelestarian makhluk hidup di luar habitat aslinya. Metode ini dilakukan apabila habitat asli telah rusak atau ketika diperlukan kegiatan penelitian, pendidikan, dan pengembangbiakan. Contohnya adalah kebun binatang, kebun raya, taman safari, dan bank benih (*seed bank*). Bank benih berfungsi menyimpan materi genetik berbagai jenis tumbuhan sehingga dapat digunakan untuk menjaga keragaman genetik dan mendukung upaya pelestarian di masa depan (Frankham *et al.*, 2010).

Konservasi *ex situ* harus terintegrasi dengan upaya restorasi habitat agar spesies dapat dikembalikan ke alam liar. Pentingnya pendekatan restorasi ekologi, yaitu pemulihan ekosistem yang rusak agar dapat berfungsi kembali secara alami. Pendekatan ini melibatkan rekonstruksi habitat, reintroduksi spesies asli, dan pengendalian spesies invasif. (Smith & Smith, 2015). Konservasi *ex situ* sebaiknya didukung oleh upaya restorasi ekosistem (*restoration ecology*). Restorasi ekologi merupakan kegiatan pemulihan ekosistem yang rusak agar dapat berfungsi kembali secara alami. Kegiatan ini dapat dilakukan melalui rehabilitasi habitat, penanaman kembali vegetasi asli, serta pengendalian spesies invasif. Dengan demikian, keanekaragaman hayati dapat tetap terjaga dan fungsi ekosistem dapat dipulihkan.

2.1.5.4 Klasifikasi Makhluk Hidup

1) Dasar-Dasar Klasifikasi

Klasifikasi adalah ilmu yang mempelajari pengelompokan dan penamaan makhluk hidup berdasarkan persamaan dan perbedaan ciri-ciri yang dimilikinya (Urry *et al.*, 2021). Klasifikasi dilakukan untuk mempermudah pengenalan, pembelajaran, dan pemahaman terhadap keanekaragaman makhluk hidup. Dalam melakukan klasifikasi, para ahli menggunakan berbagai karakteristik organisme, seperti ciri morfologi (bentuk luar), anatomi (struktur tubuh bagian dalam), cara reproduksi, serta karakteristik fisiologi dan genetik. Semakin banyak persamaan ciri yang dimiliki oleh organisme, semakin dekat hubungan kekerabatannya. Oleh karena itu, klasifikasi membantu menunjukkan hubungan antarorganisme berdasarkan kesamaan karakteristik yang dimiliki (Smith & Smith, 2015).

2) Macam-Macam Sistem Klasifikasi

a) Klasifikasi Sistem Alamiah

Mengelompokkan makhluk hidup berdasarkan persamaan sifat, terutama sifat morfologinya. Contohnya klasifikasi yang dipelopori oleh Aristoteles. Ia membagi makhluk hidup menjadi dua kelompok, yaitu hewan dan tumbuhan. Kelompok hewan dibedakan lagi atas hewan berdarah dan hewan tidak berdarah. Adapun kelompok tumbuhan dibedakan atas kelompok pohon, perdu, dan semak.

b) Klasifikasi Sistem Artifisial (Buatan)

Sistem klasifikasi artifisial atau buatan mengelompokkan makhluk hidup berdasarkan ciri tertentu yang dipilih oleh peneliti. Oleh karena itu, sistem ini bersifat praktis tetapi kurang menunjukkan hubungan kekerabatan yang sebenarnya. Contohnya adalah klasifikasi yang dikembangkan oleh Carolus Linnaeus yang mengelompokkan tumbuhan berdasarkan alat reproduksinya. Linnaeus juga memperkenalkan sistem tata nama ganda (*binomial nomenclature*) yang masih digunakan hingga saat ini.

c) Klasifikasi Sistem Filogenetik

Sistem filogenetik mengelompokkan makhluk hidup berdasarkan hubungan kekerabatan evolusinya. Semakin dekat hubungan kekerabatan antara dua organisme, semakin banyak persamaan ciri yang dimilikinya. Sistem ini bertujuan menggambarkan hubungan evolusi antarorganisme secara lebih akurat.

2.2 Hasil Penelitian yang Relevan

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penerapan Model *Project Based Learning* (PjBL) secara konsisten terbukti efektif sebagai kerangka pembelajaran untuk mengembangkan keterampilan metakognitif siswa. Konsistensi ini ditunjukkan oleh penelitian Ilma *et al.* (2022) yang mendapati dampak kuat *Project Based Learning* (PjBL) pada siswa SMA, dengan peningkatan skor rata-rata Metakognitif sebesar 56,52 poin (dari *Pre-test* 28,95 ke *Post-test* 85,47). Keefektifan ini diperkuat oleh studi Murisqa *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa *Project Based Learning* (PjBL) berbasis *Aquascape* menghasilkan skor *Post-test* kelas eksperimen mencapai 76,09 dengan perbedaan yang signifikan ($p=0,030$) dibandingkan kelas kontrol. Data kuantitatif ini secara tegas menetapkan *Project Based Learning* (PjBL) sebagai variabel perlakuan yang efektif untuk mengembangkan Metakognitif.

Selain metakognitif, *Project Based Learning* (PjBL) juga efektif dalam meningkatkan literasi, penelitian yang dilakukan oleh Yustina (2020) pada siswa MA/SMA, *N-Gain* literasi sains mencapai 65%. Keberhasilan ini didorong oleh sifat *Project Based Learning* (PjBL) yang mendorong siswa untuk belajar secara otentik dan kontekstual melalui pengerjaan proyek, sehingga tidak hanya menguasai konsep tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis. Namun, efektivitas *Project Based Learning* (PjBL) sangat bergantung pada kualitas dan otentisitas data proyek yang digunakan siswa.

Meskipun *Project Based Learning* (PjBL) menjadi pendekatan yang tepat, pada praktiknya *Project Based Learning* (PjBL) berisiko mengalami kelemahan, terutama terkait kontrol alur proyek, validitas, dan relevansi *real-time* temuan siswa. Kelemahan ini menuntut intervensi teknologi spesifik yang dapat menyajikan data otentik dan teruji validitasnya untuk memaksimalkan capaian pembelajaran. Upaya untuk meminimalkan kelemahan Model *Project Based Learning* (PjBL), terutama terkait otentisitas data dan relevansi *real-time*, mengharuskan integrasi teknologi *citizen science*.

Aplikasi *iNaturalist* hadir sebagai solusi yang efektif karena secara simultan mendukung Literasi Biodiversitas dan melatih dimensi Keterampilan Metakognitif

siswa. Studi Hitchcock *et al.*(2021) menyatakan terdapat peningkatan signifikan dalam jumlah observasi, keanekaragaman spesies yang diidentifikasi, dan keterampilan identifikasi siswa. Lebih lanjut, Ipin *et al.*(2023) dan Echeverria *et al.*(2021) menegaskan bahwa penggunaan *iNaturalist* melatih Keterampilan Metakognitif karena mendorong siswa untuk aktif mengamati, merefleksikan proses belajar, merencanakan strategi pengamatan, dan mengevaluasi hasil identifikasi siswa. Fokus *iNaturalist* pada identifikasi dan validasi komunitas merupakan kerangka kerja yang solid untuk melatih perencanaan metakognitif dan meningkatkan literasi biodiversitas.

Konsistensi temuan dari berbagai studi di atas mengukuhkan bahwa Model *Project Based Learning* (PjBL) berbantuan aplikasi *iNaturalist* adalah kerangka kerja yang solid untuk melatih perencanaan metakognitif dan meningkatkan literasi biodiversitas. Namun, kesenjangan penelitian (*research gap*) yang menjadi dasar empiris bagi dilaksanakannya penelitian ini adalah belum adanya kajian komprehensif yang secara simultan mengukur efektivitas gabungan Model *Project Based Learning* (PjBL) dan aplikasi *iNaturalist* terhadap peningkatan Keterampilan Metakognitif dan Literasi Biodiversitas secara kuantitatif. Temuan-temuan positif ini menjadi landasan kuat untuk melaksanakan studi eksperimen yang bertujuan mengisi kesenjangan tersebut.

2.3 Kerangka Konseptual

Pembelajaran biologi abad ke-21 menuntut adanya perubahan signifikan dalam praktik pengajaran, bergeser dari fokus menghafal menuju pengembangan keterampilan berpikir kritis dan kemampuan memecahkan masalah. Tuntutan Pembelajaran Abad ke-21 ini mendasari dua kerangka teoretis yang mengarah pada intervensi penelitian. Kerangka pertama adalah Pembelajaran Kontekstual dan yang kedua adalah penguatan Keterampilan Esensial. Meskipun kedua kerangka ini menjadi latar belakang filosofis penelitian, keduanya tidak diteliti secara eksplisit. Fokus penelitian ini adalah pada hubungan sebab-akibat yang ditimbulkan oleh intervensi model pembelajaran.

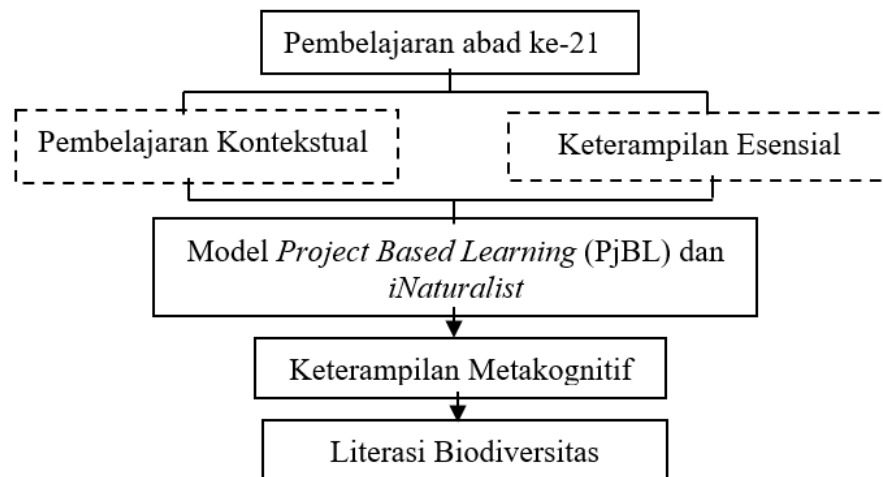
Model yang dirancang untuk menjawab kebutuhan ini adalah Model *Project Based Learning* (PjBL). yang terintegrasi dengan teknologi modern. Model *Project*

Based Learning (PjBL) dipilih karena secara inheren melibatkan siswa dalam proyek investigatif jangka panjang, memaksa siswa menerapkan konsep biologi secara langsung. Untuk memperkuat aspek otentisitas data dan validasi ilmiah, model ini diperkuat oleh penggunaan Aplikasi *iNaturalist*. *iNaturalist* berfungsi sebagai platform *citizen science* yang menghubungkan observasi lapangan siswa dengan komunitas ilmiah global, menjamin data yang dikumpulkan memiliki nilai *real-world* yang tinggi. Sinergi intervensi ini memiliki pengaruh langsung dan *berpengaruh* terhadap variabel Keterampilan Metakognitif siswa.

Keterampilan Metakognitif, yang berfungsi sebagai mekanisme pemandu yang memungkinkan siswa untuk secara aktif merencanakan, memonitor, dan mengevaluasi proyek, merupakan prasyarat fundamental bagi capaian hasil belajar yang kompleks. Sesuai dengan alur kausalitas yang diteliti, peningkatan kemampuan regulasi diri (Keterampilan Metakognitif) ini berpengaruh terhadap pencapaian Literasi Biodiversitas, yang merupakan tujuan akhir penelitian. Literasi biodiversitas melambangkan kompetensi siswa untuk mengamati, memahami, mengidentifikasi, serta memiliki sikap yang bertanggung jawab terhadap isu-isu keanekaragaman hayati. Kegiatan praktis pengumpulan data spesies di lapangan menggunakan *iNaturalist* yang terstruktur dalam kerangka Model *Project Based Learning* (PjBL) memberikan pengalaman yang mendalam dan autentik.

Gambar 2.8 memvisualisasikan Kerangka Konseptual yang menjadi landasan logis penelitian ini, memuat semua elemen yang diteliti maupun yang tidak diteliti. Diagram diawali dengan Pembelajaran Abad ke-21 yang mendasari fokus pada Pembelajaran Kontekstual dan Keterampilan Esensial (ditandai kotak putus-putus, tidak diteliti). Kedua fokus ini kemudian mengarah pada intervensi utama, yaitu Model *Project Based Learning* (PjBL) dan *iNaturalist*. Tanda panah solid tebal menunjukkan hubungan *berpengaruh* (hipotesis kausalitas) dari intervensi utama terhadap Keterampilan Metakognitif. Selanjutnya, tanda panah solid tebal juga menunjukkan bahwa Keterampilan Metakognitif *berpengaruh* terhadap Literasi Biodiversitas, yang menjadi hasil akhir penelitian. Dengan demikian, diagram ini secara rinci memvisualisasikan hubungan kausal yang

dihipotesiskan, di mana Keterampilan Metakognitif berfungsi sebagai variabel mediasi parsial antara perlakuan dan Literasi Biodiversitas.



Gambar 2.8 Kerangka Konseptual

- Berpengaruh
 — Berhubungan
 □ Diteliti
 □ Tidak diteliti

2.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis alternatif (H_a) yang diajukan dalam penelitian ini didasarkan pada asumsi bahwa Model *Project Based Learning* (PjBL) berbantuan *iNaturalist* yang diintervensikan akan memberikan pengaruh yang lebih baik dibandingkan pembelajaran konvensional (Hipotesis Nol - H_0). Adapun hipotesis pada penelitian ini Adalah sebagai berikut.

- H_{a1} : Ada pengaruh yang signifikan dari penerapan Model *Project Based Learning* (PjBL) Berbantuan *iNaturalist* terhadap keterampilan metakognitif siswa pada pembelajaran biologi.
 H_{a2} : Ada pengaruh yang signifikan dari penerapan Model *Project Based Learning* (PjBL) Berbantuan *iNaturalist* terhadap literasi biodiversitas siswa pada pembelajaran biologi.