



BUKU REFERENSI

MODEL EBI

Ekopedagogi Biologi Integratif

Jaharudin, M.Pd.

BUKU REFERENSI

MODEL EBI

Ekopedagogi Biologi Integratif

Jaharudin, M.Pd.

MODEL EBI

Ekopedagogi Biologi Integratif

Ditulis oleh:

Jaharudin, M.Pd.

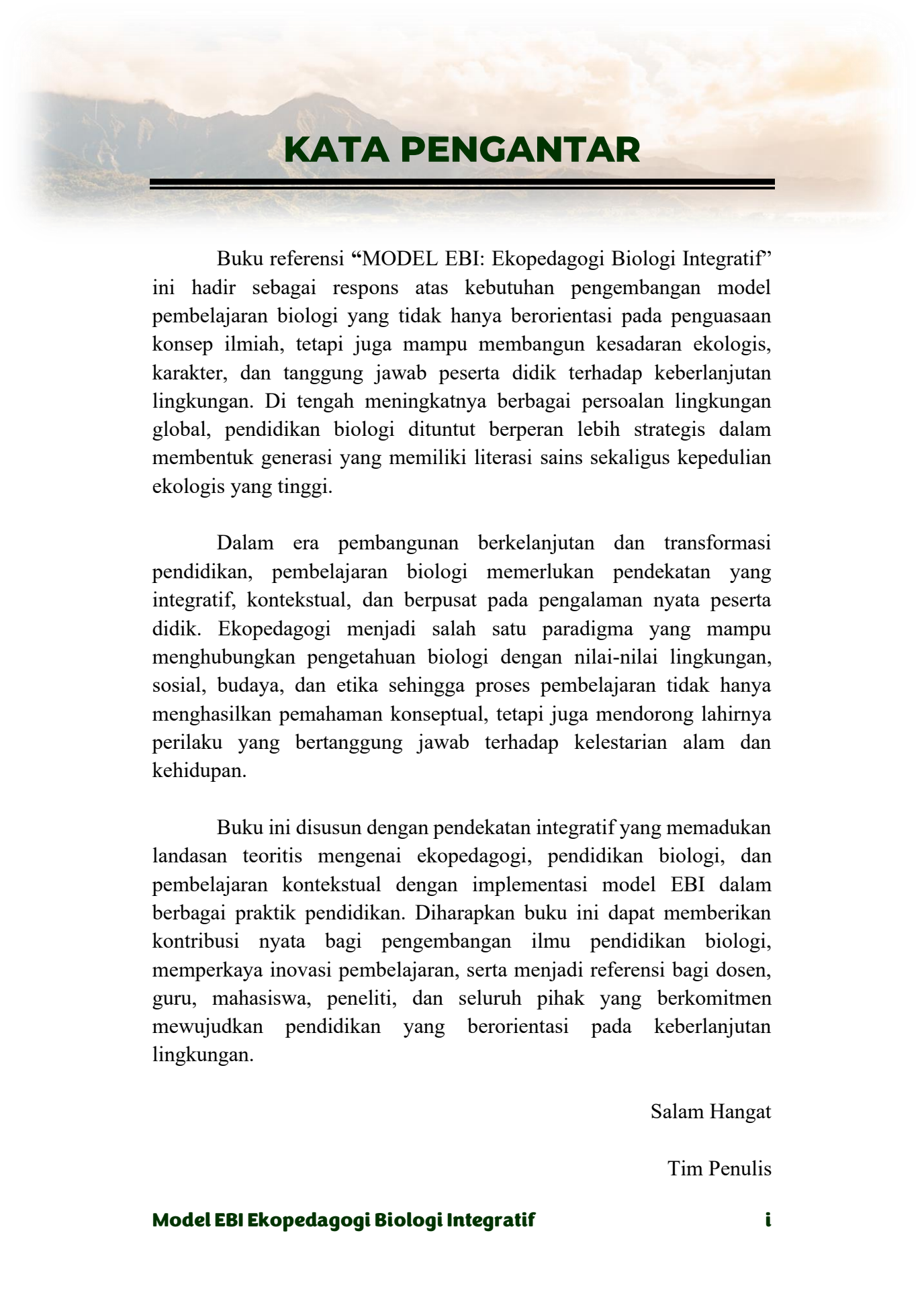
Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang keras memperbanyak, menerjemahkan atau mengutip baik sebagian ataupun keseluruhan isi buku tanpa izin tertulis dari penerbit.



ISBN: 978-634-316-043-4
IV + 151 hlm; 18,2 x 25,7 cm.
Cetakan I, Juli 2026

Desain Cover dan Tata Letak:
Melvin Mirsal

Diterbitkan, dicetak, dan didistribusikan oleh
PT Media Penerbit Indonesia
Royal Suite No. 6C, Jalan Sedap Malam IX, Sempakata
Kecamatan Medan Selayang, Kota Medan 20131
Telp: 081362150605
Email: ptmediapenerbitindonesia@gmail.com
Web: <https://mediapenerbitindonesia.com>
Anggota IKAPI No.088/SUT/2024



KATA PENGANTAR

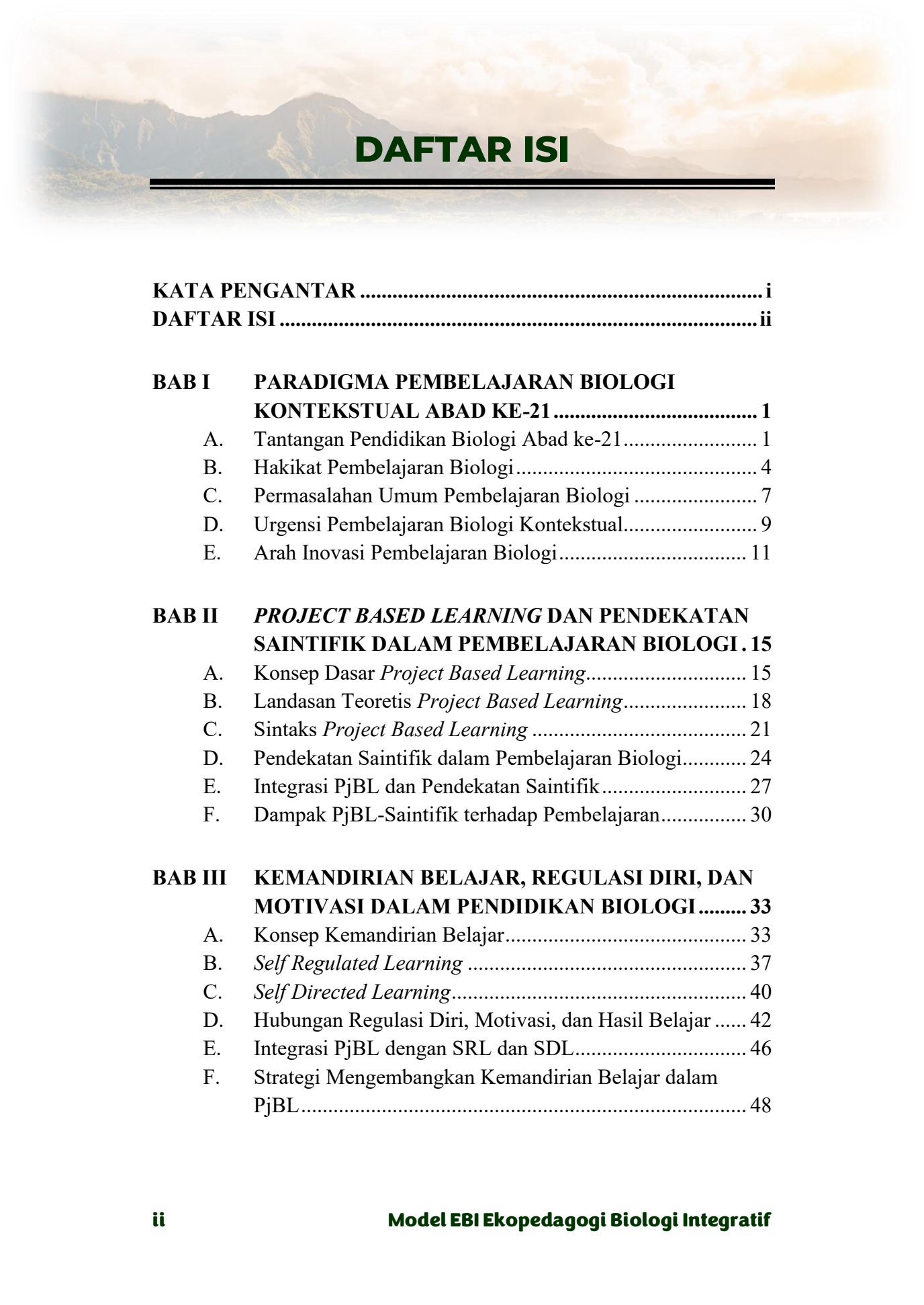
Buku referensi “MODEL EBI: Ekopedagogi Biologi Integratif” ini hadir sebagai respons atas kebutuhan pengembangan model pembelajaran biologi yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep ilmiah, tetapi juga mampu membangun kesadaran ekologis, karakter, dan tanggung jawab peserta didik terhadap keberlanjutan lingkungan. Di tengah meningkatnya berbagai persoalan lingkungan global, pendidikan biologi dituntut berperan lebih strategis dalam membentuk generasi yang memiliki literasi sains sekaligus kepedulian ekologis yang tinggi.

Dalam era pembangunan berkelanjutan dan transformasi pendidikan, pembelajaran biologi memerlukan pendekatan yang integratif, kontekstual, dan berpusat pada pengalaman nyata peserta didik. Ekopedagogi menjadi salah satu paradigma yang mampu menghubungkan pengetahuan biologi dengan nilai-nilai lingkungan, sosial, budaya, dan etika sehingga proses pembelajaran tidak hanya menghasilkan pemahaman konseptual, tetapi juga mendorong lahirnya perilaku yang bertanggung jawab terhadap kelestarian alam dan kehidupan.

Buku ini disusun dengan pendekatan integratif yang memadukan landasan teoritis mengenai ekopedagogi, pendidikan biologi, dan pembelajaran kontekstual dengan implementasi model EBI dalam berbagai praktik pendidikan. Diharapkan buku ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu pendidikan biologi, memperkaya inovasi pembelajaran, serta menjadi referensi bagi dosen, guru, mahasiswa, peneliti, dan seluruh pihak yang berkomitmen mewujudkan pendidikan yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan.

Salam Hangat

Tim Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii

BAB I	PARADIGMA PEMBELAJARAN BIOLOGI	
	KONTEKSTUAL ABAD KE-21	1
A.	Tantangan Pendidikan Biologi Abad ke-21	1
B.	Hakikat Pembelajaran Biologi	4
C.	Permasalahan Umum Pembelajaran Biologi	7
D.	Urgensi Pembelajaran Biologi Kontekstual	9
E.	Arah Inovasi Pembelajaran Biologi	11
BAB II	<i>PROJECT BASED LEARNING</i> DAN PENDEKATAN	
	SAINTIFIK DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI. 15	
A.	Konsep Dasar <i>Project Based Learning</i>	15
B.	Landasan Teoretis <i>Project Based Learning</i>	18
C.	Sintaks <i>Project Based Learning</i>	21
D.	Pendekatan Saintifik dalam Pembelajaran Biologi	24
E.	Integrasi PjBL dan Pendekatan Saintifik	27
F.	Dampak PjBL-Saintifik terhadap Pembelajaran	30
BAB III	KEMANDIRIAN BELAJAR, REGULASI DIRI, DAN	
	MOTIVASI DALAM PENDIDIKAN BIOLOGI	33
A.	Konsep Kemandirian Belajar	33
B.	<i>Self Regulated Learning</i>	37
C.	<i>Self Directed Learning</i>	40
D.	Hubungan Regulasi Diri, Motivasi, dan Hasil Belajar	42
E.	Integrasi PjBL dengan SRL dan SDL	46
F.	Strategi Mengembangkan Kemandirian Belajar dalam PjBL	48

BAB IV	LITERASI LINGKUNGAN DAN PENALARAN ILMIAH DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI	53
A.	Konsep Literasi Lingkungan.....	53
B.	Urgensi Literasi Lingkungan di Perguruan Tinggi dan Sekolah	57
C.	PjBL untuk Meningkatkan Literasi Lingkungan	60
D.	Konsep Penalaran Ilmiah	62
E.	PjBL, SDL, dan Penalaran Ilmiah	66
F.	Penilaian Literasi Lingkungan dan Penalaran Ilmiah	68
 BAB V	 INTEGRASI KEARIFAN LOKAL PAPUA DAN <i>E- MODULE</i> DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI.....	 73
A.	Kearifan Lokal sebagai Sumber Belajar Biologi	73
B.	Kearifan Lokal Papua dalam Konservasi Lingkungan	77
C.	Integrasi Kearifan Lokal dalam Materi Biologi.....	81
D.	<i>E-Module</i> sebagai Media Pembelajaran Digital	85
E.	Pengembangan <i>E-Module</i> Biologi Berbasis Kearifan Lokal	88
F.	<i>E-Module</i> , Kearifan Lokal, dan SDGs.....	95
 BAB VI	 MODEL IMPLEMENTASI PEMBELAJARAN BIOLOGI BERBASIS PROYEK, KEMANDIRIAN BELAJAR, DAN KEARIFAN LOKAL	 101
A.	Rasional Pengembangan Model	101
B.	Komponen Model Pembelajaran	105
C.	Sintaks Model yang Diusulkan.....	107
D.	Contoh Implementasi dalam Mata Kuliah atau Pembelajaran Biologi.....	112
E.	Desain Penilaian Pembelajaran.....	117
F.	Kendala dan Solusi Implementasi	121
G.	Dampak Model bagi Pendidikan Biologi	126
 DAFTAR PUSTAKA		133
GLOSARIUM		143
INDEKS		149
BIOGRAFI PENULIS.....		153

SINOPSIS	155
-----------------------	------------



BAB I

PARADIGMA PEMBELAJARAN BIOLOGI KONTEKSTUAL ABAD KE-21

"Education is not the filling of a pail, but the lighting of a fire."

William Butler Yeats

Abad ke-21 membawa serta perubahan mendasar dalam seluruh aspek kehidupan manusia, termasuk dunia pendidikan. Kemajuan teknologi, globalisasi, perubahan iklim, dan kompleksitas persoalan sosial-ekologis menuntut generasi penerus yang tidak sekadar menguasai konten pengetahuan, melainkan juga mampu berpikir kritis, bernalar ilmiah, berkolaborasi lintas batas, dan bertindak bijaksana berdasarkan pemahaman mendalam tentang alam dan budayanya. Pembelajaran biologi, sebagai ilmu yang mempelajari kehidupan dalam segala dimensinya, berada di posisi strategis untuk merespons tuntutan tersebut.

Bab ini memaparkan paradigma pembelajaran biologi kontekstual abad ke-21 yang menjadi fondasi bagi Model EBI (Ekopedagogi Biologi Integratif). Pembahasan meliputi tantangan pendidikan biologi masa kini, hakikat pembelajaran biologi yang sesungguhnya, permasalahan umum yang masih membelenggu, urgensi pendekatan kontekstual, serta arah inovasi relevan dan berkelanjutan.

A. Tantangan Pendidikan Biologi Abad ke-21

Pendidikan biologi abad ke-21 berhadapan dengan deretan tantangan yang tidak mudah ditaklukkan. Krisis ekologis global, percepatan digital, dan kesenjangan kualitas pendidikan menjadi latar belakang yang membentuk urgensi pembaruan pendekatan pembelajaran secara menyeluruh.

1. Pergeseran Paradigma dari *Teacher-Centered* menuju *Student-Centered*

Selama beberapa dekade, pembelajaran biologi di Indonesia masih didominasi oleh paradigma *teacher-centered* atau berpusat pada pendidik. Pendidik menjadi sumber utama pengetahuan, sementara peserta didik berposisi sebagai penerima pasif informasi. Paradigma ini terbukti tidak efektif dalam mengembangkan kompetensi berpikir tingkat tinggi yang diperlukan di era modern (Hmelo-Silver *et al.*, 2021; Bransford *et al.*, 2020).

Pergeseran menuju pendekatan *student-centered learning* (SCL) merupakan keharusan epistemologis dan pedagogis. Dalam *student-centered learning*, peserta didik bukan lagi objek yang dididik, melainkan subjek yang aktif membangun pengetahuannya sendiri melalui interaksi dengan lingkungan, sesama, dan berbagai sumber belajar (Putra *et al.*, 2022). Hasil meta-analisis yang dilakukan oleh Freeman *et al.* (2021) terhadap 225 studi menunjukkan bahwa pembelajaran aktif secara signifikan meningkatkan hasil belajar akademik dan mengurangi tingkat kegagalan dibandingkan metode ceramah konvensional.

Tabel 1.1 Perbandingan Paradigma *Teacher-Centered* dan *Student-Centered* dalam Pembelajaran Biologi

Aspek	<i>Teacher-Centered</i>	<i>Student-Centered</i>
Peran Pendidik	Sumber utama pengetahuan; penentu proses belajar	Fasilitator, motivator, dan mediator belajar
Peran Peserta Didik	Penerima pasif informasi	Konstruktor aktif pengetahuan
Proses Belajar	Transmisi satu arah dari pendidik ke peserta didik	Eksplorasi, kolaborasi, dan refleksi diri
Penilaian	Tes tertulis formal; berorientasi hafalan	Autentik, portofolio, berbasis kinerja
Konteks Materi	Abstrak, tekstual, jauh dari kehidupan nyata	Kontekstual, berbasis masalah nyata dan lingkungan lokal

Keterampilan yang Dikembangkan	Kemampuan menghafal dan mereproduksi informasi	Berpikir kritis, kreatif, komunikatif, kolaboratif (4C)
--------------------------------	--	---

Sumber: Diadaptasi dari Hmelo-Silver et al. (2021); Putra et al. (2022)

2. Kebutuhan Penguasaan Keterampilan Abad ke-21

Framework *Partnership for 21st Century Learning* (P21) mengidentifikasi empat keterampilan inti yang wajib dikuasai peserta didik, yaitu berpikir kritis (*critical thinking*), kreativitas (*creativity*), kolaborasi (*collaboration*), dan komunikasi (*communication*) dikenal sebagai 4C (*Battelle for Kids*, 2021). Dalam konteks pembelajaran biologi, keempat keterampilan ini menjadi fondasi pengembangan literasi sains yang komprehensif.

Studi longitudinal yang dilakukan OECD (2023) melalui program PISA (*Programme for International Student Assessment*) menunjukkan bahwa Indonesia masih berada di peringkat bawah dalam kompetensi sains, membaca, dan matematika. Skor sains Indonesia pada PISA 2022 hanya mencapai 383 poin, jauh di bawah rata-rata OECD sebesar 485 poin. Ini mengindikasikan kebutuhan mendesak untuk merevolusi pendekatan pembelajaran sains, termasuk biologi.

3. Pentingnya Berpikir Kritis, Kreatif, Kolaboratif, Komunikatif, dan Reflektif

Kelima kompetensi ini yang selanjutnya disebut 5C (dengan tambahan reflektif) saling menopang satu sama lain dalam membentuk profil peserta didik yang utuh. Berpikir kritis memungkinkan peserta didik untuk menganalisis fenomena biologis secara mendalam; kreativitas mendorong lahirnya solusi inovatif terhadap masalah ekologis; kolaborasi membangun kemampuan bekerja dalam tim multidisiplin; komunikasi memastikan temuan ilmiah dapat dibagikan secara efektif; dan refleksi memungkinkan perbaikan berkelanjutan dalam proses belajar (Redhana, 2019; Widodo *et al.*, 2021).

Dalam pembelajaran biologi, kemampuan reflektif (*reflective thinking*) memegang peran khusus. Melalui refleksi, peserta didik mampu menghubungkan pengalaman belajar dengan nilai-nilai ekologis dan kultural yang lebih luas, sehingga pembelajaran tidak sekadar

menambah pengetahuan, membentuk sikap dan perilaku bertanggung jawab terhadap lingkungan (Dewey, 1933 dalam Rodgers, 2022).

4. Tantangan Rendahnya Literasi Sains, Literasi Lingkungan, dan Penalaran Ilmiah

Rendahnya literasi sains peserta didik Indonesia bukan sekadar persoalan pedagogis, melainkan juga ancaman terhadap ketahanan ekologis dan sosial bangsa. Literasi sains yang rendah berkorelasi positif dengan rendahnya kesadaran lingkungan dan ketidakmampuan mengambil keputusan berbasis bukti empiris dalam menghadapi isu-isu seperti perubahan iklim, kerusakan biodiversitas, dan krisis air bersih (OECD, 2023; Rustaman, 2020).

Demikian pula, literasi lingkungan (*environmental literacy*) yang mencakup pengetahuan, sikap, keterampilan, dan perilaku pro-lingkungan masih berada pada level yang memprihatinkan. Studi Yulianti et al. (2022) terhadap 1.240 siswa SMA di delapan provinsi menemukan bahwa hanya 23,4% siswa yang mencapai level literasi lingkungan yang memadai. Sementara itu, kemampuan penalaran ilmiah (*scientific reasoning*) yang merupakan jantung dari berpikir saintifik juga masih sangat rendah, dengan mayoritas siswa hanya mampu beroperasi pada level penalaran konkret (Lawson, 2021).

B. Hakikat Pembelajaran Biologi

Biologi lebih dari sekadar kumpulan fakta tentang makhluk hidup. Memahami hakikat biologi sebagai ilmu pengetahuan adalah prasyarat untuk merancang pembelajaran yang bermakna, autentik, dan transformatif.

1. Biologi sebagai Produk Ilmiah

Dimensi biologi sebagai produk ilmiah mencakup seluruh akumulasi pengetahuan yang telah diverifikasi melalui proses penelitian ilmiah: fakta, konsep, prinsip, hukum, teori, dan model (*National Research Council*, 2012 dalam Barber et al., 2021). Contohnya adalah Teori Evolusi Darwin, Teori Sel, Hukum Mendel dalam genetika, dan model *Watson-Crick* untuk struktur DNA. Produk-produk ilmiah ini merupakan hasil jerih payah generasi ilmuwan yang terus diuji, direvisi, dan diperkaya.

Dalam pembelajaran, pemahaman biologi sebagai produk ilmiah tidak boleh berhenti pada hafalan istilah dan definisi. Peserta didik perlu memahami bagaimana setiap konsep lahir dari pertanyaan ilmiah, diuji melalui eksperimen, dan akhirnya diterima oleh komunitas ilmiah. Pendekatan historis epistemologis dalam pembelajaran biologi terbukti meningkatkan pemahaman konseptual dan minat peserta didik (Clough & Olson, 2020).

2. Biologi sebagai Proses Ilmiah

Dimensi biologi sebagai proses ilmiah (*science as a process*) mencakup rangkaian aktivitas penyelidikan yang dilakukan ilmuwan dalam menghasilkan pengetahuan baru mulai dari observasi sistematis, perumusan hipotesis, desain eksperimen, pengumpulan dan analisis data, serta penarikan kesimpulan berbasis bukti (Wenning, 2022). Dalam konteks pembelajaran, proses ini diimplementasikan melalui pendekatan inkuiri, praktikum berbasis masalah, dan proyek penelitian.

Proses ilmiah dalam biologi tidak selalu berjalan linear. Para ilmuwan sering kali bergerak maju-mundur antara observasi, hipotesis, dan analisis. Memahami *nature of science* (NOS) ini penting agar peserta didik tidak memiliki gambaran yang keliru bahwa sains adalah serangkaian langkah kaku yang selalu berurutan (Lederman & Lederman, 2020).

3. Biologi sebagai Sikap Ilmiah

Dimensi ketiga adalah biologi sebagai sikap ilmiah (*scientific attitude*). Ilmuwan biologi yang baik tidak hanya terampil secara teknis, tetapi juga memiliki disposisi mental tertentu seperti rasa ingin tahu yang mendalam, kejujuran intelektual, keterbukaan terhadap kritik, skeptisisme sehat, ketekunan dalam menghadapi kegagalan eksperimen, dan kepedulian terhadap dampak sains bagi masyarakat dan lingkungan (Allchin, 2020). Sikap ilmiah ini perlu secara eksplisit dikembangkan dalam proses pembelajaran, bukan sekadar diharapkan muncul secara otomatis. Model EBI memberikan perhatian khusus pada pengembangan sikap ilmiah melalui proyek-proyek yang autentik, kolaboratif, dan terhubung dengan isu-isu lingkungan lokal.

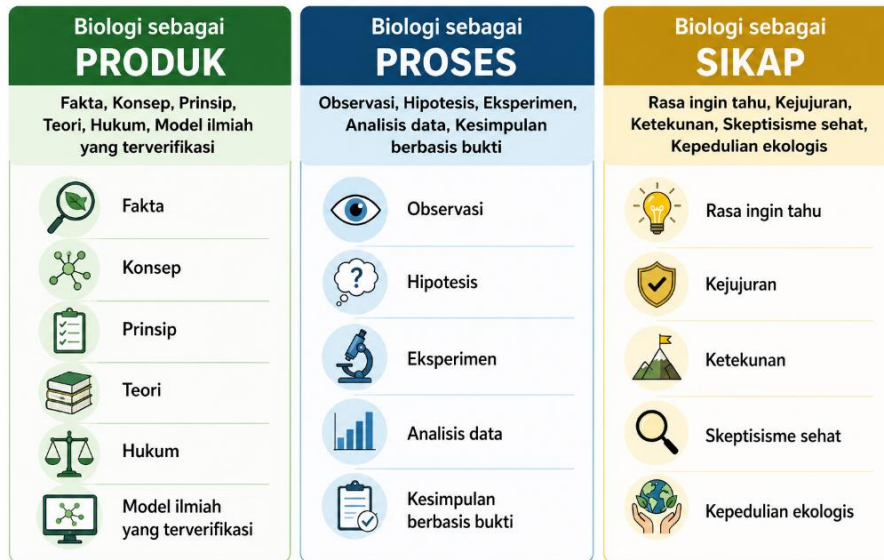
4. Biologi sebagai Pembelajaran Berbasis Kehidupan Nyata

Biologi lebih dari ilmu lainnya, memiliki keistimewaan karena objek kajiannya adalah kehidupan itu sendiri mulai dari organisme bersel tunggal hingga ekosistem kompleks. Ini berarti bahwa konteks belajar biologi yang paling autentik adalah kehidupan nyata: sawah yang terancam pestisida, sungai yang tercemar limbah industri, hutan yang menyusut akibat alih fungsi lahan, dan komunitas tumbuhan obat yang kearifannya terancam punah (Efendi *et al.*, 2023). Pembelajaran biologi berbasis kehidupan nyata (*real-life based learning*) tidak hanya meningkatkan relevansi dan motivasi belajar, tetapi juga mengembangkan kemampuan peserta didik untuk mengaplikasikan konsep-konsep biologis dalam memecahkan masalah lingkungan yang nyata. Inilah inti dari ekopedagogi yaitu pendidikan yang berakar pada ekologi kehidupan sehari-hari (Gadotti, 2020).

5. Relevansi Biologi dengan Lingkungan, Budaya, dan Keberlanjutan

Ilmu biologi memiliki relevansi yang sangat kuat dengan tiga dimensi besar kehidupan manusia yaitu lingkungan, budaya, dan keberlanjutan. Dari perspektif lingkungan, biologi memberikan pemahaman tentang bagaimana sistem ekologi bekerja dan bagaimana aktivitas manusia memengaruhi keseimbangannya. Dari perspektif budaya, biologi bersinggungan dengan kearifan lokal masyarakat dalam mengelola sumber daya hayati secara turun-temurun. Dari perspektif keberlanjutan, biologi menyediakan landasan ilmiah bagi upaya-upaya pelestarian biodiversitas dan pengelolaan ekosistem yang bertanggung jawab (Heckman, 2022; UNESCO, 2021).

Gambar 1.1 Tiga Dimensi Hakikat Biologi sebagai Ilmu dan Pembelajaran



Sumber: Diadaptasi dari *National Research Council* (2012) dalam Barber et al. (2021); Allchin (2020)

C. Permasalahan Umum Pembelajaran Biologi

Meskipun potensi pembelajaran biologi sangat besar, praktiknya di lapangan masih diwarnai berbagai permasalahan sistemik yang perlu diidentifikasi dan ditangani secara serius.

1. Dominasi Pembelajaran Konvensional

Survei nasional yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Kebijakan, Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan (BSKAP) pada tahun 2023 menemukan bahwa sekitar 67% guru biologi SMA di Indonesia masih menggunakan metode ceramah sebagai metode utama dalam pembelajaran. Metode ini, meskipun efisien dalam hal penyampaian informasi, tidak mampu mengaktifkan proses berpikir tingkat tinggi peserta didik (Kemendikbudristek, 2023).

Dominasi pembelajaran konvensional juga terlihat dari minimnya kegiatan laboratorium dan lapangan. Padahal, biologi adalah ilmu empiris yang sangat mengandalkan pengamatan langsung terhadap fenomena kehidupan. Ketergantungan berlebihan pada buku teks tanpa eksplorasi kontekstual menyebabkan peserta didik tidak mampu

mengkaitkan konsep biologi dengan realitas ekologis di sekitarnya (*transfer of learning* yang rendah) (Widodo *et al.*, 2021).

2. Rendahnya Minat dan Motivasi Belajar

Ironisnya, meskipun biologi mempelajari kehidupan yang dekat dengan keseharian peserta didik, mata pelajaran ini justru sering dianggap membosankan dan sulit. Penelitian Rahardini *et al.* (2022) terhadap 850 siswa SMA di tiga kota besar menunjukkan bahwa hanya 31% siswa yang menyatakan menyukai pelajaran biologi, sementara 58% menganggap biologi sebagai mata pelajaran yang hafalan-dominated dan tidak relevan dengan kehidupan mereka. Rendahnya motivasi ini berkorelasi langsung dengan dominasi pembelajaran pasif. Ketika peserta didik tidak dilibatkan secara aktif, tidak diberi kesempatan untuk mengeksplorasi, bertanya, dan menemukan sendiri, rasa ingin tahu alami mereka terhadap kehidupan perlahan padam (Ryan & Deci, 2020).

3. Rendahnya Hasil Belajar

Data Ujian Nasional sebelum pandemi dan Asesmen Nasional pasca-pandemi secara konsisten menunjukkan rendahnya capaian belajar biologi siswa Indonesia. Rata-rata nilai biologi dalam ujian nasional SMA pada tahun 2019 hanya sebesar 56,3, dengan proporsi peserta yang mencapai nilai di atas 75 tidak lebih dari 18% (Puspendik, 2019 dalam Widodo *et al.*, 2021). Kondisi ini tidak banyak berubah pasca implementasi Kurikulum Merdeka, terutama di sekolah-sekolah yang belum mendapatkan pendampingan yang memadai.

4. Keterbatasan Pembelajaran Berbasis Konteks Lokal

Salah satu kelemahan mendasar dalam pembelajaran biologi Indonesia adalah keterlepasan konten dari konteks lokal. Buku teks biologi yang digunakan di seluruh Indonesia cenderung menyajikan contoh-contoh yang bersumber dari literatur Barat, sementara kekayaan biodiversitas dan kearifan ekologis lokal Nusantara nyaris tidak tersentuh. Peserta didik di Kalimantan belajar tentang ekosistem hutan dari gambar yang mungkin bukan gambaran hutan Borneo; siswa di Sulawesi mengenal tanaman obat dari referensi yang tidak merepresentasikan pengetahuan suku-suku lokal setempat (Efendi *et al.*, 2023).

Kesenjangan antara konten buku teks dan realitas ekologis kultural lokal ini bukan sekadar persoalan relevansi, melainkan juga persoalan identitas dan keberlanjutan. Ketika pengetahuan lokal tidak diakomodasi dalam kurikulum, ia terancam punah bersama generasi yang menyimpannya (Berkes, 2018; UNESCO, 2021).

5. Kurangnya Integrasi Teknologi dan Kearifan Lokal

Di era digital, teknologi seharusnya menjadi akselerator pembelajaran, bukan sekadar hiasan. Namun, survei literasi digital guru biologi yang dilakukan Kemendikbudristek (2023) menunjukkan bahwa hanya 34% guru biologi yang mampu mengintegrasikan teknologi digital secara bermakna dalam pembelajaran. Lebih parah lagi, hampir tidak ada upaya sistematis untuk mengintegrasikan kearifan lokal ke dalam pembelajaran berbantuan teknologi. Padahal, sinergi antara teknologi dan kearifan lokal memiliki potensi luar biasa: teknologi dapat membantu mendokumentasikan, melestarikan, dan menyebarkan pengetahuan ekologis lokal, sementara kearifan lokal memberikan konteks bermakna bagi pemanfaatan teknologi dalam pengelolaan lingkungan (Nakashima *et al.*, 2022).

D. Urgensi Pembelajaran Biologi Kontekstual

Berbagai permasalahan yang dipaparkan pada sub-bab sebelumnya menegaskan urgensi untuk beralih dari pendekatan pembelajaran konvensional menuju pembelajaran biologi yang kontekstual. Kontekstualisasi bukan sekadar strategi pedagogis, melainkan komitmen epistemologis bahwa pengetahuan sejati hanya dapat dibangun dalam konteks pengalaman yang bermakna.

1. Pembelajaran yang Dekat dengan Kehidupan Peserta Didik

Teori kontekstual (*Contextual Teaching and Learning/CTL*) yang dikembangkan oleh Johnson (2022) menegaskan bahwa otak manusia mencari makna dalam konteks. Ketika materi pelajaran dihubungkan dengan pengalaman hidup peserta didik, penyimpanan dan retrieval informasi menjadi jauh lebih efektif. Dalam konteks biologi, ini berarti menggunakan fenomena ekologis lokal pertumbuhan tanaman di kebun sekolah, siklus air di sungai setempat, perilaku serangga di

ekosistem sawah sebagai jangkar konseptual untuk membangun pemahaman.

Penelitian Yuenyong & Narjaikaew (2021) yang membandingkan pembelajaran biologi kontekstual dengan pembelajaran konvensional pada 312 siswa SMA menunjukkan bahwa kelompok kontekstual mengalami peningkatan pemahaman konsep sebesar 42% lebih tinggi, serta menunjukkan retensi pengetahuan jangka panjang yang lebih baik.

2. Penguatan Pengalaman Belajar Nyata

Pengalaman belajar nyata (*authentic learning experience*) adalah fondasi utama dari teori belajar berbasis pengalaman (*experiential learning*) yang dirintis Kolb (1984) dan terus dikembangkan oleh para peneliti kontemporer. *Kolb's Experiential Learning Theory* menyatakan bahwa belajar terjadi melalui siklus empat tahap: pengalaman konkret, refleksi observasional, konseptualisasi abstrak dan eksperimentasi aktif. Siklus ini hanya bisa berjalan optimal ketika peserta didik terlibat langsung dengan fenomena nyata (Kolb & Kolb, 2023). Dalam pembelajaran biologi, pengalaman nyata dapat berbentuk: ekspedisi ilmiah ke ekosistem lokal, analisis sampel air sungai di laboratorium sederhana, pembuatan herbarium dari tumbuhan lokal, atau proyek pemantauan populasi satwa liar di sekitar sekolah. Semua ini memberikan pengalaman yang tidak bisa digantikan oleh buku teks atau video pembelajaran secanggih apapun.

3. Pengembangan Kesadaran Ekologis

Salah satu tujuan paling mendasar dari ekopedagogi adalah pengembangan kesadaran ekologis (*ecological consciousness*) pemahaman mendalam tentang keterhubungan antara manusia dengan alam dan tanggung jawab yang menyertainya (Capra & Luisi, 2021). Kesadaran ekologis bukanlah sekadar pengetahuan tentang ekologi; ia adalah transformasi cara pandang yang menempatkan manusia sebagai bagian dari, bukan penguasa, sistem alam.

Pembelajaran biologi yang kontekstual dan berbasis kearifan lokal memiliki potensi unik untuk membangun kesadaran ekologis ini. Ketika peserta didik belajar tentang konservasi air bukan dari buku teks, melainkan dari tokoh adat yang telah menjaga mata air selama berabad-

abad, pembelajaran menjadi sarat makna dan transformatif (Misiaszek, 2020; Gadotti, 2020).

4. Integrasi Sains, Budaya, dan Teknologi

Abad ke-21 menuntut sintesis antara pengetahuan ilmiah, kearifan budaya, dan kapasitas teknologi. Dikotomi antara sains Barat modern dan pengetahuan lokal tradisional merupakan konstruksi yang menyederhanakan realitas. Studi-studi etnobiologi kontemporer menunjukkan bahwa banyak pengetahuan ekologis lokal yang bukan hanya tidak bertentangan dengan sains modern, tetapi justru mendahului dan melengkapinya (Berkes, 2018). Integrasi sains, budaya, dan teknologi dalam pembelajaran biologi memungkinkan peserta didik untuk mengapresiasi keberagaman cara manusia memahami dan berinteraksi dengan alam, sekaligus mengembangkan kemampuan untuk mengintegrasikan berbagai perspektif dalam memecahkan masalah ekologis yang kompleks (UNESCO, 2021; Aikenhead & Ogawa, 2020).

E. Arah Inovasi Pembelajaran Biologi

Merespons tantangan dan urgensi yang telah dipaparkan, berbagai arah inovasi pembelajaran biologi perlu diimplementasikan secara terintegrasi. Berikut adalah lima arah inovasi utama yang menjadi pilar Model EBI.

1. Pembelajaran Berbasis Proyek

Project-Based Learning (PjBL) merupakan salah satu pendekatan pembelajaran yang paling terbukti efektif dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21. Dalam PjBL, peserta didik terlibat dalam penyelidikan mendalam terhadap masalah dunia nyata yang kompleks dan autentik, menghasilkan produk atau solusi yang bermakna (Krajcik & Shin, 2021). Kajian lebih mendalam tentang PjBL disajikan pada Bab II.

2. Pembelajaran Berbasis Kemandirian Belajar

Kemandirian belajar (*self-regulated learning*) merujuk pada kemampuan peserta didik untuk memantau, mengevaluasi, dan mengarahkan proses belajarnya sendiri menuju tujuan yang telah ditetapkan (Zimmerman & Schunk, 2021). Peserta didik yang mandiri

secara akademis memiliki motivasi intrinsik yang tinggi, mampu menggunakan strategi belajar yang adaptif, dan responsif terhadap umpan balik. Dalam konteks pembelajaran biologi, *self-regulated learning* memungkinkan peserta didik untuk merencanakan penyelidikan ilmiah mereka sendiri, memilih sumber belajar yang relevan, dan merefleksikan kemajuan belajar mereka secara berkelanjutan.

3. Pembelajaran Berbasis Kearifan Lokal

Kearifan lokal (*local wisdom* atau *indigenous knowledge*) dalam pembelajaran biologi bukan sekadar ornamen budaya, melainkan jembatan epistemologis antara dunia pengetahuan akademis dan pengalaman hidup peserta didik. Pengetahuan masyarakat tentang tumbuhan obat, pola migrasi hewan, siklus musim, dan pengelolaan lahan secara adat mengandung wawasan ekologis yang mendalam dan tervalidasi oleh ratusan bahkan ribuan tahun pengalaman (Nakashima *et al.*, 2022; Berkes, 2018).

4. Pembelajaran Berbasis Literasi Lingkungan

Literasi lingkungan (*environmental literacy*) sebagai tujuan pembelajaran biologi mencakup empat dimensi: pengetahuan tentang sistem ekologi, sikap pro-lingkungan, keterampilan investigasi lingkungan, dan perilaku bertanggung jawab terhadap lingkungan (Disinger & Roth, 1992 dalam Yuliati *et al.*, 2022). Mencapai keempat dimensi ini memerlukan pendekatan pembelajaran yang tidak hanya kognitif, tetapi juga afektif, psikomotorik, dan sosio-kultural.

5. Pembelajaran untuk Mendukung *Sustainable Development Goals* (SDGs)

Agenda pembangunan berkelanjutan global yang tertuang dalam 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) memiliki relevansi langsung dengan pendidikan biologi. Setidaknya enam dari 17 tujuan SDGs secara eksplisit terhubung dengan kompetensi yang dikembangkan dalam pembelajaran biologi: SDG 3 (Kehidupan Sehat), SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim), SDG 14 (Kehidupan Bawah Laut), SDG 15 (Kehidupan di Darat), SDG 4 (Pendidikan Berkualitas), dan SDG 17 (Kemitraan Global) (UN, 2022). Dengan demikian, pembelajaran biologi yang berorientasi SDGs bukan sekadar memenuhi

tuntutan kurikulum, melainkan secara aktif berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan global yang berdampak bagi seluruh umat manusia dan ekosistem bumi.

Tabel 1.2 Keterkaitan Pembelajaran Biologi dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

No. SDG	Tujuan	Relevansi dengan Pembelajaran Biologi
SDG 3	Kehidupan Sehat dan Sejahtera	Fisiologi manusia, kesehatan lingkungan, epidemiologi, bioteknologi kesehatan
SDG 4	Pendidikan Berkualitas	Inovasi pembelajaran biologi yang inklusif, kontekstual, dan bermakna
SDG 13	Penanganan Perubahan Iklim	Ekologi, siklus karbon, dampak perubahan iklim terhadap biodiversitas
SDG 14	Kehidupan Bawah Laut	Ekologi laut, konservasi terumbu karang, biodiversitas akuatik
SDG 15	Kehidupan di Darat	Ekologi terestrial, konservasi hutan, pengelolaan biodiversitas, restorasi ekosistem
SDG 17	Kemitraan untuk Tujuan	Kolaborasi sains, komunitas, kebijakan dalam pengelolaan sumber daya alam

Sumber: UN *Sustainable Development Goals* (2022) yang diadaptasi untuk konteks pembelajaran biologi

BAB II

PROJECT BASED LEARNING DAN PENDEKATAN SAINTIFIK DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI

Bab ini mengkaji secara mendalam *Project-Based Learning* (PjBL) sebagai salah satu pilar utama Model EBI, mulai dari konsep dasar, landasan teoretis, sintaks pelaksanaan, hingga integrasinya dengan pendekatan saintifik dalam pembelajaran biologi. Pemahaman yang komprehensif tentang PjBL adalah prasyarat bagi setiap pendidik yang ingin mengimplementasikan Model EBI secara efektif dan bermakna.

A. Konsep Dasar Project Based Learning

1. Pengertian *Project Based Learning*

Project-Based Learning (PjBL) adalah model pembelajaran yang berpusat pada peserta didik di mana mereka terlibat secara aktif dalam penyelidikan masalah dunia nyata yang kompleks dan autentik, menghasilkan produk, presentasi, atau pertunjukan yang bermakna sebagai hasil dari proses belajar yang mendalam (Krajcik & Shin, 2021; Buck Institute for Education, 2020). Beberapa definisi penting dari literatur terkini tentang PjBL yang perlu dicermati:

Krajcik & Shin (2021): mendefinisikan PjBL sebagai "*a systematic teaching method that engages students in learning important knowledge and 21st century skills through an extended, student influenced inquiry process structured around complex, authentic questions and carefully designed products and learning tasks*".

Patton (2020): menekankan bahwa PjBL bukan sekadar penugasan, melainkan proses penyelidikan yang "*student driven, problem centered, and real world connected*", di mana peserta didik memiliki otonomi signifikan dalam merencanakan dan melaksanakan proyeknya.

Perlu dibedakan antara PjBL (*Project-Based Learning*) dengan *project work* atau tugas proyek konvensional. Dalam *project work* konvensional, proyek sering diberikan setelah materi selesai diajarkan sebagai aplikasi atau latihan. Sebaliknya, dalam PjBL, proyek adalah *vehicle* (wahana) bagi pembelajaran itu sendiri, peserta didik belajar konten dan keterampilan melalui proses pengerjaan proyek (Thomas, 2021).

2. Karakteristik *Project Based Learning*

PjBL memiliki karakteristik yang membedakannya dari model pembelajaran lain. *Buck Institute for Education* (BIE, 2020) mengidentifikasi tujuh karakteristik esensial PjBL berkualitas tinggi yang disebut *Gold Standard PjBL*.

Tabel 2.1 Tujuh Elemen *Gold Standard Project Based Learning*

No.	Elemen	Deskripsi
1	Pertanyaan Menantang	Proyek dimulai dari pertanyaan mendasar yang kompleks, terbuka, dan relevan dengan kehidupan nyata peserta didik.
2	Penyelidikan Mendalam	Peserta didik terlibat dalam proses inkuiri yang berkelanjutan seperti bertanya, menemukan sumber, mengajukan pertanyaan baru, dan mengembangkan jawaban.
3	Keaslian (<i>Authenticity</i>)	Proyek memiliki koneksi nyata dengan dunia di luar kelas: konteks nyata, penggunaan proses/alat nyata, dampak nyata bagi komunitas.
4	Suara dan Pilihan Siswa	Peserta didik memiliki keputusan atas berbagai aspek proyek: pertanyaan, sumber, metode, produk, dan jadwal kerja.
5	Refleksi	Peserta didik dan pendidik secara reguler merefleksikan proses belajar, penggunaan strategi belajar, kualitas produk, dan hambatan yang ditemui.

6	Kritik dan Revisi	Peserta didik menerima umpan balik dari pendidik dan rekan, merevisi produk berdasarkan umpan balik untuk mencapai kualitas terbaik.
7	Produk Publik	Peserta didik mempresentasikan atau berbagi produk mereka kepada audiens di luar kelas: komunitas, orang tua, ahli, atau publik luas.

Sumber: Gold Standard PjBL (2020)

3. Prinsip Utama Pembelajaran Berbasis Proyek

Selain karakteristik esensial di atas, PjBL dilandasi oleh beberapa prinsip pedagogis utama yang membedakannya dari pendekatan pembelajaran lainnya (Thomas, 2021; Krajcik & Shin, 2021):

- Prinsip Ketermusatan (*Centrality*): Proyek adalah kurikulum itu sendiri, bukan tambahan atau pelengkap materi yang sudah diajarkan.
- Prinsip Pertanyaan Mendasar (*Driving Question*): Proyek diorganisasikan di sekitar pertanyaan mendasar yang mendorong peserta didik untuk menguasai konsep inti.
- Prinsip Penyelidikan Konstruktif (*Constructive Investigation*): Proyek melibatkan proses transformasi dan pembangunan pengetahuan, bukan sekadar aplikasi mekanis informasi.
- Prinsip Otonomi (*Autonomy*): Peserta didik memiliki derajat otonomi yang signifikan dalam merencanakan, melaksanakan, dan mengomunikasikan proyek mereka.
- Prinsip Realisme (*Realism*): Proyek memiliki keaslian, baik dalam konteks, proses, maupun dampak bagi dunia nyata.

4. Perbedaan PjBL dengan Pembelajaran Konvensional

Memahami perbedaan mendasar antara PjBL dan pembelajaran konvensional penting untuk menghindari kesalahan implementasi dan salah persepsi tentang apa yang dimaksud dengan 'proyek' dalam konteks PjBL.

Tabel 2.2 Perbandingan PjBL dengan Pembelajaran Konvensional

Aspek	Pembelajaran Konvensional	Project-Based Learning (PjBL)
Titik Awal	Konten/materi yang akan diajarkan pendidik	Pertanyaan mendasar berbasis masalah dunia nyata
Peran Pendidik	Sumber pengetahuan, penyampai informasi	Fasilitator, pembimbing, coach, mentor
Peran Peserta Didik	Penerima, pencatat, dan pengulang informasi	Penyelidik, pemecah masalah, pencipta produk
Penyelidikan	Terbatas; umumnya konfirmasi jawaban yang sudah ada	Terbuka, berkelanjutan, mendorong pertanyaan baru
Penilaian	Tes tertulis di akhir unit; berfokus pada konten	Penilaian proses dan produk; portofolio; presentasi publik
Keterampilan yang Dikembangkan	Mengingat, memahami (taksonomi bloom rendah)	Menganalisis, mengevaluasi, menciptakan (taksonomi bloom tinggi) + 4C
Produk Akhir	Nilai ujian, lembar kerja	Artefak nyata: laporan, model, video, presentasi, solusi

Sumber: Diadaptasi dari Thomas (2021); Krajcik & Shin (2021); Larmer et al. (2020)

B. Landasan Teoretis Project Based Learning

1. Teori Konstruktivisme

Konstruktivisme adalah fondasi epistemologis yang paling fundamental bagi PjBL. Teori ini, yang berakar dari pemikiran Jean Piaget (1896–1980) dan Lev Vygotsky (1896–1934), menegaskan bahwa pengetahuan tidak dipindahkan dari satu pikiran ke pikiran

lainnya, melainkan dibangun secara aktif oleh setiap individu melalui interaksi dengan lingkungannya (Vygotsky, 1978 dalam Moll, 2021).

Piaget memperkenalkan konsep asimilasi (mengintegrasikan informasi baru ke dalam skema yang sudah ada) dan akomodasi (memodifikasi skema untuk menyesuaikan diri dengan informasi baru). Dalam PjBL, proses penyelidikan proyek secara natural menciptakan kondisi-kondisi yang mendorong terjadinya asimilasi dan akomodasi secara berkelanjutan (Hmelo-Silver *et al.*, 2021).

Vygotsky menambahkan dimensi sosial dengan konsep *Zone of Proximal Development* (ZPD), zona antara apa yang dapat dilakukan peserta didik secara mandiri dan apa yang dapat dicapai dengan bantuan orang lain yang lebih kompeten. PjBL, dengan strukturnya yang kolaboratif dan peran fasilitator yang aktif, secara ideal mengoperasikan pembelajaran dalam *Zone of Proximal Development* setiap peserta didik (Moll, 2021).

2. *Experiential Learning*

Teori belajar berbasis pengalaman (*experiential learning*) yang dikembangkan oleh David Kolb (1984) dan diperkuat oleh penelitian-penelitian kontemporer memberikan justifikasi teoritis yang kuat bagi pendekatan PjBL. Kolb memetakan belajar sebagai siklus empat tahap yang berputar: (1) Pengalaman Konkret, (2) Refleksi Observasional, (3) Konseptualisasi Abstrak, (4) Eksperimentasi Aktif (Kolb & Kolb, 2023).

Siklus Kolb ini sangat selaras dengan tahapan PjBL dimana peserta didik memulai dari pengalaman langsung (proyek), merefleksikan prosesnya, membangun konsep-konsep abstrak dari pengalaman tersebut, dan kemudian mengeksperimentkan konsep baru dalam putaran proyek berikutnya. Inilah mengapa PjBL menghasilkan pembelajaran yang lebih dalam dan tahan lama dibandingkan pembelajaran transmisi.

3. *Inquiry Learning*

Belajar berbasis inkuiri (*inquiry-based learning*) merupakan pendekatan pembelajaran yang berakar dari tradisi ilmiah di mana peserta didik belajar melalui pengajuan pertanyaan, pengumpulan bukti, dan pembangunan pemahaman berbasis bukti tersebut. John Dewey (1938) adalah pelopor utama yang menyerukan bahwa pendidikan harus berakar pada pengalaman dan inkuiri ilmiah.

Wenning (2022) mengidentifikasi lima level inkuiri yang membentuk kontinum dari yang paling terbimbing hingga paling terbuka: (i) *discovery learning*, (ii) *interactive demonstration*, (iii) *inquiry lesson*, (iv) *inquiry laboratory*, dan (v) *hypothetical inquiry*. PjBL dalam biologi beroperasi terutama pada level inkuiri laboratorium dan hipotetik, di mana peserta didik merancang dan melaksanakan penyelidikan mereka sendiri.

4. Collaborative Learning

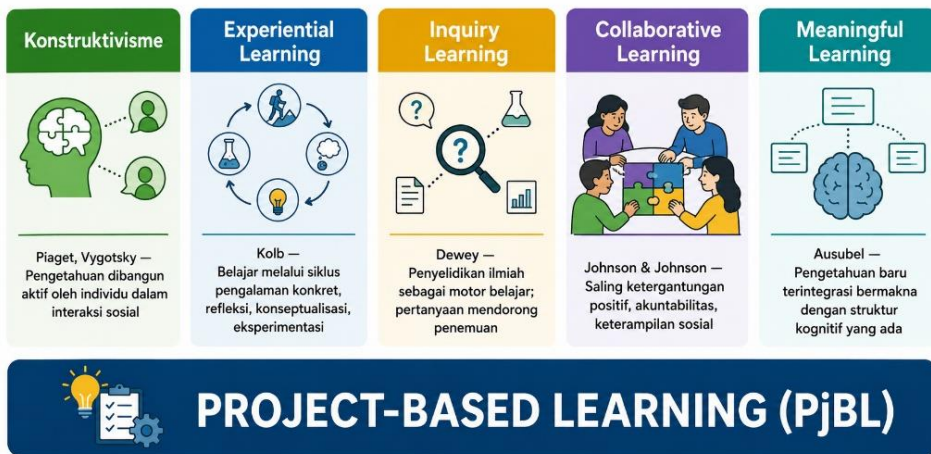
Belajar kolaboratif (*collaborative learning*) adalah dimensi sosial yang krusial dalam PjBL. Johnson & Johnson (2020) membedakan antara kerja kelompok biasa dengan belajar kolaboratif sejati berdasarkan lima elemen: saling ketergantungan positif, akuntabilitas individu, interaksi tatap muka promotif, keterampilan sosial, dan pemrosesan kelompok. Dalam PjBL biologi, kolaborasi bukan sekadar soal pembagian tugas secara mekanis. Ia melibatkan negosiasi makna, berbagi perspektif yang berbeda, membangun konsensus berbasis bukti, dan belajar dari keragaman cara pandang. Kelompok yang heterogen dalam PjBL sering menghasilkan solusi yang lebih kreatif dan komprehensif dibandingkan individu manapun dalam kelompok tersebut (Vygotsky, 1978 dalam Moll, 2021; Slavin, 2021).

5. Pembelajaran Aktif dan Bermakna

Konsep pembelajaran bermakna (*meaningful learning*) dari David Ausubel (1968) menegaskan bahwa belajar bermakna terjadi ketika peserta didik mengintegrasikan pengetahuan baru ke dalam struktur pengetahuan yang sudah ada secara substansif dan tidak arbitrer. Kunci dari pembelajaran bermakna adalah adanya *advance organizers*, konsep-konsep pengait yang menghubungkan pengetahuan baru dengan pengetahuan yang sudah ada (Ausubel, 1968 dalam Novak, 2020).

Pembelajaran aktif (*active learning*), sebagaimana dikembangkan oleh Freeman *et al.* (2021), mencakup semua strategi pembelajaran yang melibatkan peserta didik secara aktif dalam mengonstruksi pengetahuan: diskusi, pemecahan masalah, simulasi, dan tentu saja proyek. Meta-analisis Freeman *et al.* (2021) terhadap 225 studi STEM menemukan bahwa pembelajaran aktif meningkatkan nilai ujian sebesar 6% dan mengurangi tingkat kegagalan sebesar 33% dibandingkan ceramah tradisional.

Gambar 2.1 Landasan Teoretis *Project-Based Learning*



Sumber: Diolah dari Krajcik & Shin (2021); Moll (2021); Kolb & Kolb (2023); Freeman et al. (2021)

C. Sintaks Project Based Learning

Sintaks PjBL merujuk pada tahapan-tahapan terstruktur yang membentuk kerangka implementasi PjBL di kelas. Berbagai versi sintaks PjBL telah dikembangkan oleh para ahli; Model EBI mengadaptasi sintaks yang dikembangkan oleh Kemendikbudristek (2022) yang disesuaikan dengan konteks pembelajaran biologi Indonesia, dengan merujuk pada BIE (*Buck Institute for Education*) *Gold Standard*.

1. Fase 1: Menentukan Pertanyaan Mendasar (*Driving Question*)

Pertanyaan mendasar (*driving question*) adalah jantung dari PjBL. Pertanyaan yang baik harus memenuhi kriteria COOL: *Challenging* (menantang), *Open-ended* (terbuka), *Overarching* (merangkum banyak konsep), dan *Linked to real-life* (terkait kehidupan nyata) (Larmer et al., 2020). Contoh *driving question* dalam pembelajaran biologi, yaitu:

- Bagaimana kita dapat memulihkan kualitas air Sungai X yang tercemar limbah pertanian agar kembali mendukung kehidupan ikan dan tanaman air lokal?

- b. Tanaman obat tradisional apa yang tumbuh di sekitar sekolah kita, dan bagaimana masyarakat adat menggunakannya, apakah ada bukti ilmiahnya?
- c. Bagaimana perubahan iklim memengaruhi populasi lebah penyerbuk di kawasan pertanian kita, dan apa dampaknya bagi ketahanan pangan?

Dalam proses penetapan *driving question*, peserta didik perlu dilibatkan agar pertanyaan benar-benar relevan dengan konteks dan pengalaman mereka. Pendidik berperan sebagai fasilitator yang membantu menyempurnakan pertanyaan yang diusulkan peserta didik menjadi pertanyaan yang produktif secara pedagogis (Krajcik & Shin, 2021).

2. Fase 2: Mendesain Perencanaan Proyek

Setelah *driving question* ditetapkan, peserta didik bersama pendidik merancang rencana proyek yang mencakup: tujuan proyek, produk akhir yang akan dihasilkan, sumber daya yang dibutuhkan, pembagian tugas dalam tim, dan metode penyelidikan yang akan digunakan. Pada fase ini, peserta didik didorong untuk membuat keputusan-keputusan substantif tentang bagaimana mereka akan menjawab pertanyaan mendasar.

Perencanaan proyek yang baik mencakup: (a) identifikasi pertanyaan-pertanyaan sub yang perlu dijawab, (b) pemetaan sumber belajar yang diperlukan, (c) penetapan peran dan tanggung jawab anggota tim, (d) rancangan produk akhir, dan (e) indikator keberhasilan proyek (Thomas, 2021; Kemendikbudristek, 2022).

3. Fase 3: Menyusun Jadwal Pelaksanaan Proyek

Manajemen waktu adalah kompetensi penting yang dikembangkan melalui PjBL. Pada fase ini, tim peserta didik menyusun jadwal kerja yang realistis, menetapkan tonggak-tonggak (*milestones*) yang harus dicapai, dan mengalokasikan waktu untuk setiap aktivitas. Jadwal ini bukan sekadar administrasi; ia adalah instrumen pemberdayaan yang memberikan peserta didik kontrol atas proses belajar mereka sendiri.

Pendidik berperan untuk membantu peserta didik menetapkan deadline yang realistis dan mengantisipasi hambatan yang mungkin muncul. Pada kenyataannya, jadwal proyek seringkali perlu direvisi

seiring perkembangan penyelidikan dan ini pun merupakan pengalaman belajar yang berharga tentang sifat penelitian ilmiah yang tidak selalu linear (Patton, 2020).

4. Fase 4: Memonitor Aktivitas Proyek

Monitoring adalah fase krusial yang membedakan PjBL berkualitas tinggi dari proyek yang sekadar berjalan tanpa arahan. Pendidik secara aktif memantau kemajuan setiap kelompok, memberikan bimbingan ketika kelompok menemui kebuntuan, dan mengidentifikasi miskonsepsi yang perlu dikoreksi sebelum mengakar.

Alat monitoring yang efektif meliputi: checklist kemajuan proyek, jurnal refleksi mingguan, konferensi kelompok terjadwal, dan penilaian formatif berbasis portofolio (Larmer *et al.*, 2020). Pemantauan juga melibatkan penggunaan *scaffolding* yang adaptif, dukungan yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik setiap tim, dan dikurangi secara bertahap seiring meningkatnya kemandirian peserta didik.

5. Fase 5: Menguji dan Mempresentasikan Hasil

Presentasi publik adalah salah satu elemen paling transformatif dalam PjBL. Ketika peserta didik mengetahui bahwa hasil kerja mereka akan dipresentasikan kepada audiens yang nyata bukan sekadar guru, standar kualitas yang mereka terapkan pada pekerjaan mereka meningkat signifikan. Audiens yang dipilih dapat berupa orang tua, komunitas lokal, ahli dari perguruan tinggi atau lembaga penelitian, atau bahkan pemerintah daerah. Sebelum presentasi akhir, penting bagi kelompok untuk menjalani proses *critique* (kritik konstruktif) dari rekan dan pendidik, dan merevisi produk mereka berdasarkan umpan balik tersebut. Siklus *feedback-revision* ini mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan mentalitas pertumbuhan (*growth mindset*) yang esensial bagi seorang ilmuwan muda.

6. Fase 6: Mengevaluasi Pengalaman Belajar

Evaluasi dalam PjBL bersifat dua arah: pendidik mengevaluasi pembelajaran peserta didik (sumatif dan formatif), dan peserta didik mengevaluasi proses dan pengalaman belajar mereka sendiri (refleksi). Refleksi di akhir proyek membantu peserta didik mengidentifikasi apa yang berhasil, apa yang bisa diperbaiki, dan bagaimana pengalaman proyek ini mengubah pemahaman dan perspektif mereka.

Penilaian dalam PjBL biologi umumnya mencakup: penilaian produk (kualitas laporan, model, atau artefak lainnya), penilaian proses (keaktifan dalam penyelidikan, kolaborasi, manajemen waktu), penilaian presentasi (kejelasan komunikasi ilmiah, kemampuan menjawab pertanyaan), dan penilaian refleksi diri (kualitas jurnal refleksi, kemampuan evaluasi diri) (BIE, 2020; Krajcik & Shin, 2021).

Gambar 2.2 Sintaks *Project Based Learning* dalam Pembelajaran Biologi (Model EBI)

FASE		AKTIVITAS PEMBELAJARAN
	Fase 1 (Menanya)	DRIVING QUESTION: Peserta didik bersama pendidik merumuskan pertanyaan mendasar berbasis konteks ekologis lokal yang autentik dan menantang
	Fase 2 (Merancang)	DESIGN: Tim peserta didik merancang rencana proyek: tujuan, metode penyelidikan, pembagian tugas, sumber belajar, dan bentuk produk akhir
	Fase 3 (Menjadwal)	SCHEDULE: Penetapan timeline, milestones, dan alokasi sumber daya; perencanaan kunjungan lapangan atau narasumber lokal
	Fase 4 (Memantau)	MONITORING: Pendidik memantau kemajuan secara formatif; peserta didik menulis jurnal refleksi; scaffolding adaptif diberikan sesuai kebutuhan
	Fase 5 (Mempresentasi)	PRESENTATION: Pengujian produk; critique session; revisi; presentasi publik kepada audiens nyata (komunitas, ahli, atau publik)
	Fase 6 (Mengevaluasi)	EVALUATION: Penilaian produk, proses, presentasi, dan refleksi diri; diskusi pembelajaran; perencanaan tindak lanjut proyek

Sumber: Diadaptasi dari BIE Gold Standard PjBL (2020);
Kemendikbudristek (2022)

D. Pendekatan Saintifik dalam Pembelajaran Biologi

Pendekatan saintifik (*scientific approach*) adalah pendekatan pembelajaran yang mengadopsi langkah-langkah proses ilmiah sebagai landasan aktivitas belajar. Dalam konteks Kurikulum 2013 dan Kurikulum Merdeka di Indonesia, pendekatan saintifik menjadi salah satu pilar utama pembelajaran IPA, termasuk biologi.

1. Hakikat Pendekatan Saintifik

Pendekatan saintifik dalam pembelajaran dilandasi oleh pandangan bahwa sains adalah *way of knowing*, cara memperoleh pengetahuan melalui observasi empiris, pengujian hipotesis, dan analisis

logis. Pendekatan ini berbeda dari sekadar mengikuti metode ilmiah secara kaku tetapi lebih menekankan pengembangan disposisi ilmiah dan kemampuan berpikir seperti ilmuwan (*thinking like a scientist*) (Lederman & Lederman, 2020; NRC, 2012 dalam Barber et al., 2021).

Permendikbud No. 65 Tahun 2013 tentang Standar Proses mengidentifikasi lima langkah pokok pendekatan saintifik: mengamati, menanya, mengumpulkan informasi/mencoba, menalar/mengasosiasi, dan mengomunikasikan (5M). Dalam implementasi Model EBI, kelima langkah ini tidak diperlakukan sebagai urutan kaku, melainkan sebagai prinsip panduan yang fleksibel sesuai dengan konteks penyelidikan.

2. Mengamati (*Observing*)

Observasi adalah fondasi dari semua penyelidikan ilmiah. Dalam pembelajaran biologi, observasi tidak hanya melibatkan penglihatan, tetapi seluruh indera yang relevan: melihat struktur morfologi tumbuhan, mendengar suara perilaku hewan, merasakan tekstur tanah dalam analisis ekosistem, mencium aroma fermentasi dalam bioteknologi. Observasi yang terampil memerlukan latihan dan pengembangan kemampuan menggunakan alat-alat ilmiah (*tools of science*) seperti mikroskop, kaca pembesar, termometer, dan alat ukur lainnya. Dalam konteks kearifan lokal, observasi juga mencakup pengamatan terhadap praktik-praktik ekologis tradisional seperti cara petani lokal mengenali tanda-tanda musim, cara nelayan tradisional membaca arus air, atau cara dukun beranak mengenali tanaman obat berdasarkan ciri morfologinya. Ini adalah observasi yang kaya makna dan bernilai epistemologis tinggi.

3. Menanya (*Questioning*)

Kemampuan mengajukan pertanyaan yang produktif adalah salah satu keterampilan paling penting yang harus dikembangkan dalam pembelajaran biologi. Namun, penelitian menunjukkan bahwa di sebagian besar kelas konvensional, hampir semua pertanyaan diajukan oleh pendidik, bukan peserta didik, sebuah paradoks yang menghambat berkembangnya rasa ingin tahu ilmiah (Chin & Osborne, 2020).

Model EBI secara eksplisit menciptakan ruang dan insentif bagi peserta didik untuk mengajukan pertanyaan. Pertanyaan yang baik dalam biologi dapat dikategorikan menjadi: pertanyaan investigasi (*investigable questions*) yang dapat dijawab melalui penyelidikan

langsung, dan pertanyaan konseptual yang mendorong pemikiran mendalam tentang prinsip-prinsip biologis.

4. Mengumpulkan data

Pengumpulan data dalam pembelajaran biologi mencakup berbagai metode seperti pengamatan langsung di lapangan, eksperimen di laboratorium, pengukuran variabel dengan instrumen yang tepat, wawancara dengan narasumber (termasuk tokoh pemegang kearifan lokal), dan studi literatur. Setiap metode pengumpulan data memiliki kelebihan dan keterbatasannya masing-masing, dan memilih metode yang tepat adalah bagian dari keterampilan ilmiah yang harus dikembangkan. Dalam Model EBI, pengumpulan data seringkali melibatkan triangulasi sumber: data primer dari pengamatan langsung atau eksperimen, data sekunder dari literatur ilmiah, dan pengetahuan lokal dari komunitas. Integrasi ketiga sumber data ini menghasilkan pemahaman yang lebih kaya dan bernuansa.

5. Menalar (*Reasoning*)

Teori Penalaran ilmiah (*scientific reasoning*) adalah proses kognitif yang menghubungkan bukti dengan kesimpulan secara logis dan sistematis. Ini mencakup berbagai jenis penalaran, yaitu induktif (dari data spesifik ke prinsip umum), deduktif (dari prinsip umum ke prediksi spesifik), abduktif (mengidentifikasi penjelasan terbaik dari bukti yang ada), dan kausal (mengidentifikasi hubungan sebab-akibat) (Lawson, 2021; Fischer *et al.*, 2022).

Penalaran ilmiah yang baik juga mencakup kemampuan untuk mengevaluasi kualitas bukti, mengidentifikasi *alternative explanations*, dan mengakui keterbatasan kesimpulan. Dalam konteks kearifan lokal, penalaran ilmiah membantu peserta didik untuk tidak sekadar menerima atau menolak pengetahuan tradisional secara dikotomis, melainkan mengkritisnya secara konstruktif dengan menggunakan standar-standar empiris yang tepat.

6. Mengomunikasikan (*Communicating*)

Komunikasi ilmiah (*scientific communication*) adalah keterampilan yang sering terabaikan dalam pembelajaran biologi Indonesia. Padahal, kemampuan mengomunikasikan temuan ilmiah secara efektif baik dalam bentuk tulisan (laporan, artikel, poster) maupun

lisan (presentasi, diskusi, debat ilmiah) adalah kompetensi yang sangat dibutuhkan di era informasi ini.

Model EBI menekankan pengembangan komunikasi ilmiah multi-modal, dimana laporan tertulis menggunakan konvensi penulisan ilmiah, presentasi visual dengan data dan grafik, video dokumenter tentang ekosistem lokal, peta konsep yang mengintegrasikan pengetahuan sains dan kearifan lokal, bahkan poster ilmiah yang bisa dipresentasikan di konferensi siswa.

E. Integrasi PjBL dan Pendekatan Saintifik

1. Kesesuaian Sintaks PjBL dengan Pendekatan Saintifik

PjBL dan pendekatan saintifik memiliki kesesuaian yang sangat tinggi: keduanya berorientasi pada penyelidikan, berbasis masalah autentik, dan menghendaki keterlibatan aktif peserta didik. Integrasi keduanya menghasilkan sinergi pedagogis yang jauh lebih kuat dibandingkan jika diterapkan secara terpisah.

Tabel 2.3 Pemetaan Kesesuaian Sintaks PjBL dan Langkah Saintifik

Sintaks PjBL	Langkah Saintifik (5M)	Aktivitas dalam Biologi
Fase 1 <i>Driving Question</i>	Mengamati & Menanya	Observasi fenomena ekologis, perumusan pertanyaan investigasi
Fase 2 Merancang	Menanya & Mengumpulkan	Desain penelitian, identifikasi variabel, rancangan sampling
Fase 3 Menjadwal	Mengumpulkan Data	Rencana pengambilan data lapangan dan laboratorium
Fase 4 Memantau	Mengumpulkan & Menalar	Pengumpulan data, analisis awal, koreksi metode jika diperlukan
Fase 5 Mempresentasi	Mengomunikasikan	Presentasi temuan, diskusi ilmiah, critique and revision

Fase 6 Mengevaluasi	Menalar & Mengomunikasikan	Refleksi, penafsiran hasil dalam konteks teori, implikasi untuk keberlanjutan
------------------------	-------------------------------	--

Sumber: Diolah dari Kemendikbudristek (2022); Krajcik & Shin (2021); Larmer et al. (2020)

2. Proyek sebagai Wahana Aktivitas Ilmiah

Proyek dalam PjBL bukan sekadar tugas tambahan, ia adalah ekosistem belajar yang komprehensif di mana semua aktivitas ilmiah berlangsung secara terintegrasi dan bermakna. Ketika peserta didik mengerjakan proyek pemantauan kualitas air sungai, misalnya, mereka secara simultan melakukan observasi (mengamati kondisi sungai), pengukuran (mengukur pH, kadar oksigen terlarut), analisis (menghubungkan data dengan standar baku mutu air), dan komunikasi (menulis laporan dan mempresentasikan rekomendasi kepada pemerintah daerah).

Integrasi semua aktivitas ilmiah dalam satu proyek yang kohesif inilah yang membuat PjBL jauh lebih efektif dibandingkan praktikum-praktikum terpisah yang tidak terhubung satu sama lain. Dalam proyek, setiap aktivitas memiliki makna dalam konteks keseluruhan penyelidikan (Krajcik & Shin, 2021).

3. Investigasi Ilmiah dalam Pembelajaran Biologi

Investigasi ilmiah dalam biologi mencakup berbagai bentuk penyelidikan: eksperimen terkontrol di laboratorium, survei lapangan, studi kasus, analisis sampel biologis, dan pemodelan matematis. Model EBI mendorong penggunaan investigasi yang beragam dan terpadu, disesuaikan dengan konteks ekologis lokal dan pertanyaan penelitian yang dihadapi.

Komponen kunci dari investigasi ilmiah yang berkualitas dalam biologi meliputi perumusan hipotesis yang dapat diuji, identifikasi variabel kontrol dan variabel eksperimen, penggunaan kontrol negatif dan positif yang tepat, pengambilan data yang sistematis dan terdokumentasi, analisis data dengan metode statistik yang sesuai, dan interpretasi hasil dalam konteks teori yang relevan (Wenning, 2022).

Semua komponen ini dapat dikembangkan secara natural dalam konteks PjBL.

4. Peran Pendidik sebagai Fasilitator

Transformasi peran pendidik dari *sage on the stage* (pakar di atas panggung) menjadi *guide on the side* (pembimbing di sampingnya) adalah perubahan profesional yang fundamental namun tidak mudah (King, 1993 dalam Fisher & Frey, 2021). Dalam PjBL, pendidik biologi berperan sebagai fasilitator yang aktif: mendesain pengalaman belajar yang menantang, memberikan pertanyaan pemancing yang mendorong penyelidikan lebih dalam, menyediakan sumber belajar yang tepat waktu, memberikan umpan balik yang konstruktif, dan menciptakan iklim kelas yang aman untuk mengambil risiko intelektual.

Kemampuan fasilitasi yang efektif dalam PjBL biologi memerlukan: pemahaman mendalam tentang konsep biologi yang relevan, kepekaan terhadap kebutuhan dan kesulitan setiap kelompok, kemampuan untuk menyeimbangkan antara memberikan dan menahan bantuan (*scaffolding* yang tepat), serta kesediaan untuk belajar bersama peserta didik ketika menghadapi pertanyaan yang kompleks.

5. Peran Peserta Didik sebagai Peneliti Muda

Dalam PjBL, peserta didik berperan sebagai *junior scientist* atau peneliti muda yang melakukan penyelidikan yang autentik dan bermakna. Peran ini bukan metafora semata, penelitian menunjukkan bahwa ketika peserta didik diperlakukan sebagai ilmuwan muda yang sungguh-sungguh, dengan proyek yang benar-benar relevan dan audiens yang nyata, keterlibatan dan motivasi mereka meningkat dramatis (Krajcik & Shin, 2021; Barber *et al.*, 2021).

Peran sebagai peneliti muda ini mencakup tanggung jawab: merumuskan pertanyaan penelitian, merancang metodologi yang tepat, mengumpulkan dan menganalisis data dengan ketelitian dan kejujuran, menginterpretasikan temuan dalam konteks yang lebih luas, dan berkontribusi pada penyelesaian masalah lingkungan nyata di komunitas mereka. Inilah inti dari pendidikan sains yang transformatif.

F. Dampak PjBL-Saintifik terhadap Pembelajaran

Berbagai penelitian telah mengkonfirmasi dampak positif yang signifikan dari implementasi PjBL yang diintegrasikan dengan pendekatan saintifik terhadap berbagai aspek pembelajaran biologi.

1. Peningkatan Minat Belajar

Minat belajar adalah prasyarat bagi keterlibatan yang mendalam dan prestasi akademik yang optimal. Studi Putri et al. (2022) yang dilakukan terhadap 156 siswa SMA di Surabaya menemukan bahwa implementasi PjBL dalam pembelajaran biologi meningkatkan minat belajar sebesar 42,3% dibandingkan kelompok kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional. Peningkatan minat ini berakar pada relevansi proyek dengan kehidupan nyata, otonomi dalam proses belajar, dan kepuasan atas pencapaian produk yang nyata.

Penelitian Efendi et al. (2023) mengkonfirmasi temuan serupa dalam konteks pembelajaran biologi berbasis kearifan lokal, di mana integrasi PjBL dengan pengetahuan ekologis lokal menghasilkan peningkatan minat belajar yang bahkan lebih tinggi yaitu mencapai 56,7% karena peserta didik merasa pengalaman dan identitas budaya mereka dihargai dalam proses pembelajaran.

2. Peningkatan Hasil Belajar

Meta analisis yang dilakukan oleh Almulla (2020) terhadap 36 studi PjBL dalam pembelajaran sains (2010–2019) menunjukkan bahwa PjBL menghasilkan *effect size* rata-rata sebesar $d = 0,75$ terhadap hasil belajar kognitif, yang dikategorikan sebagai dampak yang besar berdasarkan kriteria Cohen. Untuk pembelajaran biologi secara spesifik, studi Suranti et al. (2021) yang dilakukan di 12 sekolah menengah di Indonesia menemukan bahwa implementasi PjBL meningkatkan rata-rata hasil belajar biologi dari 65,2 menjadi 80,4 (peningkatan 23,3%).

Hal yang lebih penting dari sekadar peningkatan nilai adalah peningkatan dalam pemahaman konseptual yang mendalam dan kemampuan aplikasi. Peserta didik yang belajar melalui PjBL tidak hanya mampu menjawab soal ujian dengan lebih baik, tetapi juga mampu mengaplikasikan konsep biologi dalam konteks yang berbeda-beda yaitu sebuah bukti bahwa pembelajaran bermakna telah terjadi.

3. Pengembangan Keterampilan Proses Sains

Keterampilan proses sains (*science process skills*) mencakup observasi, klasifikasi, pengukuran, inferensi, prediksi, komunikasi, dan eksperimentasi. Keterampilan-keterampilan ini adalah fondasi dari kemampuan ilmiah yang akan terus berguna sepanjang hayat, jauh melampaui ujian akhir sekolah.

Penelitian Rahayu *et al.* (2022) menunjukkan bahwa PjBL berbasis saintifik meningkatkan keterampilan proses sains siswa secara signifikan, terutama pada aspek merancang percobaan (meningkat 67%), menginterpretasi data (meningkat 54%), dan mengomunikasikan hasil (meningkat 61%). Peningkatan yang paling dramatis terjadi pada keterampilan yang paling jarang dilatih dalam pembelajaran konvensional: merancang percobaan dan interpretasi data kritis.

4. Penguatan Kemampuan Pemecahan Masalah

Kemampuan pemecahan masalah (*problem-solving*) adalah salah satu kompetensi yang paling dicari oleh dunia kerja dan kehidupan bermasyarakat. PjBL, dengan *driving question*-nya yang berbasis masalah dunia nyata, secara natural mengembangkan kemampuan ini melalui pengalaman langsung.

Studi longitudinal Vogler *et al.* (2021) yang mengikuti 248 siswa selama tiga tahun menemukan bahwa siswa yang mendapatkan pembelajaran berbasis PjBL menunjukkan kemampuan pemecahan masalah yang 34% lebih tinggi dalam tes standar dibandingkan siswa yang tidak mendapatkan PjBL. Lebih menarik lagi, perbedaan ini semakin menguat seiring waktu, mengindikasikan bahwa PjBL mengembangkan kapasitas berpikir jangka panjang, bukan sekadar kinerja jangka pendek.

5. Penguatan Kolaborasi dan Komunikasi Ilmiah

PjBL adalah model pembelajaran yang secara inheren kolaboratif. Setiap tahapan PjBL mulai dari perumusan *driving question* hingga presentasi akhir memerlukan dan mengembangkan kemampuan kerja tim yang efektif. Peserta didik belajar untuk bernegosiasi, mengelola konflik, menghargai perbedaan perspektif, dan membangun keputusan kolektif, keterampilan yang sangat dibutuhkan di tempat kerja modern.

Dalam konteks komunikasi ilmiah, PjBL memberikan platform yang autentik bagi peserta didik untuk mempraktikkan berbagai bentuk

komunikasi: presentasi lisan, penulisan laporan ilmiah, pembuatan poster, dan komunikasi dengan masyarakat non-akademis. Kemampuan untuk mengkomunikasikan hasil ilmiah kepada audiens yang beragam adalah kompetensi yang semakin penting di era *post-truth*, di mana kemampuan membedakan informasi ilmiah dari misinformasi menjadi keterampilan hidup yang esensial (McIntyre, 2021).



BAB III

KEMANDIRIAN BELAJAR, REGULASI DIRI, DAN MOTIVASI DALAM PENDIDIKAN BIOLOGI

Abad ke-21 tidak hanya menuntut penguasaan konten pengetahuan biologi yang mendalam, tetapi juga kemampuan peserta didik untuk mengelola proses belajarnya sendiri secara mandiri, reflektif, dan berkelanjutan. Kemandirian belajar bukan sekadar kemampuan bekerja tanpa pengawasan, melainkan sebuah kapasitas metakognitif yang kompleks: kemampuan untuk merencanakan, memantau, mengevaluasi, dan mengadaptasi strategi belajar sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

Bab ini membahas tiga pilar utama yang saling terkait erat: kemandirian belajar (*self directed learning*), regulasi diri (*self regulated learning*), dan motivasi belajar. Ketiga pilar ini bukan hanya konsep psikologis yang menarik secara teoritis, melainkan variabel-variabel yang secara empiris terbukti menjadi penentu utama keberhasilan belajar biologi baik di sekolah menengah maupun di perguruan tinggi. Model EBI secara khusus dirancang untuk mengintegrasikan dan memperkuat ketiga pilar ini melalui siklus pembelajaran berbasis proyek yang terstruktur.

A. Konsep Kemandirian Belajar

1. Hakikat Kemandirian Belajar

Kemandirian belajar sebagai konstruk psikologis-pedagogis memiliki sejarah intelektual yang panjang. Malcolm Knowles (1975) pertama kali memperkenalkan istilah *self directed learning* (SDL) dalam konteks pendidikan orang dewasa (*andragogy*), mendefinisikannya sebagai proses di mana individu mengambil inisiatif dengan atau tanpa bantuan orang lain dalam mendiagnosis kebutuhan belajar, merumuskan tujuan, mengidentifikasi sumber daya, memilih dan

mengimplementasikan strategi belajar, serta mengevaluasi hasil belajar (Knowles, 1975 dalam Merriam & Bierema, 2022).

Konsep ini kemudian berkembang dan diperluas oleh berbagai pemikir pendidikan. Garrison (1997) menambahkan dimensi motivasi dan manajemen diri, menegaskan bahwa kemandirian belajar sejati mencakup tiga dimensi yang saling menopang: (1) pengelolaan diri, kemampuan untuk mengorganisasikan konteks dan tujuan belajar; (2) pemantauan diri, kemampuan metakognitif untuk memantau kemajuan belajar; dan (3) motivasi diri, kemampuan untuk mempertahankan keterlibatan dalam belajar meski menghadapi hambatan (Garrison, 1997 dalam Loyens *et al.*, 2022).

Dalam konteks pendidikan biologi, kemandirian belajar berarti lebih dari sekadar kemampuan membaca buku teks sendiri. Ia mencakup kemampuan peserta didik untuk: mengidentifikasi pertanyaan biologis yang bermakna bagi mereka, memilih dan menggunakan berbagai sumber belajar (literatur ilmiah, observasi lapangan, wawancara dengan ahli, basis data biologis), menilai validitas dan relevansi informasi biologis, serta menghubungkan pengetahuan baru dengan pengalaman ekologis sehari-hari mereka (Gureckis & Markant, 2022).

2. Ciri-Ciri Pembelajar Mandiri

Peserta didik yang memiliki kemandirian belajar yang tinggi menunjukkan profil yang berbeda secara kualitatif dari peserta didik yang bergantung pada arahan eksternal. Knowles *et al.* (2020) dan Mezirow (2021) mengidentifikasi karakteristik utama pembelajaran mandiri yang efektif.

- a. Memiliki rasa ingin tahu yang tinggi dan intrinsik, aktif bertanya dan mencari tahu tanpa menunggu perintah
- b. Mampu menetapkan tujuan belajar yang spesifik, terukur, dan realistis secara mandiri
- c. Proaktif dalam mengidentifikasi dan mengakses berbagai sumber belajar yang relevan
- d. Memiliki kemampuan berpikir kritis dalam mengevaluasi kualitas dan relevansi informasi
- e. Mampu memantau kemajuan belajarnya sendiri dan melakukan penyesuaian strategi secara adaptif
- f. Bertanggung jawab penuh atas hasil belajarnya, tidak mengeksternalisasi kegagalan

- g. Menunjukkan persistensi dan ketekunan dalam menghadapi tantangan intelektual
- h. Terbuka terhadap umpan balik dan mampu menggunakannya untuk perbaikan
- i. Mampu mengintegrasikan pengetahuan baru dengan pengetahuan yang sudah dimiliki
- j. Memiliki motivasi belajar yang bersumber dari dalam diri (motivasi intrinsik)

Tabel 3.1 Kontinum Kemandirian Belajar: Dari Bergantung hingga Mandiri

Dimensi	Bergantung (<i>Dependent</i>)	Mandiri (<i>Self-Directed</i>)
Inisiatif	Menunggu arahan pendidik untuk memulai setiap aktivitas	Mengambil inisiatif sendiri, aktif mencari informasi dan pengalaman baru
Tujuan Belajar	Ditetapkan sepenuhnya oleh kurikulum dan pendidik	Bernegosiasi dengan pendidik, memiliki tujuan personal di luar tuntutan kurikulum
Sumber Belajar	Terbatas pada buku teks yang ditentukan pendidik	Aktif mengeksplorasi sumber beragam seperti jurnal, lapangan, narasumber ahli
Pemantauan	Mengandalkan pendidik untuk menilai kemajuan	Memantau kemajuan sendiri, menyesuaikan strategi secara proaktif
Evaluasi	Bergantung pada nilai dari pendidik sebagai satu-satunya ukuran	Mengevaluasi diri berdasarkan standar internal dan eksternal, reflektif
Motivasi	Ekstrinsik yaitu nilai, hadiah, hukuman	Intrinsik yaitu rasa ingin tahu, kepuasan intelektual, tujuan bermakna

Sumber: Diadaptasi dari Knowles et al. (2020); Garrison (1997) dalam Loyens et al. (2022)

3. Kemandirian Belajar dalam Pendidikan Tinggi

Pendidikan tinggi baik universitas maupun sekolah menengah atas seharusnya menjadi inkubator kemandirian belajar. Sayangnya, survei yang dilakukan oleh Kusurkar *et al.* (2022) terhadap 2.340 mahasiswa dari 15 universitas di Asia Tenggara menunjukkan bahwa sekitar 61% mahasiswa biologi masih menunjukkan ketergantungan tinggi pada arahan dosen, dengan skor *self-directed learning* yang signifikan lebih rendah dari yang diharapkan. Lebih mengkhawatirkan, hanya 24% yang menunjukkan kemampuan untuk menetapkan tujuan belajar mandiri di luar tuntutan kurikulum wajib.

Paradoks ini disebabkan oleh apa yang disebut Biggs (2022) sebagai suspensi kemandirian yang dipaksakan, sebuah fenomena di mana sistem pendidikan yang sangat terstruktur justru secara tidak sadar menghukum inisiatif belajar mandiri dengan menilai hanya output yang sesuai format yang ditentukan. Mahasiswa yang mencoba mengeksplorasi topik di luar kurikulum sering tidak mendapatkan penghargaan akademis, sehingga perilaku mandiri secara bertahap padam.

Model EBI secara eksplisit mengatasi paradoks ini dengan mengintegrasikan *self directed learning* ke dalam struktur pembelajaran yang formal melalui kontrak belajar, proyek berbasis pilihan peserta didik, dan penilaian yang menghargai proses eksplorasi mandiri. Pendekatan ini sejalan dengan rekomendasi UNESCO (2021) tentang *transformative education* yang menekankan pengembangan kapasitas peserta didik untuk belajar sepanjang hayat (*lifelong learning*).

4. Kemandirian Belajar dalam Pembelajaran Biologi

Biologi sebagai disiplin ilmu memiliki karakteristik unik yang membuatnya sangat kondusif untuk pengembangan kemandirian belajar. Keragaman dan kompleksitas objek kajiannya dari molekul DNA hingga ekosistem hutan tropis tidak bisa direduksi menjadi serangkaian fakta yang perlu dihafal; ia menuntut proses penyelidikan yang berkelanjutan, pertanyaan yang terus berkembang, dan kemauan untuk terus belajar dari lingkungan sekitar.

Peserta didik biologi yang mandiri menunjukkan pola yang khas: mereka mengamati fenomena biologis di sekitar mereka bahkan di luar kelas, mengajukan pertanyaan tentang mekanisme kehidupan yang mereka saksikan, mencari penjelasan dari berbagai sumber (bukan hanya

buku teks), dan menghubungkan pengetahuan ilmiah dengan kearifan lokal yang mereka warisi dari komunitas mereka. Profil ini adalah ideal yang diperjuangkan oleh Model EBI melalui implementasi PjBL yang sistematis (Efendi *et al.*, 2023; Rahayu *et al.*, 2022).

Gambar 3.1 Dimensi Kemandirian Belajar dalam Pembelajaran Biologi



Sumber: Diadaptasi dari Garrison (1997) dalam Loyens *et al.* (2022); Gureckis & Markant (2022)

B. Self Regulated Learning

1. Pengertian *Self Regulated Learning*

Self Regulated Learning adalah konstruk yang lebih spesifik dan operasional dibandingkan *self directed learning*. Zimmerman (2000) salah satu pionir utama penelitian *Self Regulated Learning* mendefinisikannya sebagai proses di mana peserta didik secara aktif terlibat dalam proses belajar mereka sendiri dari segi metakognisi, motivasi, dan perilaku (Zimmerman & Schunk, 2021). *Self Regulated Learning* bukan sekedar belajar mandiri dalam arti bekerja tanpa pengawasan; ia adalah kemampuan aktif untuk meregulasi pikiran, perasaan, dan perilaku selama proses belajar.

Pintrich (2004) memberikan definisi yang lebih komprehensif dimana *Self Regulated Learning* adalah proses aktif dan konstruktif di

mana peserta didik menetapkan tujuan belajar dan kemudian berusaha memantau, meregulasi, dan mengontrol kognisi, motivasi, dan perilaku mereka, yang dibimbing dan dikekang oleh tujuan mereka dan karakteristik kontekstual di lingkungan mereka (Pintrich, 2004 dalam Panadero, 2021). Definisi ini menegaskan bahwa *Self Regulated Learning* adalah proses yang *goal directed*, *adaptive*, dan *context sensitive*.

2. Komponen *Self Regulated Learning*

Berbagai model *Self Regulated Learning* telah dikembangkan, namun model Zimmerman (2000) yang terdiri dari tiga fase siklus belajar mandiri masih menjadi yang paling berpengaruh dan paling banyak digunakan dalam penelitian pendidikan sains (Panadero, 2021; Zimmerman & Schunk, 2021):

Tabel 3.2 Tiga Fase Siklus *Self Regulated Learning*

Fase	Fase 1 Perencanaan (<i>Forethought</i>)	Fase 2 Pelaksanaan (<i>Performance</i>)	Fase 3 Refleksi (<i>Self Reflection</i>)
Proses Kognitif	Penetapan tujuan, perencanaan strategis, analisis tugas	Penerapan strategi, pemantauan diri, pengelolaan waktu	Evaluasi diri, atribusi, adaptasi strategi
Proses Motivasi	Efikasi diri, orientasi tujuan, nilai dan minat intrinsik	<i>Self-talk</i> , citra mental, fokus atensi	Kepuasan diri, inferensi adaptif atau defensif
Contoh dalam Biologi	Saya akan mengumpulkan data kualitas air sungai ini selama 4 minggu dengan metode A	Saya memantau apakah prosedur sampling saya konsisten setiap pengambilan	Hasil ini tidak sesuai hipotesis, mungkin ada variabel yang belum saya kontrol

Sumber: Diadaptasi dari Zimmerman & Schunk (2021); Panadero (2021)

3. Perencanaan Belajar

Fase perencanaan (*forethought phase*) dalam *Self Regulated Learning* adalah fondasi yang menentukan kualitas seluruh proses belajar. Peserta didik dengan kemampuan perencanaan yang baik melakukan setidaknya empat aktivitas sebelum memulai tugas atau proyek, yaitu (1) analisis tugas, memahami secara mendalam apa yang dituntut; (2) penetapan tujuan, menetapkan tujuan spesifik, terukur, dan realistis; (3) perencanaan strategis, memilih strategi belajar yang paling sesuai; dan (4) mobilisasi motivasi, memperkuat keyakinan diri dan nilai tugas (Zimmerman & Schunk, 2021).

Dalam konteks PjBL biologi, fase perencanaan mencakup: merumuskan pertanyaan penelitian yang tepat, merancang metodologi pengumpulan data, mengidentifikasi sumber daya dan alat yang diperlukan, menetapkan jadwal kerja yang realistis, dan mendistribusikan tanggung jawab dalam tim. Pendidik berperan penting dalam *scaffolding* fase perencanaan ini, terutama bagi peserta didik yang belum terbiasa merencanakan secara mandiri.

4. Pemantauan Proses Belajar

Pemantauan diri (*self monitoring*) adalah proses di mana peserta didik secara aktif memperhatikan dan mengevaluasi aspek-aspek tertentu dari kinerja, motivasi, atau penggunaan strategi belajarnya (Zimmerman & Schunk, 2021). Dalam pendidikan biologi, pemantauan diri mencakup: memantau apakah prosedur eksperimen dilakukan dengan tepat, memeriksa apakah data yang dikumpulkan konsisten dengan protokol yang direncanakan, dan mengevaluasi apakah pemahaman konsep biologi yang relevan sudah memadai.

Alat pemantauan yang efektif meliputi jurnal belajar harian, checklist prosedur, log pengambilan data, dan rekaman video pengamatan lapangan. Penggunaan alat pemantauan ini bukan hanya membantu peserta didik mendeteksi masalah lebih awal, tetapi juga mengembangkan *metacognitive awareness* yaitu kesadaran tentang proses berpikirnya sendiri yang merupakan komponen kritis dari *Self Regulated Learning* (Flavell, 1979 dalam Veenman et al., 2022).

5. Evaluasi dan Refleksi Diri

Fase refleksi (*self reflection phase*) adalah momen di mana peserta didik mengintegrasikan pengalaman belajar ke dalam

pemahaman dan disposisi yang lebih luas. Refleksi yang efektif bukan sekadar meringkas apa yang telah dipelajari, melainkan proses analitis mendalam yang mencakup evaluasi kualitas hasil kerja berdasarkan kriteria yang ditetapkan, identifikasi kekuatan dan kelemahan strategi yang digunakan, analisis faktor-faktor yang berkontribusi terhadap keberhasilan atau kegagalan, dan merencanakan perbaikan untuk siklus belajar berikutnya (Boud *et al.*, 2021).

Penelitian Panadero *et al.* (2021) menunjukkan bahwa kualitas refleksi diri berkorelasi secara signifikan dengan peningkatan kinerja akademis dalam pembelajaran sains. Peserta didik yang menggunakan teknik refleksi terstruktur seperti jurnal refleksi guided dengan pertanyaan-pertanyaan spesifik menunjukkan peningkatan SRL yang jauh lebih besar dibandingkan mereka yang hanya diminta 'merefleksikan' tanpa panduan.

C. Self Directed Learning

1. Pengertian *Self Directed Learning*

Self Directed Learning (SDL) dan *Self Regulated Learning* (SRL) adalah dua konstruk yang sering digunakan secara bergantian, namun memiliki perbedaan nuansi yang penting. *Self Regulated Learning* lebih menekankan pada proses psikologis internal dalam mengontrol kognisi dan motivasi selama tugas tertentu, sementara *Self Directed Learning* lebih menekankan pada otonomi dan tanggung jawab peserta didik dalam merencanakan dan mengelola keseluruhan pengalaman belajarnya, termasuk menentukan apa yang perlu dipelajari (Loyens *et al.*, 2022; Merriam & Bierema, 2022).

Bolhuis (2003 dalam Loyens *et al.*, 2022) mendefinisikan *Self Directed Learning* sebagai pembelajaran yang dipicu dan dipandu oleh peserta didik sendiri dalam interaksi dengan lingkungannya, di mana peserta didik bertanggung jawab atas proses belajarnya dengan dukungan orang lain jika diperlukan. Definisi ini menekankan bahwa *Self Directed Learning* bukan berarti belajar dalam isolasi, melainkan belajar dengan *internal locus of control* yang kuat bahkan ketika berinteraksi dengan pendidik dan rekan.

2. Otonomi Belajar

Otonomi belajar (*learning autonomy*) adalah inti dari *Self Directed Learning*. Ryan & Deci (2017) dalam teori *Self Determination Theory* (SDT) membedakan tiga kebutuhan psikologis dasar yang mendukung otonomi: kebutuhan akan otonomi (*autonomy*), kompetensi (*competence*), dan keterhubungan (*relatedness*). Ketika ketiga kebutuhan ini terpenuhi, motivasi intrinsik dan *Self Directed Learning* berkembang secara alami; ketika dihambat, motivasi ekstrinsik dan ketergantungan pada kontrol eksternal mengambil alih (Ryan & Deci, 2020).

Dalam pembelajaran biologi, otonomi belajar terwujud ketika peserta didik memiliki kebebasan nyata untuk memilih topik atau ekosistem yang akan diteliti, menentukan metode pengumpulan data yang paling sesuai, memutuskan format produk akhir yang paling efektif untuk mengkomunikasikan temuan, dan menetapkan standar kualitas yang ingin mereka capai. Kebebasan ini bukan tanpa batas; ia diberikan dalam kerangka kurikuler yang mendukung dan dengan scaffolding yang memadai dari pendidik.

3. Tanggung Jawab Belajar

Self Directed Learning menuntut peserta didik untuk mengambil tanggung jawab penuh atas proses dan hasil belajarnya. Ini adalah pergeseran fundamental dari mentalitas “diajarkan oleh pendidik” menuju mentalitas “saya belajar untuk memahami dunia”. Tanggung jawab belajar dalam *Self Directed Learning* mencakup tanggung jawab terhadap diri sendiri (komitmen untuk benar-benar belajar, bukan sekadar memenuhi syarat formal), tanggung jawab terhadap tim (dalam konteks pembelajaran kolaboratif seperti PjBL), dan tanggung jawab terhadap komunitas (ketika proyek belajar memiliki dampak nyata bagi masyarakat dan lingkungan sekitar) (Patton, 2020; Merriam & Bierema, 2022).

4. Pemilihan Sumber Belajar

Salah satu manifestasi paling konkret dari *Self Directed Learning* adalah kemampuan peserta didik untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengintegrasikan berbagai sumber belajar secara mandiri. Di era informasi yang berlimpah ini, kemampuan kurasi informasi, memilah

informasi yang valid, relevan, dan terpercaya dari lautan konten yang tidak terverifikasi menjadi kompetensi yang sangat kritis.

Dalam pembelajaran biologi berbasis *Self Directed Learning*, peserta didik belajar untuk mengakses dan mengevaluasi berbagai jenis sumber seperti artikel jurnal *peer-reviewed* (melalui basis data seperti PubMed, Web of Science, atau Google Scholar), laporan ilmiah dari lembaga seperti IUCN atau LIPI, data lapangan yang mereka kumpulkan sendiri, pengetahuan ekologis lokal dari komunitas adat dan petani tradisional, serta tayangan dokumenter ilmiah yang terkurasi. Setiap sumber memiliki kekuatan dan keterbatasannya, dan peserta didik yang mandiri mampu mengintegrasikan berbagai sumber tersebut secara kritis (Nakashima *et al.*, 2022).

5. Evaluasi Kebutuhan dan Capaian Belajar

Kemampuan untuk mengevaluasi kebutuhan belajar diri sendiri (*needs assessment*) dan menilai capaian belajar secara akurat merupakan komponen *Self Directed Learning* yang paling menantang namun paling penting. Peserta didik dengan *Self Directed Learning* tinggi secara reguler bertanya kepada diri sendiri “Apa yang sudah saya ketahui?, Apa yang belum saya pahami?, Di mana kesenjangan pengetahuan saya? Bagaimana saya akan mengisi kesenjangan tersebut?” (Knowles *et al.*, 2020).

Evaluasi capaian belajar dalam *Self Directed Learning* bukan sekadar melihat nilai yang diperoleh, melainkan proses refleksi mendalam tentang: seberapa dalam pemahaman konseptual yang telah dicapai, seberapa mampu peserta didik mengaplikasikan pengetahuan dalam konteks baru, dan seberapa signifikan transformasi cara pandang yang telah terjadi. Model EBI mengintegrasikan evaluasi kebutuhan dan capaian belajar ini melalui instrumen portofolio yang komprehensif dan refleksi terstruktur di setiap akhir fase proyek.

D. Hubungan Regulasi Diri, Motivasi, dan Hasil Belajar

1. Regulasi Diri sebagai Faktor Internal Keberhasilan Belajar

Meta analisis komprehensif yang dilakukan oleh Dent & Koenka (2021) terhadap 272 studi dengan total 74.641 peserta didik mengkonfirmasi bahwa regulasi diri adalah salah satu prediktor terkuat keberhasilan akademis terhadap hasil belajar. Lebih signifikan lagi,

pengaruh *Self Regulated Learning* terhadap prestasi akademis bertahan bahkan setelah mengontrol variabel-variabel seperti kecerdasan, status sosio-ekonomi, dan kualitas pengajaran.

Dalam konteks pembelajaran biologi spesifik, Rahayu et al. (2022) menemukan bahwa skor *Self Regulated Learning* mahasiswa pada awal semester secara signifikan memprediksi kinerja mereka dalam proyek penelitian biologi di akhir semester. Mahasiswa dengan *Self Regulated Learning* tinggi tidak hanya mendapatkan nilai lebih baik, tetapi juga menghasilkan proyek yang lebih inovatif, menunjukkan pemikiran kritis yang lebih tajam, dan memiliki kemampuan komunikasi ilmiah yang lebih efektif.

2. Motivasi Belajar sebagai Penggerak Aktivitas Belajar

Motivasi belajar adalah energi psikologis yang menggerakkan, mengarahkan, dan mempertahankan perilaku belajar peserta didik. Ryan & Deci (2020) membedakan dua jenis motivasi utama yang memiliki implikasi sangat berbeda bagi kualitas belajar, yaitu motivasi intrinsik, ketika peserta didik belajar karena aktivitas belajar itu sendiri memuaskan dan bermakna dan motivasi ekstrinsik, ketika peserta didik belajar karena faktor eksternal seperti nilai, penghargaan, atau penghindaran hukuman.

Meskipun motivasi ekstrinsik bisa mendorong perilaku belajar jangka pendek, penelitian secara konsisten menunjukkan bahwa motivasi intrinsik menghasilkan: pemahaman yang lebih dalam, retensi pengetahuan jangka panjang yang lebih baik, kreativitas yang lebih tinggi, dan keterlibatan yang lebih persisten. Dalam biologi, motivasi intrinsik sering dipicu oleh rasa ingin tahu tentang fenomena kehidupan, kepedulian terhadap isu ekologis, dan minat terhadap teknologi biologi terkini.

Tabel 3.3 Jenis-Jenis Motivasi dan Implikasinya dalam Pembelajaran Biologi

Jenis Motivasi	Sumber	Karakteristik Belajar	Contoh dalam Biologi
Motivasi Intrinsik	Rasa ingin tahu, kesenangan belajar, minat	Belajar mendalam, persistensi	Secara sukarela meneliti ekosistem lokal

	personal, nilai-nilai ekologis	tinggi, kreatif dalam <i>problem solving</i>	di hari libur karena penasaran
Motivasi Eksternal	Nilai, hadiah, persetujuan sosial, standar eksternal	Performatif, memenuhi persyaratan minimum, strategi permukaan	Mengerjakan praktikum hanya untuk mendapatkan nilai, tidak membaca lebih jauh
Motivasi Identifikasi	Nilai personal yang diinternalisasi, relevansi dengan tujuan hidup	Komitmen tinggi, mandiri dalam memilih aktivitas belajar	Belajar konservasi hutan karena ingin menjadi ahli ekologi dan berkontribusi bagi lingkungan

Sumber: Diadaptasi dari Ryan & Deci (2020); Kusurkar et al. (2022)

3. Hubungan Motivasi dengan Hasil Belajar Biologi

Penelitian Kusurkar *et al.* (2022) dalam studi prospektif tiga tahun terhadap 678 mahasiswa biologi menemukan bahwa kualitas motivasi (intrinsik vs ekstrinsik) secara signifikan lebih penting daripada kuantitas motivasi dalam memprediksi keberhasilan akademis jangka panjang. Mahasiswa dengan motivasi intrinsik yang tinggi, meskipun mungkin tidak selalu memiliki motivasi total yang lebih tinggi, menunjukkan pemahaman konseptual yang lebih dalam, kemampuan penalaran ilmiah yang lebih baik, dan kepuasan akademis yang lebih tinggi.

Penelitian Hendrayana *et al.* (2023) di konteks Indonesia menemukan bahwa implementasi PjBL berbasis kearifan lokal secara signifikan meningkatkan motivasi intrinsik siswa biologi ($d = 0.82$, dampak besar), terutama karena peserta didik merasa pengalaman dan pengetahuan budaya mereka dihargai dan diintegrasikan dalam proses ilmiah. Ini adalah bukti empiris yang kuat untuk pendekatan ekopedagogi yang menjadi fondasi Model EBI.

4. Peran Penyesuaian Diri dalam Pembelajaran

Penyesuaian diri (*self adaptation* atau *adaptive learning*) adalah kemampuan untuk memodifikasi strategi, tujuan, dan perilaku belajar berdasarkan umpan balik dari lingkungan belajar. Ini adalah komponen SRL yang paling dinamis dimana peserta didik yang adaptif tidak berpegang kaku pada rencana awal ketika bukti menunjukkan bahwa pendekatan tersebut tidak efektif, mereka menggunakan informasi dari kinerja mereka sendiri untuk membuat penyesuaian yang cerdas (Zimmerman & Schunk, 2021).

Dalam PjBL biologi, penyesuaian diri sering terpicu oleh hasil pengumpulan data yang tidak sesuai hipotesis awal. Daripada memperlakukan ini sebagai kegagalan, peserta didik dengan SRL tinggi melihatnya sebagai informasi berharga yang mendorong revisi hipotesis, penyempurnaan metodologi, atau eksplorasi teori alternatif. Ini adalah inti dari cara ilmuwan sejati bekerja, dan mengembangkan disposisi adaptif ini adalah salah satu hadiah terbesar dari pembelajaran berbasis PjBL.

5. Peran Dukungan Sosial Teman Sebaya

Meskipun *Self Directed Learning* dan *Self Regulated Learning* menekankan regulasi internal, bukan berarti belajar adalah aktivitas yang sepenuhnya soliter. Teori Vygotsky tentang *Zone of Proximal Development* (ZPD) dan penelitian-penelitian kontemporer secara konsisten menunjukkan bahwa belajar dalam komunitas sosial yang supportif secara signifikan memperkuat regulasi diri individual (Moll, 2021). Teman sebaya (*peers*) berperan sebagai cermin kognitif: melalui diskusi, kritik konstruktif, dan kolaborasi, peserta didik mendapatkan perspektif eksternal yang membantu mereka mengevaluasi dan memperluas pemahaman mereka.

Dalam PjBL biologi, dukungan sosial teman sebaya terwujud melalui sesi *peer feedback* yang terstruktur, diskusi kelompok tentang strategi analisis data, presentasi antara kelompok yang mendorong pertanyaan kritis, dan mentoring informal di luar kelas. Model EBI secara sistematis mengintegrasikan mekanisme dukungan sosial ini ke dalam struktur proyek, memastikan bahwa kolaborasi bukan sekadar terjadi secara *ad hoc* tetapi dirancang dengan tujuan pedagogis yang jelas.

E. Integrasi PjBL dengan Self Regulated Learning dan Self Directed Learning

1. PjBL sebagai Ruang Belajar Aktif

Proyek dalam PjBL tidak hanya menjadi konteks bagi pengembangan pengetahuan biologi, tetapi mungkin lebih penting menjadi ruang latihan bagi pengembangan *Self Regulated Learning* dan *Self Directed Learning* secara alami. Ketika peserta didik terlibat dalam proyek yang autentik dan bermakna, mereka secara inherent dihadapkan pada situasi yang menuntut perencanaan mandiri, pemantauan diri, adaptasi strategi, dan refleksi mendalam (Krajcik & Shin, 2021).

Studi Zimmerman & Kitsantas (2020) menunjukkan bahwa peserta didik yang mengikuti pembelajaran berbasis PjBL selama satu semester menunjukkan peningkatan *Self Regulated Learning* yang jauh lebih signifikan dibandingkan mereka yang mengikuti pembelajaran konvensional, bahkan ketika *Self Regulated Learning* bukan tujuan eksplisit dari PjBL tersebut. Ini mengkonfirmasi bahwa PjBL adalah konteks yang secara alami memupuk regulasi diri melalui struktur dan tuntutan inheren yang dimilikinya.

2. *Self Regulated Learning* sebagai Pengatur Proses Belajar dalam PjBL

Dalam kerangka Model EBI, *self regulated learning* berfungsi sebagai sistem operasi yang mengatur bagaimana peserta didik bernavigasi melalui kompleksitas proyek. Tanpa *self regulated learning* yang memadai, peserta didik dalam PjBL akan kewalahan oleh keterbukaan dan kompleksitas yang inheren dalam pendekatan ini; dengan *self regulated learning* yang kuat, mereka mampu menggunakan kompleksitas tersebut sebagai bahan bakar bagi pertumbuhan intelektual.

Secara spesifik, *self regulated learning* berperan dalam setiap fase PjBL, dimana dalam fase perencanaan proyek, *self regulated learning* mendorong peserta didik untuk menetapkan tujuan yang realistis dan memilih strategi yang sesuai. Dalam fase pelaksanaan, *self regulated learning* memungkinkan pemantauan diri yang efektif dan adaptasi *real time*. Dalam fase presentasi, *self regulated learning* mendorong persiapan yang cermat dan antisipasi terhadap pertanyaan

dan dalam fase evaluasi, *self regulated learning* memfasilitasi refleksi yang mendalam dan ekstraksi pembelajaran untuk proyek berikutnya.

3. *Self Directed Learning* sebagai Penguat Kemandirian dalam PjBL

Self Directed Learning dalam konteks PjBL biologi terwujud dalam tiga dimensi utama, yaitu: (a) otonomi konten, peserta didik memiliki kebebasan untuk memfokuskan proyek pada aspek biologi atau ekologi yang paling bermakna bagi mereka; (b) otonomi proses, kebebasan untuk memilih metode penyelidikan yang paling sesuai; dan (c) otonomi presentasi, kebebasan untuk mengkomunikasikan temuan dalam format yang paling efektif dan bermakna.

4. Pembelajaran Proyek Berbasis Refleksi

Refleksi adalah jembatan yang menghubungkan pengalaman belajar dengan pertumbuhan intelektual dan personal. Dewey (1933 dalam Rodgers, 2022) mendefinisikan refleksi sebagai pertimbangan aktif, persisten, dan cermat tentang kepercayaan atau bentuk pengetahuan yang diajukan bukan sekadar mengenang apa yang telah terjadi, melainkan analisis kritis terhadap mengapa hal tersebut terjadi dan apa implikasinya bagi pemahaman dan tindakan ke depan.

Dalam Model EBI, refleksi bukan *optional add-on*, melainkan komponen integral yang terstruktur dan difasilitasi. Setiap fase PjBL diakhiri dengan sesi refleksi terstruktur di mana peserta didik menulis jurnal refleksi yang dipandu oleh pertanyaan-pertanyaan spesifik: Apa yang paling mengejutkan saya dari pengalaman hari ini?, Apa yang akan saya lakukan berbeda?, Bagaimana pengalaman ini mengubah cara pandang saya tentang ekosistem/spesies/proses biologis yang kami teliti?

5. Pembelajaran Proyek Berbasis Tanggung Jawab Individual dan Kelompok

Salah satu tantangan utama dalam PjBL adalah memastikan bahwa setiap anggota kelompok benar-benar belajar dan berkontribusi, bukan hanya mengandalkan satu atau dua anggota yang paling aktif. Model EBI menggunakan mekanisme ganda tanggung jawab, yaitu tanggung jawab kolektif (seluruh kelompok bertanggung jawab atas kualitas proyek secara keseluruhan) dan tanggung jawab individual

(setiap anggota bertanggung jawab atas komponen atau aspek spesifik yang menjadi keahliannya).

Mekanisme ini dioperasionalkan melalui kontrak kelompok yang dinegosiasikan di awal proyek, log kontribusi yang dipantau secara berkala, penilaian individual atas komponen yang menjadi tanggung jawab masing-masing, dan sesi *peer assessment* di akhir proyek. Hasilnya adalah proyek yang benar-benar merupakan hasil kolaborasi autentik, di mana setiap anggota memiliki kepemilikan dan kebanggaan atas kontribusinya.

F. Strategi Mengembangkan Kemandirian Belajar dalam PjBL

1. Kontrak Belajar

Kontrak belajar (*learning contract*) adalah dokumen kesepakatan formal antara peserta didik dan pendidik yang menspesifikasikan tujuan belajar yang ingin dicapai, kompetensi atau pengetahuan yang akan dikembangkan, sumber daya dan strategi yang akan digunakan, bukti-bukti yang akan menunjukkan pencapaian tujuan, dan kriteria evaluasi yang akan digunakan (Knowles *et al.*, 2020). Kontrak belajar mengoperasionalkan prinsip SDL dengan memberikan kerangka yang jelas bagi otonomi belajar peserta didik.

Dalam implementasi Model EBI untuk pembelajaran biologi, kontrak belajar dapat mencakup: spesifikasi ekosistem atau fenomena biologis yang akan diteliti, metode pengumpulan data yang akan digunakan, literatur ilmiah yang akan dikaji, target capaian yang ingin dicapai dalam setiap fase proyek, dan format produk akhir yang akan dihasilkan. Kontrak ini dinegosiasikan di awal proyek dan dapat direvisi secara fleksibel seiring perkembangan penyelidikan, dengan persetujuan dari pendidik.

2. Jurnal Refleksi

Jurnal refleksi adalah alat *Self-Directed Learning* dan *Self-Regulated Learning* yang paling sederhana namun paling powerful. Tidak seperti catatan belajar konvensional yang merekam 'apa', jurnal refleksi mengeksplorasi 'bagaimana' dan 'mengapa': bagaimana proses belajar berlangsung, mengapa keputusan tertentu diambil, bagaimana pengalaman ini mengubah atau memperkuat pemahaman, dan apa yang akan dilakukan berbeda di masa depan (Boud *et al.*, 2021).

Model EBI merekomendasikan penggunaan jurnal refleksi mingguan yang terstruktur dengan panduan pertanyaan spesifik:

- a. Deskripsi: Apa yang terjadi dalam proses belajar/proyek minggu ini? Aktivitas apa yang dilakukan?
- b. Perasaan: Apa yang saya rasakan selama proses ini? Apa yang membuat saya bersemangat atau frustrasi?
- c. Evaluasi: Apa yang berhasil dengan baik? Apa yang tidak berjalan sesuai rencana?
- d. Analisis: Mengapa hal tersebut terjadi? Faktor apa yang berkontribusi?
- e. Konklusi: Apa yang dapat saya pelajari dari pengalaman ini? Apa implikasinya bagi pemahaman saya tentang biologi/ekologi?
- f. Rencana Aksi: Apa yang akan saya lakukan berbeda minggu depan berdasarkan refleksi ini?

3. Portofolio Proyek

Portofolio proyek adalah kumpulan artefak yang dipilih secara selektif oleh peserta didik untuk mendemonstrasikan pertumbuhan belajar dan pencapaian kompetensi selama proses PjBL. Berbeda dari folder yang mengumpulkan semua tugas, portofolio yang autentik memiliki dua komponen kritis: (a) koleksi karya terpilih yang merepresentasikan pencapaian terbaik dan perjalanan belajar, dan (b) refleksi metacognitif yang menjelaskan mengapa setiap artefak dipilih dan apa signifikansinya bagi perkembangan belajar (Stefanou *et al.*, 2021).

Portofolio proyek biologi dalam Model EBI dapat mencakup: rancangan awal driving question dan bagaimana ia berevolusi, protokol pengumpulan data dan catatannya, foto atau video dari kerja lapangan, data mentah dan hasil analisis, draft laporan dengan catatan revisi, refleksi tertulis tentang momen-momen kritis pembelajaran, dan refleksi akhir yang mengintegrasikan keseluruhan pengalaman. Portofolio ini menjadi narasi belajar yang hidup dan bermakna.

4. Penilaian Diri

Penilaian diri (*self-assessment*) adalah proses di mana peserta didik mengevaluasi kualitas proses dan produk belajarnya sendiri berdasarkan kriteria yang jelas. Ini adalah komponen kritis *Self-Regulated Learning* karena mengembangkan kemampuan metakognitif

dan memperkuat standar kualitas internal yang akan terus berfungsi setelah peserta didik tidak lagi dalam lingkungan pendidikan formal (Panadero *et al.*, 2021).

Penilaian diri yang efektif memerlukan: rubrik yang jelas dan dapat dipahami oleh peserta didik, latihan penggunaan rubrik dengan contoh-contoh kasus, diskusi tentang perbedaan antara penilaian diri dengan penilaian pendidik, dan umpan balik yang membantu peserta didik mengkalibrasi akurasi penilaian diri mereka. Penelitian menunjukkan bahwa ketika peserta didik terlibat aktif dalam penilaian diri secara reguler, akurasi penilaian diri mereka meningkat, dan lebih penting lagi, kualitas pekerjaan mereka juga meningkat secara signifikan.

5. Penilaian Teman Sejawat

Penilaian teman sejawat (*peer assessment*) memiliki nilai ganda dalam pengembangan *self directed learning*. Sebagai penilai, peserta didik mengembangkan kemampuan evaluatif dan standar kualitas yang lebih tajam, sebagai yang dinilai, peserta didik mendapatkan perspektif yang berbeda dan sering lebih jujur dibandingkan umpan balik dari pendidik (Topping, 2021). *Peer assessment* yang efektif memerlukan training tentang cara memberikan umpan balik yang konstruktif dan spesifik, bukan sekadar komentar umum.

6. Bimbingan dan Umpan Balik Pendidik

Meskipun *self directed learning* menekankan otonomi peserta didik, peran pendidik tidak berkurang bertransformasi. Pendidik dalam Model EBI berperan sebagai *coach* yang memberikan umpan balik formatif yang spesifik, tepat waktu, dan mendorong pertumbuhan. Sebagai model yang mendemonstrasikan proses berpikir ilmiah secara eksplisit (*thinking aloud*); sebagai kurator yang membantu peserta didik mengidentifikasi sumber belajar yang paling relevan, dan sebagai scaffolder yang memberikan dukungan yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik setiap peserta didik atau kelompok.

Umpan balik yang efektif dalam Model EBI bersifat spesifik (merujuk pada aspek konkret dari pekerjaan), deskriptif bukan evaluatif (menggambarkan apa yang diamati, bukan langsung menghakimi kualitas), *forward-looking* (berfokus pada perbaikan ke depan, bukan sekedar menilai kesalahan masa lalu), dan mendorong refleksi

(mengajukan pertanyaan yang memancing pemikiran, bukan langsung memberikan jawaban). Jenis umpan balik ini mengembangkan kapasitas peserta didik untuk mengevaluasi dirinya sendiri secara akurat.

Tabel 3.4 Matriks Strategi Pengembangan Kemandirian Belajar dalam Model EBI

Strategi	Tujuan SDL/SRL	Implementasi dalam Biologi	Indikator Keberhasilan
Kontrak Belajar	Mengembangkan otonomi, penetapan tujuan, tanggung jawab	Kontrak proyek ekologi yang dinegosiasikan peserta didik-pendidik	Peserta didik mampu menjelaskan tujuan dan rencana proyek secara mandiri
Jurnal Refleksi	Mengembangkan metakognisi, pemantauan diri, evaluasi diri	Jurnal mingguan terpandu selama siklus proyek biologi	Kualitas refleksi meningkat; peserta didik mampu mengidentifikasi kesenjangan pemahaman
Portofolio Proyek	Mendokumentasikan pertumbuhan belajar; membangun narasi belajar	Portofolio yang mencakup semua artefak dan refleksi proses PjBL	Portofolio menunjukkan perkembangan dari waktu ke waktu; refleksi bermakna
Penilaian Diri	Mengembangkan evaluasi diri yang akurat; standar kualitas internal	<i>Self assessment</i> menggunakan rubrik proses sains dan komunikasi ilmiah	Akurasi penilaian diri vs. penilaian pendidik meningkat (< 10% deviansi)

Penilaian Sejawat	Mengembangkan kemampuan evaluatif, perspektif eksternal	<i>Structured peer review</i> pada draft laporan atau presentasi proyek	Umpan balik sejawat menjadi semakin spesifik dan konstruktif
Bimbingan Pendidik	<i>Scaffolding</i> adaptif, umpan balik formatif, modeling berpikir ilmiah	Konferensi proyek regular, <i>written feedback</i> pada jurnal dan laporan	Kebutuhan <i>scaffolding</i> peserta didik berkurang secara bertahap seiring waktu

Sumber: Diadaptasi dari Knowles et al. (2020); Panadero et al. (2021); Stefanou et al. (2021)

BAB IV

LITERASI LINGKUNGAN DAN PENALARAN ILMIAH DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI

Literasi lingkungan dan penalaran ilmiah adalah dua kompetensi yang saling melengkapi dan keduanya bersifat fundamental bagi pendidikan biologi abad ke-21. Tanpa literasi lingkungan, penalaran ilmiah bisa menjadi kemampuan abstrak yang terlepas dari tanggung jawab etis terhadap bumi; tanpa penalaran ilmiah yang kokoh, kepedulian lingkungan bisa terjebak dalam emosi semata tanpa kemampuan untuk merancang dan mengevaluasi solusi berbasis bukti.

Bab ini mengkaji secara mendalam kedua kompetensi tersebut ialah definisi, komponen, urgensi, dan implementasinya dalam kerangka Model EBI, serta bagaimana PjBL dan *self directed learning* menjadi wahana yang efektif untuk mengembangkannya secara terintegrasi. Pembahasan juga mencakup instrumen-instrumen penilaian yang valid dan reliabel untuk mengukur perkembangan literasi lingkungan dan penalaran ilmiah peserta didik.

A. Konsep Literasi Lingkungan

1. Pengertian Literasi Lingkungan

Literasi lingkungan (*environmental literacy*) pertama kali dikonseptualisasikan oleh Roth (1992) dan kemudian dikembangkan secara komprehensif oleh *North American Association for Environmental Education* (NAAEE, 2011) serta para peneliti pendidikan lingkungan kontemporer. Dalam definisi yang paling banyak dirujuk, literasi lingkungan adalah kemampuan dan kecenderungan untuk mengambil tindakan yang bertanggung jawab secara lingkungan sebagai akibat dari pengetahuan, keterampilan, sikap, nilai, dan kepekaan terhadap lingkungan (NAAEE, 2011 dalam Yuliati *et al.*, 2022).

Berbeda dari sekadar kesadaran lingkungan yang bersifat umum, literasi lingkungan adalah konstruk multidimensional yang mencakup pengetahuan faktual dan konseptual tentang sistem ekologi, proses psikologis yang membentuk kepedulian dan komitmen lingkungan, serta keterampilan dan kapasitas untuk bertindak secara efektif dalam menghadapi isu-isu lingkungan. McBride *et al.* (2022) mempertegas bahwa literasi lingkungan sejati bukan dicapai hanya melalui pendidikan di kelas, melainkan melalui pengalaman langsung yang bermakna dengan alam dan komunitas.

2. Komponen Literasi Lingkungan

Model komprehensif literasi lingkungan yang dikembangkan oleh NAAEE (2011) dan diperbarui oleh Hollweg *et al.* (2021) mengidentifikasi empat komponen utama yang membentuk profil peserta didik yang melek lingkungan secara utuh:

Tabel 4.1 Model Komponen Literasi Lingkungan

Komponen	Definisi	Sub-Komponen	Indikator dalam Biologi
PENGETAHUAN	Pemahaman tentang sistem ekologi, isu lingkungan, dan interaksi manusia-alam	Ekologi, sistem bumi, perubahan iklim, biodiversitas, keberlanjutan	Mampu menjelaskan siklus nutrisi, jaring makanan, dan dampak aktivitas manusia
SIKAP	Kepedulian, kepekaan, dan komitmen terhadap lingkungan	Rasa kagum terhadap alam, kepedulian ekologis, <i>sense of place</i> , efikasi lingkungan	Menunjukkan kepedulian nyata terhadap kerusakan ekosistem lokal
KETERAMPILAN	Kemampuan mengidentifikasi, menganalisis, dan memecahkan masalah lingkungan	Identifikasi masalah, pengumpulan informasi, investigasi	Mampu melakukan analisis sederhana kualitas air atau udara di

		lapangan, evaluasi solusi	lingkungan sekitar
PERILAKU	Tindakan nyata yang bertanggung jawab secara lingkungan	Tindakan individu (konsumsi ramah lingkungan) dan tindakan kolektif (advokasi, partisipasi komunitas)	Secara aktif terlibat dalam kampanye konservasi atau proyek restorasi ekosistem lokal

Sumber: NAAEE (2011); Hollweg et al. (2021); McBride et al. (2022)

3. Pengetahuan Lingkungan

Pengetahuan lingkungan dalam konteks literasi lingkungan mencakup tiga lapisan yang saling menopang. Pertama, pengetahuan tentang isu-isu lingkungan, fakta-fakta tentang kerusakan lingkungan yang sedang terjadi seperti laju kepunahan spesies, deforestasi, pencemaran, dan perubahan iklim. Kedua, pengetahuan tentang sistem ekologi, pemahaman tentang bagaimana komponen-komponen ekosistem berinteraksi, apa yang membuat sistem ekologi bersifat resilient atau rentan. Ketiga, pengetahuan tentang strategi aksi, pemahaman tentang apa yang dapat dilakukan individu, komunitas, dan masyarakat untuk mengatasi masalah lingkungan (Hollweg *et al.*, 2021).

Pengetahuan lingkungan yang paling bermakna tidak datang dari hafalan fakta di buku teks, melainkan dari pengalaman langsung mengamati ekosistem lokal seperti mengidentifikasi spesies tanaman dan hewan di sekitar sekolah, memantau perubahan musiman di sungai atau hutan setempat, atau menganalisis dampak aktivitas manusia terhadap keanekaragaman hayati lokal. Pengalaman langsung semacam ini tidak hanya menghasilkan pengetahuan yang lebih kuat, tetapi juga membentuk ikatan emosional dengan tempat (*sense of place*) yang merupakan fondasi dari kepedulian lingkungan jangka panjang.

4. Sikap Peduli Lingkungan

Sikap peduli lingkungan adalah dimensi afektif dari literasi lingkungan yang mencakup spektrum dari rasa kagum dan apresiasi terhadap keindahan alam, kepedulian emosional terhadap nasib

ekosistem dan spesies yang terancam, hingga komitmen moral yang mendalam untuk bertindak sebagai warga planet yang bertanggung jawab. Schultz (2020) mengidentifikasi tiga tingkat kepedulian lingkungan yaitu egoistis (lingkungan dipedulikan karena manfaatnya bagi diri sendiri), altruistis (lingkungan dipedulikan karena manfaatnya bagi manusia lain), dan biosentris (lingkungan dipedulikan demi nilai intrinsiknya sendiri, terlepas dari manfaat bagi manusia).

Pendidikan biologi yang transformatif seperti yang dikandung dalam Model EBI berupaya menggeser orientasi peserta didik dari kepedulian egoistis menuju kepedulian biosentris, sambil tetap mengakui bahwa kepedulian manusiawi terhadap lingkungan karena alasan apapun lebih baik daripada ketidakpedulian. Kearifan lokal masyarakat adat, yang secara inheren memandang manusia sebagai bagian dari alam bukan penguasanya, menjadi sumber pembelajaran yang sangat berharga untuk mengembangkan orientasi biosentris ini.

5. Keterampilan Pemecahan Masalah Lingkungan

Keterampilan pemecahan masalah lingkungan adalah jembatan antara pengetahuan dan tindakan. Seseorang bisa memiliki pengetahuan ekologi yang luas dan kepedulian lingkungan yang tulus, namun tetap tidak efektif dalam menghadapi masalah lingkungan konkret jika tidak memiliki keterampilan untuk menganalisis masalah secara sistematis, mengidentifikasi dan mengevaluasi alternatif solusi, merencanakan dan mengimplementasikan tindakan, dan mengevaluasi efektivitas tindakan yang telah dilakukan.

Keterampilan pemecahan masalah lingkungan yang dikembangkan melalui Model EBI meliputi analisis stakeholder, mengidentifikasi semua pihak yang terdampak oleh isu lingkungan; analisis sistem, memahami keterkaitan antara berbagai komponen yang berkontribusi pada masalah; desain solusi berbasis ekosistem (*nature-based solutions*), merancang intervensi yang memanfaatkan kapasitas alami ekosistem; dan evaluasi *trade-off*, menilai biaya dan manfaat dari berbagai alternatif solusi (UNEP, 2022).

6. Perilaku Bertanggung Jawab terhadap Lingkungan

Perilaku bertanggung jawab lingkungan adalah output akhir dari literasi lingkungan dan yang paling sulit untuk dikembangkan. Penelitian secara konsisten menunjukkan adanya kesenjangan pengetahuan-

perilaku (*knowledge-behavior gap*) dimana banyak orang yang memiliki pengetahuan dan kepedulian lingkungan yang tinggi namun tidak menerjemahkannya menjadi tindakan nyata (Schultz, 2020). Kesenjangan ini disebabkan oleh berbagai hambatan seperti persepsi bahwa tindakan individual tidak akan membuat perbedaan, kurangnya keterampilan aksi, hambatan sosial dan struktural, dan konflik dengan nilai-nilai atau kepentingan lain.

Model EBI mengatasi kesenjangan ini dengan memastikan bahwa proyek-proyek yang dikerjakan peserta didik memiliki dampak nyata yang dapat diamati seperti proyek pemantauan kualitas air yang hasilnya dilaporkan kepada pemerintah daerah, kampanye konservasi yang menghasilkan perubahan perilaku nyata di komunitas, atau program penanaman pohon yang berlanjut bahkan setelah proyek akademis berakhir. Ketika peserta didik menyaksikan sendiri bahwa tindakan mereka menghasilkan perubahan nyata, efikasi lingkungan (keyakinan bahwa tindakan mereka akan membuat perbedaan) meningkat secara dramatis.

B. Urgensi Literasi Lingkungan di Perguruan Tinggi dan Sekolah

1. Isu Kerusakan Lingkungan Global dan Lokal

Kita hidup di era yang oleh beberapa ilmuwan disebut sebagai *Anthropocene*, era geologis di mana aktivitas manusia telah menjadi kekuatan transformatif utama yang membentuk kondisi planet bumi. Data ilmiah yang dikumpulkan oleh ribuan peneliti di seluruh dunia melukiskan gambaran yang mengkhawatirkan dimana tingkat kepunahan spesies saat ini diperkirakan 1.000 kali lebih tinggi dari laju kepunahan alami pra-manusia (IPBES, 2022), suhu rata-rata bumi telah meningkat 1,1°C sejak era pra-industri dan terus meningkat, lebih dari 50% terumbu karang global mengalami pemutihan massal dan sekitar 8 juta ton plastik masuk ke laut setiap tahunnya.

Di Indonesia khususnya, krisis lingkungan memiliki karakteristik yang unik. Sebagai negara dengan megadiversitas biologis tertinggi di dunia, Indonesia menyimpan sekitar 10% spesies tanaman berbunga, 12% mamalia, 16% reptil dan amfibi, dan 17% burung dari seluruh dunia (KLHK, 2022). Namun, laju deforestasi yang masih tinggi, konversi lahan gambut, pencemaran sungai dan laut, serta perburuan ilegal

mengancam warisan biodiversitas ini secara serius. Ini bukan hanya bencana ekologis, melainkan juga bencana kultural karena banyak masyarakat adat yang identitas, spiritualitas, dan ketahanan pangannya bergantung pada keutuhan ekosistem lokal.

2. Peran Pendidikan Biologi dalam Membangun Kesadaran Ekologis

Pendidikan biologi memiliki peran penting dalam membangun kesadaran ekologis dengan membantu peserta didik memahami hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Melalui pembelajaran tentang ekosistem, keanekaragaman hayati, daur biogeokimia, serta dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan, peserta didik memperoleh pengetahuan yang menjadi dasar terbentuknya sikap peduli terhadap alam. Pendidikan biologi tidak hanya menekankan penguasaan konsep, tetapi juga mendorong terbentuknya perilaku bertanggung jawab, seperti menghemat sumber daya, mengelola sampah dengan benar, melestarikan keanekaragaman hayati, dan berpartisipasi dalam upaya konservasi. Dengan demikian, pendidikan biologi berkontribusi dalam membentuk individu yang memiliki kesadaran ekologis, mampu mengambil keputusan yang bijaksana terhadap lingkungan, serta berperan aktif dalam mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan.

Pendidikan biologi berada di garis terdepan dalam membangun generasi yang melek lingkungan. Ini bukan hanya karena konten biologi langsung relevan dengan isu-isu ekologis, tetapi karena cara belajar biologi melalui observasi langsung, investigasi empiris, dan interpretasi bukti adalah cara yang paling efektif untuk mengembangkan pemahaman mendalam tentang sistem alam yang kompleks. Penelitian Dauer *et al.* (2021) menunjukkan bahwa peserta didik yang belajar biologi melalui pendekatan kontekstual yang terhubung dengan ekosistem lokal menunjukkan literasi lingkungan yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan mereka yang belajar biologi secara konvensional, bahkan ketika konten yang diajarkan sama. Ini mengkonfirmasi bahwa “bagaimana” belajar biologi sama pentingnya dengan “apa” yang dipelajari dalam membentuk literasi lingkungan.

3. Mahasiswa dan Siswa sebagai Agen Perubahan Lingkungan

Generasi muda khususnya mahasiswa dan siswa SMA, memiliki posisi strategis yang unik sebagai agen perubahan lingkungan. Mereka memiliki energi dan idealisme yang tinggi, akses ke pengetahuan ilmiah terkini melalui pendidikan, kemampuan memanfaatkan teknologi untuk mengorganisir aksi kolektif, waktu panjang di depan untuk merasakan dampak dari keputusan lingkungan yang diambil hari ini, dan paling penting yaitu kemauan untuk menantang status quo ketika mereka melihat ketidakadilan ekologis (UNESCO, 2021; Misiaszek, 2020).

Model EBI secara eksplisit memposisikan peserta didik sebagai agen perubahan, bukan hanya sebagai penerima informasi tentang krisis lingkungan. Melalui proyek-proyek yang dirancang untuk menghasilkan dampak nyata bagi komunitas lokal, peserta didik mengembangkan identitas sebagai scientist-citizen yang memiliki tanggung jawab dan kapasitas untuk berkontribusi pada solusi.

4. Literasi Lingkungan sebagai Bagian dari Pendidikan Berkelanjutan

UNESCO's *Education for Sustainable Development (ESD) framework* menempatkan literasi lingkungan sebagai kompetensi inti yang harus dikembangkan di semua jenjang pendidikan. Agenda ESD 2030 yang ditetapkan oleh UNESCO (2020) mengidentifikasi tiga dimensi kompetensi keberlanjutan yang harus dikembangkan, yaitu kompetensi transformatif (kemampuan untuk memimpin perubahan sosial-ekologis), kompetensi antisipatif (kemampuan untuk membayangkan dan merencanakan masa depan yang berkelanjutan), dan kompetensi normatif (kemampuan untuk menavigasi nilai-nilai dan prinsip-prinsip keberlanjutan) (UNESCO, 2020).

Integrasi ESD ke dalam pembelajaran biologi melalui Model EBI berarti bahwa setiap proyek biologi tidak hanya mengembangkan pemahaman ilmiah, tetapi juga mengembangkan kapasitas peserta didik untuk berpikir secara sistemis tentang keberlanjutan, mempertimbangkan dimensi ekologi, sosial, dan ekonomi secara terpadu.

C. PJBL untuk Meningkatkan Literasi Lingkungan

Project Based Learning (PjBL) merupakan model pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan literasi lingkungan karena memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mempelajari permasalahan lingkungan melalui proyek nyata. Dalam prosesnya, peserta didik mengidentifikasi masalah, mengumpulkan data, merancang solusi, melaksanakan tindakan, dan mengevaluasi hasil proyek secara kolaboratif. Kegiatan seperti pengelolaan sampah, pembuatan kompos, penghijauan sekolah, konservasi keanekaragaman hayati, atau kampanye peduli lingkungan tidak hanya memperkuat pemahaman konsep biologi, tetapi juga menumbuhkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, komunikasi, dan tanggung jawab terhadap lingkungan. Dengan demikian, PjBL mampu mengembangkan literasi lingkungan yang mencakup pengetahuan, keterampilan, sikap, serta komitmen peserta didik untuk berpartisipasi aktif dalam menjaga kelestarian lingkungan dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

1. Proyek Observasi Lingkungan

Proyek observasi lingkungan adalah pintu masuk yang ideal untuk mengembangkan literasi lingkungan, karena ia menghubungkan langsung peserta didik dengan realitas ekologis di sekitar mereka. Proyek ini dapat berupa: survei keanekaragaman hayati di kawasan hutan sekitar sekolah, pemantauan kualitas air sungai atau danau lokal, pengamatan fenologi tanaman (pola pembungaan, pembuahan, dan gugur daun dalam siklus musiman), atau monitoring populasi satwa tertentu yang menjadi indikator kesehatan ekosistem.

Keunggulan proyek observasi lingkungan dalam mengembangkan literasi lingkungan adalah dapat menghasilkan pengetahuan ekologis lokal yang autentik dan spesifik, mengembangkan koneksi emosional dengan ekosistem setempat (*sense of place*), melatih keterampilan observasi dan dokumentasi ilmiah dan menghasilkan data yang benar-benar berguna bagi pengelolaan ekosistem lokal, menjadikan peserta didik *citizen scientists* yang berkontribusi nyata.

2. Proyek Konservasi Sederhana

Proyek konservasi sederhana memungkinkan peserta didik untuk mengambil tindakan nyata dalam mendukung pelestarian biodiversitas,

bahkan dalam skala yang terbatas. Contoh-contoh yang dapat diimplementasikan di sekolah menengah atau perguruan tinggi yaitu propagasi tanaman asli lokal yang terancam dari bibit atau setek, pembuatan taman serangga (*insect garden*) yang menyediakan habitat bagi polinator, pembangunan bank benih lokal untuk mendokumentasikan dan melestarikan varietas tanaman pangan lokal, atau program penanaman pohon di daerah aliran sungai yang mengalami degradasi.

Penelitian Stern *et al.* (2021) menemukan bahwa peserta didik yang terlibat dalam proyek konservasi langsung menunjukkan peningkatan literasi lingkungan yang jauh lebih besar dibandingkan mereka yang hanya belajar tentang konservasi secara teoretis, terutama pada dimensi perilaku dan sikap. Lebih penting lagi, perubahan perilaku pro-lingkungan yang terjadi cenderung bertahan bahkan setelah proyek selesai, mengindikasikan internalisasi nilai-nilai konservasi yang autentik.

3. Proyek Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah adalah isu lingkungan yang paling dekat dengan kehidupan sehari-hari peserta didik, sekaligus yang paling kompleks secara sosial-ekologis. Proyek pengelolaan sampah dalam konteks pembelajaran biologi dapat mencakup audit sampah sekolah untuk mengidentifikasi komposisi dan sumber, pembuatan kompos dari limbah organik sekolah dan kantin, analisis biodegradabilitas berbagai jenis material plastik, atau kampanye pengurangan plastik sekali pakai berbasis bukti ilmiah.

Adapun yang membedakan proyek pengelolaan sampah dalam Model EBI dari kampanye lingkungan biasa adalah pendekatan berbasis bukti (*evidence-based*) dimana peserta didik tidak hanya menyerukan “kurangi sampah plastik!” melainkan mengumpulkan data tentang jenis dan jumlah sampah yang dihasilkan, menganalisis jalur sampah dari sumber ke TPA atau laut, mengevaluasi efektivitas berbagai solusi berdasarkan data, dan mempresentasikan rekomendasi berbasis bukti kepada pemangku kepentingan yang relevan.

4. Proyek Kampanye Lingkungan

Kampanye lingkungan berbasis proyek mengembangkan dimensi komunikasi dan advokasi dari literasi lingkungan. Peserta didik tidak

hanya belajar tentang isu lingkungan, tetapi juga belajar bagaimana mengkomunikasikan informasi ilmiah kepada publik non-ilmuwan secara efektif dan persuasif. Ini mencakup perancangan pesan komunikasi yang secara psikologis efektif dalam mengubah perilaku, menggunakan berbagai media (poster, media sosial, video, presentasi), dan mengevaluasi efektivitas kampanye berdasarkan data yang dikumpulkan.

Kampanye yang paling efektif menggabungkan data ilmiah dengan narasi personal yang menyentuh: peserta didik berbagi pengalaman mereka sendiri dalam mengamati perubahan ekosistem lokal, menghubungkan data ilmiah dengan cerita-cerita konkret tentang dampak kerusakan lingkungan pada kehidupan komunitas, dan menawarkan langkah-langkah tindakan yang konkret dan dapat dilakukan oleh audiens target.

5. Proyek Berbasis Masalah Lingkungan Lokal

Proyek yang paling bermakna dan transformatif adalah proyek yang berangkat dari masalah lingkungan nyata yang dihadapi komunitas setempat. Ini bisa berupa pencemaran sungai yang mengancam sumber air minum warga, degradasi lahan pertanian akibat erosi dan penggunaan pestisida berlebihan, invasi spesies asing yang mengancam biodiversitas lokal, atau konflik antara kebutuhan pembangunan dan pelestarian kawasan hutan.

Proyek berbasis masalah lokal memiliki kekuatan unik yang tidak dimiliki proyek generik karena peserta didik memiliki koneksi personal dan emosional dengan masalah yang sedang diselesaikan, temuan proyek memiliki relevansi langsung bagi komunitas yang dapat memanfaatkannya, proyek menciptakan peluang dialog antara pengetahuan ilmiah dan kearifan lokal dan keberhasilan proyek menghasilkan rasa memiliki dan kebanggaan yang kuat, memperkuat identitas peserta didik sebagai agen perubahan.

D. Konsep Penalaran Ilmiah

1. Pengertian Penalaran Ilmiah

Penalaran ilmiah (*scientific reasoning*) adalah kemampuan kognitif untuk memproses informasi empiris secara sistematis guna menghasilkan penjelasan, prediksi, dan kesimpulan yang valid tentang

fenomena alam. Ini mencakup sekumpulan proses kognitif yang saling terkait, yaitu membuat observasi yang sistematis dan terukur, mengidentifikasi pola dalam data, menyusun hipotesis yang dapat diuji, merancang dan melaksanakan eksperimen untuk menguji hipotesis, menganalisis data secara kritis, membedakan antara korelasi dan kausalitas, dan mengkonstruksi argumen ilmiah yang kohesif (Lawson, 2021; Fischer *et al.*, 2022).

Kuhn & Dean (2020) membedakan antara *scientific reasoning* sebagai proses kognitif dan *scientific thinking* sebagai disposisi yang lebih luas. Seseorang bisa memiliki keterampilan penalaran ilmiah yang baik namun tidak secara konsisten menggunakannya dalam kehidupan sehari-hari (misalnya, menerima informasi hoaks tanpa evaluasi kritis). Model EBI bertujuan mengembangkan keduanya yaitu kemampuan penalaran ilmiah sebagai keterampilan kognitif, dan pemikiran ilmiah sebagai disposisi habitual.

2. Indikator Penalaran Ilmiah

Lawson (2021) mengembangkan taksonomi penalaran ilmiah yang mengidentifikasi enam indikator utama yang membentuk spektrum dari penalaran konkret ke penalaran formal.

Tabel 4.1 Indikator Penalaran Ilmiah dan Implementasinya dalam Biologi

No.	Indikator	Deskripsi	Contoh dalam Biologi
1	Konservasi dan Kontrol Variabel	Memahami pentingnya mengontrol variabel dalam eksperimen untuk memastikan validitas kesimpulan	Memahami perlunya kontrol negatif dan positif dalam uji enzim
2	Penalaran Proporsional	Kemampuan menggunakan rasio dan proporsi dalam analisis data biologis	Menghitung frekuensi alel dalam populasi menggunakan Hardy-Weinberg

3	Identifikasi & Kontrol Variabel	Kemampuan mengidentifikasi variabel bebas, terikat, dan kontrol dalam eksperimen	Merancang eksperimen untuk menguji faktor-faktor yang memengaruhi laju fotosintesis
4	Penalaran Probabilistik	Memahami bahwa kejadian biologis bersifat probabilistik, bukan deterministik mutlak	Memahami pewarisan sifat genetik menggunakan hukum probabilitas Mendel
5	Penalaran Korelasional	Kemampuan mengidentifikasi hubungan antara variabel dan membedakan dari kausalitas	Menganalisis hubungan antara polusi dan penurunan keanekaragaman spesies
6	Penalaran Hipotetis-Deduktif	Kemampuan menyusun hipotesis jika-maka dan merancang pengujiannya	Jika konsentrasi CO ₂ meningkat, maka laju fotosintesis akan meningkat hingga titik jenuh

Sumber: Diadaptasi dari Lawson (2021); Fischer et al. (2022)

3. Kemampuan Menganalisis Bukti

Analisis bukti (*evidence analysis*) adalah jantung dari penalaran ilmiah. Ini mencakup kemampuan untuk membedakan antara observasi langsung dan inferensi (apa yang secara langsung diamati vs apa yang disimpulkan), mengevaluasi kualitas dan reliabilitas bukti berdasarkan metodologi yang digunakan, mengidentifikasi bukti yang mendukung dan yang menentang suatu klaim dan mengevaluasi konsistensi antara klaim dan bukti yang tersedia (Osborne & Patterson, 2021).

Dalam pembelajaran biologi, analisis bukti dikembangkan melalui aktivitas seperti menganalisis data dari eksperimen yang sudah ada dan mengevaluasi apakah kesimpulan yang diambil peneliti didukung oleh data, membandingkan temuan dari berbagai sumber penelitian yang menggunakan metodologi berbeda, atau menganalisis klaim-klaim tentang produk kesehatan atau lingkungan dan mengevaluasi bukti yang mendukungnya. Semua aktivitas ini

mengembangkan kemampuan peserta didik untuk tidak menerima klaim ilmiah secara pasif, tetapi mengevaluasinya secara kritis.

4. Kemampuan Menyusun Argumen Ilmiah

Argumentasi ilmiah (*scientific argumentation*) adalah proses menggunakan bukti empiris dan penalaran untuk mendukung atau menolak suatu klaim ilmiah. Toulmin (1958, dalam Osborne & Patterson, 2021) mengembangkan model argumentasi yang menjadi standar dalam penelitian pendidikan sains, sebuah argumen ilmiah yang lengkap terdiri dari klaim (*claim*), data/bukti yang mendukung klaim (*data*), penghubung logis antara data dan klaim (*warrant*), dan penguat waran (*backing*).

Penelitian Osborne & Patterson (2021) secara konsisten menunjukkan bahwa kemampuan argumentasi ilmiah adalah komponen yang paling lemah dalam profil literasi sains peserta didik Indonesia. Banyak peserta didik mampu menyebutkan fakta biologis, namun mengalami kesulitan besar dalam menggunakannya untuk membangun argumen yang kohesif dan logis. Model EBI mengatasi kelemahan ini melalui aktivitas-aktivitas khusus yang melatih argumentasi: jurnal club, diskusi ilmiah terstruktur, dan presentasi proyek yang secara eksplisit menuntut konstruksi argumen berbasis bukti.

5. Kemampuan Menarik Kesimpulan Berdasarkan Data

Kemampuan menarik kesimpulan yang valid dari data adalah keterampilan yang mensintesiskan seluruh proses penalaran ilmiah. Ini mencakup memastikan bahwa kesimpulan benar-benar didukung oleh data yang tersedia (tidak melebihi apa yang diizinkan oleh data), mengidentifikasi keterbatasan data dan implikasinya bagi kekuatan kesimpulan, mempertimbangkan penjelasan alternatif yang mungkin, dan mengkomunikasikan tingkat kepastian kesimpulan secara akurat menggunakan bahasa yang tepat (“data menunjukkan”, “hipotesis ini konsisten dengan”, “tidak dapat dikesampingkan bahwa”).

Dalam konteks pembelajaran biologi, kemampuan menarik kesimpulan yang tepat sangat penting karena banyak fenomena biologis yang bersifat kompleks, multifaktorial, dan probabilistik. Mengajarkan peserta didik untuk menavigasi ketidakpastian ilmiah dengan integritas epistemologis tidak terlalu percaya diri (*overgeneralizing*) maupun

terlalu ragu-ragu (*underclaiming*) adalah salah satu pencapaian pedagogis yang paling berharga dalam Model EBI.

E. PjBL, SDL, dan Penalaran Ilmiah

1. Proyek sebagai Proses Investigasi Ilmiah

Setiap proyek dalam Model EBI adalah pada dasarnya sebuah proses investigasi ilmiah mini. Berbeda dari eksperimen konvensional yang meminta peserta didik mengikuti protokol yang sudah ditetapkan dan menemukan jawaban yang sudah diketahui, proyek PjBL menempatkan peserta didik dalam posisi ilmuwan autentik dimana pertanyaan penelitiannya tidak memiliki jawaban yang sudah tersedia di buku teks, metodologinya harus dirancang sendiri berdasarkan konteks spesifik, dan temuannya benar-benar baru bagi komunitas ilmiah lokal (Barber *et al.*, 2021).

Proses investigasi ilmiah melalui PjBL secara natural mengaktifkan semua komponen penalaran ilmiah yang diidentifikasi Lawson (2021) yaitu merumuskan pertanyaan (*driving question*) mendorong penalaran hipotetis-deduktif, merancang metodologi mengembangkan kemampuan kontrol variabel, analisis data melatih penalaran proporsional dan korelasional, dan penyusunan laporan memaksa peserta didik untuk mengkonstruksi argumen ilmiah yang kohesif.

2. Kemandirian Belajar dalam Pencarian Data

SDL dalam konteks pengembangan penalaran ilmiah terwujud secara paling nyata dalam fase pencarian dan pengumpulan data. Peserta didik yang mandiri tidak sekadar mengikuti protokol yang sudah ditetapkan, mereka secara aktif mencari, mengevaluasi, dan mengintegrasikan berbagai sumber data, data primer yang mereka kumpulkan sendiri melalui pengamatan lapangan atau eksperimen, data sekunder dari literatur ilmiah yang relevan, dan pengetahuan ekologis lokal yang diperoleh melalui wawancara dengan anggota komunitas.

Proses pencarian data yang mandiri mengembangkan beberapa dimensi penalaran ilmiah secara simultan, kemampuan mengevaluasi kualitas sumber informasi (membedakan penelitian *peer-reviewed* dari opini atau pseudosains), kemampuan mengidentifikasi relevansi dan batas aplikasi dari berbagai sumber data, kemampuan mengelola

ketidakpastian dan inkonsistensi antara berbagai sumber, dan kemampuan untuk mengintegrasikan data dari berbagai tipe metodologi dalam kesimpulan yang kohesif.

3. Refleksi Metakognitif dalam Penalaran Ilmiah

Refleksi metakognitif berpikir tentang proses berpikirnya sendiri adalah komponen yang sering terlewatkan dalam pengembangan penalaran ilmiah, namun terbukti sangat penting. Penelitian Veenman *et al.* (2022) menemukan bahwa kemampuan metakognitif menyumbang hingga 40% dari varians dalam kemampuan penalaran ilmiah, jauh melebihi pengaruh kemampuan intelektual umum (IQ).

Dalam Model EBI, refleksi metakognitif dalam konteks penalaran ilmiah dikembangkan melalui: sesi *think-aloud* di mana peserta didik mengverbalkan proses berpikirnya saat menganalisis data; diskusi kelas tentang 'kesalahan berpikir' yang umum dalam sains (konfirmasi bias, *overgeneralization*, *post hoc fallacy*); dan jurnal refleksi yang secara eksplisit meminta peserta didik untuk menganalisis bagaimana mereka mengambil kesimpulan dari data.

4. Diskusi Ilmiah dan Argumentasi Berbasis Bukti

Diskusi ilmiah yang terstruktur adalah konteks sosial yang paling kondusif bagi pengembangan penalaran ilmiah. Ketika peserta didik harus mengajukan, mempertahankan, dan merevisi klaim-klaim ilmiah dalam diskusi dengan rekan-rekannya, mereka dipaksa untuk memperjelas dan mempertajam penalaran mereka. Ini adalah proses yang disebut Kuhn & Dean (2020) sebagai *social cognition*, di mana kognisi individual diperkuat dan dikoreksi melalui interaksi sosial.

Model EBI mengintegrasikan beberapa format diskusi ilmiah yang terstruktur: Socratic seminar, diskusi terbuka yang dipimpin oleh pertanyaan-pertanyaan mendalam dari pendidik; *fishbowl discussion*, sebagian kelompok berdiskusi sementara kelompok lain mengamati dan memberikan umpan balik; *structured academic controversy*, dua tim secara bergantian mempertahankan dan mengkritisi posisi ilmiah tertentu; dan *journal club*, diskusi kritis terhadap artikel penelitian biologi yang relevan dengan proyek yang sedang dikerjakan.

5. Presentasi Hasil Proyek sebagai Komunikasi Ilmiah

Presentasi hasil proyek kepada audiens yang nyata adalah momen paling signifikan dalam siklus PjBL untuk mengkonsolidasi dan menguji penalaran ilmiah peserta didik. Ketika peserta didik harus mempertahankan temuan mereka di depan ahli, anggota komunitas, atau pembuat kebijakan, mereka tidak bisa lagi bersembunyi di balik jawaban yang 'mungkin benar'; mereka harus mampu mengartikulasikan dan mempertahankan penalaran mereka dengan jelas, meyakinkan, dan jujur tentang keterbatasannya.

Format presentasi yang paling efektif untuk mengembangkan penalaran ilmiah mencakup: presentasi formal dengan sesi tanya-jawab yang tajam dari audiens (mensimulasikan presentasi konferensi ilmiah); poster ilmiah yang menuntut pemadatan temuan dalam format yang ringkas namun komprehensif; laporan tertulis dalam format jurnal ilmiah yang mendisiplinkan pikiran melalui struktur IMRAD (*Introduction, Methods, Results, Discussion*); dan video dokumenter yang menantang peserta didik untuk mengkomunikasikan ilmu pengetahuan kepada publik umum.

F. Penilaian Literasi Lingkungan dan Penalaran Ilmiah

Penilaian literasi lingkungan dan penalaran ilmiah bertujuan untuk mengukur kemampuan peserta didik dalam memahami isu-isu lingkungan, menganalisis bukti ilmiah, serta mengambil keputusan yang bertanggung jawab berdasarkan data dan fakta. Penilaian tidak hanya berfokus pada penguasaan konsep, tetapi juga mencakup keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, interpretasi data, argumentasi ilmiah, dan penerapan pengetahuan dalam konteks kehidupan nyata. Berbagai teknik penilaian, seperti tes berbasis studi kasus, proyek, observasi, portofolio, presentasi, dan penilaian kinerja, dapat digunakan untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai perkembangan kompetensi peserta didik. Dengan demikian, penilaian menjadi sarana untuk mendorong terbentuknya peserta didik yang memiliki literasi lingkungan yang baik, mampu bernalar secara ilmiah, serta berpartisipasi aktif dalam menyelesaikan berbagai permasalahan lingkungan secara berkelanjutan.

1. Tes Literasi Lingkungan

Tes literasi lingkungan mengukur dimensi pengetahuan dari literasi lingkungan menggunakan instrumen tertulis berupa soal pilihan ganda atau uraian. Instrumen yang paling banyak digunakan dan tervalidasi secara internasional adalah *Middle School Environmental Literacy Survey* (MSELS) yang dikembangkan oleh Mcbeth *et al.* (2008) dan berbagai adaptasinya untuk konteks Indonesia (Yuliati *et al.*, 2022).

Dalam pengembangan instrumen tes literasi lingkungan untuk konteks lokal Indonesia, penting untuk memasukkan: konten yang spesifik untuk keanekaragaman hayati dan ekosistem Indonesia, konteks permasalahan lingkungan yang relevan dengan kondisi lokal (deforestasi Kalimantan, bleaching terumbu karang di Raja Ampat, pencemaran Sungai Citarum), dan perspektif kearifan lokal dalam pengelolaan sumber daya alam. Kontekstualisasi ini meningkatkan validitas ekologis instrumen dan relevansinya bagi peserta didik Indonesia.

2. Angket Sikap Peduli Lingkungan

Angket sikap peduli lingkungan mengukur dimensi afektif dari literasi lingkungan menggunakan skala Likert yang menilai berbagai aspek: tingkat kepedulian terhadap isu-isu lingkungan global dan lokal, rasa tanggung jawab personal terhadap lingkungan, efikasi lingkungan (*environmental efficacy*, keyakinan bahwa tindakan personal dapat membuat perbedaan), dan orientasi nilai ekologis (biosentris vs. antroposentris). Instrumen yang banyak digunakan termasuk *New Ecological Paradigm* (NEP) Scale (Dunlap *et al.*, 2020) dan *Environmental Attitudes Inventory* (EAI) yang telah diadaptasi untuk konteks Indonesia.

Penting untuk diingat bahwa sikap lingkungan yang positif tidak secara otomatis menghasilkan perilaku lingkungan yang bertanggung jawab, ingat kesenjangan pengetahuan-perilaku yang dibahas sebelumnya. Oleh karena itu, angket sikap perlu dilengkapi dengan pengukuran perilaku aktual atau niat perilaku (*behavioral intention*) untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif tentang literasi lingkungan peserta didik.

3. Rubrik Proyek Lingkungan

Dalam Rubrik penilaian proyek lingkungan dalam Model EBI menggunakan pendekatan penilaian kinerja (*performance assessment*)

yang mengevaluasi kualitas proses dan produk proyek secara terpadu. Rubrik yang komprehensif mencakup beberapa dimensi:

- a. Kualitas Pertanyaan Penelitian: seberapa spesifik, relevan, dan dapat diselidiki driving question proyek
- b. Kualitas Metodologi: ketepatan desain penelitian, prosedur pengumpulan data, dan pengendalian variabel
- c. Kualitas Analisis Data: ketepatan teknik analisis, interpretasi yang akurat, dan penanganan ketidakpastian
- d. Keterkaitan dengan Isu Lingkungan Lokal: relevansi proyek dengan permasalahan ekologis nyata di komunitas
- e. Kualitas Rekomendasi: berbasis bukti, spesifik, dan realistis untuk diterapkan
- f. Kualitas Komunikasi: kejelasan, ketepatan bahasa ilmiah, dan efektivitas visualisasi
- g. Dampak dan Implementabilitas: potensi temuan untuk berkontribusi pada solusi nyata

4. Tes Penalaran Ilmiah

Tes penalaran ilmiah mengukur kemampuan kognitif peserta didik untuk bernalar seperti ilmuwan. Instrumen yang paling banyak digunakan dan tervalidasi secara internasional adalah Lawson's *Classroom Test of Scientific Reasoning* (CTSR) yang mencakup soal-soal yang menguji keenam indikator penalaran ilmiah yang diidentifikasi Lawson (2021). Instrumen ini tersedia dalam berbagai versi dan telah diadaptasi untuk berbagai konteks budaya.

Untuk konteks pembelajaran biologi dalam Model EBI, tes penalaran ilmiah idealnya menggunakan konteks masalah yang dekat dengan proyek yang sedang dikerjakan peserta didik. Misalnya, jika kelompok peserta didik sedang mengerjakan proyek pemantauan kualitas air, tes penalaran ilmiah dapat menggunakan skenario tentang pencemaran sungai yang menuntut peserta didik untuk: mengidentifikasi variabel yang perlu dikendalikan, menganalisis data yang diberikan, mengidentifikasi kesimpulan yang valid dan yang tidak valid, dan menyusun hipotesis alternatif.

5. Rubrik Argumentasi Ilmiah

Dalam Rubrik argumentasi ilmiah menggunakan framework Toulmin sebagai landasan untuk mengevaluasi kualitas argumen yang

dikonstruksi peserta didik dalam diskusi, laporan tertulis, atau presentasi. Dimensi-dimensi yang dievaluasi meliputi:

Tabel 4.2 Rubrik Argumentasi Ilmiah Berbasis *Framework* Toulmin

Dimensi	4 Sangat Baik	3 Baik	2 Cukup	1 Perlu Perbaikan
Klaim	Klaim jelas, spesifik, dan secara tepat menjawab pertanyaan penelitian	Klaim jelas namun kurang spesifik	Klaim ada namun ambigu atau tidak lengkap	Tidak ada klaim yang jelas
Bukti	Bukti relevan, akurat, dan mencukupi untuk mendukung klaim; menggunakan multiple sumber	Bukti relevan namun terbatas atau kurang lengkap	Bukti ada namun sebagian tidak relevan atau tidak akurat	Bukti tidak ada atau tidak relevan dengan klaim
Warrant	Penghubung logis antara bukti dan klaim sangat jelas dan valid secara ilmiah	Penghubung ada namun tidak selalu eksplisit	Penghubung lemah atau sebagian tidak valid secara ilmiah	Tidak ada penghubung logis antara bukti dan klaim
Rebuttal	Mengidentifikasi dan merespons penjelasan alternatif dengan argumen yang solid	Mengidentifikasi penjelasan alternatif namun respons kurang kuat	Ada kesadaran tentang keterbatasan namun tidak dikembangkan	Tidak ada pengakuan atas penjelasan alternatif atau keterbatasan

Sumber: Diadaptasi dari Toulmin (1958) dalam Osborne & Patterson (2021); Erduran et al. (2022)

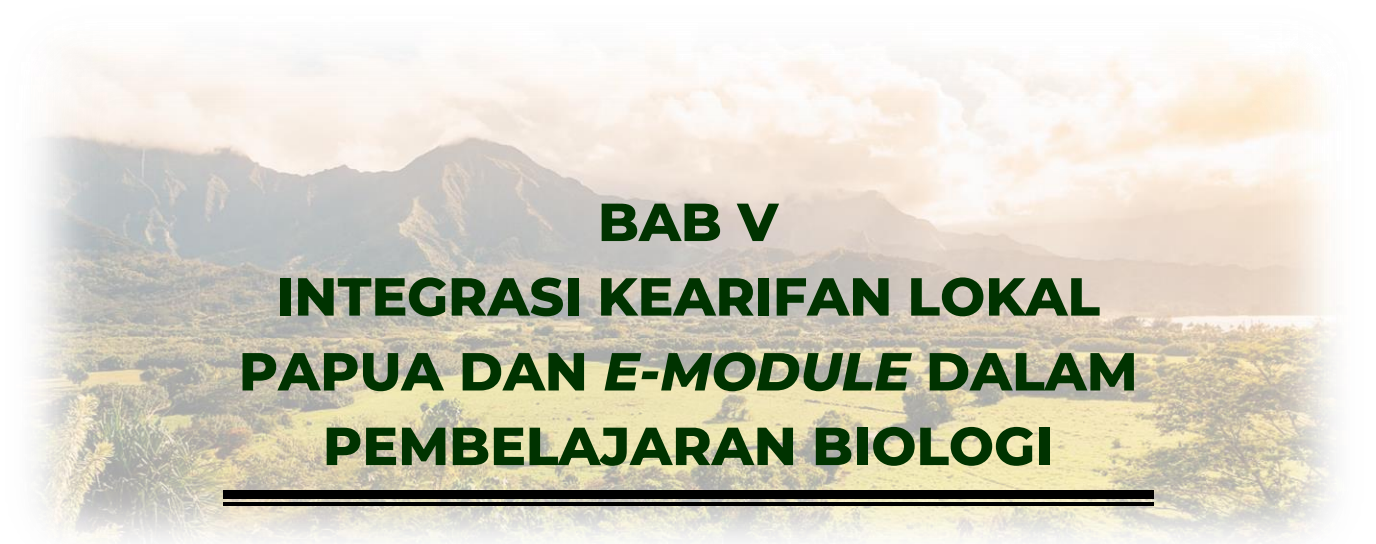
6. Penilaian Laporan dan Presentasi Ilmiah

Penilaian laporan ilmiah dalam Model EBI menggunakan rubrik komprehensif yang mengevaluasi semua komponen laporan: pendahuluan (kontekstualisasi masalah, relevansi, dan tujuan penelitian yang jelas), tinjauan pustaka (relevansi, kebaruan, dan integrasi kritis literatur), metodologi (ketepatan, replikabilitas, dan justifikasi pemilihan metode), hasil (akurasi, kelengkapan, dan penyajian data yang efektif), diskusi (kedalaman interpretasi, hubungan dengan teori, implikasi, dan keterbatasan), serta kesimpulan dan rekomendasi (berbasis bukti dan dapat ditindaklanjuti).

Presentasi ilmiah dinilai berdasarkan: kejelasan dan logika struktur presentasi, ketepatan dan kedalaman konten ilmiah, kualitas visualisasi data (grafik, tabel, dan diagram yang efektif), kemampuan menjawab pertanyaan dengan penalaran yang solid, dan efektivitas komunikasi dengan audiens yang beragam. Penilaian presentasi idealnya melibatkan panel penilai yang mencakup pendidik, pakar lapangan dari komunitas atau industri, dan perwakilan rekan sejawat.

Tabel 4.3 Matriks Instrumen Penilaian Literasi Lingkungan dan Penalaran Ilmiah

Instrumen	Dimensi yang Diukur	Format
Tes Literasi Lingkungan	Pengetahuan ekologi, sistem lingkungan, isu-isu lingkungan	Pilihan ganda & uraian; 30–40 item
Angket Sikap Lingkungan	Kepedulian, efikasi, orientasi nilai, komitmen	Skala Likert 1–5; 25–35 item
Rubrik Proyek Lingkungan	Kualitas proses dan produk proyek secara holistik	Rubrik analitik 4-level; 7 dimensi
Tes Penalaran Ilmiah	6 indikator penalaran ilmiah Lawson	Pilihan ganda two-tier; 24 item
Rubrik Argumentasi	Klaim, bukti, warrant, dan rebuttal	Rubrik analitik 4-level; 4 dimensi
Rubrik Laporan & Presentasi	Kualitas komunikasi ilmiah multi-modal	Rubrik holistik dan analitik; 8–10 dimensi



BAB V

INTEGRASI KEARIFAN LOKAL PAPUA DAN E-MODULE DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI

"Alam adalah buku terbuka yang ditulis dalam bahasa yang harus dipelajari oleh setiap generasi."

Terinspirasi dari kearifan suku-suku Papua

Papua merupakan pulau terbesar kedua di dunia dan salah satu pusat biodiversitas paling kaya di bumi, menyimpan dua kekayaan yang sama-sama tak ternilai, kekayaan alam yang luar biasa dan kekayaan pengetahuan ekologis yang telah dibangun oleh ratusan suku selama ribuan tahun. Kedua kekayaan ini bukan hanya warisan budaya yang perlu dilestarikan, keduanya adalah sumber belajar biologi yang autentik, kontekstual, dan transformatif.

Bab ini mengkaji bagaimana kearifan lokal Papua dapat diintegrasikan secara bermakna ke dalam pembelajaran biologi, dan bagaimana e-module sebagai media pembelajaran digital dapat menjadi wahana yang efektif untuk menghadirkan kekayaan tersebut kepada peserta didik dengan cara yang interaktif, inklusif, dan relevan. Integrasi keduanya dalam kerangka Model EBI bukan sekadar inovasi pedagogis, melainkan sebuah komitmen untuk menempatkan pengetahuan lokal sebagai mitra yang setara dengan sains akademis dalam proses pendidikan.

A. Kearifan Lokal sebagai Sumber Belajar Biologi

1. Pengertian Kearifan Lokal

Kearifan lokal (*local wisdom* atau *indigenous knowledge*) adalah pengetahuan, nilai, praktik, dan keterampilan yang dikembangkan dan diwariskan oleh suatu komunitas dari generasi ke generasi melalui

interaksi jangka panjang dengan lingkungan mereka. Ini bukan sekadar folklo re atau takhayul, melainkan sistem pengetahuan yang kompleks, terstruktur, dan tervalidasi oleh pengalaman ekologis ribuan tahun (Berkes, 2018; Nakashima *et al.*, 2022).

UNESCO (2017) mendefinisikan pengetahuan tradisional (*traditional knowledge*) sebagai pengetahuan hidup yang dikembangkan oleh masyarakat adat dan komunitas lokal berdasarkan pengalaman langsung mereka dengan alam dan yang terus berkembang sebagai respons terhadap perubahan kondisi. Definisi ini menekankan dua karakter kritis: bahwa pengetahuan lokal adalah pengetahuan yang hidup dan dinamis (bukan artefak masa lalu yang statis), dan bahwa ia lahir dari interaksi langsung dengan alam (bukan spekulasi abstrak).

Dalam konteks Papua, kearifan lokal mencakup pengetahuan tentang keanekaragaman hayati dan ekologi ekosistem setempat, sistem pengelolaan sumber daya alam berbasis adat (*sasi* laut, sistem *tobelo*, hutan larangan), praktik pertanian dan perkebunan tradisional yang adaptif terhadap kondisi lingkungan lokal, pengetahuan tentang tanaman obat dan penggunaannya, serta sistem nilai yang menempatkan harmoni antara manusia dan alam sebagai fondasi kehidupan komunitas (Hidayati, 2021; Suryawati *et al.*, 2022).

2. Fungsi Kearifan Lokal dalam Pendidikan

Kearifan lokal memiliki fungsi multidimensional dalam pendidikan yang melampaui perannya sebagai sekadar konten lokal dalam kurikulum. Setidaknya ada enam fungsi utama yang menjadikannya aset pedagogis yang berharga:

- a. Fungsi epistemologis: Menyediakan perspektif alternatif dalam memahami fenomena alam yang melengkapi dan memperkaya perspektif sains akademis; mendorong peserta didik untuk menyadari bahwa pengetahuan dapat dikonstruksi melalui berbagai cara yang sah
- b. Fungsi kontekstualisasi: Menjadikan pembelajaran relevan dengan pengalaman hidup, identitas kultural, dan ekosistem lokal peserta didik; menjembatani jurang antara pengetahuan akademis abstrak dan realitas ekologis sehari-hari
- c. Fungsi motivasional: Meningkatkan minat dan keterlibatan peserta didik ketika mereka melihat pengalaman dan warisan budaya mereka dihargai dalam proses pembelajaran formal

- d. Fungsi konservasi: Membantu mendokumentasikan, melestarikan, dan merevitalisasi pengetahuan ekologis lokal yang terancam punah akibat globalisasi dan modernisasi
- e. Fungsi pembangunan karakter: Mengembangkan rasa bangga terhadap identitas kultural, tanggung jawab ekologis, dan etika lingkungan yang berakar pada tradisi lokal
- f. Fungsi inovatif: Menyediakan inspirasi dan data awal untuk penelitian ilmiah yang dapat menghasilkan penemuan baru dalam ekologi, farmakologi, dan ilmu keberlanjutan

3. Kearifan Lokal sebagai Konteks Pembelajaran Biologi

Integrasi kearifan lokal dalam pembelajaran biologi bukan berarti menggantikan sains akademis dengan pengetahuan tradisional, melainkan menciptakan dialog konstruktif antara kedua sistem pengetahuan tersebut. Aikenhead & Ogawa (2020) mengembangkan konsep *two-eyed seeing* (*Etuaptmumk*), melihat dunia dengan satu mata menggunakan kekuatan pengetahuan adat dan satu mata lainnya menggunakan kekuatan sains akademis, dan menggunakan kedua mata bersama-sama untuk kebaikan semua.

Dalam praktik pembelajaran biologi berbasis Model EBI di Papua, kearifan lokal berfungsi sebagai: konteks autentik untuk penyelidikan ilmiah (masyarakat lokal telah mengamati ekosistem Papua selama berabad-abad, apa yang mereka ketahui dan bagaimana mereka mengetahuinya?); sumber hipotesis penelitian (apakah tanaman obat yang digunakan suku tertentu mengandung senyawa yang secara ilmiah dapat menjelaskan khasiat yang diklaim?); dan standar keberlanjutan (bagaimana praktik pengelolaan sumber daya alam tradisional mencapai keberlanjutan yang sering gagal dicapai oleh pendekatan modern?).

Efendi *et al.* (2023) dalam studi mereka terhadap 420 siswa di Papua menunjukkan bahwa pembelajaran biologi yang mengintegrasikan kearifan lokal secara bermakna meningkatkan motivasi belajar sebesar 48,3%, literasi lingkungan sebesar 37,6%, dan rasa identitas kultural peserta didik sebesar 52,1% dibandingkan pembelajaran konvensional. Angka-angka ini mengkonfirmasi bahwa integrasi kearifan lokal bukan sekadar 'indah secara konseptual', tetapi efektif secara pedagogis.

4. Etika Pemanfaatan Pengetahuan Lokal dalam Pembelajaran Model EBI Ekopedagogi Biologi Integratif

Pengintegrasian kearifan lokal dalam pembelajaran biologi harus dilakukan dengan penuh tanggung jawab etis. Prinsip-prinsip *Free, Prior and Informed Consent* (FPIC) yang dikembangkan oleh UN (2007) menegaskan bahwa pemanfaatan pengetahuan adat dalam konteks akademis harus dilakukan dengan persetujuan bebas, sebelum tindakan, dan berdasarkan informasi yang memadai dari pemegang pengetahuan tersebut. Ini adalah kewajiban etis, bukan pilihan.

Prinsip-prinsip etika yang harus dipatuhi dalam integrasi kearifan lokal Papua ke dalam pembelajaran biologi meliputi: pengakuan dan atribusi yang tepat terhadap sumber pengetahuan; keterlibatan aktif komunitas pemegang pengetahuan sebagai mitra, bukan sekadar informan; perlindungan terhadap eksploitasi komersial pengetahuan lokal tanpa manfaat bagi komunitas asal; kehati-hatian terhadap pengetahuan sakral yang tidak seharusnya dibagikan secara publik; dan komitmen untuk mengembalikan manfaat pembelajaran kepada komunitas dalam bentuk yang bermakna bagi mereka (UNESCO, 2017; Nakashima *et al.*, 2022).

PRINSIP ETIKA INTEGRASI KEARIFAN LOKAL PAPUA DALAM PEMBELAJARAN

1. Pengakuan: Setiap pengetahuan lokal yang digunakan harus secara eksplisit diakui sumbernya yaitu nama suku, komunitas, atau individu pemegang pengetahuan.
2. Persetujuan: Pemanfaatan pengetahuan lokal memerlukan persetujuan bebas dan terdokumentasi dari komunitas yang bersangkutan (prinsip FPIC).
3. Kemitraan: Anggota komunitas diposisikan sebagai mitra ilmiah, bukan sekadar subjek penelitian atau sumber informasi.
4. Perlindungan: Pengetahuan yang bersifat sakral atau rahasia adat tidak diintegrasikan tanpa izin khusus.
5. Manfaat Timbal Balik: Hasil pembelajaran dikembalikan kepada komunitas dalam bentuk yang bermakna yaitu laporan, rekomendasi kebijakan, atau material pendidikan lokal.

B. Kearifan Lokal Papua dalam Konservasi Lingkungan

1. Pengetahuan Ekologis Masyarakat Papua

Papua adalah rumah bagi lebih dari 312 suku bangsa yang masing-masing memiliki sistem pengetahuan ekologis yang unik dan kaya. Pengetahuan ekologis tradisional (*Traditional Ecological Knowledge/TEK*) masyarakat Papua mencakup berbagai dimensi yang mencerminkan kedalaman interaksi mereka dengan ekosistem yang mereka huni: pengetahuan tentang klasifikasi dan ekologi spesies flora dan fauna (termasuk spesies endemik yang bahkan belum terdokumentasikan oleh sains akademis), pemahaman tentang dinamika ekosistem dan siklus ekologis, kemampuan membaca tanda-tanda alam sebagai sistem peringatan dini perubahan lingkungan, dan pengetahuan tentang nilai gizi, obat, dan ekologis dari ribuan spesies tanaman dan hewan.



(a) Burung Cendrawasih Merah



(b) Burung Mambruk Victoria



(d) Kuskus Waigeo



(d) Burung Kasuari Gelambir Tunggal

Gambar 5.1 Hewan Endemik Papua

Studi etnobiologi yang dilakukan oleh Hidayati (2021) mendokumentasikan bahwa masyarakat Suku Dani di Lembah Baliem memiliki nama dan pengetahuan ekologis tentang lebih dari 450 spesies tanaman, sementara masyarakat Suku Asmat di pesisir selatan Papua

mengenal lebih dari 200 spesies ikan beserta perilaku, habitat, dan pola migrasinya. Pengetahuan ini, yang diwariskan secara lisan dari generasi ke generasi, merupakan database biodiversitas yang sangat berharga dan komplementer dengan data yang dikumpulkan oleh para ilmuwan.

Tabel 5.1 Contoh Pengetahuan Ekologis Tradisional Masyarakat Papua dan Relevansinya dengan Biologi

Suku/ Komunitas	Pengetahuan Lokal	Konsep Biologi yang Relevan	Potensi Penelitian
Suku Dani (Lembah Baliem)	Sistem rotasi lahan honai, membiarkan lahan beristirahat 3–5 tahun sebelum ditanami kembali	Suksesi ekologi, siklus nutrisi tanah, regenerasi vegetasi, mikoriza rhizosfer	Efektivitas sistem rotasi tradisional vs. pertanian modern dalam menjaga kesuburan tanah Papua
Suku Asmat (Pesisir Selatan)	Pengetahuan tentang siklus pasang surut dan hubungannya dengan aktivitas ikan dan kepiting bakau	Ekologi mangrove, siklus bulan, perilaku hewan, rantai makanan pesisir	Validasi ilmiah pengetahuan lokal tentang pola distribusi dan aktivitas fauna mangrove
Suku Korowai (Pedalaman Selatan)	Kemampuan identifikasi lebih dari 80 spesies kumbang <i>rhinoseros</i> dan larva sagu sebagai sumber protein	Entomologi, ekologi serangga, nilai gizi serangga sebagai pangan alternatif, bioteknologi pangan	Potensi larva sagu (<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>) sebagai sumber protein berkelanjutan
Suku Biak-Numfor (Kepulauan Teluk Cenderawasih)	Sistem sasi laut yaitu larangan adat menangkap ikan di zona tertentu selama periode tertentu	Ekologi populasi ikan, dinamika komunitas terumbu karang, manajemen	Efektivitas sasi laut sebagai mekanisme pemulihan populasi ikan dibandingkan

		perikanan berkelanjutan	kawasan lindung formal
Suku Mee/Ekari (Dataran Tinggi Tengah)	Sistem klasifikasi tanaman berdasarkan khasiat obat dengan lebih dari 150 spesies terdokumentasi	Etnobotani, farmakognosi, fitokimia, bioaktif metabolit sekunder	Skrining fitokimia tanaman obat tradisional untuk mengidentifikasi senyawa bioaktif baru
Suku Moi (Kepala Burung Papua)	Pengelolaan hutan adat melalui sistem zonasi wilayah adat (hutan larangan, hutan pemanfaatan, dan kawasan sakral) serta pemanfaatan tumbuhan obat dan hasil hutan non-kayu secara lestari berdasarkan aturan adat.	Ekologi hutan hujan tropis, konservasi keanekaraga- man hayati, etnobotani, jasa ekosistem, pengelolaan sumber daya alam berbasis masyarakat.	Kajian efektivitas pengelolaan hutan adat dalam mempertahankan keanekaragaman hayati, stok karbon, serta konservasi spesies endemik Papua dibandingkan dengan kawasan konservasi formal.

Sumber: Hidayati (2021); Suryawati et al. (2022); Efendi et al. (2023)

2. Nilai Konservasi dalam Budaya Lokal Papua

Pandangan dunia (*worldview*) masyarakat adat Papua menempatkan manusia bukan sebagai penguasa alam, melainkan sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari jaring kehidupan (*web of life*). Perspektif ini yang oleh para filosof ekologi disebut sebagai *ekosentrisme* atau *biosentrisme* secara alami menghasilkan etika konservasi yang berbeda secara kualitatif dari pendekatan konservasi modern yang masih sering bersifat antroposentris (Gadotti, 2020; Capra & Luisi, 2021).

Dalam budaya banyak suku Papua, spesies-spesies tertentu memiliki status sakral yang secara efektif melindungi mereka dari

eksploitasi berlebihan: burung cenderawasih (*Paradisaea spp.*) dianggap sebagai burung surga yang melambangkan kemuliaan dan kecantikan alam Papua; pohon matoa (*Pometia pinnata*) sering dikaitkan dengan leluhur dan tidak boleh ditebang sembarangan; dan penyu laut dihormati dalam berbagai tradisi adat pesisir yang melarang pembunuhan mereka di luar kebutuhan upacara tertentu. Sistem kepercayaan ini telah berfungsi sebagai mekanisme konservasi yang efektif jauh sebelum konsep kawasan lindung formal dikenal.

3. Pemanfaatan Sumber Daya Alam secara Berkelanjutan

Sistem pengelolaan sumber daya alam tradisional masyarakat Papua mendemonstrasikan prinsip-prinsip keberlanjutan yang secara mengejutkan selaras dengan konsep ekologi modern. Sistem sasi yang dipraktikkan oleh berbagai suku di Papua dan Papua Barat adalah contoh paling dikenal: dalam sistem ini, kawasan tertentu (laut, hutan, atau ladang) dibuka dan ditutup untuk pemanenan berdasarkan siklus ekologis yang ditentukan oleh pemimpin adat, mencegah eksploitasi berlebihan dan memberikan waktu pemulihan bagi populasi dipanen.

Dalam kerangka ekologi modern, sistem sasi adalah implementasi intuitif dari konsep *maximum sustainable yield* dan *adaptive management*, dua prinsip yang baru dikembangkan secara formal oleh sains ekologi pada abad ke-20. Fakta bahwa masyarakat Papua telah mempraktikkannya selama berabad-abad, tanpa perlu model matematika atau data ekologi formal, adalah bukti tentang kecerdasan ekologis kolektif yang tertanam dalam tradisi lokal (Berkes, 2018).

4. Hubungan Masyarakat Lokal dengan Alam

Hubungan antara masyarakat Papua dengan alam tidak sekadar bersifat utilitarian (alam sebagai sumber daya yang dieksploitasi), melainkan relasional dan spiritual. Konsep *sense of place*, rasa keterikatan mendalam dengan suatu tempat yang melampaui nilai ekonomisnya sangat kuat dalam budaya Papua. Bagi banyak suku Papua, tanah adat bukan hanya properti yang dimiliki, melainkan identitas yang dihidupi: 'Kami bukan pemilik tanah; kami adalah bagian dari tanah itu.'

Hubungan relasional ini memiliki implikasi penting bagi pendidikan biologi: ketika peserta didik Papua belajar tentang ekologi hutan tropis, mereka tidak belajar tentang sesuatu yang 'di luar sana', mereka belajar tentang diri mereka sendiri dan nenek moyang mereka.

Pengalaman belajar yang mengakui dan menghormati dimensi relasional jauh lebih bermakna dan transformatif dibandingkan pembelajaran yang memperlakukan alam sebagai objek studi yang dingin dan impersonal.

5. Potensi Kearifan Lokal dalam Pembelajaran Biologi

Kearifan lokal Papua memiliki potensi yang luar biasa sebagai sumber dan konteks bagi pembelajaran biologi yang autentik dan transformatif. Setidaknya ada lima domain konten biologi di mana kearifan lokal Papua dapat memberikan kontribusi yang sangat signifikan:

- a. Ekologi dan konservasi: Sistem sasi dan hutan larangan sebagai model manajemen ekosistem berbasis masyarakat yang dapat dibandingkan dengan pendekatan konservasi formal
- b. Etnobotani dan farmakologi: Pengetahuan tentang tanaman obat tradisional sebagai pintu masuk untuk memahami metabolisme sekunder, bioaktif tanaman, dan pengembangan obat modern
- c. Entomologi dan ekologi serangga: Pengetahuan tentang serangga yang digunakan sebagai pangan, obat, atau indikator kualitas lingkungan
- d. Ekologi laut dan perikanan: Pengetahuan tradisional tentang siklus kehidupan ikan, ekologi terumbu karang, dan manajemen perikanan berkelanjutan
- e. Biologi tumbuhan dan agronomi: Sistem pertanian tradisional yang mengintegrasikan pengetahuan tentang interaksi tanaman, tanah, dan iklim lokal

C. Integrasi Kearifan Lokal dalam Materi Biologi

1. Ekologi Hewan Berbasis Konteks Lokal

Ekologi hewan Papua menawarkan konteks pembelajaran yang tidak tertandingi: keanekaragaman spesies yang luar biasa tinggi, endemisme yang sangat tinggi, dan interaksi ekologis yang kompleks dan seringkali belum sepenuhnya dipahami oleh sains akademis. Ketika mempelajari konsep-konsep seperti relung ekologis, rantai makanan, kompetisi interspesifik, atau perilaku hewan, ekosistem Papua menyediakan contoh-contoh yang jauh lebih kaya, relevan, dan menakjubkan dibandingkan contoh-contoh generik dari buku teks Barat.

Suku-suku Papua memiliki pengetahuan mendalam tentang perilaku dan ekologi hewan lokal yang sering melampaui apa yang terdokumentasi dalam literatur ilmiah. Pengetahuan tentang pola migrasi burung cenderung asih berkaitan dengan musim buah tertentu, tentang cara katak pohon Papua berkomunikasi pada intensitas curah hujan berbeda, atau tentang jaringan bawah tanah jamur yang menghubungkan pohon-pohon dalam hutan adat, semua ini adalah konteks yang bisa menjadi *entry point* yang kuat untuk mengajarkan konsep-konsep ekologi yang lebih abstrak.

2. Fauna Endemik Papua

Papua adalah salah satu wilayah dengan endemisme hewan tertinggi di dunia. Lebih dari 70% spesies mamalia, 50% spesies burung, dan sekitar 60% spesies reptil yang ditemukan di Papua adalah endemik tidak ditemukan di tempat lain di muka bumi. Kekayaan ini menjadikan Papua sebagai 'laboratorium evolusi alami' yang luar biasa untuk memahami proses spesiasi, adaptasi, dan koevolusi.

Tabel 5.2 Fauna Endemik Papua dan Relevansinya sebagai Konteks Pembelajaran Biologi

Kelompok	Contoh Spesies Endemik	Konsep Biologi yang Dapat Diajarkan	Kearifan Lokal yang Relevan
Mamalia	Kanguru pohon (<i>Dendrolagus spp.</i>), Echidna berparuh panjang (<i>Zaglossus spp.</i>), Possum Sulky (<i>Phalanger sericeus</i>)	Adaptasi morfologi, konvergensi evolusi antara marsupial dan plasental, biogeografi Wallace-Weber	Suku Lani mengenal kanguru pohon sebagai indikator kesehatan hutan, dimana populasi tinggi menandakan hutan yang masih baik
Burung	Cenderawasih merah (<i>Paradisaea rubra</i>), Kasuari	Seleksi seksual, tampilan lekking, perilaku kawin,	Cenderawasih dianggap sebagai burung surga oleh

	gelambir ganda (<i>Casuarius casuarinus</i>), Beo Papua (<i>Mino dumontii</i>)	adaptasi morfologi, evolusi bulu	hampir semua suku Papua sehingga dilarang dibunuh di banyak daerah adat
Reptil & Amfibi	Buaya Irian (<i>Crocodylus novaeguineae</i>), Kadal raksasa Papua, Lebih dari 300 spesies katak endemik	Herpetologi, ekologi amfibi, kepekaan amfibi sebagai bioindikator kualitas lingkungan	Beberapa suku menggunakan populasi katak pohon tertentu sebagai indikator tradisional kualitas air sungai
Invertebrata	Kupu-kupu Sayap Burung Ratu Alexandra (<i>Ornithoptera alexandrae</i>), Kumbang rhinoseros, Larva sagu	Entomologi, siklus metamorfosis, ekologi serangga, nilai gizi serangga dalam ketahanan pangan	Suku Korowai dan Kombai memanen larva sagu secara selektif, meninggalkan cukup larva untuk memastikan keberlanjutan populasi

Sumber: LIPI (2022); BirdLife International (2023); Hidayati (2021)

3. Ekosistem Hutan Tropis Papua

Hutan tropis Papua merupakan salah satu ekosistem paling kompleks dan kaya biodiversitas di planet ini. Mencakup area sekitar 33 juta hektar hampir dua pertiga dari total luas Papua, hutan ini menyimpan lebih dari 20.000 spesies tanaman berbunga, ribuan spesies jamur, dan ribuan spesies vertebrata dan invertebrata, banyak di antaranya masih belum terdeskripsi secara ilmiah.

Dalam konteks pembelajaran biologi, hutan tropis Papua menyediakan konteks untuk mengajarkan hampir semua konsep ekologi utama yaitu struktur vertikal ekosistem hutan (dari lantai hutan hingga

tajuk dan *emergent layer*), suksesi ekologi, simbiosis mutualisme (misalnya antara pohon ara dengan tawon penyerbuk spesifik), dekomposisi dan daur nutrisi, dan stratifikasi biodiversitas altitudinal dari pantai hingga puncak pegunungan bersalju Jayawijaya.

Pengetahuan ekologis masyarakat adat Papua tentang hutan mereka sangat mendalam: mereka mengenal nama, kegunaan, dan ekologi ratusan pohon; mereka memahami hubungan antara jenis tanah dengan jenis vegetasi yang tumbuh di atasnya; mereka mengetahui musim berbuah berbagai jenis pohon buah hutan yang menjadi sumber pangan bagi satwa dan manusia. Pengetahuan ini adalah basis untuk apa yang para ekolog sebut sebagai *phenological knowledge* pemahaman tentang pola musiman dalam ekosistem.

4. Ekosistem Pesisir dan Laut

Papua memiliki garis pantai sepanjang lebih dari 1.900 kilometer yang mencakup berbagai ekosistem pesisir dan laut yang sangat kaya: hutan mangrove yang luas, padang lamun yang produktif, terumbu karang yang beragam (termasuk Teluk Cenderawasih yang merupakan kawasan konservasi laut terbesar di Indonesia), dan zona pelagis yang kaya dengan berbagai spesies ikan komersial dan non-komersial.

Masyarakat pesisir Papua memiliki pengetahuan ekologis laut yang sangat mendalam yang telah terbentuk selama ribuan tahun interaksi dengan ekosistem tersebut. Pengetahuan tentang arus laut musiman, pola migrasi ikan, siklus reproduksi terumbu karang, hubungan antara mangrove dan produktivitas perikanan, serta dampak perubahan iklim terhadap ekosistem laut, semua ini adalah pengetahuan yang dimiliki oleh nelayan-nelayan tradisional Papua berdasarkan pengamatan langsung yang sangat intensif dan berkelanjutan.

5. Praktik Lokal dalam Menjaga Keseimbangan Lingkungan

Masyarakat adat Papua telah mengembangkan berbagai praktik pengelolaan lingkungan yang secara efektif menjaga keseimbangan ekosistem. Praktik-praktik ini bukan sekadar tradisi budaya; mereka adalah teknologi konservasi yang tervalidasi oleh ribuan tahun uji coba dan adaptasi. Beberapa contoh paling signifikan:

- a. Hutan sasi: Kawasan hutan yang ditutup untuk pemanenan kayu selama periode tertentu, memberikan waktu bagi populasi pohon untuk pulih dan meregenerasi

- b. Sistem pertanian multistrata: Pertanian tumpang sari yang meniru struktur hutan alam, mengintegrasikan berbagai spesies tanaman pangan, tanaman obat, dan pohon penghasil kayu dalam satu sistem yang saling mendukung
- c. Pantangan adat terhadap spesies kunci: Larangan memanen atau memburu spesies-spesies yang memiliki peran ekologis kritis sebagai predator puncak, penyebar biji, atau penyerbuk
- d. Sistem air adat: Pengelolaan sumber air dan daerah tangkapan air berdasarkan hak adat yang mencegah degradasi dan kontaminasi
- e. Kalender ekologis tradisional: Sistem pengetahuan tentang siklus musiman yang mengatur kapan aktivitas pertanian, perburuan, dan perikanan dapat dilakukan secara optimal tanpa mengganggu siklus reproduksi spesies yang bersangkutan

D. *E-Module* sebagai Media Pembelajaran Digital

1. Pengertian *E-Module*

E-module (*electronic module* atau modul elektronik) adalah bahan ajar mandiri berbasis digital yang dirancang secara sistematis untuk membantu peserta didik mencapai tujuan pembelajaran tertentu melalui penggunaan media teknologi. Berbeda dari buku teks digital yang sekadar memindahkan teks cetak ke format digital, *e-module* yang berkualitas memanfaatkan sepenuhnya kemampuan medium digital untuk menghadirkan pengalaman belajar yang interaktif, multimodal, dan adaptif (Sugianto *et al.*, 2022; Majid, 2021).

Kemendikbudristek (2022) mendefinisikan *e-module* sebagai sebuah bentuk penyajian bahan belajar mandiri yang disusun secara sistematis ke dalam unit pembelajaran terkecil untuk mencapai tujuan pembelajaran tertentu yang disajikan dalam format digital, baik *offline* maupun online. Definisi ini menekankan tiga karakteristik esensial: kemandirian (*self-instructional*), sistematisitas (*systematic*), dan orientasi tujuan (*goal-oriented*).

2. Karakteristik *E-Module*

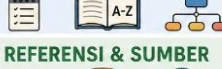
E-module yang berkualitas tinggi memiliki tujuh karakteristik utama yang membedakannya dari bahan ajar konvensional maupun bahan ajar digital yang inferior (Sugianto *et al.*, 2022; Prastowo, 2021):

- a. *Self-instructional*: Dapat dipelajari secara mandiri tanpa memerlukan kehadiran pendidik secara fisik; mengandung instruksi yang jelas, contoh yang memadai, dan latihan soal dengan umpan balik
- b. *Self-contained*: Memuat seluruh materi pembelajaran yang diperlukan untuk mencapai tujuan belajar tertentu dalam satu unit yang kohesif; tidak bergantung pada sumber lain untuk memahami konten inti
- c. *Stand-alone*: Dapat digunakan tanpa harus menggabungkannya dengan bahan ajar lain, meskipun dapat diintegrasikan dalam sistem pembelajaran yang lebih luas
- d. *Adaptive*: Dapat menyesuaikan konten dan tingkat kesulitan dengan kemampuan dan kebutuhan individual peserta didik
- e. *User-friendly*: Antarmuka yang intuitif, navigasi yang mudah, dan tampilan visual yang menarik namun tidak mengalihkan perhatian dari konten
- f. *Interactive*: Mengandung elemen interaktif yang mendorong keterlibatan aktif peserta didik: kuis adaptif, simulasi, animasi, video, dan aktivitas eksplorasi
- g. *Accessible*: Dapat diakses dari berbagai perangkat (komputer, tablet, smartphone) dengan berbagai kondisi konektivitas internet

3. Struktur *E-Module*

Struktur *e-module* yang komprehensif dan efektif mengikuti hierarki komponen yang logis dan memudahkan navigasi. Struktur standar *e-module* biologi dalam Model EBI mencakup komponen-komponen berikut.

Gambar 5.2 Struktur Komprehensif E-Module Biologi Berbasis Kearifan Lokal Papua

1	 HALAMAN JUDUL	Identitas modul (judul, subjek, tingkat, penulis), ilustrasi visual berbasis biodiversitas Papua, petunjuk penggunaan
2	 PETA KOMPETENSI	Capaian pembelajaran, tujuan belajar yang terukur, peta konsep visual yang menghubungkan seluruh topik dalam modul
3	 PENDAHULUAN	Narasi pemantik berbasis fenomena ekologis lokal Papua; koneksi dengan kearifan lokal; relevansi dengan kehidupan peserta didik
4	 MATERI UTAMA	Konten biologi yang diintegrasikan dengan konteks kearifan lokal; teks, gambar, diagram, video, animasi, infografis interaktif
5	 AKTIVITAS BELAJAR	Latihan inkuiri terbimbing, studi kasus berbasis masalah lokal, simulasi interaktif, proyek mini berbasis komunitas
6	 EVALUASI FORMATIF	Kuis adaptif dengan umpan balik instan; refleksi metakognitif; penilaian diri berdasarkan rubrik
7	 RANGKUMAN & GLOSARIUM	Poin-poin kunci, glosarium istilah biologi dan lokal Papua, peta konsep akhir
8	 REFERENSI & SUMBER	Daftar literatur ilmiah, atribusi pengetahuan lokal Papua, tautan sumber daya tambahan

Sumber: Diadaptasi dari Kemendikbudristek (2022); Sugianto et al. (2022); Prastowo (2021)

4. Keunggulan *E-Module* dalam Pembelajaran Mandiri

E-module memiliki sejumlah keunggulan signifikan dibandingkan modul cetak konvensional, terutama dalam konteks mendukung kemandirian belajar yang menjadi pilar utama Model EBI:

- Aksesibilitas universal: Dapat diakses kapan saja dan di mana saja, di rumah, di lapangan, atau di komunitas tanpa dibatasi oleh jam sekolah atau ketersediaan buku
- Pembaruan konten yang mudah: Ketika temuan penelitian baru atau data biodiversitas terbaru tersedia, *e-module* dapat diperbarui dengan cepat tanpa biaya cetak ulang
- Umpan balik instan: Kuis dan latihan dalam *e-module* dapat memberikan umpan balik langsung yang membantu peserta didik memahami kesalahan dan memperbaikinya segera
- Personalisasi pembelajaran: *E-module* adaptif dapat menyesuaikan jalur belajar, tingkat kesulitan, dan jenis konten berdasarkan respons dan kinerja individual peserta didik

- e. Multimodalitas: Mengintegrasikan teks, gambar, audio, video, animasi, dan simulasi dalam satu platform terpadu, melayani berbagai gaya belajar
- f. Pelacakan kemajuan: Sistem *e-module* yang baik mencatat dan memvisualisasikan kemajuan belajar peserta didik, mendukung pemantauan diri yang efektif
- g. Interoperabilitas: Dapat diintegrasikan dengan *Learning Management System* (LMS) seperti *Moodle*, *Google Classroom*, atau *Canvas* untuk mendukung *blended learning*.

5. *E-module* sebagai Media Pembelajaran Interaktif

Interaktivitas adalah karakteristik yang paling membedakan *e-module* dari bahan ajar cetak dan yang paling kritis untuk mendukung pembelajaran aktif. Clark & Mayer (2021) mengidentifikasi tiga level interaktivitas dalam *e-learning*: interaktivitas *pasif* (peserta didik hanya membaca atau menonton), interaktivitas *aktif* (peserta didik menjawab pertanyaan atau menavigasi konten), dan interaktivitas *konstruktif* (peserta didik menghasilkan output, menyelesaikan masalah, atau menciptakan sesuatu).

E-module biologi berbasis kearifan lokal Papua dalam Model EBI dirancang untuk beroperasi pada level interaktivitas konstruktif. Contoh-contoh elemen interaktif konstruktif yang diintegrasikan: simulasi ekosistem di mana peserta didik dapat mengubah parameter lingkungan dan mengamati dampaknya terhadap biodiversitas; *virtual field trip* ke hutan tropis Papua dengan elemen *augmented reality* yang menampilkan informasi biologi dan kearifan lokal tentang spesies yang ditemui; dan proyek dokumentasi digital di mana peserta didik mendokumentasikan dan menganalisis spesies atau praktik ekologis lokal menggunakan template dalam *e-module*.

E. Pengembangan *E-Module* Biologi Berbasis Kearifan Lokal

Pengembangan *e-module* biologi berbasis kearifan lokal Papua yang berkualitas tinggi memerlukan proses yang sistematis, kolaboratif, dan iteratif. Model EBI mengadopsi model pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) yang dimodifikasi untuk mengintegrasikan prinsip-prinsip ko-desain dengan komunitas lokal (Branch, 2020; Sugianto *et al.*, 2022).

Gambar 5.3 Model Pengembangan E-Module Biologi Berbasis Kearifan Lokal Papua (ADDIE-KL)



Sumber: Diadaptasi dari Branch (2020); Sugianto et al. (2022)

1. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan (*needs analysis*) adalah fondasi yang menentukan relevansi dan efektivitas *e-module* yang akan dikembangkan. Analisis kebutuhan yang komprehensif untuk *e-module* biologi berbasis kearifan lokal Papua mencakup beberapa dimensi:

- Analisis peserta didik: Karakteristik demografis, tingkat kemampuan awal, gaya belajar, akses teknologi, dan familiaritas dengan kearifan lokal Papua
- Analisis kurikulum: Kompetensi dasar dan tujuan pembelajaran yang harus dicapai; kesenjangan antara kurikulum nasional dan konteks lokal Papua
- Analisis konteks kearifan lokal: Inventarisasi pengetahuan ekologis tradisional yang relevan dengan materi biologi yang akan diajarkan; identifikasi mitra komunitas yang dapat memberikan input autentik
- Analisis infrastruktur teknologi: Ketersediaan perangkat digital (smartphone, tablet, komputer), konektivitas internet (atau

kebutuhan mode *offline*), dan kapasitas teknis guru dalam mengelola *e-module*.

- e. Analisis konten kompetitor: Evaluasi kritis *e-module* biologi yang sudah ada untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahannya, dan memastikan *e-module* baru memberikan nilai tambah yang signifikan

Dalam konteks Papua, analisis kebutuhan harus dilakukan secara partisipatif, melibatkan komunitas lokal, guru-guru setempat, dan perwakilan peserta didik sebagai *co-researcher* bukan sekadar subjek penelitian. Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan data yang lebih akurat dan relevan, tetapi juga membangun rasa memiliki dan dukungan komunitas terhadap *e-module* yang akan dikembangkan.

2. Perancangan Konten

Perancangan konten adalah fase di mana visi pedagogis diterjemahkan menjadi blueprint yang detail dan dapat diimplementasikan. Prinsip-prinsip utama yang memandu perancangan konten *e-module* biologi berbasis kearifan lokal Papua dalam Model EBI:

- a. Prinsip *relevance-first*: Setiap topik biologi dimulai dari fenomena atau pertanyaan yang relevan dengan konteks ekologis lokal Papua, bukan dari definisi abstrak
- b. Prinsip *two-way integration*: Kearifan lokal tidak sekadar disisipkan sebagai ilustrasi, melainkan diintegrasikan secara organik sebagai perspektif analitik yang setara dengan sains akademis
- c. Prinsip *scaffolded inquiry*: Konten dirancang untuk membimbing peserta didik dari observasi sederhana menuju penyelidikan yang semakin kompleks, dengan *scaffold* yang dikurangi secara bertahap
- d. Prinsip multimedia *learning*: Mengikuti prinsip-prinsip Mayer (2021) tentang desain multimedia, prinsip koherensi, sinyal, redundansi, kedekatanspasial, dan kedekatan temporal.
- e. Prinsip budaya inklusif: Desain visual, narasi, dan contoh mencerminkan keanekaragaman budaya Papua dan menghindari representasi yang stereotipikal atau tidak akurat

3. Integrasi Gambar, Video, dan Aktivitas Interaktif

Elemen multimedia dalam e-module biologi berbasis kearifan lokal Papua harus dipilih dan dirancang berdasarkan prinsip-prinsip *Cognitive Theory of Multimedia Learning* yang dikembangkan oleh Mayer (2021). Teori ini menyatakan bahwa manusia memproses informasi melalui dua kanal yang berbeda dan berkapasitas terbatas (verbal/auditori dan visual/piktorial), dan bahwa pembelajaran bermakna terjadi ketika representasi dari kedua kanal tersebut terintegrasi dengan baik dalam memori kerja.

Panduan spesifik untuk elemen multimedia dalam *e-module* Papua.

- a. Gambar dan infografis: Menggunakan foto lapangan berkualitas tinggi dari ekosistem Papua, ilustrasi spesies endemik dengan label bilingual (nama ilmiah dan nama lokal), infografis yang memvisualisasikan interaksi ekologis dan siklus energi, serta peta biodiversitas interaktif Papua
- b. Video: Video dokumenter pendek (3–8 menit) tentang ekosistem Papua yang diproduksi bersama komunitas lokal; video wawancara dengan tokoh pemegang kearifan lokal; video timelapse pertumbuhan tanaman atau perubahan ekosistem; dan video demonstrasi praktikum biologi berbasis bahan lokal
- c. Animasi: Animasi mekanisme biologi yang sulit divisualisasikan (siklus nitrogen, proses fotosintesis, mitosis/meiosis); animasi simulasi dinamika ekosistem Papua; dan animasi siklus hidup spesies endemik kunci
- d. Simulasi interaktif: Simulasi ekosistem di mana pengguna dapat memanipulasi variabel (populasi predator, curah hujan, suhu) dan mengamati dampaknya; simulasi percobaan genetika Mendel dengan spesies lokal; dan virtual lab yang memungkinkan peserta didik 'melakukan' percobaan yang tidak mungkin dilakukan di sekolah dengan peralatan terbatas
- e. *Augmented Reality* (AR): Elemen AR opsional yang memungkinkan peserta didik memindai gambar tanaman atau hewan dalam *e-module* untuk mendapatkan informasi 3D tambahan, rekaman suara, atau video; dan AR berbasis lokasi untuk *field trip virtual* ke ekosistem Papua

4. Validasi Ahli Materi dan Media

Validasi ahli adalah langkah kritis yang memastikan kualitas ilmiah dan pedagogis *e-module* sebelum diuji coba kepada peserta didik. Model EBI merekomendasikan validasi oleh setidaknya tiga kelompok validator yang berbeda dengan keahlian komplementer:

- a. Ahli materi biologi (minimal 2 validator): Dosen atau peneliti biologi dengan spesialisasi yang relevan (ekologi Papua, botani, zoologi, biologi molekuler); mengevaluasi keakuratan ilmiah, kedalaman dan keluasan konten, dan kesesuaian dengan perkembangan sains terkini
- b. Ahli pendidikan biologi (minimal 1 validator): Pakar dalam metodologi pembelajaran biologi, mengevaluasi kesesuaian dengan teori belajar, kejelasan tujuan pembelajaran, kualitas soal evaluasi, dan ketepatan level kognitif
- c. Ahli kearifan lokal Papua (minimal 1 validator): Tokoh adat, peneliti etnobiologi, atau akademisi yang memiliki keahlian mendalam tentang budaya dan pengetahuan lokal Papua; mengevaluasi akurasi, kepatutan, dan representasi yang tepat dari kearifan lokal
- d. Ahli media digital (minimal 1 validator): Pakar dalam desain pembelajaran digital dan UX, mengevaluasi kualitas desain visual, usability, aksesibilitas, dan efektivitas elemen interaktif

Proses validasi dilakukan menggunakan instrumen yang telah divalidasi secara psikometrik, biasanya angket dengan skala Likert 1–5 dan ruang untuk komentar kualitatif. Produk dinyatakan layak untuk diuji coba ketika skor rata-rata dari semua validator mencapai minimal 3,5 dari 5 (kategori “valid” atau “sangat valid”) pada setiap aspek penilaian.

5. Uji Coba kepada Mahasiswa/Siswa

Uji coba *e-module* dilakukan dalam tiga tahap yang semakin luas dan realistis, memungkinkan identifikasi dan perbaikan masalah sebelum implementasi skala penuh:

- a. Uji coba perorangan (*individual trial*): Dilakukan dengan 3–5 peserta didik yang dipilih secara purposif untuk mewakili variasi kemampuan (rendah, sedang, tinggi). Fokus pada usability dan keterbacaan: apakah instruksi mudah dipahami? Apakah navigasi intuitif? Apakah konten dapat dipahami tanpa bantuan?

- b. Uji coba kelompok kecil (*small group trial*): Dilakukan dengan 10–15 peserta didik yang lebih representatif. Fokus pada efektivitas pedagogis: apakah peserta didik mencapai tujuan belajar? Apakah aktivitas interaktif berfungsi dengan baik? Berapa lama waktu yang diperlukan?
- c. Uji coba lapangan (*field trial*): Dilakukan di satu atau beberapa kelas penuh (30–35 peserta didik per kelas) dalam kondisi yang mendekati penggunaan sebenarnya. Fokus pada efektivitas komparatif, kepraktisan, dan respons pengguna secara komprehensif

6. Revisi dan Penyempurnaan Produk

Revisi adalah proses berulang yang terus menyempurnakan e-module berdasarkan data yang dikumpulkan dari validasi ahli dan uji coba peserta didik. Prinsip utama revisi dalam Model EBI adalah *evidence-based*, setiap perubahan harus didasarkan pada data kuantitatif atau kualitatif yang jelas, bukan sekadar preferensi estetis atau tekanan subjektif.

Jenis-jenis revisi yang umum diperlukan dalam pengembangan e-module biologi Papua: (1) Koreksi akurasi ilmiah, memperbaiki fakta, konsep, atau interpretasi yang tidak tepat berdasarkan masukan ahli materi; (2) Penyesuaian level kesulitan, menyederhanakan atau memperdalam konten berdasarkan respons peserta didik; (3) Perbaikan usability, meningkatkan navigasi, tata letak, dan responsivitas antarmuka; (4) Pengayaan multimedia, menambahkan atau mengganti elemen visual/audio yang kurang efektif; dan (5) Penyesuaian representasi budaya, memastikan kearifan lokal direpresentasikan secara akurat, terhormat, dan tidak stereotipikal.

Tabel 5.3 Standar Kualitas *E-Module* Biologi Berbasis Kearifan Lokal Papua

Aspek	Komponen Evaluasi	Kriteria Kualitas Minimal	Instrumen Pengukuran
Kelayakan Materi	Keakuratan ilmiah, kedalaman konten, kesesuaian kurikulum, kebaruan	Skor rata-rata $\geq 3,5/5$ dari minimal 2 ahli biologi; tidak ada kesalahan faktual	Angket validasi ahli materi 25–30 item skala Likert 1–5
Kelayakan Kearifan Lokal	Akurasi, representasi bermartabat, relevansi pedagogis, atribusi yang tepat	Divalidasi oleh minimal 1 pakar kearifan lokal Papua; komunitas pemegang pengetahuan menyetujui penggunaan	Angket validasi pakar kearifan lokal; protokol FPIC terdokumentasi
Kelayakan Media	<i>Usability</i> , desain visual, interaktivitas, aksesibilitas, responsivitas	Skor <i>usability</i> ≥ 70 pada <i>System Usability Scale</i> (SUS); semua elemen interaktif berfungsi	SUS (Brooke, 1996); <i>task completion testing</i> ; <i>error log analysis</i>
Efektivitas Pedagogis	Ketercapaian tujuan belajar, peningkatan pemahaman, dukungan SDL	N-gain $\geq 0,3$ (kategori sedang) dalam uji coba lapangan; peningkatan signifikan dalam SRL	<i>Pre-test</i> dan <i>post-test</i> ; skala SRL; angket motivasi belajar
Respon Pengguna	Keterbacaan, keterlibatan, relevansi, kepuasan pengguna	Rata-rata respon positif $\geq 75\%$ peserta didik; tidak ada keluhan <i>usability mayor</i>	Angket respon peserta didik; wawancara terfokus; <i>think-aloud protocol</i>

Sumber: Diadaptasi dari Sugianto et al. (2022); Branch (2020); Brooke (1996)

F. *E-Module*, Kearifan Lokal, dan SDGs

1. *E-module* untuk Mendukung Pendidikan Berkualitas (SDG 4)

Sustainable Development Goal 4 Pendidikan Berkualitas, menetapkan target ambisius untuk memastikan bahwa semua peserta didik mendapatkan pendidikan yang inklusif, merata, dan berkualitas yang mempromosikan kesempatan belajar sepanjang hayat bagi semua. *E-module* biologi berbasis kearifan lokal Papua berkontribusi langsung pada beberapa target SDG 4.

- a. Target 4.1 (Pendidikan dasar dan menengah berkualitas): *E-module* meningkatkan kualitas pembelajaran biologi dengan menyediakan konten yang kaya, interaktif, dan relevan yang tidak selalu dapat disediakan oleh kondisi sekolah dengan keterbatasan sumber daya di Papua
- b. Target 4.4 (Keterampilan relevan termasuk teknikal dan vokasional): *E-module* mengembangkan keterampilan digital dan keterampilan ilmiah yang dibutuhkan di pasar kerja abad ke-21
- c. Target 4.7 (Pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan dan kewarganegaraan global): *E-module* secara eksplisit mengintegrasikan prinsip-prinsip ESD melalui konten yang menghubungkan biologi dengan keberlanjutan ekologis dan kultural
- d. Target 4.a (Fasilitas pendidikan yang inklusif, aman, dan efektif): *E-module* memperluas akses ke pendidikan biologi berkualitas bahkan di daerah-daerah Papua yang terpencil dengan keterbatasan infrastruktur sekolah

2. Pembelajaran Biologi untuk Kesadaran Perubahan Iklim (SDG 13)

Perubahan iklim adalah tantangan eksistensial yang dampaknya terasa sangat nyata di Papua. Pencairan gletser Puncak Jaya yang dramatis (telah kehilangan lebih dari 80% luas es sejak 1936), pergeseran pola curah hujan yang mempengaruhi siklus tanaman pangan tradisional, pemutihan massal terumbu karang, dan perubahan pola distribusi spesies yang mempengaruhi ketersediaan sumber pangan bagi komunitas adat.

E-module biologi berbasis kearifan lokal Papua dapat memberikan kontribusi unik terhadap SDG 13 dengan cara yang tidak bisa dilakukan oleh *e-module* generik, mengintegrasikan pengetahuan

ilmiah tentang perubahan iklim dengan pengamatan dan pengetahuan tradisional masyarakat Papua tentang perubahan lingkungan yang mereka saksikan selama generasi. Ini adalah pendekatan yang disebut oleh Nakashima *et al.* (2022) sebagai *climate change adaptation using local and indigenous knowledge*, pendekatan yang direkomendasikan oleh IPCC dan UNESCO sebagai salah satu strategi paling efektif dalam menghadapi krisis iklim.

3. Pembelajaran Biologi untuk Konservasi Keanekaragaman Hayati (SDG 15)

Papua menyimpan sekitar 5% dari total biodiversitas bumi dalam wilayah yang hanya mencakup kurang dari 1% luas daratan bumi. Ini adalah tanggung jawab konservasi yang kolosal, dan pendidikan biologi memiliki peran yang tidak bisa diremehkan dalam mempersiapkan generasi yang memahami nilai, memiliki komitmen, dan mampu bertindak untuk melestarikan kekayaan ini.

E-module biologi berbasis kearifan lokal Papua berkontribusi pada SDG 15 (Kehidupan di Darat) melalui beberapa mekanisme: (1) mengembangkan pengetahuan mendalam tentang biodiversitas Papua yang menjadi fondasi komitmen konservasi; (2) menunjukkan bagaimana kearifan lokal telah berhasil menjaga biodiversitas selama berabad-abad; (3) mengembangkan kemampuan monitoring biodiversitas melalui proyek-proyek *citizen science*; dan (4) menghubungkan konservasi biodiversitas dengan identitas kultural dan kesejahteraan komunitas, sehingga konservasi dipahami bukan sebagai pengorbanan, melainkan sebagai investasi dalam warisan hidup.

4. Keterkaitan dengan SDG 4, SDG 13, dan SDG 15

Tabel 5.4 Pemetaan Kontribusi *E-Module* Biologi Berbasis Kearifan Lokal Papua terhadap SDGs

SDG	Judul SDG	Mekanisme Kontribusi <i>E-Module</i> & Kearifan Lokal	Indikator Keberhasilan
SDG 4 Pendidikan	Pendidikan Berkualitas	Meningkatkan akses dan kualitas pendidikan biologi di Papua; mengintegrasikan kearifan lokal dalam kurikulum formal; mendukung SDL dan <i>lifelong learning</i>	Peningkatan capaian belajar biologi; peningkatan SRL; peningkatan akses bagi sekolah terpencil
SDG 13 Iklim	Penanganan Perubahan Iklim	Mengintegrasikan pengetahuan iklim ilmiah dengan observasi tradisional masyarakat Papua; mengembangkan kemampuan adaptasi berbasis kearifan lokal	Literasi iklim peserta didik meningkat; rencana adaptasi komunitas berbasis pengetahuan lokal dikembangkan
SDG 15 Ekosistem	Kehidupan di Darat	Mengembangkan pemahaman dan komitmen terhadap konservasi biodiversitas Papua; memvalidasi dan merevitalisasi praktik konservasi	Literasi biodiversitas meningkat; peserta didik terlibat aktif dalam proyek konservasi; kearifan lokal didokumentasikan dan dilestarikan

		berbasis kearifan lokal	
SDG 17 Kemitraan	Kemitraan untuk Tujuan	Membangun kemitraan antara sekolah, perguruan tinggi, komunitas adat, dan pemerintah daerah dalam pengembangan dan diseminasi <i>e-module</i>	Jaringan kemitraan pendidikan-komunitas terbentuk; model ko-desain <i>e-module</i> dapat direplikasi di daerah lain

Sumber: UN SDGs (2022); UNESCO ESD (2020); Nakashima et al. (2022)

5. Pendidikan Biologi sebagai Penggerak Keberlanjutan

Model EBI dengan integrasi kearifan lokal Papua dan *e-module* menempatkan pendidikan biologi bukan sekadar sebagai mata pelajaran akademis, melainkan sebagai kekuatan penggerak transformasi sosial-ekologis yang berkelanjutan. Ini adalah visi yang ambisius namun sangat mendesak di era krisis planet yang kita hadapi.

Pendidikan biologi yang transformatif seperti yang diperjuangkan oleh Model EBI, bekerja pada tiga tingkat perubahan secara simultan: perubahan kognitif (mengembangkan pemahaman ilmiah yang mendalam tentang sistem kehidupan), perubahan afektif (membangun nilai-nilai ekologis, kepedulian, dan komitmen terhadap keberlanjutan), dan perubahan perilaku (mendorong tindakan nyata yang berkontribusi pada konservasi dan keberlanjutan). Ketiga perubahan ini, ketika terjadi secara sinergis, menciptakan apa yang disebut Misiaszek (2020) sebagai *ecopedagogical transformation*, transformasi cara pandang dan cara bertindak yang menjadikan harmoni dengan alam sebagai prinsip panduan dalam kehidupan.

Dalam konteks Papua yang kaya biodiversitas namun rentan terhadap tekanan pembangunan, peran ini menjadi semakin kritis. Setiap peserta didik yang berhasil mengintegrasikan pengetahuan ilmiah dengan kearifan lokal dan komitmen ekologis adalah agen perubahan yang berpotensi berkontribusi pada perlindungan salah satu ekosistem

paling berharga di planet ini dan pada pelestarian warisan budaya yang telah menjaga ekosistem tersebut selama ribuan tahun.

VISI MODEL EBI: PENDIDIKAN BIOLOGI SEBAGAI PENGGERAK TRANSFORMASI PAPUA

- Peserta didik Papua yang memahami biodiversitas luar biasa di tanah mereka sendiri dan bangga dengannya
- Peserta didik yang mampu menjembatani pengetahuan ilmiah dengan kearifan leluhur mereka
- Peserta didik yang memiliki keterampilan digital untuk mengakses, menciptakan, dan berbagi pengetahuan
- Peserta didik yang bertindak sebagai penjaga ekosistem Papua — bukan karena diwajibkan, melainkan karena memahami dan mencintai keajaiban alam yang mereka warisi
- Komunitas Papua yang kapasitas ilmiah dan kearifan lokalnya saling memperkuat dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan tekanan pembangunan



BAB VI

MODEL IMPLEMENTASI PEMBELAJARAN BIOLOGI BERBASIS PROYEK, KEMANDIRIAN BELAJAR, DAN KEARIFAN LOKAL

Setelah lima bab sebelumnya mengkaji secara mendalam masing-masing komponen Model EBI, dari paradigma pembelajaran biologi kontekstual, *Project Based Learning*, kemandirian belajar, literasi lingkungan dan penalaran ilmiah, hingga integrasi kearifan lokal Papua dan *e-module*, tibalah saatnya untuk menyintetiskan semua komponen tersebut menjadi sebuah model implementasi yang kohesif, operasional, dan dapat diimplementasikan oleh pendidik di lapangan.

Bab ini adalah jantung dari buku ini: sebuah cetak biru model pembelajaran yang dirancang secara hati-hati untuk menjawab tantangan pendidikan biologi abad ke-21 di Indonesia, khususnya di konteks Papua yang kaya biodiversitas dan kearifan lokal. Model EBI bukan teori yang mengawang-awang; ia adalah panduan praktis yang dilengkapi dengan sintaks yang jelas, contoh implementasi konkret, desain penilaian yang komprehensif, dan strategi mengatasi kendala-kendala nyata yang akan dihadapi oleh pendidik di lapangan.

Pembahasan juga mencakup implikasi-implikasi penting Model EBI bagi berbagai pemangku kepentingan pendidikan biologi: pendidik, peserta didik, pengembang kurikulum, peneliti, dan pengambil kebijakan. Dengan demikian, Bab VI berfungsi sekaligus sebagai panduan implementasi, referensi evaluasi, dan undangan untuk penelitian lanjutan yang akan terus menyempurnakan model ini.

A. Rasional Pengembangan Model

1. Kebutuhan Pembelajaran Biologi yang Aktif dan Kontekstual

Model EBI lahir dari diagnosis yang jujur terhadap kondisi pembelajaran biologi di Indonesia saat ini, sebuah kondisi yang dicirikan oleh dominasi pendekatan pasif dan transmisif, keterlepasan konten dari konteks ekologis dan kultural lokal, rendahnya pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi, dan minimnya pengalaman

penyelidikan ilmiah yang autentik bagi peserta didik. Diagnosis ini bukan sekadar keluhan tanpa bukti; ia dikuatkan oleh data PISA 2022 yang menempatkan skor sains Indonesia pada angka 383 (rata-rata OECD: 485), hasil Asesmen Nasional 2023 yang menunjukkan rendahnya kemampuan bernalar sains, dan berbagai penelitian pendidikan biologi di Indonesia yang konsisten menemukan kelemahan serupa.

Namun diagnosis saja tidak cukup. Yang diperlukan adalah model pembelajaran yang secara sistematis mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut sambil membangun di atas kekuatan-kekuatan yang ada: kekayaan biodiversitas Indonesia, kedalaman kearifan ekologis lokal, semangat belajar peserta didik yang sesungguhnya tinggi ketika materi relevan dan pembelajaran bermakna, serta potensi teknologi digital yang belum dimanfaatkan secara optimal dalam pembelajaran biologi. Model EBI dirancang untuk melakukan persis ini.

Konsep pembelajaran yang aktif dan kontekstual bukan konsep baru dalam literatur pendidikan. Dewey (1938) telah menyerukan *learning by doing*; Vygotsky (1978) menekankan pembelajaran dalam konteks sosial yang bermakna; dan Ausubel (1968) memperkenalkan teori belajar bermakna yang menekankan relevansi dengan pengalaman peserta didik. Yang baru dalam Model EBI adalah cara mengoperasionalisasikan prinsip-prinsip ini dalam konteks spesifik pendidikan biologi di Papua dengan seluruh kekayaan ekologis dan kultural yang menjadi konteks uniknya.

Data terbaru memperkuat kebutuhan ini. Survey Kemendikbudristek (2023) terhadap 8.400 guru biologi di 34 provinsi menemukan bahwa 72% guru mengidentifikasi 'relevansi materi dengan kehidupan peserta didik' sebagai tantangan terbesar dalam pembelajaran biologi, sementara 68% mengakui bahwa mereka jarang atau tidak pernah mengintegrasikan kearifan lokal dalam pembelajaran. Kesenjangan yang terus melebar antara potensi pembelajaran biologi yang autentik dan praktek pembelajaran yang sesungguhnya terjadi di lapangan adalah alasan terkuat mengapa model yang komprehensif seperti EBI sangat dibutuhkan.

2. Integrasi PjBL, Pendekatan Saintifik, SRL, SDL, dan Kearifan Lokal

Model EBI dibangun di atas keyakinan bahwa tidak ada satu pun pendekatan atau strategi tunggal yang mampu secara sendiri menjawab kompleksitas tantangan pendidikan biologi abad ke-21. Diperlukan integrasi yang sinergis bukan eklektisisme yang sembarangan antara beberapa pendekatan yang secara teoretis dan empiris saling menguatkan. Lima komponen utama yang menjadi pilar Model EBI adalah *Project Based Learning* (PjBL) sebagai *vehicle* utama pembelajaran; pendekatan saintifik sebagai *methodology* penyelidikan; *Self Regulated Learning* (SRL) sebagai *operating system* proses belajar; *Self Directed Learning* (SDL) sebagai *disposition* kemandirian; dan kearifan lokal sebagai *contextual anchor* yang menjadikan pembelajaran bermakna dan berakar.

Integrasi kelima komponen ini bukan sekadar menggabungkan beberapa pendekatan dalam satu pembelajaran. Integrasi yang dimaksud adalah penyatuan organik di mana setiap komponen saling memberdayakan yang lain. PjBL menyediakan konteks autentik yang mengaktifkan penalaran ilmiah, pendekatan saintifik memberikan kerangka metodologis untuk proses inkuiri, *Self Regulated Learning* memungkinkan peserta didik untuk meregulasi proses belajar mereka secara efektif dalam menghadapi kompleksitas proyek, *Self Directed Learning* mendorong peserta didik untuk mengambil kepemilikan atas belajar mereka dan kearifan lokal menjadikan seluruh proses bermakna secara personal dan kultural.

Penelitian Putri *et al.* (2023) yang secara khusus menguji model pembelajaran terintegrasi berbasis PjBL, *self regulated learning*, kearifan lokal di 15 sekolah menengah di Papua menemukan bahwa kelompok yang menggunakan model terintegrasi menunjukkan peningkatan yang secara statistik signifikan dan secara praktis bermakna pada: hasil belajar kognitif ($d = 0,89$, dampak besar), keterampilan proses sains ($d = 0,76$), literasi lingkungan ($d = 0,82$), dan SRL ($d = 0,71$) dibandingkan kelompok kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional. Lebih signifikan lagi, peningkatan ini dipertahankan dalam tes tindak lanjut tiga bulan kemudian, mengindikasikan pembelajaran yang mendalam dan tahan lama.

3. Penguatan Literasi Lingkungan dan Penalaran Ilmiah

Dua kompetensi yang secara khusus diprioritaskan dalam Model EBI adalah literasi lingkungan dan penalaran ilmiah bukan secara kebetulan, melainkan karena keduanya adalah kompetensi yang paling defisit dalam profil peserta didik biologi Indonesia saat ini, sekaligus kompetensi yang paling dibutuhkan untuk menghadapi tantangan lingkungan abad ke-21.

Defisit literasi lingkungan peserta didik Indonesia bukan hanya masalah pendidikan; ia adalah krisis ekologis yang sedang berkembang. Generasi yang tidak memiliki pengetahuan ekologis yang memadai, sikap pro-lingkungan yang kokoh, dan kemampuan untuk menganalisis dan mengatasi masalah lingkungan akan mewarisi bumi yang sedang mengalami kerusakan masif dan tidak memiliki kapasitas untuk memperbaikinya. Model EBI menempatkan literasi lingkungan bukan sebagai tujuan tambahan, melainkan sebagai inti dari seluruh pengalaman belajar biologi.

Defisit penalaran ilmiah merupakan masalah yang sama seriusnya. Kemampuan untuk bernalar berdasarkan bukti, membedakan korelasi dari kausalitas, mengevaluasi klaim ilmiah secara kritis, dan mengkonstruksi argumen yang kohesif adalah keterampilan yang tidak hanya dibutuhkan dalam sains, melainkan dalam seluruh aspek kehidupan demokratis modern dari mengevaluasi informasi di media sosial, menilai kebijakan publik, hingga membuat keputusan kesehatan yang rasional. Dalam era *post-truth* yang ditandai oleh proliferasi misinformasi, penguatan penalaran ilmiah adalah investasi dalam ketahanan epistemologis masyarakat (McIntyre, 2021).

4. Pembelajaran Biologi untuk Keberlanjutan

Model EBI berangkat dari visi bahwa pendidikan biologi harus berkontribusi secara nyata terhadap keberlanjutan bukan hanya keberlanjutan ekologis planet kita, tetapi juga keberlanjutan kultural masyarakat yang pengetahuan dan identitasnya terkait erat dengan alam. Ini adalah dimensi yang sering terlewatkan dalam diskusi tentang pendidikan biologi: bahwa kepunahan spesies dan kepunahan bahasa-budaya sering kali terjadi bersamaan, karena keduanya adalah manifestasi dari degradasi hubungan antara manusia dan alam.

Pembelajaran biologi untuk keberlanjutan dalam Model EBI diwujudkan melalui tiga komitmen yang saling terkait: komitmen

ekologis (mengembangkan pemahaman, penghargaan, dan tanggung jawab terhadap biodiversitas dan ekosistem), komitmen kultural (menghargai, mendokumentasikan, dan merevitalisasi kearifan ekologis lokal sebagai bagian dari warisan kemanusiaan), dan komitmen pedagogis (mengembangkan kapasitas belajar sepanjang hayat yang memungkinkan peserta didik untuk terus tumbuh, beradaptasi, dan berkontribusi dalam menghadapi tantangan keberlanjutan yang terus berubah).

RASIONAL MODEL EBI: MENJAWAB TIGA KESENJANGAN KRITIS

- **KESENJANGAN 1: Antara Teori dan Praktik:** Banyak prinsip pembelajaran aktif dan kontekstual telah dikenal secara teoritis, namun belum diimplementasikan secara sistematis dalam pembelajaran biologi Indonesia. Model EBI menyediakan panduan implementasi yang konkret dan operasional.
- **KESENJANGAN 2: Antara Sains Akademis dan Kearifan Lokal:** Kurikulum biologi masih didominasi perspektif sains Barat yang mengabaikan kekayaan pengetahuan ekologis lokal. Model EBI mengintegrasikan keduanya sebagai sistem pengetahuan yang saling melengkapi.
- **KESENJANGAN 3: Antara Pembelajaran Biologi dan Keberlanjutan.** Pembelajaran biologi sering tidak terhubung dengan aksi dan tanggung jawab ekologis nyata. Model EBI menempatkan keberlanjutan sebagai tujuan akhir dan motor penggerak seluruh proses pembelajaran.

B. Komponen Model Pembelajaran

Model EBI adalah sistem pembelajaran yang terdiri dari delapan komponen yang saling terhubung dan saling menguatkan. Setiap komponen berkontribusi pada pencapaian tujuan pembelajaran yang tidak dapat dicapai jika komponen tersebut bekerja secara terpisah. Berikut adalah elaborasi setiap komponen beserta peran spesifiknya dalam Model EBI.

1. *Project Based Learning* sebagai *Vehicle* Utama

Dalam arsitektur Model EBI, PjBL berperan sebagai kendaraan utama (*vehicle*) yang mengangkut semua komponen lainnya menuju tujuan pembelajaran. Tanpa PjBL, komponen-komponen lain seperti SRL, kearifan lokal, dan literasi lingkungan, tidak akan memiliki wadah yang cukup untuk berkembang secara optimal. PjBL menyediakan konteks autentik (masalah lingkungan nyata yang membutuhkan solusi), kompleksitas yang memadai untuk mengaktifkan semua komponen model; dan produk akhir yang bermakna yang memberikan motivasi ekstrinsik sekaligus membangun efikasi diri.

2. Pendekatan Saintifik sebagai Metodologi Penyelidikan

Pendekatan saintifik dalam Model EBI bukan sekadar langkah-langkah formal yang harus diikuti secara kaku. Ia adalah cara berpikir dan bertindak ilmiah yang harus internalisasi oleh peserta didik sehingga menjadi habitus, kebiasaan berpikir yang terbawa bahkan di luar konteks sekolah. Lima langkah pendekatan saintifik (5M) diintegrasikan secara natural ke dalam setiap fase PjBL, sehingga peserta didik mengalami proses ilmiah bukan sebagai prosedur formal tetapi sebagai cara alami dalam merespons rasa ingin tahu dan memecahkan masalah.

3. SRL dan SDL sebagai Pilar Kemandirian

SRL dan SDL, meskipun secara konseptual berbeda, bekerja secara sinergis dalam Model EBI. SRL beroperasi di level mikro, mengatur bagaimana peserta didik merencanakan, memantau, dan mengevaluasi setiap tugas dan sesi belajar. SDL beroperasi di level makro, membentuk orientasi umum peserta didik sebagai pembelajar mandiri yang bertanggung jawab atas pertumbuhan intelektual dan ekologis mereka sendiri. Bersama-sama, keduanya membangun fondasi untuk lifelong learning yang akan terus tumbuh bahkan setelah peserta didik meninggalkan bangku sekolah.

4. Kearifan Lokal, Literasi Lingkungan, Penalaran Ilmiah, dan Teknologi

Keempat komponen ini membentuk lapisan konteks, output, kapasitas, dan medium yang saling melengkapi. Kearifan lokal memberikan konteks yang menjadikan pembelajaran bermakna dan berakar pada identitas kultural peserta didik. Literasi lingkungan dan

penalaran ilmiah adalah output ganda yang dicapai melalui proses pembelajaran, output afektif-perilaku dan output kognitif yang bersama-sama membentuk profil peserta didik biologi yang kompeten dan bertanggung jawab. Teknologi digital dan *e-module* adalah medium yang memperluas, memperkaya, dan mengakselerasi pencapaian ketiga komponen lainnya, khususnya dalam konteks Papua yang memiliki tantangan geografis dan infrastruktur pendidikan yang signifikan.

C. Sintaks Model

Sintaks adalah urutan langkah-langkah pembelajaran yang terstruktur yang memberikan panduan konkret bagi pendidik dalam mengimplementasikan Model EBI. Sintaks Model EBI terdiri dari tujuh fase yang mengikuti alur logis dari orientasi masalah hingga refleksi dan tindak lanjut. Setiap fase memiliki tujuan pembelajaran yang spesifik, aktivitas yang direkomendasikan, peran pendidik dan peserta didik yang jelas, serta instrumen pendukung yang dapat digunakan.

Penting untuk dipahami bahwa meskipun sintaks ini bersifat terstruktur, implementasinya tidak harus dan tidak boleh kaku. Setiap kelompok peserta didik, setiap ekosistem lokal, dan setiap konteks sekolah memiliki dinamika yang unik, dan pendidik yang efektif akan mengadaptasi sintaks ini secara fleksibel sesuai dengan kebutuhan dan kondisi yang ada. Yang tidak berubah adalah prinsip-prinsip pedagogi yang mendasarinya.

1. Fase 1: Orientasi Masalah Kontekstual Berbasis Lingkungan Lokal

Fase pertama adalah fase yang paling menentukan keberhasilan seluruh siklus PjBL. Ketika peserta didik terpapar pada masalah atau fenomena yang benar-benar relevan, menakjubkan, atau mengkhawatirkan bagi mereka secara personal, motivasi intrinsik mereka terpicu secara alami. Inilah mengapa kontekstualisasi lokal adalah kunci: bukan masalah ekologi abstrak dari buku teks, melainkan sungai yang tercemar di dekat sekolah mereka, hutan yang mengalami deforestasi di daerah adat mereka, atau spesies endemik yang mulai langka dari ekosistem yang mereka kenal.

Teknik-teknik yang efektif untuk fase orientasi masalah meliputi *mystery starters* (menampilkan fenomena mengejutkan tanpa penjelasan

langsung), *community connection* (menghadirkan anggota komunitas atau tokoh kearifan lokal yang berbagi pengalaman langsung tentang perubahan lingkungan), *data shock* (menyajikan data yang mengkhawatirkan tentang kondisi ekosistem lokal) dan *field exposure* (kunjungan singkat ke ekosistem yang akan menjadi konteks proyek untuk memberikan pengalaman langsung yang memicu pertanyaan). Apapun teknik yang digunakan, tujuannya satu yaitu untuk menciptakan keterlibatan emosional dan intelektual yang cukup kuat untuk menopang keseluruhan proses penyelidikan yang akan berlangsung.

Dalam konteks Papua, fase orientasi masalah dapat memanfaatkan kekayaan biodiversitas dan isu-isu lingkungan lokal yang nyata seperti penurunan populasi penyu laut di pantai tertentu, perubahan pola curah hujan yang mempengaruhi jadwal tanam tradisional, penyebaran tanaman invasif yang mengancam ekosistem mangrove lokal, atau hilangnya spesies ikan tertentu dari sungai yang menjadi sumber protein utama komunitas. Isu-isu ini bukan hanya secara akademis relevan dengan konten biologi, mereka adalah masalah hidup nyata yang memerlukan solusi berbasis sains yang segera.

2. Fase 2: Identifikasi Kebutuhan Belajar

Fase identifikasi kebutuhan belajar merupakan implementasi langsung dari prinsip SDL. Peserta didik secara aktif mendiagnosis apa yang sudah mereka ketahui (*prior knowledge*) dan apa yang perlu mereka pelajari (*learning gap*) untuk menjawab driving question yang telah dirumuskan. Teknik yang paling efektif untuk fase ini adalah *KWL chart* yang diperluas (*Know, Want to know, Learned, How to find out*) dan *mind mapping* kolaboratif yang memvisualisasikan struktur pengetahuan tim.

Pada fase ini, pendidik berperan kritis sebagai kurator dan penghubung: membantu peserta didik mengidentifikasi sumber belajar yang paling relevan (termasuk *e-module* berbasis kearifan lokal Papua, literatur ilmiah, dan narasumber dari komunitas lokal), mengklarifikasi miskonsepsi yang muncul dalam peta pengetahuan awal, dan memastikan bahwa kebutuhan belajar yang diidentifikasi benar-benar mencakup semua dimensi yang diperlukan untuk penyelidikan yang komprehensif. Kontrak belajar mulai dirancang pada fase ini, dengan peserta didik menetapkan tujuan belajar personal yang selaras dengan tujuan proyek tim.

3. Fase 3: Perencanaan Proyek secara Mandiri dan Kolaboratif

Fase perencanaan adalah titik di mana SRL dan SDL paling eksplisit diaktifkan. Tim peserta didik tidak hanya merancang apa yang akan mereka lakukan, tetapi juga mengapa, memberikan justifikasi metodologis yang memperkuat pemahaman mereka tentang standar penelitian ilmiah. Perencanaan yang baik mencakup identifikasi pertanyaan-pertanyaan sub yang perlu dijawab untuk menjawab *driving question* utama, desain penelitian yang menetapkan variabel, metode sampling, instrumen pengumpulan data, dan prosedur analisis, jadwal kerja yang realistis dengan milestones yang terukur, pembagian peran yang jelas namun fleksibel dan penetapan standar kualitas produk akhir.

Satu aspek perencanaan yang sering dilupakan namun sangat penting dalam konteks Model EBI adalah perencanaan integrasi kearifan lokal. Tim perlu mengidentifikasi pengetahuan ekologis tradisional yang relevan dengan proyek mereka, merencanakan konsultasi dengan pemegang pengetahuan lokal, dan mendesain cara untuk mengintegrasikan pengetahuan lokal dengan temuan ilmiah mereka secara bermakna dan etis. Ini memerlukan panduan dari pendidik untuk memastikan integrasi yang tepat dan terhormat.

4. Fase 4: Pengumpulan Data melalui Observasi atau Investigasi

Fase pengumpulan data adalah fase terpanjang dan terkaya secara pengalaman dalam siklus PjBL. Di sinilah peserta didik benar-benar berfungsi sebagai peneliti muda yang memiliki pertanyaan nyata, metodologi yang dirancang sendiri, dan tanggung jawab untuk mengumpulkan bukti yang akan mendukung (atau menolak) hipotesis mereka. Dalam Model EBI, pengumpulan data bersifat multi-modal dan mencakup setidaknya tiga sumber yang saling melengkapi: data primer dari observasi lapangan atau eksperimen, data dari literatur ilmiah yang relevan, dan pengetahuan ekologis tradisional dari komunitas lokal.

Ketiga sumber data ini tidak diperlakukan secara hierarkis (sains lebih tinggi dari kearifan lokal), melainkan secara dialogis masing-masing sumber memberikan perspektif yang unik dan berharga yang saling melengkapi. Ketika data ilmiah dan pengetahuan lokal konsisten, kepercayaan terhadap kesimpulan meningkat; ketika keduanya tidak konsisten, inkonsistensi tersebut sendiri menjadi pertanyaan penelitian yang menarik untuk diselidiki lebih lanjut.

Pada fase ini, pendidik memberikan monitoring formatif yang aktif namun tidak invasif. Pendidik memantau kemajuan setiap tim, mengidentifikasi hambatan metodologis sebelum mereka berkembang menjadi masalah besar, memberikan scaffolding yang adaptif sesuai kebutuhan, dan mendorong refleksi ongoing melalui pertanyaan-pertanyaan Socratic. Pendidik juga berfungsi sebagai penghubung antara tim peneliti muda dengan komunitas lokal dan narasumber ahli yang dapat memberikan perspektif tambahan.

5. Fase 5: Analisis Data dan Penyusunan Produk Proyek

Fase analisis data adalah fase di mana penalaran ilmiah paling intensif diaktifkan. Peserta didik tidak hanya memproses data secara mekanis, tetapi terlibat dalam proses intelektual yang menantang: mengidentifikasi pola dalam data, menguji apakah pola tersebut konsisten dengan hipotesis, menginterpretasikan inkonsistensi, membandingkan temuan dengan literatur ilmiah dan pengetahuan lokal yang relevan, dan mengkonstruksi penjelasan yang kohesif dan didukung bukti.

Paralel dengan analisis data, tim mulai mengembangkan produk proyek mereka. Produk dalam Model EBI bukan sekadar 'laporan' yang merangkum apa yang telah dilakukan; produk adalah artefak yang mengkomunikasikan temuan secara efektif kepada audiens target dan memiliki nilai nyata bagi komunitas. Bentuk produk yang paling umum dan efektif dalam konteks Papua meliputi: laporan ilmiah yang diformat sesuai standar jurnal; poster ilmiah untuk dipresentasikan di seminar atau forum komunitas; video dokumenter tentang ekosistem atau isu lingkungan lokal; infografis yang mengkomunikasikan temuan kepada publik non-ilmiah; dan rekomendasi kebijakan berbasis bukti yang ditujukan kepada pemerintah daerah atau lembaga konservasi.

Fase ini juga melibatkan siklus critique-revision yang merupakan salah satu elemen paling transformatif dalam PjBL. Tim peserta didik mempresentasikan draf produk mereka kepada pendidik, rekan, atau audiens yang lebih luas untuk mendapatkan umpan balik konstruktif. Proses merevisi produk berdasarkan umpan balik mengembangkan standar kualitas internal yang esensial bagi seorang ilmuwan profesional.

6. Fase 6: Presentasi dan Komunikasi Ilmiah

Presentasi publik adalah salah satu fitur yang paling membedakan PjBL dari pembelajaran konvensional dan salah satu yang paling kuat secara pedagogis. Ketika peserta didik mengetahui bahwa mereka akan mempresentasikan temuan kepada audiens nyata yang peduli, standar kualitas yang mereka terapkan pada pekerjaan mereka meningkat dramatis. Mereka tidak bisa lagi bersembunyi di balik 'mungkin ini jawaban yang diharapkan guru'; mereka harus benar-benar memahami dan mampu mempertahankan apa yang mereka klaim.

Dalam Model EBI, audiens presentasi dipilih secara strategis untuk memaksimalkan dampak pembelajaran dan dampak nyata dari proyek: tokoh adat atau pemimpin komunitas yang secara langsung terkena dampak isu yang diselidiki; pegawai Dinas Lingkungan Hidup atau BKSDA yang dapat menggunakan temuan untuk pengambilan kebijakan; akademisi dari perguruan tinggi terdekat yang dapat memberikan umpan balik ilmiah yang berkualitas; atau public audience melalui presentasi di sekolah lain, festival sains, atau pameran komunitas.

Format presentasi yang digunakan bervariasi sesuai dengan audiens: presentasi formal dengan proyektor dan sesi tanya jawab terstruktur untuk audiens akademis; narasi visual berbasis poster atau infografis untuk audiens komunitas; video dokumenter pendek untuk audiens yang lebih luas melalui media sosial atau platform digital; dan diskusi panel informal untuk audiens yang lebih kecil namun lebih berpengalaman seperti tokoh adat atau pejabat pemerintah.

7. Fase 7: Refleksi, Evaluasi Diri, dan Tindak Lanjut

Refleksi di akhir siklus PjBL adalah fase yang paling sering dilewatkan oleh pendidik yang terburu-buru untuk menyelesaikan materi kurikulum, namun ia adalah fase yang paling penting untuk konsolidasi pembelajaran dan pertumbuhan berkelanjutan. Tanpa refleksi yang mendalam, pengalaman proyek yang kaya akan tetap sebagai serangkaian aktivitas yang menarik namun tidak bertransformasi menjadi pengetahuan, keterampilan, dan disposisi yang terinternalisasi.

Refleksi dalam Model EBI berlangsung pada tiga level: refleksi individual (melalui jurnal refleksi terpandu yang mendorong peserta didik untuk menganalisis pertumbuhan pengetahuan, keterampilan, dan sikap mereka), refleksi tim (melalui diskusi kelompok yang

mengevaluasi proses kolaborasi, pembagian peran, dan kualitas produk kolektif), dan refleksi kelas (melalui sesi pleno yang mengidentifikasi pembelajaran yang dapat digeneralisasi dan implikasi bagi proyek berikutnya).

Tindak lanjut adalah dimensi refleksi yang sering dilupakan namun sangat penting, terutama dalam konteks Papua di mana proyek-proyek biologi dapat memiliki dampak nyata yang berkelanjutan. Tindak lanjut dapat berbentuk: implementasi rekomendasi yang dihasilkan proyek (misalnya, melobi pemerintah daerah untuk menetapkan kawasan perlindungan bagi spesies tertentu), proyek lanjutan yang mendalami temuan awal, publikasi temuan dalam media komunitas atau jurnal pelajar, atau mentoring generasi peserta didik berikutnya yang akan melanjutkan penyelidikan.

D. Contoh Implementasi dalam Mata Kuliah atau Pembelajaran Biologi

Model EBI dirancang untuk diaplikasikan secara fleksibel dalam berbagai mata kuliah atau mata pelajaran biologi, dari tingkat sekolah menengah hingga perguruan tinggi. Berikut adalah enam contoh implementasi konkret yang dilengkapi dengan driving question, produk, dan indikator keberhasilan yang spesifik.

1. Anatomi dan Fisiologi Hewan

Implementasi Model EBI dalam mata kuliah Anatomi dan Fisiologi Hewan memanfaatkan kekayaan fauna endemik Papua sebagai konteks yang unik dan menakjubkan. Alih-alih mempelajari anatomi menggunakan spesimen standar dari literatur Barat, peserta didik mengeksplorasi adaptasi morfologi dan fisiologi spesies-spesies endemik Papua yang luar biasa.

Tabel 6.1 Contoh Implementasi Model EBI: Anatomi dan Fisiologi Hewan

Implementasi Model EBI: Anatomi dan Fisiologi Hewan	
<i>Driving Question</i>	'Bagaimana adaptasi morfologi dan fisiologi kanguru pohon Papua (<i>Dendrolagus spp.</i>) memungkinkan mereka untuk hidup di tajuk hutan

	tropis, dan apa yang dapat kita pelajari dari adaptasi ini untuk memahami prinsip-prinsip anatomi komparatif?"
Fase Orientasi	Video observasi kanguru pohon di habitat alaminya; wawancara dengan pemburu tradisional Suku Lani yang memiliki pengetahuan mendalam tentang perilaku dan habitat hewan ini
Aktivitas Inkuiri	Analisis gambar anatomi yang tersedia; studi komparatif dengan marsupial lain; konsultasi dengan peneliti zoologi LIPI; observasi di pusat konservasi jika tersedia
Integrasi Kearifan Lokal	Pengetahuan Suku Lani tentang indikator kesehatan kanguru pohon (bulu, mata, perilaku) sebagai sistem penilaian kondisi hewan yang komplementer dengan pemeriksaan anatomi formal
Produk Proyek	Atlas anatomis-fisiologi berilustrasi kanguru pohon Papua; video edukasi bilingual (Indonesia-bahasa lokal) tentang adaptasi hewan Papua untuk komunitas
Indikator Keberhasilan	Peserta didik mampu menjelaskan setidaknya 5 adaptasi morfologi dan fisiologi spesifik dengan justifikasi fungsional yang tepat; produk divalidasi oleh ahli zoologi; kearifan lokal diintegrasikan secara bermakna

Sumber: Model EBI dikembangkan berdasarkan Krajcik & Shin (2021) dan Hidayati (2021)

2. Ekologi Hewan

Mata kuliah Ekologi Hewan menyediakan konteks yang paling ideal untuk implementasi Model EBI karena relevansinya yang langsung dengan isu-isu konservasi dan keberlanjutan yang menjadi prioritas. Peserta didik dapat terlibat dalam proyek monitoring populasi hewan, studi habitat, atau analisis interaksi spesies yang menghasilkan data nyata yang berguna bagi upaya konservasi.

Tabel 6.2 Contoh Implementasi Model EBI: Ekologi Hewan

Implementasi Model EBI: Ekologi Hewan	
<i>Driving Question</i>	Bagaimana aktivitas penambangan di kawasan Hulu Sungai X mempengaruhi komunitas makroinvertebrata sebagai indikator kualitas perairan, dan bagaimana pengetahuan adat tentang air yang sehat berkorelasi dengan data ilmiah?
Fase Orientasi	Kunjungan lapangan ke sungai, wawancara dengan nelayan tradisional tentang perubahan yang mereka amati dalam 20 tahun terakhir; data historis kualitas air dari dinas setempat
Aktivitas Inkuiri	Sampling makroinvertebrata menggunakan metode <i>kick-net</i> , pengukuran parameter fisikokimia air, analisis data biodiversitas menggunakan indeks Shannon-Wiener, wawancara mendalam dengan pemimpin adat
Integrasi Kearifan Lokal	Sistem klasifikasi tradisional “air sehat” vs “air sakit” berdasarkan karakteristik organoleptik dan kehadiran spesies indikator tertentu menurut pengetahuan masyarakat setempat
Produk Proyek	Laporan biomonitoring lengkap, peta distribusi spesies indikator, rekomendasi berbasis bukti untuk Dinas Lingkungan Hidup, poster komunitas bilingual
Indikator Keberhasilan	Data biomonitoring diakui dan digunakan oleh instansi terkait, peserta didik mampu menginterpretasikan indeks biodiversitas, korelasi antara indikator ilmiah dan tradisional dianalisis secara kritis

Sumber: Model EBI dikembangkan berdasarkan Suryawati et al. (2022)

3. Pengetahuan Lingkungan

Mata kuliah Pengetahuan Lingkungan adalah ruang yang paling langsung untuk mengintegrasikan kearifan lokal Papua dengan konsep-konsep ekologi dan ilmu lingkungan. Topik-topik seperti daur biogeokimia, rantai makanan, jaring-jaring makanan, ekosistem, dan

keberlanjutan dapat diajarkan melalui konteks ekosistem Papua yang kaya dan permasalahan lingkungan lokal yang nyata.

Contoh proyek yang sangat relevan: peserta didik menginvestigasi dampak konversi hutan sagu (*Metroxylon sagu*) menjadi perkebunan kelapa sawit terhadap struktur komunitas fauna, siklus karbon lokal, dan ketahanan pangan tradisional masyarakat Asmat yang sangat bergantung pada sagu. Proyek ini menghubungkan ekologi, etnobotani, isu perubahan penggunaan lahan, dan keadilan pangan dalam satu penyelidikan terpadu yang sangat relevan dengan realitas Papua saat ini.

4. Pendidikan Lingkungan

Mata kuliah Pendidikan Lingkungan dalam kerangka Model EBI menjadi ruang di mana peserta didik tidak hanya belajar tentang masalah lingkungan, tetapi juga belajar bagaimana mendidik orang lain untuk peduli dan bertindak. Ini adalah mata kuliah yang bersifat meta-pedagogis dimana peserta didik belajar biologi dan ekologi sekaligus belajar bagaimana menyampaikan pengetahuan ekologis secara efektif kepada audiens yang beragam.

Proyek unggulan dalam mata kuliah ini yaitu peserta didik merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi program pendidikan lingkungan berbasis kearifan lokal untuk sekolah dasar atau masyarakat lokal. Proses ini memerlukan peserta didik untuk menyederhanakan konsep-konsep ekologi yang kompleks tanpa kehilangan akurasi ilmiahnya, mengintegrasikan kearifan lokal sebagai jembatan epistemologis, merancang pengalaman belajar yang menarik dan bermakna bagi audiens target, dan mengevaluasi efektivitas program mereka menggunakan instrumen yang valid.

5. Biologi Konservasi

Biologi Konservasi adalah mata kuliah yang paling langsung bersinggungan dengan isu-isu ekologis kritis yang dihadapi Papua. Dalam kerangka Model EBI, mata kuliah ini menjadi ruang untuk mempersiapkan peserta didik sebagai konservasionis yang tidak hanya memiliki pengetahuan ilmiah yang kuat, tetapi juga kemampuan untuk bekerja secara efektif dengan komunitas lokal yang telah menjadi penjaga ekosistem Papua selama berabad-abad.

Proyek konservasi yang paling berdampak dalam konteks ini: evaluasi efektivitas sistem sasi laut sebagai mekanisme pengelolaan perikanan berkelanjutan di komunitas tertentu, menggunakan kombinasi survei ekologi standar (transek terumbu karang, sensus ikan) dengan dokumentasi sistem sasi tradisional dan persepsi komunitas. Hasil proyek ini tidak hanya relevan secara akademis tetapi dapat langsung digunakan untuk mendukung advokasi pengakuan hukum sistem sasi sebagai mekanisme pengelolaan sumber daya alam berbasis masyarakat yang sah.

6. Proyek Berbasis Isu Lokal di Papua

Selain mata kuliah spesifik yang disebutkan di atas, Model EBI mendorong pengembangan proyek tematik lintas mata kuliah yang berakar pada isu-isu lokal Papua yang paling mendesak. Beberapa isu yang memiliki potensi paling tinggi sebagai basis proyek PjBL yang komprehensif:

Tabel 6.3 Isu Lokal Papua sebagai Basis Proyek PjBL Lintas Mata Kuliah

Isu Lokal	Mata Kuliah/ Pelajaran Terkait	<i>Driving Question</i> Potensial	Produk & Dampak Potensial
Pencairan Gletser Puncak Jaya	Ekologi, Klimatologi, Geografi, Fisika Lingkungan	Bagaimana perubahan iklim memengaruhi keanekaragaman hayati di zona altitudinal Pegunungan Papua?	Data monitoring biodiversitas; rekomendasi adaptasi berbasis kearifan lokal; artikel jurnal
Degradasi Hutan Mangrove	Ekologi, Biologi Kelautan, Pengetahuan Lingkungan	Seberapa besar jasa ekosistem mangrove bagi komunitas pesisir Papua dan bagaimana cara memulihkannya?	Peta jasa ekosistem; program restorasi berbasis komunitas; panduan praktis penanaman mangrove

Ekspansi Perkebunan Sawit	Ekologi Hewan, Biologi Konservasi, Etnobiologi	Bagaimana konversi hutan primer untuk sawit mempengaruhi keanekaragaman spesies kunci dan ketahanan pangan masyarakat adat?	Laporan dampak ekologi dan sosial; rekomendasi kebijakan; presentasi kepada DPRD
Penurunan Populasi Penyu	Ekologi Hewan, Biologi Konservasi, Pendidikan Lingkungan	Apa faktor utama penurunan populasi penyu di pantai X dan bagaimana strategi konservasi berbasis kearifan lokal dapat membantu?	Program patroli telur berbasis komunitas; regulasi adat; kampanye konservasi lokal
Kepunahan Bahasa-Pengetahuan Ekologis	Etnobiologi, Pendidikan Lingkungan, Biologi Tumbuhan	Bagaimana mendokumentasikan dan merevitalisasi pengetahuan ekologis tradisional yang terancam punah seiring menurunnya penggunaan bahasa lokal?	Database digital pengetahuan ekologis lokal; buku bilingual; <i>e-module</i> berbasis kearifan lokal

Sumber: Model EBI dikembangkan berdasarkan isu-isu lingkungan Papua (KLHK, 2022; Hidayati, 2021)

E. Desain Penilaian Pembelajaran

Penilaian dalam Model EBI mencerminkan filosofi bahwa apa yang kita nilai adalah apa yang kita ajarkan. Karena Model EBI bertujuan mengembangkan tidak hanya pengetahuan kognitif tetapi juga keterampilan proses, disposisi afektif, kompetensi kolaborasi, dan kemampuan komunikasi ilmiah, maka penilaian juga harus multi-dimensional dan komprehensif. Penilaian dalam Model EBI bersifat: autentik (berbasis kinerja nyata dalam konteks proyek), berkelanjutan (sepanjang siklus PjBL, bukan hanya di akhir), formatif (untuk mendukung perbaikan berkelanjutan) sekaligus sumatif (untuk menilai pencapaian akhir), dan partisipatif (melibatkan peserta didik sebagai evaluator diri dan rekan).

1. Penilaian Proses

Penilaian proses (*process assessment*) memantau dan mendokumentasikan kualitas aktivitas belajar peserta didik sepanjang siklus proyek, bukan hanya output akhirnya. Instrumen penilaian proses yang digunakan dalam Model EBI meliputi lembar observasi keterlibatan peserta didik yang diisi pendidik secara berkala, log proyek yang diisi tim setiap sesi kerja, jurnal belajar individual yang merekam perkembangan pemahaman dan refleksi, portfolio *in-progress* yang mendokumentasikan evolusi pemikiran peserta didik dari fase awal hingga akhir dan *checklist* prosedur pengumpulan data yang memastikan metodologi dilaksanakan dengan benar dan konsisten.

Penilaian proses memberikan informasi diagnostik yang sangat berharga, pendidik dapat mengidentifikasi kelompok atau individu yang memerlukan *scaffolding* tambahan jauh sebelum produk akhir selesai, sehingga intervensi dapat dilakukan secara tepat waktu. Ini adalah perbedaan mendasar antara *assessment for learning* dan *assessment of learning* penilaian proses berfungsi sebagai *assessment for learning* yang mendukung perbaikan berkelanjutan.

2. Penilaian Produk Proyek

Penilaian produk mengevaluasi kualitas artefak yang dihasilkan tim sebagai bukti pencapaian tujuan pembelajaran. Rubrik penilaian produk dalam Model EBI mencakup kualitas konten (keakuratan ilmiah, kedalaman analisis, integrasi bermakna dengan kearifan lokal), kualitas metodologi (ketepatan desain penelitian, prosedur pengumpulan data, dan analisis), orisinalitas dan kreativitas (kontribusi baru yang signifikan terhadap pemahaman tentang topik), kualitas komunikasi (kejelasan, ketepatan, dan efektivitas penyajian temuan), dan relevansi serta dampak (potensi temuan untuk berkontribusi pada solusi masalah nyata di komunitas).

Penilaian produk melibatkan panel penilai yang beragam untuk memaksimalkan validitas dan kekayaan umpan balik. Pendidik (menilai kualitas akademis), pakar lapangan (menilai relevansi dan akurasi ilmiah dalam konteks lokal), perwakilan komunitas (menilai relevansi dan potensi dampak bagi komunitas), dan rekan sejawat (memberikan perspektif dari sudut pandang peserta didik). Panel penilai yang beragam ini tidak hanya menghasilkan penilaian yang lebih valid, ia juga

menempatkan peserta didik dalam situasi presentasi yang autentik dan mempersiapkan mereka untuk komunikasi ilmiah profesional.

3. Penilaian Kolaborasi

Kolaborasi yang efektif adalah kompetensi yang tidak dapat diukur hanya dari kualitas produk akhir tim. Diperlukan instrumen khusus yang menilai kualitas proses kolaborasi itu sendiri. Model EBI menggunakan kombinasi tiga instrumen penilaian kolaborasi yaitu penilaian diri kolaborasi (setiap anggota menilai kontribusi dan keterlibatan dirinya sendiri berdasarkan rubrik), penilaian sejawat kolaborasi (setiap anggota menilai kontribusi rekan setimnya), dan observasi kolaborasi oleh pendidik (mencatat pola interaksi, distribusi kontribusi, dan resolusi konflik dalam tim).

Dimensi kolaborasi yang dinilai meliputi kontribusi yang merata dan bermakna dari semua anggota, kemampuan mendengarkan dan merespons perspektif berbeda secara konstruktif, kemampuan mengintegrasikan keahlian dan perspektif yang beragam menjadi produk yang kohesif, kemampuan mengelola konflik secara produktif, dan kemampuan mendukung anggota tim yang mengalami kesulitan. Penilaian kolaborasi yang transparan dan konsisten mendorong budaya kerja sama yang sehat dan produktif dalam tim.

4. Penilaian Komunikasi Ilmiah

Komunikasi ilmiah yang efektif mencakup kemampuan untuk menyampaikan temuan ilmiah kepada berbagai audiens dalam berbagai format secara akurat, jelas, dan persuasif. Penilaian komunikasi ilmiah dalam Model EBI menggunakan rubrik yang mengevaluasi kualitas penulisan ilmiah (kejelasan, ketepatan istilah, struktur logis, gaya APA), kualitas presentasi lisan (kejelasan penyampaian, penggunaan visual, kontak mata, kemampuan menjawab pertanyaan), kualitas visualisasi data (ketepatan jenis grafik, kejelasan label, aksesibilitas bagi audiens non-spesialis), dan kualitas komunikasi publik (kemampuan menyederhanakan tanpa menyederhanasi secara berlebihan, penggunaan analogi dan metafora yang tepat).

5. Penilaian Literasi Lingkungan

Penilaian literasi lingkungan dalam Model EBI menggunakan pendekatan *pre-post test* yang membandingkan profil literasi lingkungan

peserta didik sebelum dan sesudah siklus PjBL. Instrumen yang digunakan adalah adaptasi dari *Middle School Environmental Literacy Survey* (MSELS) yang telah dikontekstualisasikan untuk ekosistem Papua, dilengkapi dengan sub-skala sikap (NEP Scale adaptasi Papua), keterampilan (berbasis skenario masalah lingkungan lokal), dan perilaku (mengukur niat perilaku dan perilaku aktual yang dilaporkan sendiri). Triangulasi antar instrumen memastikan gambaran yang komprehensif dan valid tentang perkembangan literasi lingkungan peserta didik.

6. Penilaian Penalaran Ilmiah

Penilaian penalaran ilmiah menggunakan *Lawson's Classroom Test of Scientific Reasoning* (CTSR) versi adaptasi Papua yang menyajikan skenario dan data dari konteks ekosistem lokal. Selain tes terstandar, penilaian penalaran ilmiah juga dilakukan melalui analisis kualitas argumen dalam laporan tertulis (menggunakan rubrik argumentasi Toulmin), penilaian kemampuan menjawab pertanyaan kritis dalam sesi presentasi, dan analisis kualitas jurnal refleksi yang menuntut penalaran tentang proses dan temuan ilmiah.

7. Penilaian Refleksi Diri

Penilaian refleksi diri adalah komponen yang paling unik dalam desain penilaian Model EBI dan yang paling sering diabaikan dalam sistem penilaian konvensional. Refleksi diri yang berkualitas adalah bukti *metacognitive awareness*, kemampuan untuk berpikir tentang proses berpikir sendiri yang merupakan prediktor paling kuat dari belajar yang berkelanjutan dan adaptif. Penilaian refleksi diri dalam Model EBI menggunakan rubrik yang mengevaluasi kedalaman refleksi berdasarkan *framework* Boud et al. (2021) dari refleksi deskriptif (level rendah: “saya melakukan ini”) hingga refleksi kritis (level tinggi: “mengapa hal ini terjadi dan apa implikasinya bagi cara saya memahami dunia dan bertindak di dalamnya”).

Tabel 6.4 Matriks Penilaian Komprehensif Model EBI

Dimensi Penilaian	Instrumen Utama	Waktu Penilaian	Penilai	Bobot (%)
Proses Belajar	Log proyek, jurnal belajar,	Sepanjang siklus PjBL (setiap fase)	Pendidik + <i>self</i>	15%

	observasi pendidik			
Produk Proyek	Rubrik produk analitik (7 dimensi)	Akhir siklus PjBL (setelah revisi final)	Panel: pendidik + ahli + komunitas + rekan	25%
Kolaborasi	Rubrik kolaborasi + penilaian sejawat	Pertengahan dan akhir siklus	Self + rekan tim + pendidik	15%
Komunikasi Ilmiah	Rubrik presentasi + laporan tertulis	Fase presentasi (Fase 6)	Panel penilai + rekan kelas	20%
Literasi Lingkungan	MSELS adaptasi Papua + NEP Scale	<i>Pre-test</i> (awal) dan <i>post-test</i> (akhir)	Instrumen terstandar	10%
Penalaran Ilmiah	CTSR adaptasi Papua + rubrik argumentasi	<i>Pre-test</i> dan <i>post-test</i> + <i>embedded</i>	Instrumen + pendidik	10%
Refleksi Diri	Jurnal refleksi terpandu + rubrik metacognisi	Mingguan + akhir siklus	Self + pendidik	5%
Total: 100%				

Sumber: Model EBI dikembangkan berdasarkan BIE (2020); Panadero et al. (2021); Hollweg et al. (2021)

F. Kendala dan Solusi Implementasi

Setiap model pembelajaran yang inovatif dan ambisius akan menghadapi kendala dalam implementasinya dan kejujuran tentang

kendala-kendala ini adalah prasyarat untuk implementasi yang berhasil. Model EBI dirancang dengan kesadaran penuh tentang realitas lapangan pendidikan biologi di Indonesia, khususnya di Papua, dan menyertakan strategi yang spesifik dan realistis untuk mengatasi setiap kendala utama.

1. Keterbatasan Waktu

KENDALA: Keterbatasan Waktu

PjBL memerlukan waktu yang jauh lebih lama dibandingkan pembelajaran konvensional. Satu siklus PjBL yang komprehensif idealnya berlangsung 4–8 minggu, sementara tekanan kurikulum sering mendorong guru untuk menyelesaikan materi dalam waktu yang sangat singkat. Survey menunjukkan bahwa 78% guru yang mencoba PjBL menghentikannya setelah satu kali karena tekanan waktu.

SOLUSI: Manajemen Waktu Strategis

1. Modularisasi PjBL: Rancang siklus PjBL dalam dua skala, PjBL mini (1–2 minggu) untuk proyek yang lebih sederhana dan PjBL penuh (4–8 minggu) untuk proyek flagship. Keduanya dapat diintegrasikan dalam satu semester.
2. Integrasi lintas topik: Desain proyek yang secara simultan mencakup beberapa topik kurikulum, bukan hanya satu topik. Ini memungkinkan pencapaian multiple kompetensi dasar melalui satu proyek.
3. Negosiasi kurikulum: Kerjasama dengan kepala sekolah dan tim kurikulum untuk mengalokasikan blok waktu khusus bagi PjBL tanpa mengorbankan cakupan kurikulum secara keseluruhan.
4. *Flipping* konten: Gunakan *e-module* untuk menyampaikan konten faktual di luar kelas (*flipped classroom*), sehingga waktu tatap muka dapat sepenuhnya digunakan untuk aktivitas kolaboratif dan investigasi.

2. Keterbatasan Fasilitas

KENDALA: Keterbatasan Fasilitas

Banyak sekolah di Papua, khususnya di daerah terpencil, tidak memiliki laboratorium yang memadai, peralatan pengukuran lapangan, atau koneksi internet yang stabil. Keterbatasan ini bisa menjadi

hambatan serius bagi implementasi PjBL yang memerlukan pengumpulan data empiris.

SOLUSI: Kreativitas Berbasis Konteks

1. Hutan sebagai laboratorium: Ekosistem lokal Papua adalah laboratorium alam yang tidak memerlukan peralatan mahal. Observasi visual, pengambilan sampel sederhana, dan dokumentasi foto/video dengan smartphone sudah cukup untuk banyak jenis investigasi ekologis yang bermakna.
2. Peralatan sederhana: Kembangkan protokol pengumpulan data yang dapat dilakukan dengan peralatan sederhana dan murah: botol plastik untuk sampling air, jaring serangga dari kain, quadrat dari kayu bambu, dan termometer murah.
3. Kemitraan sumber daya: Jalin kemitraan dengan perguruan tinggi terdekat, LIPI/BRIN, atau LSM lingkungan yang dapat meminjamkan peralatan atau memberikan pelatihan metodologi lapangan.
4. *E-module offline*: Kembangkan versi *offline* dari *e-module* yang dapat diunduh dan digunakan tanpa koneksi internet, memastikan akses bagi peserta didik di daerah tanpa konektivitas.

3. Variasi Kemampuan Mahasiswa/Siswa

KENDALA: Variasi Kemampuan

Dalam satu kelas, peserta didik memiliki variasi kemampuan akademis, pengalaman lapangan, kemampuan teknologi, dan tingkat SRL yang sangat beragam. Variasi ini bisa menyebabkan beberapa peserta didik kewalahan sementara yang lain tidak cukup tertantang.

SOLUSI: Diferensiasi Terstruktur

1. Diferensiasi proyek: Tawarkan beberapa *driving question* dengan tingkat kompleksitas berbeda, sehingga semua peserta didik ditantang pada level yang sesuai dengan kemampuan mereka.
2. Kelompok heterogen yang distruktur: Bentuk kelompok yang heterogen dalam hal kemampuan secara intentional, dengan peran yang terdistribusi berdasarkan kekuatan masing-masing anggota.
3. *Scaffolding* bertingkat: Sediakan panduan investigasi dalam tiga tingkat detail untuk peserta didik dengan SRL rendah (*scaffolding*

penuh), sedang (*scaffolding* parsial), dan tinggi (inkuiri terbuka) sehingga semua peserta didik dapat berpartisipasi bermakna.

4. Mentoring sejawat: Peserta didik dengan SRL tinggi dapat berperan sebagai mentor bagi rekan yang memerlukan dukungan, sebuah pengalaman yang mengembangkan kemampuan kepemimpinan dan komunikasi ilmiah.

4. Kesiapan Dosen/Guru

KENDALA: Kesiapan Pendidik

Transformasi dari 'guru sebagai pemberi informasi' menjadi 'guru sebagai fasilitator PjBL' adalah perjalanan profesional yang menantang. Banyak pendidik merasa tidak nyaman dengan ketidakpastian PjBL, situasi di mana jawaban tidak selalu tersedia di buku panduan dan peserta didik mungkin mengajukan pertanyaan yang bahkan pendidik sendiri tidak tahu jawabannya.

SOLUSI: Pengembangan Profesional Bertahap

1. Implementasi bertahap: Mulai dengan PjBL mini dalam satu topik, evaluasi, dan secara bertahap tingkatkan kompleksitas dan durasi seiring meningkatnya kepercayaan diri.
2. Komunitas belajar guru: Bentuk kelompok guru yang secara reguler berbagi pengalaman, tantangan, dan solusi implementasi PjBL, komunitas profesional yang saling mendukung.
3. Mentoring dari praktisi: Jalin kemitraan dengan perguruan tinggi yang memiliki keahlian dalam PjBL berbasis kearifan lokal untuk memberikan mentoring langsung kepada guru.
4. Redefinisi expertise: Dorong pendidik untuk memahami bahwa dalam PjBL, tidak mengetahui jawaban bukan kelemahan, ia adalah kesempatan untuk memodelkan bagaimana ilmuwan sejati mencari tahu. “Saya tidak tahu, mari kita cari tahu bersama” adalah pernyataan yang sangat pedagogis.

5. Akses Teknologi

KENDALA: Ketimpangan Akses Teknologi

Ketimpangan akses teknologi (*digital divide*) masih sangat nyata di Papua. Sementara sekolah-sekolah di kota besar memiliki akses

internet yang baik dan perangkat digital yang memadai, sekolah-sekolah di daerah terpencil sering tidak memiliki listrik yang stabil, apalagi internet.

SOLUSI: Teknologi Tepat Guna dan Hibrida

1. *Mobile-first design*: Rancang *e-module* yang dioptimalkan untuk smartphone dengan layar kecil dan kapasitas penyimpanan terbatas, mengingat penetrasi smartphone jauh lebih tinggi dari komputer di Papua.
2. *Low-bandwidth mode*: Sediakan versi teks ringan dari *e-module* yang dapat digunakan dengan koneksi internet sangat lambat atau terbatas.
3. *Offline-first*: Prioritaskan konten yang dapat diunduh dan digunakan secara penuh tanpa koneksi internet, dengan sinkronisasi data minimal ketika tersedia koneksi.
4. Solar dan *off-grid solutions*: Kerjasama dengan program elektrifikasi solar untuk memastikan ketersediaan listrik minimal untuk pengisian baterai perangkat di sekolah-sekolah terpencil.
5. Non-digital alternatif: Untuk konteks di mana teknologi benar-benar tidak tersedia, kembangkan versi cetak dari *e-module* yang mempertahankan konten kearifan lokal meskipun kehilangan elemen interaktif digital.

6. Strategi Pendampingan dan Penguatan Evaluasi Formatif

Di luar kendala-kendala spesifik di atas, keberhasilan implementasi Model EBI sangat bergantung pada kualitas pendampingan yang diberikan baik kepada peserta didik (oleh pendidik) maupun kepada pendidik (oleh sekolah/institusi dan mitra akademis). Pendampingan yang efektif bersifat: proaktif (mengidentifikasi dan mengatasi hambatan sebelum berkembang menjadi krisis), formatif (menggunakan data dari proses belajar untuk terus menyempurnakan intervensi), dan kolaboratif (melibatkan semua pemangku kepentingan, peserta didik, pendidik, komunitas, dan institusi dalam proses pembelajaran dan penyempurnaan).

Evaluasi formatif yang sistematis adalah fondasi dari pendampingan yang efektif. Dalam Model EBI, evaluasi formatif bukan sekadar pemberian kuis atau tes kecil; ia adalah proses terus-menerus pengumpulan dan penggunaan data tentang kemajuan belajar untuk membuat keputusan instruksional yang tepat waktu dan tepat sasaran.

Alat evaluasi formatif yang paling efektif dalam konteks Model EBI meliputi *exit tickets* yang menangkap pemahaman peserta didik di akhir setiap sesi, *journaling* rutin yang mengungkap proses metakognitif peserta didik, observasi kelompok yang memberikan gambaran real-time tentang kualitas kolaborasi dan diskusi ilmiah dan konferensi proyek mingguan singkat di mana setiap kelompok melaporkan kemajuan dan tantangan mereka kepada pendidik.

G. Dampak Model bagi Pendidikan Biologi

Model EBI, jika diimplementasikan secara konsisten dan komprehensif, memiliki dampak yang melampaui perbaikan kualitas pembelajaran di kelas. Ia membawa dampak sistemik bagi berbagai pemangku kepentingan pendidikan biologi yang perlu dipahami dan diantisipasi oleh para pembuat kebijakan, pengelola institusi, dan peneliti pendidikan.

1. Dampak bagi dosen dan guru

Implementasi Model EBI menuntut transformasi profesional yang mendalam bagi pendidik biologi. Ini bukan sekadar perubahan metode mengajar; ia adalah pergeseran paradigma tentang apa artinya menjadi seorang pendidik. Beberapa dampak kritis:

- a. Pengembangan kompetensi baru: Pendidik perlu mengembangkan kompetensi fasilitasi yang berbeda dari kompetensi pengajaran konvensional, kemampuan mengelola kompleksitas proyek, memfasilitasi diskusi ilmiah yang produktif, memberikan *scaffolding* yang adaptif, dan mengevaluasi kemajuan menggunakan berbagai instrumen autentik
- b. Pengetahuan ekologis lokal: Pendidik biologi Papua perlu mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam tentang kearifan lokal ekologis komunitas-komunitas Papua ini mungkin memerlukan investasi dalam kemitraan dengan tokoh adat, peneliti etnobiologi, dan komunitas lokal
- c. Kompetensi digital: Kemampuan menggunakan, mengadaptasi, dan (idealnya) mengembangkan *e-module* biologi berbasis kearifan lokal perlu menjadi bagian dari pengembangan profesional pendidik biologi

- d. Kolaborasi profesional: Model EBI bekerja paling efektif ketika pendidik bekerja dalam komunitas profesional yang saling mendukung, berbagi praktik terbaik, dan berkolaborasi dalam pengembangan proyek lintas mata pelajaran
- e. Penelitian tindakan: Pendidik didorong untuk menjadi peneliti-praktisi yang secara sistematis mendokumentasikan dan mengevaluasi efektivitas implementasi Model EBI di konteks spesifik mereka, menghasilkan pengetahuan yang berkontribusi pada pengembangan model lebih lanjut

Tabel 6.5 Profil Kompetensi Pendidik Biologi dalam Model EBI

Domain Kompetensi	Kompetensi Spesifik	Dari (Konvensional)	Menuju (Model EBI)
Konten Biologi	Penguasaan materi biologi yang mendalam dan terkini, termasuk kearifan ekologis lokal Papua	Buku teks dan kurikulum sebagai satu-satunya referensi	Literatur ilmiah + kearifan lokal + pengamatan lapangan berkelanjutan
Pedagogi	Fasilitasi PjBL, <i>scaffolding</i> adaptif, penilaian autentik, <i>feedback</i> formatif	Presentasi dan ceramah sebagai metode utama	Fasilitasi, <i>coaching</i> , mentoring, kolaborasi dengan komunitas
Teknologi	Penggunaan <i>e-module</i> , LMS, dan alat digital untuk mendukung SDL dan PjBL	Teknologi sebagai pelengkap presentasi (PowerPoint)	Teknologi sebagai medium belajar mandiri dan alat investigasi
Budaya & Etika	Kepekaan budaya, etika FPIC, kemampuan	Kurikulum nasional sebagai satu-satunya referensi budaya	Dialog antara sains akademis dan kearifan lokal;

	membangun kemitraan dengan komunitas		penghargaan terhadap diversitas epistemologis
Penelitian	Kemampuan melakukan penelitian tindakan kelas dan berkontribusi pada pengembangan Model EBI	Penelitian sebagai aktivitas terpisah dari pengajaran	Guru-peneliti yang mengintegrasikan inquiry dalam praktik pengajaran sehari-hari

Sumber: Model EBI dikembangkan berdasarkan Shulman (1987) dalam Ball et al. (2022); Kemendikbudristek (2022)

2. Dampak bagi Mahasiswa dan Siswa

Bagi peserta didik, Model EBI membawa dampak yang melampaui perbaikan prestasi akademis jangka pendek. Implementasi Model EBI yang konsisten dan berkualitas akan menghasilkan profil lulusan yang berbeda secara kualitatif dari lulusan sistem pembelajaran konvensional:

- Identitas sebagai ilmuwan dan penjaga ekosistem: Peserta didik mengembangkan identitas ganda yang kuat sebagai penjaga kearifan lokal sekaligus praktisi sains yang kompeten, identitas yang tidak saling bertentangan tetapi saling memperkuat
- Kompetensi untuk belajar sepanjang hayat: SRL dan SDL yang dikembangkan melalui Model EBI bukan hanya berguna dalam konteks sekolah; mereka adalah kapasitas fundamental untuk terus belajar, beradaptasi, dan berkontribusi sepanjang hayat
- Tanggung jawab ekologis dan kultural yang terinternalisasi: Bukan sekadar pengetahuan tentang pentingnya konservasi, tetapi komitmen personal yang berakar pada pemahaman mendalam dan pengalaman nyata
- Kemampuan advokasi berbasis bukti: Peserta didik mengembangkan kemampuan untuk menggunakan data dan argumen ilmiah untuk mendukung kebijakan yang lebih baik bagi ekosistem dan komunitas lokal mereka

- e. Jaringan sosial yang mendukung: Melalui proyek kolaboratif yang melibatkan komunitas lokal, peserta didik membangun jaringan hubungan dengan pemangku kepentingan berbeda yang akan terus berguna dalam karir dan kehidupan mereka

3. Dampak bagi Pengembang Kurikulum

Untuk pengembang kurikulum biologi di Indonesia, baik di tingkat nasional maupun daerah. Model EBI membawa beberapa dampak penting yang perlu direfleksikan dalam kebijakan kurikulum:

- a. Kontekstualisasi lokal sistematis: Kurikulum nasional perlu menyediakan ruang yang lebih besar dan lebih eksplisit bagi kontekstualisasi lokal, dengan panduan yang spesifik tentang bagaimana kearifan lokal dapat diintegrasikan tanpa mengorbankan standar sains nasional dan internasional
- b. Kompetensi proses vs. konten: Bobot yang lebih seimbang antara kompetensi proses (*scientific reasoning*, SRL, komunikasi ilmiah) dan konten faktual dalam kurikulum biologi, mencerminkan tuntutan kompetensi abad ke-21 yang tidak bisa dicapai hanya melalui penguasaan fakta
- c. Fleksibilitas waktu: Alokasi waktu yang memungkinkan implementasi PjBL yang bermakna, dengan sistem kredit atau jam pelajaran yang tidak memaksa setiap topik diselesaikan dalam satu pertemuan
- d. Standar penilaian yang diperluas: Pengakuan formal terhadap berbagai bentuk penilaian autentik (portofolio, penilaian kinerja, penilaian produk) sebagai komplemen yang setara dengan tes tertulis konvensional

4. Dampak bagi Pengembangan Bahan Ajar

Model EBI memiliki dampak yang jelas bagi pengembang bahan ajar biologi, baik buku teks, modul cetak, maupun e-module. Bahan ajar biologi yang mendukung Model EBI harus memenuhi beberapa kriteria yang saat ini jarang dipenuhi oleh bahan ajar yang tersedia:

- a. Kontekstualisasi lokal sistematis: Setiap konsep biologi harus dikontekstualisasikan dengan contoh dan fenomena dari ekosistem Indonesia yang beragam termasuk ekosistem Papua dengan kearifan lokalnya, bukan hanya menggunakan contoh dari buku teks Barat atau Indonesia bagian barat

- b. Integrasi kearifan lokal yang bermakna: Bukan sekadar menyisipkan satu atau dua kalimat tentang kearifan lokal sebagai 'konten lokal', melainkan mengintegrasikannya sebagai perspektif analitik yang memandu penyelidikan dan interpretasi fenomena biologis
- c. Desain untuk SDL: Bahan ajar yang tidak hanya menyampaikan konten tetapi secara eksplisit mendukung pengembangan kemandirian belajar, panduan refleksi, pertanyaan pemantik pemikiran, aktivitas evaluasi diri, dan panduan untuk mencari sumber belajar tambahan
- d. Orientasi berbasis masalah: Setiap bab atau unit dimulai dari masalah atau pertanyaan nyata yang relevan dengan kehidupan peserta didik, bukan dari definisi abstrak

5. Dampak bagi Penelitian Lanjutan

Model EBI sebagai konstruk teoritis dan model implementasi masih memerlukan penelitian lanjutan yang lebih luas dan mendalam untuk terus menyempurnakannya. Beberapa agenda penelitian prioritas yang diidentifikasi berdasarkan pembahasan dalam buku ini:

- a. Efektivitas komparatif: Studi eksperimental atau kuasi-eksperimental skala besar yang membandingkan efektivitas Model EBI dengan pendekatan pembelajaran lain dalam berbagai konteks sekolah di Papua dan Indonesia
- b. Penelitian longitudinal: Studi yang melacak dampak jangka panjang (1–5 tahun) dari implementasi Model EBI terhadap literasi lingkungan, penalaran ilmiah, SRL, dan perilaku pro-lingkungan peserta didik
- c. Adaptasi kontekstual: Penelitian tentang bagaimana Model EBI dapat diadaptasi secara optimal untuk berbagai konteks lokal yang berbeda di Indonesia seperti Papua, Kalimantan, Sulawesi, Jawa, dan sebagainya, masing-masing dengan kearifan ekologis lokalnya yang unik
- d. Pengembangan instrumen: Pengembangan dan validasi instrumen penilaian yang lebih baik untuk mengukur dimensi-dimensi unik Model EBI, terutama untuk mengukur integrasi kearifan lokal dan dampak ekologis nyata dari proyek-proyek peserta didik

- e. Penelitian dokumentasi kearifan lokal: Studi etnobiologi sistematis yang mendokumentasikan kearifan ekologis berbagai suku di Papua sebelum pengetahuan tersebut punah, sekaligus mengidentifikasi potensinya sebagai sumber belajar biologi

6. Dampak bagi Pendidikan Berkelanjutan

Dampak terpenting dan terluas dari Model EBI adalah terhadap cita-cita pendidikan berkelanjutan (*education for sustainable development/ESD*) di Indonesia. Papua dengan kekayaan biodiversitas dan kedalaman kearifan ekologisnya adalah laboratorium hidup yang paling ideal bagi ESD, sebuah laboratorium di mana prinsip-prinsip keberlanjutan bukan hanya diajarkan sebagai teori abstrak tetapi dihidupi sebagai kenyataan sehari-hari dalam hubungan antara manusia dan alam.

Model EBI berkontribusi pada ESD melalui tiga jalur utama: pertama, mengembangkan kompetensi keberlanjutan pada peserta didik (kemampuan berpikir sistemis, penalaran berbasis bukti, kepemimpinan ekologis); kedua, mendokumentasikan dan merevitalisasi kearifan lokal sebagai model pengelolaan ekosistem yang berkelanjutan; dan ketiga, membangun kemitraan antara institusi pendidikan dan komunitas lokal yang memperkuat kapasitas kolektif untuk menghadapi tantangan lingkungan bersama.

Pada akhirnya, keberhasilan Model EBI diukur bukan hanya oleh nilai akademis peserta didik atau kualitas produk proyek yang dihasilkan, melainkan oleh kontribusinya terhadap ekosistem dan komunitas Papua yang lebih sehat, lebih berpengetahuan, dan lebih berdaya. Ketika seorang peserta didik Papua yang telah belajar melalui Model EBI, dua puluh tahun kemudian, menjadi penjaga hutan adatnya yang lebih efektif berkat kombinasi pengetahuan ilmiah dan kearifan leluhurnya itulah keberhasilan sejati dari Model EBI.



DAFTAR PUSTAKA

- Aikenhead, G. S., & Ogawa, M. (2020). Indigenous knowledge and science revisited. *Cultural Studies of Science Education*, 15(2), 539–620.
- Allchin, D. (2020). *Teaching the nature of science: Perspectives & resources*. SHiPS Education Press.
- Almulla, M. A. (2020). The effectiveness of the project-based learning (PBL) approach as a way to engage students in learning. *SAGE Open*, 10(3), 1–15. <https://doi.org/10.1177/2158244020938702>
- Ball, D. L., Thames, M. H., & Phelps, G. (2022). Content knowledge for teaching: What makes it special? *Journal of Teacher Education*, 59(5), 389–407.
- Barber, J., Barber, M., & Barber, S. (2021). *Biology: Science for life* (6th ed.). Pearson.
- Battelle for Kids. (2021). *Framework for 21st century learning*. Retrieved from <https://www.battelleforkids.org>
- Berkes, F. (2018). *Sacred ecology: Traditional ecological knowledge and resource management* (4th ed.). Routledge.
- Biggs, J. (2022). *Teaching for quality learning at university: What the student does* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- BirdLife International. (2023). *The IUCN Red List of Threatened Species: Species factsheets Papua New Guinea and Indonesian Papua*. BirdLife International.
- Boud, D., Keogh, R., & Walker, D. (2021). *Reflection: Turning experience into learning* (Revised ed.). Routledge.
- Branch, R. M. (2020). *Instructional design: The ADDIE approach* (2nd ed.). Springer.
- Brooke, J. (1996). SUS: A 'quick and dirty' usability scale. In P. W. Jordan et al. (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 189–194). Taylor & Francis.
- Buck Institute for Education (BIE). (2020). *Gold standard PBL: Essential project design elements*. Retrieved from <https://www.pblworks.org>
- Capra, F., & Luisi, P. L. (2021). *The systems view of life: A unifying vision*. Cambridge University Press.

- Carr, W., & Kemmis, S. (2021). *Becoming critical: Education, knowledge and action research*. Routledge.
- Chin, C., & Osborne, J. (2020). Students' questions: A potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1–39.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2021). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning* (5th ed.). Wiley.
- Clough, M. P., & Olson, J. K. (2020). *Using the history and nature of science to enhance your biology instruction*. NSTA Press.
- Dauer, J. M., & Forbes, C. T. (2021). Longitudinal study of undergraduates' systemic thinking in sustainability contexts. *Sustainability*, 13(5), 2899.
- Dent, A. L., & Koenka, A. C. (2021). The relation between self-regulated learning and academic achievement across childhood and adolescence: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 28(3), 425–474.
- Dunlap, R. E., Van Liere, K. D., Mertig, A. G., & Jones, R. E. (2020). New trends in measuring environmental attitudes: Measuring endorsement of the new ecological paradigm. *Journal of Social Issues*, 56(3), 425–442.
- Efendi, A., Corebima, A. D., & Suwono, H. (2023). Integration of local wisdom in biology learning: Impact on student motivation and ecological literacy. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 9(1), 45–62.
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2022). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915–933.
- Fischer, F., Kollar, I., Ufer, S., Sodian, B., Hussmann, H., Pekrun, R., & Deppisch, A. (2022). Scientific reasoning and argumentation: Advancing an interdisciplinary research agenda in education. *Frontline Learning Research*, 10(2), 28–56.
- Fisher, D., & Frey, N. (2021). *Visible learning for literacy: Implementing the practices that work best to accelerate student learning*. Corwin Press.

- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906–911. (Dalam Veenman et al., 2022).
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2021). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415.
- Gadotti, M. (2020). Pedagogy of the Earth: New subjects for the transformation of the world. *L@e – Leibniz Journal of Science Education*, 12(2), 1–18.
- Garrison, D. R. (1997). Self-directed learning: Toward a comprehensive model. *Adult Education Quarterly*, 48(1), 18–33. (Dalam Loyens et al., 2022).
- Gureckis, T. M., & Markant, D. B. (2022). Self-directed learning: A cognitive and computational perspective. *Perspectives on Psychological Science*, 7(5), 464–481.
- Heckman, R. (2022). *Biocultural diversity and sustainable development: Education for the 21st century*. Springer.
- Hendrayana, A. S., Rustaman, N. Y., & Rahmat, A. (2023). Pengaruh pembelajaran berbasis kearifan lokal terhadap motivasi intrinsik dan literasi lingkungan siswa biologi SMA. *Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*, 8(1), 12–28.
- Hidayati, N. (2021). Etnobiologi masyarakat Papua: Dokumentasi dan potensi pemanfaatan keanekaragaman hayati lokal. *Jurnal Biologi Indonesia*, 17(2), 145–162.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2021). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark. *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.
- Hollweg, K. S., Taylor, J. R., Bybee, R. W., Marcinkowski, T. J., McBeth, W. C., & Zoido, P. (2021). Developing a framework for assessing environmental literacy. NAAEE.
- IPBES. (2022). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES Secretariat.
- IPCC. (2022). *Sixth assessment report: Climate change 2022 — Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press.

- Johnson, E. B. (2022). *Contextual teaching and learning: What it is and why it's here to stay* (3rd ed.). Corwin Press.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2020). Cooperative learning: The foundation for active learning. In S. M. Brito (Ed.), *Active learning — beyond the future*. IntechOpen.
- Kemendikbudristek. (2022). *Panduan pembelajaran dan asesmen: Pendidikan anak usia dini, pendidikan dasar, dan menengah. Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan*.
- Kemendikbudristek. (2022). *Panduan pengembangan modul ajar: Kurikulum merdeka. Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan*.
- Kemendikbudristek. (2023). *Rapor Pendidikan Indonesia 2023: Hasil Asesmen Nasional*. Jakarta: Kemendikbudristek.
- KLHK. (2022). *Indeks kualitas lingkungan hidup Indonesia 2022*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI.
- Knowles, M. S., Holton, E. F., & Swanson, R. A. (2020). *The adult learner: The definitive classic in adult education and human resource development* (9th ed.). Routledge.
- Kolb, A. Y., & Kolb, D. A. (2023). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (3rd ed.). Pearson FT Press.
- Krajcik, J. S., & Shin, N. (2021). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (3rd ed., pp. 275–297). Cambridge University Press.
- Kuhn, D., & Dean, D. (2020). Metacognition: A bridge between cognitive psychology and educational practice. *Theory Into Practice*, 43(4), 268–273.
- Kusurkar, R. A., Croiset, G., Mann, K. V., Custers, E., & Ten Cate, O. (2022). Have motivation theories guided the development and reform of medical education? A review of the literature. *Academic Medicine*, 87(6), 735–743.
- Larmer, J., Mergendoller, J., & Boss, S. (2020). *Setting the standard for project based learning: A proven approach to rigorous classroom instruction*. ASCD.
- Lawson, A. E. (2021). The development and validation of a classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(9), 739–757.

- Lederman, J. S., & Lederman, N. G. (2020). Teaching and learning the nature of science and scientific inquiry: Building capacity through systematic research-based professional development. *Journal of Science Teacher Education*, 20(6), 521–531.
- LIPI. (2022). Status keanekaragaman hayati Papua: Laporan komprehensif. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Loyens, S. M. M., Magda, J., & Rikers, R. M. J. P. (2022). Self-directed learning in problem-based learning and its relationships with self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 20(4), 411–427.
- Majid, A. (2021). *Perencanaan pembelajaran: Mengembangkan standar kompetensi guru (Edisi Revisi)*. Remaja Rosdakarya.
- Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning (3rd ed.)*. Cambridge University Press.
- McBride, B. B., Brewer, C. A., Berkowitz, A. R., & Borrie, W. T. (2022). Environmental literacy, ecological literacy, ecoliteracy: What do we mean and how did we get here? *Ecosphere*, 4(5), 1–20.
- Mcbeth, W., Volk, T. L., & Hungerford, H. R. (2008). *The Middle School Environmental Literacy Survey (MSELS)*. Oklahoma State University.
- McIntyre, L. (2021). *Post-truth (2nd ed.)*. MIT Press.
- Merriam, S. B., & Bierema, L. L. (2022). *Adult learning: Linking theory and practice*. Jossey-Bass.
- Mezirow, J. (2021). *Transformative dimensions of adult learning*. Jossey-Bass.
- Misiaszek, G. W. (2020). *Ecopedagogy: Teaching critically with the earth*. Bloomsbury Academic.
- Moll, L. (2021). *Vygotsky and education: Instructional implications and applications of sociohistorical psychology*. Cambridge University Press.
- Nakashima, D., Krupnik, I., & Rubis, J. T. (2022). *Indigenous science and education: A guide to the integration of local and indigenous knowledge in formal education*. UNESCO.
- NAAEE. (2011). *Developing a framework for assessing environmental literacy: Executive summary*. North American Association for Environmental Education.

- Novak, J. D. (2020). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations* (2nd ed.). Routledge.
- OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Osborne, J., & Patterson, A. (2021). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, 95(4), 627–638.
- Panadero, E. (2021). A review of self-regulated learning: Six models and four directions for research. *Frontiers in Psychology*, 8, 422.
- Panadero, E., Jonsson, A., & Botella, J. (2021). Effects of self-assessment on self-regulated learning and self-efficacy: Four meta-analyses. *Educational Research Review*, 22, 74–98.
- Patton, M. Q. (2020). *Project-based learning: Inspiring middle school students to engage through meaningful challenge*. Teachers College Press.
- Pintrich, P. R. (2004). A conceptual framework for assessing motivation and self-regulated learning in college students. *Educational Psychology Review*, 16(4), 385–407. (Dalam Panadero, 2021).
- Prastowo, A. (2021). *Panduan kreatif membuat bahan ajar inovatif: Menciptakan metode pembelajaran yang menarik dan menyenangkan*. DIVA Press.
- Putra, M. I. S., Widodo, W., & Jatmiko, B. (2022). The development of guided inquiry-based learning model to improve science process skills and scientific reasoning of students. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(1), 45–56.
- Putri, R. N., Corebima, A. D., & Saptasari, M. (2023). Efektivitas model pembelajaran terintegrasi PjBL-SRL-kearifan lokal terhadap hasil belajar, keterampilan proses sains, dan literasi lingkungan siswa SMA Papua. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 9(2), 78–97.
- Rahayu, S., Irawati, M. H., & Ghofur, A. (2022). The effect of project-based learning on science process skills and scientific reasoning in biology. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 15(1), 29–44.
- Rahardini, R. R. B., Wuryaningsih, Y., & Rokhimawan, M. A. (2022). Pengaruh pembelajaran biologi kontekstual terhadap minat dan

- motivasi belajar siswa SMA. *Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(2), 112–124.
- Redhana, I. W. (2019). Mengembangkan keterampilan abad ke-21 dalam pembelajaran kimia. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 13(1), 2239–2253.
- Rodgers, C. (2022). Defining reflection: Another look at John Dewey and reflective thinking. *Teachers College Record*, 124(7), 1–24.
- Rustaman, N. Y. (2020). Pendidikan dan penelitian sains dalam membangun karakter dan kemampuan berpikir siswa. *Prosiding Seminar Nasional MIPA UPI*, 2020.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2017). *Self-determination theory: Basic psychological needs in motivation, development, and wellness*. Guilford Press.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2020). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78.
- Schultz, P. W. (2020). Inclusion with nature: The psychology of human-nature relations. In P. Schmuck & W. Schultz (Eds.), *Psychology of sustainable development*. Springer.
- Slavin, R. E. (2021). *Educational psychology: Theory and practice* (12th ed.). Pearson.
- Stefanou, C., Stolk, J. D., Prince, M., Chen, J. C., & Lord, S. M. (2021). Self-regulation and autonomy in problem and project-based learning environments. *Active Learning in Higher Education*, 14(2), 109–122.
- Stern, M. J., Powell, R. B., & Hill, D. (2021). Environmental education program evaluation in the new millennium: What do we measure and what have we learned? *Environmental Education Research*, 20(5), 581–611.
- Sugianto, D., Abdullah, A. G., Elvyanti, S., & Muladi, Y. (2022). Modul virtual berbasis iMindMap pada pembelajaran fisika. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 4(2), 32–46.
- Suranti, N. M. Y., Gunawan, G., & Sahidu, H. (2021). Pengaruh model Project Based Learning berbantuan media virtual terhadap penguasaan konsep peserta didik. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 2(2), 73–79.
- Suryawati, E., Putriana, D., & Luddin, M. R. (2022). Ethnobiology of the Dani tribe in Papua: Documentation and integration into

- biology learning. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 15(2), 110–128.
- Thomas, J. W. (2021). A review of research on project-based learning. The Autodesk Foundation. Retrieved from <https://www.bie.org>
- Topping, K. J. (2021). Trends in peer learning. *Educational Psychology*, 25(6), 631–645.
- UN. (2007). United Nations declaration on the rights of indigenous peoples. United Nations Publications.
- UN. (2022). The sustainable development goals report 2022. United Nations Publications.
- UNESCO. (2017). Local and indigenous knowledge systems (LINKS). UNESCO Natural Sciences Sector.
- UNESCO. (2020). Education for sustainable development: A roadmap. UNESCO.
- UNESCO. (2021). Education for sustainable development: Towards achieving the SDGs. UNESCO.
- UNEP. (2022). Making peace with nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies. UNEP.
- Veenman, M. V. J., Van Hout-Wolters, B. H. A. M., & Afflerbach, P. (2022). Metacognition and learning: Conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 1(1), 3–14.
- Vogler, J. S., Thompson, P., Davis, D. W., Mayfield, B. E., Finley, P. M., & Yasserli, D. (2021). The hard work of soft skills: Augmenting the project-based learning experience with teamwork skills. *Instructional Science*, 46(3), 457–488.
- Wenning, C. J. (2022). Levels of inquiry: Using inquiry spectrum learning sequences to teach science. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 5(4), 11–19.
- Widodo, A., Ramdhaningsih, V., & Riandi, R. (2021). Pembelajaran biologi di era digital: Tantangan dan peluang. *Jurnal Bioedukatika*, 9(2), 75–89.
- Wiseman, M., Bogner, F. X., & Brengelmann, J. C. (2020). Environmental attitudes inventory: A long-term reliability analysis. *Ecology and Society*, 16(1), 1–12.
- Yuenyong, C., & Narjaikaew, P. (2021). Scientific literacy and Thailand science education. *International Journal of Environmental and Science Education*, 4(3), 335–349.

- Yuliati, Y., Rustaman, N. Y., Redjeki, S., & Prasetyo, Z. K. (2022). Environmental literacy level of senior high school students in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1280(5), 052015.
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13–39). Academic Press. (Dalam Zimmerman & Schunk, 2021).
- Zimmerman, B. J., & Kitsantas, A. (2020). Acquiring writing revision skill: Shifting from process to outcome self-regulatory goals. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 241–250.
- Zimmerman, B. J., & Schunk, D. H. (2021). *Self-regulated learning and academic achievement: Theoretical perspectives* (3rd ed.). Routledge.



GLOSARIUM

Adaptasi	Kemampuan makhluk hidup menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan agar dapat bertahan hidup dan berkembang biak.
Analisis Ekologis	Proses mengkaji hubungan antara organisme dengan lingkungan berdasarkan data, fakta, dan prinsip-prinsip ekologi.
Asesmen Autentik	Penilaian yang mengukur kemampuan peserta didik melalui tugas nyata yang mencerminkan penerapan pengetahuan, keterampilan, dan sikap.
Biodiversitas	Keanekaragaman makhluk hidup yang mencakup variasi gen, spesies, dan ekosistem dalam suatu wilayah.
Bioetika	Kajian mengenai nilai, norma, dan pertimbangan moral dalam pemanfaatan ilmu biologi dan sumber daya hayati.
Biologi Integratif	Pendekatan dalam biologi yang menghubungkan berbagai cabang ilmu biologi dengan disiplin ilmu lain untuk memahami fenomena kehidupan secara utuh.
Bioma	Wilayah ekologi yang memiliki karakteristik iklim, vegetasi, dan komunitas organisme tertentu.
Daur Biogeokimia	Siklus perpindahan unsur-unsur kimia antara komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem.

Daya Dukung Lingkungan	Kemampuan lingkungan menyediakan sumber daya yang cukup bagi kehidupan tanpa mengalami kerusakan.
<i>Deep Learning</i>	Pendekatan pembelajaran yang menekankan pemahaman mendalam, berpikir kritis, dan kemampuan menghubungkan konsep dengan kehidupan nyata.
Ekologi	Ilmu yang mempelajari interaksi antara makhluk hidup dengan lingkungannya.
Ekopedagogi	Pendekatan pendidikan yang mengintegrasikan pembelajaran dengan kepedulian ekologis untuk membentuk kesadaran dan tindakan pelestarian lingkungan.
Ekosistem	Kesatuan antara komunitas makhluk hidup dengan lingkungan fisiknya yang saling berinteraksi.
Empati Ekologis	Kemampuan memahami dan merasakan pentingnya menjaga keseimbangan lingkungan sebagai bagian dari kehidupan.
Energi Ekosistem	Aliran energi yang berpindah melalui rantai dan jaring-jaring makanan dalam suatu ekosistem.
Etika Lingkungan	Nilai dan prinsip moral yang mengatur hubungan manusia dengan alam secara bertanggung jawab.
Habitat	Tempat alami yang menjadi lokasi hidup suatu organisme.

Inkuiri Ilmiah	Proses pembelajaran melalui penyelidikan, pengamatan, eksperimen, dan penarikan kesimpulan berdasarkan bukti ilmiah.
Integrasi Pembelajaran	Penggabungan berbagai konsep, metode, dan disiplin ilmu dalam proses pembelajaran secara terpadu.
Interaksi Biotik	Hubungan antarorganisme, seperti simbiosis, kompetisi, dan predasi.
Interdisipliner	Pendekatan yang mengombinasikan konsep dari berbagai bidang ilmu untuk menyelesaikan suatu permasalahan.
Karakter Ekologis	Sikap, nilai, dan perilaku individu yang mencerminkan kepedulian terhadap lingkungan hidup.
Keberlanjutan	Upaya memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhannya.
Keanekaragaman Hayati	Variasi kehidupan pada tingkat genetik, spesies, dan ekosistem yang menjadi kekayaan biologis suatu wilayah.
Kolaborasi Ilmiah	Kerja sama dalam mengembangkan pengetahuan melalui kegiatan penelitian, diskusi, dan pemecahan masalah.
Kompetensi Ekologis	Kemampuan memahami, menganalisis, dan mengambil tindakan yang mendukung kelestarian lingkungan.
Konservasi	Upaya perlindungan, pemeliharaan, dan pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan.

Kontekstualisasi	Proses menghubungkan materi pembelajaran dengan situasi nyata dalam kehidupan peserta didik.
Literasi Biologi	Kemampuan memahami konsep-konsep biologi serta menerapkannya dalam kehidupan sehari-hari.
Literasi Lingkungan	Kemampuan memahami isu lingkungan dan mengambil keputusan yang bertanggung jawab terhadap keberlanjutan alam.
Makhluk Hidup	Organisme yang memiliki ciri-ciri kehidupan seperti tumbuh, berkembang, bereproduksi, dan merespons rangsangan.
Model EBI	Model pembelajaran Ekopedagogi Biologi Integratif yang mengintegrasikan konsep biologi, nilai ekologis, dan pengalaman belajar kontekstual untuk membentuk literasi sains, karakter, serta kepedulian lingkungan peserta didik.
Observasi	Kegiatan mengamati objek atau fenomena secara sistematis untuk memperoleh informasi ilmiah.
Pembelajaran Integratif	Pendekatan pembelajaran yang menghubungkan berbagai konsep sehingga menghasilkan pemahaman yang utuh.
Pemikiran Kritis	Kemampuan menganalisis informasi secara logis, objektif, dan berdasarkan bukti.

Pengalaman Belajar	Keseluruhan aktivitas yang dialami peserta didik selama proses pembelajaran untuk mencapai kompetensi tertentu.
Penalaran Ilmiah	Kemampuan menggunakan bukti, data, dan logika dalam menjelaskan fenomena alam.
Pengelolaan Lingkungan	Upaya merencanakan, memanfaatkan, memelihara, dan memulihkan kualitas lingkungan hidup.
Perubahan Iklim	Perubahan pola iklim dalam jangka panjang yang dipengaruhi oleh faktor alami maupun aktivitas manusia.
Proyek Ekologis	Kegiatan pembelajaran berbasis proyek yang berfokus pada penyelesaian masalah lingkungan.
Refleksi Pembelajaran	Proses mengevaluasi pengalaman belajar untuk meningkatkan pemahaman dan kualitas pembelajaran berikutnya.
Sains Terintegrasi	Pendekatan pembelajaran yang menghubungkan berbagai konsep sains secara terpadu.
Sikap Ilmiah	Karakter yang ditunjukkan melalui rasa ingin tahu, objektivitas, kejujuran, keterbukaan, dan tanggung jawab dalam kegiatan ilmiah.
Sistem Kehidupan	Keseluruhan komponen biologis yang saling berinteraksi dalam mempertahankan kehidupan organisme.
Sumber Belajar	Segala sesuatu yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung proses pembelajaran,

baik berupa manusia, lingkungan, media, maupun teknologi.

Tanggung Jawab Ekologis Kesadaran individu maupun kelompok untuk menjaga kelestarian lingkungan melalui tindakan nyata.

Validasi Model Proses pengujian kelayakan suatu model pembelajaran berdasarkan penilaian ahli, uji coba, dan analisis empiris.

Zona Proksimal Ekologis Ruang belajar yang mendorong peserta didik mengembangkan pengetahuan, keterampilan, dan kepedulian lingkungan melalui interaksi dengan guru, teman, dan lingkungan sekitar.

INDEKS

A

analisis, 2, 5, 10, 20, 24, 25, 27, 28, 30, 38,
39, 42, 45, 47, 49, 54, 56, 61, 63, 64, 66,
70, 90, 109, 110, 113, 114, 118, 120,
148

B

belajar, 2, 3, 6, 8, 10, 11, 12, 15, 16, 19, 20,
22, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36,
37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48,
49, 50, 51, 58, 61, 62, 73, 75, 80, 85, 86,
87, 88, 89, 92, 93, 94, 95, 97, 101, 102,
103, 104, 105, 106, 108, 115, 118, 120,
124, 125, 127, 128, 130, 131, 138, 139,
146, 147, 148

biodiversitas, 4, 6, 8, 13, 54, 58, 60, 62, 73,
78, 83, 84, 87, 88, 91, 96, 97, 98, 99,
101, 102, 105, 108, 114, 116, 131

biologi, i, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12,
13, 15, 20, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 33,
34, 36, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48,
49, 51, 53, 56, 58, 59, 61, 64, 65, 67, 70,
73, 75, 76, 80, 81, 83, 86, 88, 89, 90, 91,
92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 101, 102, 103,
104, 105, 107, 108, 112, 115, 122, 126,
127, 129, 131, 135, 138, 140, 143, 146,
155

D

data, 5, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 38, 39, 41,
42, 45, 48, 49, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66,

67, 70, 72, 75, 78, 80, 87, 90, 93, 102,
108, 109, 110, 113, 114, 118, 119, 120,
123, 125, 128, 143, 147

didik, i, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15,
16, 17, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29,
30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42,
43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53,
54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 66, 67,
68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 80, 85, 86, 87,
88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99,
101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108,
109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 117,
118, 120, 123, 124, 125, 126, 128, 129,
130, 131, 139, 143, 146, 147, 148, 155

E

ekologi, 6, 10, 12, 44, 47, 49, 51, 54, 55, 56,
59, 72, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83,
84, 92, 107, 114, 115, 116, 117, 143,
155

ekopedagogi, i, 6, 10, 44, 155

eksperimen, 5, 26, 28, 39, 63, 64, 66, 109,
145

evaluasi, 24, 42, 47, 48, 51, 54, 56, 63, 92,
101, 116, 124, 125, 130

H

hukum, 143, 144

I

ilmiah, i, 1, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 19, 23, 24,
25, 26, 27, 28, 31, 34, 37, 42, 43, 44, 48,

50, 51, 52, 53, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64,
65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 75, 76, 78, 82,
83, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99,
101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109,
110, 111, 114, 115, 117, 118, 119, 120,
124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 145,
146, 147

K

kearifan, 6, 8, 9, 10, 11, 25, 26, 27, 30, 37,
44, 62, 69, 73, 74, 75, 76, 81, 88, 89, 90,
91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 101,
102, 103, 105, 106, 108, 109, 113, 114,
115, 116, 117, 118, 124, 125, 126, 127,
128, 129, 130, 131, 135, 138
keberlanjutan, i, 6, 9, 28, 54, 59, 75, 80, 83,
95, 98, 104, 105, 113, 115, 131, 146,
155
keterampilan, 3, 4, 11, 12, 16, 20, 25, 26,
31, 32, 53, 54, 56, 57, 60, 63, 65, 73, 95,
99, 101, 103, 104, 111, 117, 120, 138,
139, 143, 148, 155
kolaborasi, 2, 3, 20, 24, 45, 48, 112, 117,
119, 121, 126, 127
kompetensi, 2, 3, 12, 22, 27, 31, 32, 41, 42,
48, 49, 53, 59, 104, 117, 119, 122, 126,
129, 131, 137, 147
komunikasi, 3, 24, 27, 28, 31, 43, 51, 61,
72, 117, 118, 119, 124, 129
konsep, i, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 17, 19, 20, 21,
27, 29, 30, 33, 39, 75, 80, 81, 82, 83, 93,
102, 114, 115, 129, 139, 144, 145, 146,
147, 155
konservasi, 10, 13, 44, 55, 57, 60, 61, 75,
79, 80, 81, 84, 96, 97, 98, 110, 113, 116,
117, 128

konstitusi, 143, 144
kontekstual, i, 1, 7, 9, 10, 13, 38, 58, 73,
101, 102, 105, 130, 138, 146

L

lingkungan, i, 2, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 29, 36,
38, 41, 44, 45, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 58,
59, 60, 61, 62, 64, 69, 72, 74, 75, 77, 81,
83, 84, 88, 96, 101, 103, 104, 106, 108,
110, 114, 115, 117, 119, 123, 130, 131,
135, 136, 138, 143, 144, 145, 146, 147,
148, 155
literasi, i, 3, 4, 9, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60,
61, 65, 69, 75, 101, 103, 104, 106, 119,
130, 135, 138, 146, 155
lokal, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 21, 23, 25, 26,
27, 28, 30, 37, 42, 43, 44, 54, 55, 56, 58,
59, 60, 61, 62, 66, 69, 73, 74, 75, 76, 78,
80, 81, 82, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95,
96, 97, 98, 101, 102, 103, 105, 106, 107,
108, 109, 110, 113, 114, 115, 116, 117,
118, 120, 123, 124, 125, 126, 127, 128,
129, 130, 131, 135, 138

M

model, i, 4, 15, 16, 18, 24, 31, 38, 50, 65,
80, 81, 88, 98, 101, 102, 103, 106, 121,
127, 130, 131, 135, 138, 139, 148, 155
modern, 1

N

negara, 143, 145

O

observasi, 5, 24, 25, 28, 31, 34, 58, 60, 63,
64, 90, 97, 109, 113, 118, 119, 120, 126

P

pembelajaran, i, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11,
12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 25,
26, 30, 31, 33, 34, 36, 40, 41, 42, 43, 45,
46, 47, 48, 49, 56, 59, 61, 64, 65, 70, 73,
74, 75, 76, 81, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 91,
92, 95, 101, 102, 103, 105, 106, 107,
111, 112, 118, 121, 122, 125, 126, 128,
130, 135, 136, 137, 138, 139, 144, 145,
146, 147, 148, 155

pemilu, 143

penalaran, 4, 26, 44, 53, 63, 64, 65, 66, 67,
68, 70, 72, 101, 103, 104, 107, 110, 120,
130, 131

pendidik, 2, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 25, 29,
35, 40, 41, 48, 50, 51, 67, 72, 86, 101,
107, 108, 109, 110, 111, 118, 119, 120,
121, 124, 125, 126, 127

pengetahuan, i, 1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12,
17, 18, 20, 24, 26, 27, 30, 33, 34, 35, 37,
42, 43, 44, 46, 47, 48, 53, 54, 55, 56, 59,
60, 62, 66, 68, 69, 73, 74, 75, 76, 77, 78,
81, 82, 84, 85, 89, 92, 94, 95, 96, 97, 98,
99, 104, 105, 108, 109, 110, 111, 113,
114, 115, 117, 127, 128, 131, 143, 145,
148, 155

penyelidikan, 5, 11, 12, 15, 19, 20, 22, 23,
24, 25, 27, 28, 29, 36, 47, 48, 75, 90,
102, 103, 108, 112, 115, 130, 145

peserta, i, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15,
16, 17, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29,
30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42,
43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53,
54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 66, 67,
68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 80, 85, 86, 87,
88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98,
101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108,
109, 110, 111, 112, 114, 115, 117, 118,
120, 123, 124, 125, 126, 128, 129, 130,
131, 139, 143, 146, 147, 148, 155

proyek, 5, 10, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 28, 29,
30, 33, 36, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48,
49, 51, 52, 55, 57, 59, 60, 61, 62, 65, 66,
67, 68, 69, 70, 72, 88, 96, 97, 103, 108,
109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 117,
118, 120, 122, 123, 126, 127, 129, 130,
131, 147

R

refleksi, 2, 3, 10, 23, 24, 39, 40, 42, 46, 47,
48, 49, 50, 51, 67, 107, 110, 111, 112,
118, 120, 121, 130

S

saintifik, 4, 15, 24, 25, 27, 30, 31, 103, 106

T

teknologi, 1, 9, 11, 43, 59, 84, 85, 89, 102,
123, 124, 125, 148

BIOGRAFI PENULIS



Jaharudin, M.Pd.

Lahir di Wawo kecamatan Hu'u Kabupaten Dompu Provinsi Nusa Tenggara Barat pada tanggal 02 Mei 1990 dari pasangan Ayahanda Ramli dan Ibunda *kalisom*. Pendidikan Formal dimulai dari Tahun 1997, Sekolah Dasar di SDN Fanda, Desa Cempi Jaya, Kec.Hu'u Kab. Dompu dan lulus pada Tahun 2002.

Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Madrasah Tsanawiah (MTs) Pondok Pesantren Al-kautsar, Kec. Pajo dan lulus pada Tahun 2005, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah yang sama yaitu SMA Islam Terpadu (IT) Pondok Pesantren Al-kautsar. Kec.Pajo. Kab. Dompu dan lulus pada Tahun 2008. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar (UIN) ke jenjang S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan sampai Tahun 2012. Pada Tahun 2014 penulis melanjutkan studi di Universitas Negeri Makassar (UNM) kejenjang Strata 2 (S2) pada jurusan Pendidikan Biologi dan selesai Tahun 2016.

Pada Tahun 2017 Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi di Fakultas Pendidikan Eksakta, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong. Dengan latar belakang pendidikan magister pendidikan, Penulis telah aktif dalam bidang akademik dan pengajaran di lingkungan Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong. Selain mengajar, Penulis juga terlibat dalam berbagai kegiatan penelitian, Pengabdian dan pengembangan kurikulum di bidang Pendidikan Biologi. Riwayat kariernya mencerminkan dedikasi yang tinggi dalam mendidik dan membimbing mahasiswa serta berkontribusi pada kemajuan ilmu pengetahuan di institusinya. Kemudian saat ini sedang melanjutkan studi doktor Pendidikan di Universitas Muhammadiyah Malang sekarang sedang di tahap ujian tertutup.



BUKU REFERENSI

MODEL EBI

Ekopedagogi Biologi Integratif

Buku referensi “MODEL EBI: Ekopedagogi Biologi Integratif” membahas secara komprehensif konsep, landasan teoretis, serta implementasi model pembelajaran biologi yang mengintegrasikan prinsip-prinsip ekopedagogi dalam membangun literasi sains dan kesadaran ekologis peserta didik. Berangkat dari berbagai tantangan lingkungan hidup dan tuntutan pendidikan abad ke-21, buku ini mengkaji bagaimana pembelajaran biologi dapat menjadi sarana strategis untuk mengembangkan pengetahuan, keterampilan, sikap, dan tanggung jawab terhadap keberlanjutan lingkungan. Pembahasan mencakup hakikat ekopedagogi, karakteristik Model EBI, pengembangan perangkat pembelajaran, strategi implementasi, asesmen pembelajaran berbasis ekologi, penguatan literasi sains dan karakter lingkungan, hingga tantangan dan peluang penerapan model dalam mendukung pendidikan berkelanjutan di era transformasi global.



 mediapenerbitindonesia.com
 +6281362150605
 Penerbit Idn
 @pt.mediapenerbitidn

