

Manual Book

Model D-PjBL

DIGITAL – PROJECT BASED LEARNING

FISIOLOGI HEWAN Sistem Regulasi Hewan

Untuk Meningkatkan **Conceptual Understanding (CU)**
dan **Problem Solving Skill (PSS)**



- ✓ BELAJAR
- ✓ BERMAKNA
- ✓ BERPIKIR KRITIS
- ✓ BERKOLABORASI
- ✓ PEMECAHAN
- ✓ MASALAH NYATA



SISTEM ENDOKRIN PADA HEWAN



Kelenjar Protorakal (Serangga)



Kelenjar Hipofisis (Ikan)



Kelenjar Pineal dan Hipofisis (Katak)

Metamorfosis Katak



Telur

Berudu

Berudu berkulit

Katak



Student-Centered



Project-Based



Digital-Integrated



Problem Solving Oriented



Authentic & Collaborative

ATIP NURWAHYUNANI | WIWI ISNAENI | SITI ALIMAH | ADITYA MARIANTI

Manual book

MODEL DIGITAL PROJECT BASED LEARNING (D-PjBL)

Penulis : Atip Nurwahyunani
Wiwi Isnaeni
Siti Alimah
Aditya Marianti
Editor : Atip Nurwahyunani
Penata Letak : Atip Nurwahyunani
Desain Sampul : Atip Nurwahyunani
Email : atipnurwahyunan@upgris.ac.id
Website : <https://atipnurwahyunani.com>

HAK CIPTA

Hak cipta © 2026

oleh : Atip Nurwahyunani, Wiwi Isnaeni, Siti Alimah, dan Aditya Marianti

Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang Republik Indonesia.

Dilarang memperbanyak, mendistribusikan, atau mentransmisikan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk fotokopi, rekaman, atau sistem penyimpanan dan pengambilan informasi, tanpa izin tertulis dari penulis dan/atau penerbit.

Penerbit : (diisi saat pengajuan ISBN)

ISBN : (diajukan melalui Perpustakaan Nasional Republik Indonesia)

Cetakan pertama, 2026

Isi di luar tanggung jawab percetakan.

Hak cipta dilindungi undang-undang.

PRAKATA

Alhamdulillah rabbil ‘alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga manual book ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang penuh ilmu pengetahuan.

Manual book ini disusun sebagai bagian dari pengembangan model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) yang dirancang khusus untuk mendukung pembelajaran pada umumnya, dan khususnya Fisiologi Hewan bagi mahasiswa calon guru Biologi.

Penyusunan model ini dilatarbelakangi oleh hasil pra-penelitian yang menunjukkan adanya kesulitan mahasiswa dan guru dalam memahami konsep-konsep abstrak Biologi, khususnya pada topik sistem saraf dan endokrin, serta rendahnya keterampilan pemecahan masalah yang menjadi salah satu kompetensi kunci abad ke-21. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan pembelajaran inovatif yang tidak hanya menekankan aspek konseptual, tetapi juga memberi ruang bagi mahasiswa untuk berkreasi, berkolaborasi, dan menghasilkan produk digital yang relevan dengan dunia pendidikan.

Manual book ini hadir sebagai panduan praktis bagi dosen, mahasiswa, dan guru dalam mengimplementasikan model D-PjBL di kelas. Di dalamnya memuat penjelasan tentang rasional pengembangan model, sintaks pembelajaran 6D (*Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, Disseminate*), perangkat pembelajaran pendukung, contoh penerapan, serta instrumen penilaian yang digunakan.

Penulis menyadari bahwa manual book ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan model ini ke depan.

Semoga manual book ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam upaya meningkatkan kualitas pembelajaran di Perguruan Tinggi khususnya Biologi, sekaligus mendukung pencapaian kompetensi pedagogik, profesional, dan keterampilan abad ke-21 bagi calon guru Biologi.

Akhirnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada para promotor, penguji, rekan dosen, mahasiswa, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan masukan berharga dalam penyusunan manual book ini.

“Didiklah anak-anakmu (muridmu) bukan seperti zamanmu, karena mereka diciptakan untuk zaman yang berbeda denganmu.” - Ali bin Abi Thalib r.a.

Semarang, Agustus 2026

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	1
Manual book	ii
MODEL DIGITAL PROJECT BASED LEARNING (D-PjBL).....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI	v
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Pengembangan Model.....	1
B. Definisi Model Pembelajaran.....	1
C. Urgensi Pengembangan Model Baru.....	2
D. Tujuan Pengembangan Model D-PjBL.....	3
BAB 2. DASAR TEORI.....	4
A. Filosofi Pengembangan Model.....	4
a. Ontologi.....	4
b. Epistemologi.....	4
c. Aksiologi.....	5
B. Landasan Model.....	6
a. Teori Belajar Kognitif Piaget.....	6
b. Teori Konstruktivisme Sosial Vygotsky.....	7
c. Teori Experiential Learning Kolb.....	8
d. Teori Humanistik Rogers.....	8
e. Teori Model of Teaching (Joyce & Weil)	9
f. Teori <i>Multimedia Learning</i> (Mayer)	10
g. Teori Pemecahan Masalah (<i>Problem Solving</i>).....	10
h. Kerangka TPACK.....	11
BAB III. MODEL Digital Project Based Learning (D-PjBL)	15
A. Pengembangan Model.....	15
B. Karakteristik Model Digital Project-Based Learning (D-PjBL) ..	18

C.	Komponen Model D-PjBL.....	20
a.	Sintaks Model D-PjBL.....	20
b.	Sistem Sosial dalam Model D-PjBL.....	24
c.	Prinsip Reaksi dalam Model D-PjBL.....	25
d.	Sistem Pendukung dalam Model D-PjBL.....	27
e.	Dampak Instruksional dan Dampak Pengiring.....	29
D.	Keunggulan dan Keterbatasan Model D-PjBL.....	32
BAB IV. PANDUAN IMPLEMENTASI MODEL DIGITAL PROJECT-BASED LEARNING (D-PjBL)		36
a.	Persiapan.....	36
b.	Perencanaan Tujuan Pembelajaran.....	37
c.	Perencanaan Aktivitas Mahasiswa Berdasarkan Sintaks 6D 37	
d.	Perencanaan Perangkat Pembelajaran	39
e.	Lingkungan Belajar dan Pengelolaan Kelas.....	39
f.	Pelaksanaan Evaluasi.....	40
g.	Panduan Teknis Penggunaan Platform Digital	42
a)	Platform Kolaborasi.....	42
b)	Platform Pembuatan Produk Digital	42
c)	Platform Presentasi dan Publikasi.....	43
	Poster Digital — Sistem Saraf Hewan	44
	Video Edukasi — Sistem Endokrin Hewan.....	44
	Diseminasi dan Bukti Publikasi.....	44
BAB V. PENUTUP.....		45
A.	Simpulan.....	45
B.	Rekomendasi Penggunaan Model	45
C.	Batasan Penggunaan Model	46
D.	Harapan Pengembangan	46
DAFTAR PUSTAKA.....		47
LAMPIRAN		49

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Pengembangan Model

Pendidikan tinggi abad ke-21 menuntut mahasiswa tidak hanya menguasai pengetahuan, tetapi juga keterampilan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif. Hal ini sejalan dengan pandangan Trilling dan Fadel (2009) yang menyatakan bahwa kompetensi abad 21 meliputi *4Cs*: critical thinking, creativity, collaboration, dan communication. Mahasiswa calon guru biologi dituntut menguasai keterampilan ini agar mampu menghadapi tantangan global sekaligus menjadi tenaga pendidik yang adaptif.

Namun kenyataannya, praktik pembelajaran di perguruan tinggi masih cenderung teacher-centered, dengan dominasi ceramah dan transfer pengetahuan. Hasil penelitian Tondeur et al. (2017) menunjukkan bahwa mahasiswa pendidikan calon guru sering kali mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan teori ke dalam praktik nyata karena kurangnya pengalaman belajar berbasis proyek. Kondisi ini berdampak pada dangkalnya pemahaman konsep serta lemahnya keterampilan pemecahan masalah.

Model *Project-Based Learning* (PjBL) dikenal efektif untuk mendorong keterampilan abad 21 karena menuntut mahasiswa aktif menyelidiki masalah dan menghasilkan produk nyata (Thomas, 2000). Namun implementasi PjBL klasik sering menghadapi kendala, misalnya keterbatasan integrasi teknologi digital (Ertmer & Ottenbreit-Leftwich, 2013), minimnya budaya refleksi, serta produk mahasiswa yang kurang terdokumentasi dengan baik.

Era digital menghadirkan peluang untuk mengatasi kendala tersebut. Menurut Redecker (2017), teknologi digital dapat memperkuat proses pembelajaran melalui akses sumber belajar yang luas, kolaborasi daring, serta pengembangan produk berbasis multimedia. Akan tetapi, hasil pra-penelitian penulis menunjukkan bahwa mahasiswa cenderung menggunakan teknologi hanya untuk presentasi sederhana atau laporan, belum sampai pada penciptaan produk digital yang inovatif.

Berdasarkan kondisi tersebut, Model Digital Project-Based Learning (D-PjBL) dikembangkan sebagai sistem pembelajaran berbasis proyek yang menempatkan teknologi sebagai Digital Core Ecosystem. Teknologi tidak hanya digunakan untuk membuat produk, tetapi diintegrasikan sejak eksplorasi masalah, kolaborasi, perancangan, pengembangan, presentasi, refleksi, hingga diseminasi. Model dioperasikan melalui sintaks Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, dan Disseminate (6D) untuk meningkatkan Conceptual Understanding (CU) serta memfasilitasi ketercapaian Problem Solving Skill (PSS) mahasiswa calon guru Biologi.

B. Definisi Model Pembelajaran

Joyce dan Weil (2014) mendefinisikan model pembelajaran sebagai rencana atau pola yang dapat digunakan untuk membentuk kurikulum, merancang bahan ajar, serta membimbing pembelajaran di kelas. Arends (2012) menegaskan bahwa model

pembelajaran merupakan pola instruksional komprehensif yang tidak hanya mengatur metode, tetapi juga mencakup landasan teori, tujuan, serta struktur sosial pembelajaran.

Penting untuk membedakan model dengan metode dan strategi. Metode mengacu pada cara spesifik dalam mengajar, misalnya ceramah, diskusi, atau simulasi. Strategi lebih luas, yaitu pendekatan umum untuk mencapai tujuan, misalnya student-centered learning. Model, sebagaimana dikemukakan Joyce, Weil, dan Calhoun (2014), lebih menyeluruh karena memuat rasional teoritis, sintaks, sistem sosial, serta dampak instruksional.

Dengan demikian, posisi D-PjBL jelas termasuk kategori model, karena memiliki fondasi filosofis konstruktivisme, langkah sintaks yang sistematis, serta sistem sosial berbasis kolaborasi digital. Model ini tidak sekadar memodifikasi metode, melainkan menghadirkan kerangka konseptual baru yang memperkuat PjBL klasik melalui integrasi teknologi digital.

Perbedaan utama D-PjBL tidak semata-mata terletak pada bentuk produk digital, tetapi pada fungsi teknologi sebagai ekosistem kognitif dan sosial selama seluruh sintaks 6D. Dalam implementasi penelitian, mahasiswa menghasilkan poster digital pada Sistem Saraf dan video edukasi pada Sistem Endokrin. Kedua produk menjadi representasi pemahaman konsep dan solusi terhadap masalah autentik, sedangkan platform digital digunakan untuk pencarian informasi, kerja kolaboratif, umpan balik, revisi, dokumentasi, dan diseminasi.

Dengan kerangka tersebut, D-PjBL berkedudukan sebagai model pembelajaran karena memiliki landasan pengembangan, orientasi tujuan, sintaks 6D, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, Digital Core Ecosystem, asesmen autentik, dampak instruksional, dan dampak pengiring yang saling terhubung sebagai satu sistem.

C. Urgensi Pengembangan Model Baru

Joyce dan Weil (2014) menekankan bahwa model pembelajaran bersifat dinamis dan dapat dimodifikasi sesuai perkembangan kebutuhan. Inovasi model diperlukan ketika kondisi pembelajaran di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan antara teori dan praktik. Hasil pra-penelitian yang dilakukan penulis menemukan bahwa mahasiswa masih mengalami kesulitan memahami konsep abstrak dan belum terbiasa menghasilkan produk digital sebagai bentuk solusi atas masalah nyata.

Secara pedagogis, mahasiswa calon guru memerlukan model yang membantu memahami konsep, sekaligus membantu mempraktikkan keterampilan pemecahan masalah. Penelitian oleh Krajcik dan Blumenfeld (2006) menunjukkan bahwa model PjBL efektif meningkatkan conceptual understanding jika disertai aktivitas investigasi dan refleksi. Namun, kelemahan umum model PjBL klasik adalah kurangnya arahan eksplisit dalam pemanfaatan teknologi.

Secara teknologi, Redecker (2017) menegaskan bahwa digitalisasi dapat memperkuat praktik belajar berbasis proyek, mulai dari pengumpulan data, kolaborasi virtual, hingga publikasi hasil belajar. Oleh karena itu, tanpa integrasi digital yang sistematis, potensi penuh model PjBL belumlah optimal.

Secara kontekstual, mahasiswa calon guru harus disiapkan menghadapi pembelajaran abad 21 yang sarat teknologi. Penelitian oleh Tondeur et al. (2017) menekankan pentingnya pengalaman langsung mahasiswa dalam merancang media digital, karena pengalaman itu menentukan kesiapan mereka menjadi guru yang inovatif.

Dengan latar ini, urgensi pengembangan model D-PjBL menjadi nyata. Model ini dibutuhkan untuk mengatasi kesenjangan antara kebutuhan (Conceptual Understanding (CU) dan Problem Solving Skill (PSS)) dan praktik pembelajaran yang masih tradisional.

D. Tujuan Pengembangan Model D-PjBL

Pengembangan model D-PjBL bertujuan memberikan kontribusi teoritis dan praktis dalam dunia pendidikan. Tujuan utamanya adalah menghasilkan model pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi dengan teknologi digital, sehingga mahasiswa mampu belajar secara lebih aktif, kolaboratif, dan kontekstual.

Secara khusus, ada beberapa tujuan yang ingin dicapai. Pertama, membantu mahasiswa membangun pemahaman konsep yang lebih mendalam melalui investigasi dan desain proyek digital (Krajcik & Blumenfeld, 2006). Kedua, melatih keterampilan pemecahan masalah mahasiswa melalui kegiatan proyek autentik yang membutuhkan analisis, sintesis, dan evaluasi (Hmelo-Silver, 2004).

Ketiga, memberikan panduan praktis bagi dosen/guru untuk melaksanakan pembelajaran proyek berbasis digital. Model ini dilengkapi dengan perangkat pembelajaran seperti RPS, LKM, instrumen penilaian, dan rubrik sehingga dosen tidak hanya memiliki kerangka konseptual tetapi juga pedoman implementatif.

Keempat, memperkaya literatur pendidikan dengan model baru yang mengintegrasikan PjBL dengan teknologi digital. Hal ini menjadi kontribusi penting karena penelitian sebelumnya masih terbatas pada implementasi PjBL konvensional atau integrasi digital parsial.

Kelima, menghasilkan produk-produk pembelajaran digital inovatif yang dapat dijadikan contoh praktik baik bagi mahasiswa maupun dosen lain. Produk ini sekaligus menjadi bukti nyata bahwa pembelajaran dapat menghasilkan karya yang bermanfaat di luar ruang kelas.

BAB 2. DASAR TEORI

A. Filosofi Pengembangan Model

a. Ontologi

Ontologi merupakan filsafat tentang hakikat keberadaan sesuatu, dalam konteks ini adalah keberadaan model pembelajaran sebagai sebuah realitas yang dapat dirancang, digunakan, dan dievaluasi. Menurut Joyce, Weil, & Calhoun (2014), model pembelajaran adalah pola atau rancangan konseptual yang digunakan untuk merancang kurikulum, mengatur materi pembelajaran, serta memberi panduan kepada dosen dan guru dalam mengajar. Dengan demikian, model pembelajaran tidak sekadar prosedur teknis, tetapi mengandung hakikat filosofis sebagai “kerangka berpikir” dalam mewujudkan proses pembelajaran yang bermakna.

Dalam konteks pengembangan model D-PjBL, ontologi menempatkan model ini sebagai inovasi yang menjembatani keterbatasan PjBL konvensional dengan kebutuhan pembelajaran abad 21 yang menuntut digitalisasi. Hakikat model D-PjBL adalah menyediakan pengalaman belajar berbasis proyek yang tidak hanya berorientasi pada produk fisik, tetapi juga produk digital yang relevan dengan konteks pendidikan sains di era teknologi (Redecker, 2017).

Lebih jauh, ontologi model ini juga berkaitan dengan pemahaman bahwa belajar bukanlah sekadar transfer pengetahuan, tetapi proses konstruksi makna melalui keterlibatan aktif mahasiswa dalam proyek. Pandangan ini sejalan dengan konstruktivisme Piaget dan Vygotsky, yang menekankan bahwa mahasiswa membangun pengetahuan melalui pengalaman langsung, interaksi sosial, dan refleksi (Hmelo-Silver, 2004).

Dengan kata lain, keberadaan model D-PjBL secara ontologis adalah sebagai bentuk representasi konkret dari upaya menjembatani konsep abstrak (teori pembelajaran) dengan realitas praktis (kebutuhan lapangan). Ontologi model ini mengafirmasi bahwa pembelajaran yang bermakna harus berbasis aktivitas, digitalisasi, dan penyelesaian masalah nyata.

b. Epistemologi

Epistemologi menyoroti cara pengetahuan dibangun, dikonstruksi, dan divalidasi dalam konteks pembelajaran. Dalam pengembangan model D-PjBL, epistemologi mengacu pada bagaimana mahasiswa memperoleh pengetahuan sains melalui siklus proyek digital yang mencakup eksplorasi masalah, perencanaan, pengembangan, hingga refleksi dan publikasi.

Menurut Arends (2012), model pembelajaran mengatur alur interaksi dosen-mahasiswa sehingga pengetahuan dapat diperoleh melalui aktivitas yang terstruktur. Dengan model D-PjBL, mahasiswa tidak hanya menerima informasi, tetapi juga membangun pengetahuan melalui kegiatan investigatif, kolaboratif, dan

reflektif. Hal ini selaras dengan epistemologi konstruktivisme sosial Vygotsky, yang menekankan pentingnya interaksi sosial dan penggunaan alat (tools), termasuk teknologi digital, dalam pembentukan pengetahuan (Tondeur et al., 2017).

Epistemologi model ini juga dikuatkan oleh pendekatan problem solving dalam sains, di mana mahasiswa belajar dengan cara mengidentifikasi masalah, mengembangkan hipotesis, dan menguji solusi. Melalui proyek digital, mahasiswa memperoleh kesempatan untuk mengintegrasikan teori dengan praktik sehingga menghasilkan pemahaman konseptual yang lebih mendalam (Krajcik & Blumenfeld, 2006).

Dengan demikian, epistemologi model D-PjBL bukan sekadar memindahkan metode PjBL ke ranah digital, melainkan mengubah cara mahasiswa membangun pengetahuan dengan memanfaatkan lingkungan digital sebagai medium untuk eksplorasi, kolaborasi, dan validasi ilmiah.

c. Aksiologi

Aksiologi menekankan nilai dan manfaat suatu model pembelajaran bagi peserta didik, dosen, dan masyarakat. Model D-PjBL secara aksiologis memiliki kontribusi dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, serta literasi digital mahasiswa calon guru. Nilai ini sejalan dengan tuntutan keterampilan abad 21 (Trilling & Fadel, 2009).

Dalam konteks calon guru biologi, aksiologi model D-PjBL adalah mempersiapkan mereka tidak hanya menguasai konten sains, tetapi juga mampu mengintegrasikan teknologi dalam praktik mengajar. Dengan demikian, manfaat model ini berlapis: (1) meningkatkan pemahaman konsep, (2) melatih keterampilan pemecahan masalah, dan (3) membekali calon guru dengan kompetensi digital untuk menghadapi tantangan pembelajaran masa depan (Ertmer & Ottenbreit-Leftwich, 2013).

Selain itu, nilai praktis model ini juga terlihat dalam produk digital yang dihasilkan mahasiswa, seperti poster digital Sistem Saraf dan video pembelajaran Sistem Endokrin. Produk ini tidak hanya berguna untuk mahasiswa itu sendiri, tetapi juga dapat dimanfaatkan dalam praktik mengajar mereka kelak. Dengan demikian, aksiologi model D-PjBL berimplikasi pada terciptanya efek ganda: peningkatan kompetensi individu sekaligus kontribusi nyata bagi komunitas belajar.

Akhirnya, secara aksiologis, model D-PjBL mendukung tujuan pendidikan nasional untuk mencetak generasi yang adaptif, inovatif, dan siap menghadapi tantangan abad 21.

B. Landasan Model

Pengembangan model D-PjBL memiliki dua landasan utama: teoretis dan empiris. Secara teoretis, model ini berakar pada Teori Piaget memberikan landasan kognitif tentang pentingnya konflik kognitif dan konstruksi pengetahuan individu, Teori Konstruktivisme Sosial Vygotsky memperkuat aspek sosial melalui scaffolding, ZPD, dan interaksi kelompok, Teori Experiential Learning Kolb menambahkan pentingnya siklus pengalaman belajar. Rogers menegaskan kebebasan, aktualisasi diri, dan pembelajaran bermakna. Kerangka TPACK Mishra & Koehler, menjelaskan integrasi konten, pedagogi, dan teknologi yang menjadi ciri utama model digital. Teori Model of Teaching Joyce & Weil menegaskan bahwa model pembelajaran harus berbasis kerangka konseptual dengan sintaks yang jelas. Mayer memberikan dasar kognitif penggunaan multimedia dalam produk digital. Polya serta Bransford & Stein menjadikan problem solving sebagai kerangka berpikir yang menstrukturkan langkah-langkah sintaks. Teori ini memberi kerangka tentang bagaimana model dapat dirancang, termasuk aspek sintaks, sistem sosial, prinsip reaksi, serta sistem pendukung.

Secara empiris, pengembangan model D-PjBL didasari hasil pra-penelitian terhadap guru biologi SMA dan mahasiswa PPG yang menunjukkan adanya kesulitan dalam memahami materi kompleks, keterbatasan dalam mengintegrasikan teknologi, serta kebutuhan model pembelajaran yang lebih aplikatif. Analisis gap ini menjadi dasar munculnya sintaks 6D sebagai penyempurnaan dari model PjBL umum.

Prinsip pengembangan model ini adalah integrasi literatur dan kebutuhan lapangan. Literasi akademik memberi validasi teoretik, sementara temuan lapangan memastikan model relevan dan fungsional. Dengan demikian, model ini tidak hanya sah secara akademis, tetapi juga kontekstual sesuai kebutuhan mahasiswa calon guru.

Filosofi sintaks 6D lahir dari adaptasi model PjBL konvensional, analisis gap lapangan, serta prinsip Models of Teaching. Setiap tahap 6D (*Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, Disseminate*) dirancang untuk menjawab masalah spesifik yang ditemukan pada pra-penelitian: mulai dari kesulitan framing masalah, lemahnya perencanaan, kurangnya refleksi, hingga kebutuhan publikasi produk.

a. Teori Belajar Kognitif Piaget

Piaget memandang belajar sebagai proses aktif membangun pengetahuan melalui asimilasi, akomodasi, dan equilibration (Piaget, 1972). Proses ini menegaskan bahwa mahasiswa calon guru Biologi tidak cukup menerima informasi, melainkan harus mengalami konflik kognitif yang mendorong mereka menyesuaikan skema pengetahuan. Prinsip ini melahirkan pentingnya tahap *Define*, di mana mahasiswa menemukan masalah nyata yang dapat memicu konflik kognitif sebagai awal proses belajar.

Tahap perkembangan kognitif menurut Piaget menunjukkan bahwa mahasiswa pada tingkat perguruan tinggi telah mencapai tahap operasional formal, dengan kemampuan berpikir abstrak dan hipotetis (Piaget, 1952). Kemampuan ini menjadi landasan munculnya tahap Design, karena mahasiswa mampu merancang solusi proyek secara sistematis dengan berpikir reflektif dan logis.

Konsep disequilibrium dalam teori Piaget juga mendasari perlunya tahap Develop. Ketika mahasiswa menghadapi tantangan dalam mengembangkan produk digital, mereka dipaksa menyeimbangkan kembali pengetahuan lama dengan pengetahuan baru. Proses akomodasi ini terjadi melalui kegiatan pengembangan proyek yang nyata.

Dalam kerangka Piaget, pembelajaran bermakna harus memberi ruang eksplorasi aktif. Oleh karena itu, setelah produk dikembangkan, mahasiswa perlu menunjukkan pemahamannya melalui tahap Demonstrate. Aktivitas demonstrasi menegaskan bahwa pengetahuan telah benar-benar dibangun, bukan sekadar dihafal.

Akhirnya, teori Piaget menekankan pentingnya refleksi dalam pencapaian keseimbangan kognitif baru. Inilah dasar munculnya tahap Debrief, di mana mahasiswa merefleksikan proses asimilasi-akomodasi. Tahap refleksi ini memperkuat pemahaman konseptual mereka dan menjadi pijakan bagi tahap akhir, Disseminate, agar pengetahuan yang telah matang dapat dibagikan kepada orang lain.

b. Teori Konstruktivisme Sosial Vygotsky

Vygotsky (1978) menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui interaksi sosial, dengan konsep kunci Zone of Proximal Development (ZPD). Mahasiswa belajar efektif ketika menghadapi tantangan yang berada dalam ZPD mereka. Prinsip ini mengilhami tahap Define, karena masalah yang dipilih harus cukup menantang tetapi masih dapat dicapai melalui bimbingan dan kolaborasi.

Konsep scaffolding (Wood, Bruner, & Ross, 1976) menegaskan bahwa dukungan sementara diperlukan saat mahasiswa mulai merancang solusi. Inilah yang mendasari tahap Design, di mana dosen memberikan arahan awal dan mahasiswa menyusun rancangan proyek dengan bantuan kelompoknya.

Pembelajaran kolaboratif dalam teori Vygotsky memberikan dasar bagi tahap Develop. Mahasiswa bekerja sama, saling melengkapi dalam kelompok, dan memanfaatkan bahasa sebagai alat berpikir untuk mengembangkan produk digital. Interaksi sosial inilah yang menjadikan proses pengembangan lebih bermakna.

Teori Vygotsky juga menekankan pentingnya social mediation melalui diskusi dan presentasi. Oleh karena itu, setelah proyek selesai, mahasiswa perlu memasuki tahap *Demonstrate*, yakni mempresentasikan produk kepada audiens untuk

memperoleh tanggapan. Tahap ini sekaligus memperluas interaksi sosial yang menjadi inti konstruktivisme sosial.

Akhirnya, refleksi bersama dalam kelompok mendasari lahirnya tahap *Debrief*, di mana mahasiswa saling bertukar pengalaman dan memperkuat pemahaman. Hasil refleksi tersebut kemudian dikomunikasikan ke masyarakat luas melalui tahap *Disseminate*, selaras dengan pandangan Vygotsky bahwa pengetahuan bersifat sosial dan harus dibagikan.

c. Teori Experiential Learning Kolb

Kolb (1984) menegaskan bahwa belajar adalah proses transformasi pengalaman melalui siklus: pengalaman konkret, refleksi, konseptualisasi abstrak, dan eksperimen aktif. Tahap pertama, pengalaman konkret, mendasari tahap *Define*, di mana mahasiswa terlibat langsung dalam situasi nyata dan mengenali masalah yang akan dijadikan dasar proyek.

Refleksi atas pengalaman konkret menjadi dasar bagi tahap *Design*. Mahasiswa merenungkan pengalaman mereka, mengidentifikasi kebutuhan, lalu merancang solusi yang sesuai. Proses refleksi ini memungkinkan mereka menghubungkan pengalaman dengan teori.

Tahap konseptualisasi abstrak dalam teori Kolb mendukung fase *Develop*, di mana mahasiswa mengubah ide-ide menjadi konsep yang terstruktur dalam bentuk produk digital. Proses ini melibatkan pengujian teori melalui aplikasi nyata.

Selanjutnya, eksperimen aktif dalam siklus Kolb memberikan dasar untuk tahap *Demonstrate*, di mana mahasiswa menguji produk mereka melalui presentasi atau uji coba kepada audiens. Proses ini memungkinkan mahasiswa melihat bagaimana ide mereka berfungsi dalam praktik nyata.

Akhirnya, siklus belajar Kolb menuntut refleksi berkelanjutan. Hal ini mendasari tahap *Debrief* untuk meninjau pengalaman, serta tahap *Disseminate* untuk membagikan hasil belajar kepada komunitas. Dengan demikian, keseluruhan sintaks 6D selaras dengan siklus experiential learning.

d. Teori Humanistik Rogers

Carl Rogers (1983) menekankan bahwa pembelajaran yang bermakna terjadi ketika mahasiswa terlibat secara personal dan diberi kebebasan untuk mengeksplorasi minatnya. Prinsip ini mendukung tahap *Define*, karena mahasiswa diberikan ruang untuk memilih masalah yang sesuai dengan minat dan kebutuhan mereka. Dalam kerangka humanistik, kebebasan merancang jalannya belajar mendasari tahap *Design*. Mahasiswa diberi tanggung jawab penuh untuk merancang proyek sesuai kreativitas, sementara dosen berperan sebagai fasilitator yang mendukung iklim belajar positif.

Tahap *Develop* lahir dari gagasan Rogers bahwa belajar harus memberi peluang aktualisasi diri. Mahasiswa diberi kebebasan untuk mengembangkan produk digital sesuai dengan potensi mereka, sehingga proyek yang dihasilkan menjadi cerminan identitas dan minat pribadi.

Teori humanistik juga menekankan pentingnya ekspresi diri. Oleh karena itu, tahap *Demonstrate* memberi ruang mahasiswa untuk mengekspresikan hasil karyanya di depan orang lain, sehingga mereka memperoleh kepuasan personal dan penghargaan sosial.

Akhirnya, refleksi dan diseminasi produk selaras dengan nilai humanistik. Tahap *Debrief* memperkuat kesadaran diri mahasiswa tentang makna pengalaman belajar, sedangkan tahap *Disseminate* memungkinkan mereka berkontribusi kepada masyarakat dengan membagikan hasil karya yang bermanfaat.

e. Teori Model of Teaching (Joyce & Weil)

Joyce, Weil, dan Calhoun (2015) menjelaskan bahwa model pembelajaran merupakan kerangka konseptual yang sistematis untuk merancang kurikulum, bahan ajar, dan strategi pembelajaran. Model pembelajaran bukan sekadar metode, tetapi pola konseptual yang dapat digunakan untuk mengorganisasi pengalaman belajar. Dengan pandangan ini, pengembangan Digital Project-Based Learning (D-PjBL) dapat dipahami sebagai model yang memiliki landasan teoritis, sintaks tertentu, sistem sosial, serta dampak instruksional dan pengiring.

Menurut Joyce et al. (2015), model pembelajaran dibangun berdasarkan teori belajar tertentu yang melandasi pola hubungan antar unsur di dalamnya. Oleh karena itu, sintaks 6D dalam D-PjBL merupakan implementasi nyata dari prinsip bahwa model pembelajaran harus memiliki langkah-langkah sistematis. Define dan Design mewakili perencanaan awal yang logis; Develop dan Demonstrate menekankan implementasi proyek; sementara Debrief dan Disseminate mencerminkan refleksi dan penguatan dampak pengiring.

Dalam kerangka ini, dosen diposisikan sebagai fasilitator yang mengarahkan proses sesuai sintaks model, sedangkan mahasiswa sebagai subjek aktif yang mengembangkan pengetahuan. Hal ini menegaskan bahwa model D-PjBL tidak hanya sebuah strategi, tetapi struktur konseptual yang memiliki daya jelajah lebih luas dalam pembelajaran Biologi.

Landasan teori model pembelajaran juga menekankan pentingnya sistem sosial yang terbangun di kelas. Dalam model D-PjBL, interaksi kolaboratif antar mahasiswa serta hubungan mahasiswa-dosen merupakan bagian integral yang membentuk dinamika sosial sesuai prinsip Joyce & Weil.

Dengan demikian, teori Model of Teaching memperkuat argumentasi bahwa sintaks 6D dalam D-PjBL bukan langkah acak, melainkan struktur konseptual

yang lahir dari integrasi teori belajar, kebutuhan pembelajaran, dan peran sosial dalam pendidikan.

f. Teori *Multimedia Learning* (Mayer)

Mayer (2009) melalui teori *Multimedia Learning* menyatakan bahwa pembelajaran akan lebih efektif jika informasi disajikan melalui kombinasi teks, gambar, suara, dan animasi. Prinsip utama teori ini adalah dual channel processing, di mana manusia memproses informasi melalui saluran visual-piktorial dan saluran verbal-auditorial. Oleh karena itu, penggunaan multimedia dapat meningkatkan kapasitas pemahaman peserta didik.

Dalam model D-PjBL, teori ini mendasari tahap Develop, karena mahasiswa mengintegrasikan konten Biologi ke dalam produk digital berbasis multimedia. Misalnya, membuat poster digital tentang sistem saraf atau video pembelajaran tentang mekanisme hormonal pada sistem endokrin. Produk multimedia ini membantu mahasiswa maupun audiens memahami konsep abstrak secara lebih mudah.

Prinsip multimedia principle (kombinasi teks dan gambar lebih efektif daripada teks saja) serta modality principle (penjelasan verbal lebih efektif disajikan secara audio daripada teks tertulis) (Mayer, 2009) memberi arah pada tahap *Design*. Mahasiswa perlu mempertimbangkan prinsip kognitif dalam merancang proyek multimedia agar sesuai dengan cara kerja memori manusia.

Tahap *Demonstrate* dan *Disseminate* juga sangat terkait dengan teori Mayer, karena mahasiswa mempresentasikan produk digital mereka menggunakan media visual-auditori. Dengan demikian, penyampaian hasil proyek tidak hanya akurat secara konten, tetapi juga efektif secara kognitif.

Dengan landasan ini, teori *Multimedia Learning* memperkuat model D-PjBL sebagai model yang relevan dengan tuntutan era digital, di mana keterampilan mengolah dan menyajikan informasi dalam bentuk multimedia menjadi kompetensi penting bagi calon guru.

g. Teori Pemecahan Masalah (*Problem Solving*)

Polya (1973) dalam karyanya *How to Solve It* menyatakan bahwa pemecahan masalah terdiri dari empat langkah utama: (1) memahami masalah, (2) merencanakan strategi, (3) melaksanakan rencana, dan (4) mengevaluasi hasil. Langkah-langkah ini secara langsung paralel dengan sintaks model D-PjBL: *Define* (memahami masalah), *Design* (merencanakan), *Develop* (melaksanakan), dan *Debrief* (mengevaluasi).

Bransford & Stein (1993) menambahkan konsep IDEAL problem solver (*Identify, Define, Explore, Act, Look back*), yang sejalan dengan prinsip PjBL. Mahasiswa calon guru Biologi diajak untuk mengidentifikasi masalah nyata, mengeksplorasi solusi digital, melaksanakan tindakan melalui proyek, dan

merefleksikan hasil. Dengan demikian, teori pemecahan masalah menjadi landasan langsung bagi struktur sintaks model D-PjBL.

Tahap *Demonstrate* dan *Disseminate* dalam D-PjBL juga selaras dengan prinsip problem solving. Hasil pemecahan masalah tidak berhenti pada individu atau kelompok, melainkan perlu diuji, dipresentasikan, dan dibagikan agar dapat memberikan manfaat lebih luas.

Landasan *problem solving* sangat relevan dengan pembelajaran Biologi, karena konsep yang kompleks (misalnya interaksi sistem saraf-endokrin) menuntut mahasiswa tidak hanya menghafal, tetapi menganalisis masalah nyata, merancang solusi, dan mengkomunikasikan hasil secara ilmiah.

Dengan demikian, teori pemecahan masalah menegaskan bahwa model D-PjBL merupakan model yang berorientasi pada keterampilan berpikir kritis, analitis, dan reflektif, yang sangat diperlukan bagi calon guru Biologi di abad ke-21.

h. Kerangka TPACK

Kerangka TPACK (Mishra & Koehler, 2006) menegaskan bahwa pembelajaran abad ke-21 menuntut integrasi konten (CK), pedagogi (PK), dan teknologi (TK). Integrasi ini mendasari setiap tahap dalam sintaks 6D. Pada tahap *Define*, mahasiswa menggunakan teknologi digital untuk mengidentifikasi masalah pembelajaran Biologi yang relevan.

Pada tahap *Design*, TPACK menuntut mahasiswa memadukan konten Biologi dengan strategi model PjBL dan pemilihan teknologi yang tepat. Perencanaan proyek menjadi kesempatan mahasiswa untuk berlatih merancang pembelajaran yang selaras dengan kebutuhan zaman.

Tahap *Develop* mengharuskan mahasiswa menggunakan teknologi sebagai sarana produksi sekaligus integrasi konten Biologi. Produk digital yang dihasilkan merupakan wujud nyata implementasi TPACK.

Pada tahap *Demonstrate*, mahasiswa mengkomunikasikan produk melalui teknologi presentasi, konferensi daring, atau media digital lain, yang mencerminkan integrasi PK, CK, dan TK.

Tahap *Debrief* dan *Disseminate* memperkuat dimensi TPACK, karena mahasiswa melakukan refleksi berbasis teknologi (misalnya e-portfolio) dan menyebarkan hasil karya melalui media digital. Dengan demikian, TPACK menjadi kerangka teoretis yang menjelaskan bagaimana sintaks 6D dapat berjalan efektif.

Tabel 2.1 Hubungan Teori Belajar dan Pendukung dengan Sintaks 6D Model D-PjBL

Teori	Pokok Gagasan Teori	Sintaks 6D yang Didukung	Keterangan
Piaget (Teori Kognitif)	Belajar melalui <i>asimilasi</i> , <i>akomodasi</i> , dan <i>equilibration</i> (Piaget, 1972).	<i>Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, Disseminate</i>	Menjelaskan konflik kognitif saat <i>Define</i> , berpikir abstrak saat <i>Design</i> , akomodasi saat <i>Develop</i> , pembuktian saat <i>Demonstrate</i> , refleksi saat <i>Debrief</i> , dan berbagi hasil saat <i>Disseminate</i> .
Vygotsky (Konstruktivisme Sosial)	Pengetahuan dibangun melalui interaksi sosial; konsep ZPD dan <i>scaffolding</i> (Vygotsky, 1978).	<i>Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, Disseminate</i>	Masalah dipilih sesuai ZPD, desain proyek dengan scaffolding, pengembangan lewat kolaborasi, presentasi sebagai mediasi sosial, refleksi kelompok, serta diseminasi hasil ke masyarakat.
Kolb (Experiential Learning)	Siklus pengalaman konkret, refleksi, konseptualisasi, eksperimen aktif (Kolb, 1984).	<i>Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, Disseminate</i>	<i>Define</i> = pengalaman konkret; <i>Design</i> = refleksi pengalaman; <i>Develop</i> = konseptualisasi; <i>Demonstrate</i> = eksperimen aktif; <i>Debrief</i> = refleksi; <i>Disseminate</i> = berbagi pengalaman belajar.
Rogers (Humanistik)	Belajar bermakna, kebebasan, aktualisasi diri, dan ekspresi personal (Rogers, 1983).	<i>Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, Disseminate</i>	Mahasiswa memilih masalah sesuai minat (<i>Define</i>), merancang proyek kreatif (<i>Design</i>), mengembangkan produk sebagai aktualisasi diri (<i>Develop</i>), mengekspresikan hasil (<i>Demonstrate</i>), refleksi personal (<i>Debrief</i>), berbagi karya (<i>Disseminate</i>).

TPACK (Mishra & Koehler)	Integrasi konten (CK), pedagogi (PK), teknologi (TK) (Mishra & Koehler, 2006).	<i>Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, Disseminate</i>	Teknologi membantu <i>Define</i> , integrasi CK-PK-TK di <i>Design</i> , produksi digital di <i>Develop</i> , komunikasi dengan media digital di <i>Demonstrate</i> , refleksi berbasis teknologi di <i>Debrief</i> , dan penyebaran online di <i>Disseminate</i> .
Model of Teaching (Joyce & Weil)	Model pembelajaran adalah pola konseptual untuk merancang kurikulum, bahan ajar, dan pembelajaran (Joyce et al., 2015).	<i>Define, Design, Develop, Demonstrate</i>	Menjadi dasar konseptual bagi struktur model D-PjBL. <i>Define & Design</i> mengikuti prinsip desain model; <i>Develop</i> fokus produk sebagai outcome; <i>Demonstrate</i> memastikan efektivitas model.
Multimedia Learning (Mayer)	Belajar lebih efektif dengan kombinasi teks, gambar, animasi, audio; <i>dual channel processing</i> (Mayer, 2009).	<i>Develop, Demonstrate, Disseminate</i>	Menjadi dasar pengembangan produk digital (<i>Develop</i>), presentasi hasil dengan multimedia (<i>Demonstrate</i>), dan penyebaran digital (<i>Disseminate</i>).
Pemecahan Masalah (Polya; Bransford & Stein)	Langkah pemecahan masalah: memahami masalah, merencanakan, melaksanakan, dan mengevaluasi (Polya, 1973).	<i>Define, Design, Develop, Debrief</i>	<i>Define</i> = memahami masalah; <i>Design</i> = menyusun rencana solusi; <i>Develop</i> = melaksanakan; <i>Debrief</i> = mengevaluasi. Sintaks D-PjBL paralel dengan langkah problem solving.

Berdasarkan dasar-dasar teori tersebut, menunjukkan bahwa sintaks 6D (*Define – Design – Develop – Demonstrate – Debrief – Disseminate*) merupakan hasil sintesis dari berbagai teori pendidikan dan pembelajaran. Dengan demikian, sintaks 6D bukanlah susunan acak, melainkan hasil sintesis teoritis yang kokoh, memiliki landasan teoretis yang kaya dan integratif, sehingga layak dijadikan model pembelajaran inovatif bagi calon guru Biologi.

- *Define* (berakar pada Piaget, Kolb, Problem Solving),
- *Design* (Vygotsky, Rogers, TPACK, Mayer),
- *Develop* (Piaget, Kolb, TPACK, Mayer),
- *Demonstrate* (Vygotsky, Joyce & Weil, Mayer),
- *Debrief* (Piaget, Kolb, Problem Solving, Rogers),
- *Disseminate* (Vygotsky, TPACK, Rogers, Mayer).

BAB III. MODEL Digital Project Based Learning (D-PjBL)

A. Pengembangan Model

Langkah-langkah pengembangan model D-PjBL berikut ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai proses dikembangkannya model, mulai dari identifikasi masalah pembelajaran hingga penyusunan manual book yang dapat digunakan sebagai panduan implementasi.

Langkah 1: Studi Pendahuluan dan Analisis Kebutuhan

Pengembangan model pembelajaran perlu didasarkan pada analisis kebutuhan dan kajian literatur yang kuat agar model yang dihasilkan tidak hanya relevan dengan kondisi lapangan, tetapi juga memiliki landasan ilmiah yang sah. Hasil studi pendahuluan yang melibatkan mahasiswa calon guru Biologi, guru Biologi SMA, dan forum MGMP Biologi menunjukkan adanya kesenjangan (*gap*) antara kondisi aktual pembelajaran dengan tuntutan ideal abad ke-21.

Untuk memperkuat analisis ini, dilakukan telaah terhadap sejumlah artikel ilmiah bereputasi (terindeks Scopus) dalam 10 tahun terakhir yang membahas implementasi model *Project-Based Learning (PjBL)* dan variannya dalam pembelajaran IPA/Biologi. Artikel-artikel tersebut memperlihatkan temuan penting terkait keberhasilan PjBL, sekaligus kelemahan atau keterbatasannya dalam penerapan di lapangan. Dari hasil kajian pustaka ini kemudian dilakukan analisis gap yang menjadi dasar lahirnya rancangan model hipotetik Digital Project-Based Learning (D-PjBL). Ringkasan hasil kajian, analisis gap, serta solusi yang ditawarkan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Analisis Gap Kebutuhan Pengembangan Model D-PjBL

Judul Artikel & Link	Hasil Kajian	Analisis Gap	Solusi yang Ditawarkan (Rancangan Model Hipotetik)
Wahyuni, R. et al. (2025). <i>Project-based learning (PjBL) green pedagogy E-module in improving creative thinking and digital literacy</i> . Link	PjBL berbantuan <i>e-module</i> meningkatkan kreativitas & literasi digital mahasiswa.	Mahasiswa calon guru Biologi di Indonesia masih menunjukkan literasi digital yang terbatas & produk proyek sederhana.	D-PjBL dirancang untuk mengintegrasikan proyek digital (video, animasi, e-modul) agar mahasiswa terbiasa berinovasi dengan teknologi.

Savitri, I. R., & Susanti, R. (2024). <i>Learning ecosystem material with PjBL to improve science process skills and creativity</i> . Link	PjBL pada materi ekosistem meningkatkan keterampilan proses sains & kreativitas siswa.	PjBL efektif meningkatkan kreativitas, tapi implementasi masih terbatas pada level sekolah tanpa dukungan digital penuh.	D-PjBL memperluas PjBL konvensional menjadi berbasis digital sehingga hasil proyek lebih kreatif, autentik, dan bisa diseminasi luas.
Sadikin, A. et al. (2024). <i>Improving teaching quality: Development of the PjBL microteaching model for prospective biology teachers</i> . Link	Model microteaching berbasis PjBL efektif meningkatkan kualitas pengajaran calon guru Biologi.	PjBL masih fokus pada aspek pedagogi, belum optimal mengintegrasikan aspek digital (TPACK).	D-PjBL mengintegrasikan TPACK ke dalam microteaching berbasis proyek, sehingga calon guru terlatih dalam penguasaan konten, pedagogi, dan teknologi.
Istiqomah, N. et al. (2022). <i>Implementation of PjBL integrated practicum on critical thinking skills</i> . Link	PjBL terintegrasi praktikum efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis mahasiswa.	PjBL meningkatkan <i>critical thinking</i> , tapi jarang dikombinasikan dengan teknologi digital dalam pengembangan produk.	D-PjBL menggabungkan PjBL dan teknologi digital untuk memperkuat keterampilan berpikir kritis sekaligus melahirkan produk digital inovatif.
Simbolon, R., & Koeswanti, H. D. (2020). <i>Comparison of PjBL and Problem-Based Learning to determine learning outcomes and motivation</i> . Link	PjBL lebih unggul dibanding PBL dalam meningkatkan motivasi & hasil belajar siswa.	Motivasi siswa meningkat dengan PjBL, tetapi tidak semua guru siap menerapkannya, terutama terkait keterampilan digital.	D-PjBL memberikan panduan sintaks 6D yang lebih sistematis dan berbasis digital, agar guru lebih mudah mengimplementasikannya.
Rahmawati, I., Sudarmin, & Sumarni, W. (2022). <i>Development of a digital project-based learning model to support Merdeka Curriculum</i> . Link	Model PjBL digital mendukung Kurikulum Merdeka dan literasi digital siswa.	Belum banyak model PjBL digital teruji dan terdokumentasi sebagai pedoman implementasi.	D-PjBL hadir sebagai model hipotetik terstruktur (manual book) untuk mendukung kurikulum dan literasi digital calon guru Biologi.

Tabel 3.1 menunjukkan bahwa meskipun model PjBL telah terbukti efektif dalam meningkatkan kreativitas, keterampilan berpikir kritis, motivasi, dan hasil belajar (Wahyuni et al., 2025; Istiqomah et al., 2022; Simbolon & Koeswanti, 2020), implementasinya di lapangan masih menghadapi keterbatasan. Produk proyek yang dihasilkan mahasiswa atau siswa cenderung sederhana, integrasi teknologi digital masih minim, serta belum tersedia model yang terstruktur dan siap pakai bagi guru maupun calon guru.

Analisis gap tersebut menegaskan perlunya model pembelajaran baru yang lebih sesuai dengan tantangan era digital. Oleh karena itu, rancangan model hipotetik D-PjBL disusun untuk menjawab permasalahan tersebut melalui sintaks 6D yang menekankan pada: (1) pemilihan masalah autentik, (2) perencanaan proyek digital, (3) pengembangan produk berbasis teknologi, (4) demonstrasi hasil, (5) refleksi kritis, dan (6) diseminasi luas melalui platform digital. Dengan demikian, model D-PjBL diharapkan mampu menutup kesenjangan antara teori dan praktik, serta memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan kualitas pembelajaran Biologi di perguruan tinggi dan sekolah.

Langkah 2: Kajian Teoretis dan Sintesis Literatur

Tahap ini dilakukan dengan menelaah teori-teori pembelajaran yang relevan sebagai dasar konseptual pengembangan model. Teori kognitif (Piaget), konstruktivisme sosial (Vygotsky), *experiential learning* (Kolb), humanistik (Rogers), integrasi TPACK (Mishra & Koehler), *Model of Teaching* (Joyce & Weil), *multimedia learning* (Mayer), serta *problem solving* (Polya; Bransford & Stein) disintesis untuk membentuk kerangka konseptual model. Hasil sintesis teori ini diwujudkan dalam rancangan sintaks enam langkah (6D: *Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, Disseminate*) yang menjadi ciri utama model D-PjBL.

Langkah 3: Perancangan Model Awal (Prototype)

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan dan sintesis teori, disusunlah prototype model D-PjBL. Rancangan awal ini memuat: (a) sintaks 6D, (b) sistem sosial pembelajaran yang bersifat kolaboratif dan demokratis, (c) prinsip reaksi dosen sebagai fasilitator, (d) sistem pendukung berupa sumber belajar dan infrastruktur digital, serta (e) dampak instruksional dan pengiring yang diharapkan. Model awal ini dipresentasikan dalam bentuk bagan konseptual dan manual instruksi singkat agar mudah dipahami dan diuji lebih lanjut.

Langkah 4: Validasi Ahli (Expert Judgment)

Model awal selanjutnya divalidasi oleh pakar pendidikan IPA, ahli PjBL, serta praktisi teknologi pendidikan. Proses validasi dilakukan melalui telaah dokumen model dan diskusi intensif untuk menilai kejelasan sintaks, kesesuaian sistem sosial, kelayakan prinsip reaksi, relevansi sistem pendukung, dan kebermanfaatan model bagi

pembelajaran Biologi. Masukan dari para pakar menjadi dasar perbaikan agar model lebih sah secara akademis dan layak untuk diterapkan.

Langkah 5: Revisi dan Penyempurnaan Model

Hasil validasi ahli digunakan untuk memperbaiki model. Beberapa perbaikan yang dilakukan antara lain penajaman redaksi sintaks agar lebih operasional, penambahan komponen refleksi dalam tahap *Debrief*, serta penguatan aspek diseminasi melalui media digital. Proses revisi ini bertujuan agar model tidak hanya kokoh secara teoretis, tetapi juga praktis untuk digunakan oleh dosen dan mahasiswa.

Langkah 6: Implementasi Multisitus dan Evaluasi Formatif

Setelah validasi ahli dan revisi awal, model diimplementasikan secara autentik pada pembelajaran Fisiologi Hewan di Universitas PGRI Semarang (UPGRIS) dan Universitas Tidar (UNTIDAR). Kedua perguruan tinggi berkedudukan sebagai situs implementasi yang setara, bukan sebagai uji terbatas dan uji skala besar. Implementasi mencakup Sistem Saraf dan Sistem Endokrin. Temuan pada Sistem Saraf digunakan sebagai evaluasi formatif untuk menyempurnakan petunjuk LKM, topik besar, ruang pengambilan keputusan mahasiswa, kejelasan luaran, dan keselarasan rubrik pada Sistem Endokrin tanpa mengubah konstruk maupun urutan sintaks 6D.

Langkah 7: Finalisasi Model

Berdasarkan sintesis hasil validasi, implementasi multisitus, evaluasi formatif antartopik, kepraktisan pengguna, capaian CU dan PSS, serta konfirmasi karakteristik oleh praktisi, dilakukan penyempurnaan akhir. Produk final mencakup model konseptual, manual book, RPS, SAP, bahan ajar, LKM, instrumen CU, rubrik PSS, dan perangkat asesmen autentik yang saling selaras.

B. Karakteristik Model Digital Project-Based Learning (D-PjBL)

Model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) memiliki karakteristik khusus yang berbeda dari model *Project-Based Learning* (PjBL) konvensional. Karakteristik ini muncul dari hasil sintesis teori, analisis kebutuhan, dan uji validasi, serta menjadi dasar penerapannya dalam pembelajaran Biologi.

Pertama, D-PjBL menggunakan proyek digital sebagai wahana membangun konsep dan menyelesaikan masalah, bukan sekadar tugas menghasilkan media. Dalam implementasi penelitian, poster Sistem Saraf dan video Sistem Endokrin dikembangkan melalui proses memahami masalah, merencanakan solusi, melaksanakan rencana, memperoleh umpan balik, mengevaluasi, merevisi, dan mendiseminasikan hasil.

Kedua, model D-PjBL menekankan pada masalah autentik sebagai titik awal pembelajaran. Mahasiswa diajak untuk mengidentifikasi isu nyata dalam konteks

Biologi, baik fenomena alam maupun masalah kehidupan sehari-hari, misalnya gangguan sistem saraf akibat gaya hidup atau dampak pencemaran terhadap sistem hormonal. Dengan cara ini, mahasiswa tidak hanya menguasai konsep, tetapi juga mengembangkan kemampuan pemecahan masalah yang kontekstual.

Ketiga, model D-PjBL memiliki karakteristik kolaboratif dan interaktif. Proses belajar dilakukan dalam kelompok, dengan peran aktif setiap anggota. Kolaborasi tidak hanya terbatas pada ruang kelas tatap muka, tetapi juga diperluas melalui platform digital seperti Google Workspace, Padlet, Miro, atau *Learning Management System* (LMS). Hal ini memperkuat keterampilan komunikasi, kepemimpinan, dan tanggung jawab bersama dalam menyelesaikan proyek.

Keempat, model ini bercirikan integratif dan reflektif. Integratif, karena model D-PjBL menggabungkan konten Biologi, pendekatan pedagogis berbasis proyek, dan pemanfaatan teknologi digital secara terpadu. Reflektif, karena mahasiswa diajak untuk secara sistematis meninjau kembali proses dan hasil belajarnya melalui tahap *Debrief*, sehingga pembelajaran tidak hanya menekankan hasil akhir, tetapi juga proses dan perbaikan berkelanjutan.

Kelima, model D-PjBL bersifat diseminatif dan berorientasi sosial. Produk yang dihasilkan tidak hanya dipresentasikan di kelas, tetapi juga disebarluaskan melalui media sosial, website, seminar, atau publikasi ilmiah sederhana. Diseminasi ini menumbuhkan rasa tanggung jawab sosial mahasiswa, meningkatkan motivasi intrinsik, sekaligus menjadikan pembelajaran lebih bermakna karena hasilnya bermanfaat untuk masyarakat.

Keenam, teknologi berkedudukan sebagai Digital Core Ecosystem yang menghubungkan seluruh sintaks. Sumber digital, platform kolaborasi, aplikasi produksi, ruang presentasi, formulir refleksi, penyimpanan awan, dan kanal diseminasi dipilih berdasarkan fungsi pedagogis, aksesibilitas, dan etika akademik. Dengan demikian, identitas D-PjBL dibentuk oleh keterpaduan masalah autentik, proyek digital, sintaks 6D, refleksi, diseminasi, dan ekosistem teknologi yang mendukung konstruksi pengetahuan serta pemecahan masalah.

Tabel 3.2 Karakteristik Model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL)

Karakteristik	Deskripsi	Implikasi dalam Pembelajaran Biologi
Berbasis Proyek Digital	Proyek digital merepresentasikan solusi berbasis konsep; produk penelitian berupa poster Sistem Saraf dan video Sistem Endokrin.	Mahasiswa membangun konsep sekaligus menunjukkan proses understanding, planning, solving, dan evaluating.

Masalah Autentik	Proyek diawali dengan identifikasi isu nyata dalam kehidupan atau fenomena Biologi.	Mahasiswa terlatih memecahkan masalah kontekstual dan mengaitkan konsep Biologi dengan kehidupan sehari-hari.
Kolaboratif dan Interaktif	Mahasiswa bekerja dalam kelompok kecil, berinteraksi tatap muka dan daring (LMS, Google Workspace, Padlet, dsb.).	Menumbuhkan keterampilan komunikasi, kolaborasi, kepemimpinan, serta tanggung jawab sosial.
Integratif dan Reflektif	Menggabungkan konten Biologi, pedagogi proyek, dan teknologi digital; serta refleksi melalui tahap <i>Debrief</i> .	Mahasiswa memahami konten lebih mendalam, mengembangkan <i>critical thinking</i> , dan memperbaiki pembelajaran secara berkelanjutan.
Diseminatif dan Berorientasi Sosial	Produk dipublikasikan melalui media sosial, web, atau forum ilmiah sederhana.	Hasil proyek bermanfaat bagi masyarakat luas, meningkatkan motivasi intrinsik dan tanggung jawab sosial mahasiswa.
Digital Core Ecosystem	Teknologi mengintegrasikan eksplorasi, kolaborasi, produksi, presentasi, refleksi, dokumentasi, dan diseminasi pada seluruh sintaks 6D.	Pemilihan teknologi mengikuti tujuan pedagogis, aksesibilitas, keamanan, dan etika; teknologi bukan tujuan akhir pembelajaran.

C. Komponen Model D-PjBL

a. Sintaks Model D-PjBL

Sintaks model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) dirancang dalam enam tahap utama (6D). Setiap tahap memiliki tujuan, kegiatan utama, dan hasil belajar yang spesifik. Berikut penjelasan rinci tiap tahap:

1. *Define* (Identifikasi Masalah Autentik)

Tahap ini dimulai dengan menggali isu atau permasalahan nyata yang relevan dengan materi Biologi. Dosen memfasilitasi diskusi kelas untuk menstimulasi mahasiswa menemukan topik yang kontekstual, terkait materi yang dipelajari. Mahasiswa kemudian mengidentifikasi masalah yang layak dijadikan proyek, memastikan masalah tersebut autentik, menantang, dan memungkinkan solusi berbasis digital. Hasil akhir tahap ini adalah rumusan masalah proyek yang jelas serta tujuan pembelajaran yang ingin dicapai.

2. *Design* (Perancangan Proyek Digital)

Setelah masalah ditentukan, mahasiswa bekerja dalam kelompok untuk merancang solusi dan proyek digital. Rancangan memuat tujuan, landasan konsep, bentuk produk sesuai topik—poster pada Sistem Saraf atau video pada Sistem Endokrin—pembagian peran, sumber ilmiah, aplikasi, jadwal, storyboard atau sketsa, indikator keberhasilan, serta bukti kontribusi setiap anggota.

Pada tahap ini dosen berperan sebagai mentor, memberi masukan agar rancangan realistis namun tetap menantang. Produk desain dituangkan dalam proposal singkat yang berfungsi sebagai peta jalan pelaksanaan proyek.

3. *Develop* (Pengembangan Produk Digital)

Mahasiswa menyeleksi dan memeriksa sumber ilmiah, mengembangkan poster atau video sesuai rancangan, menguji ketepatan konsep dan kejelasan komunikasi, mengatasi kendala teknis maupun konseptual, mendokumentasikan keputusan, dan melakukan revisi berdasarkan scaffolding serta umpan balik dosen.

Dosen memberikan pendampingan teknis dan pedagogis, serta memastikan proses pengembangan tetap sesuai tujuan pembelajaran Biologi. Tahap ini menekankan kerja kolaboratif, pemecahan masalah, dan keterampilan berpikir kritis mahasiswa.

4. *Demonstrate* (Presentasi dan Unjuk Karya)

Produk digital yang telah selesai kemudian dipresentasikan di hadapan dosen dan teman sebaya. Presentasi dapat berupa pemutaran video, demo aplikasi, atau simulasi interaktif. Setiap kelompok menjelaskan proses pengembangan, tantangan yang dihadapi, dan solusi yang ditemukan.

Tahap ini memberikan ruang bagi mahasiswa untuk melatih keterampilan komunikasi ilmiah, kepercayaan diri, dan kemampuan menyampaikan ide secara meyakinkan. Selain itu, audiens juga dapat memberikan masukan untuk penyempurnaan produk.

5. *Debrief* (Refleksi Kritis)

Debrief merupakan tahap refleksi, di mana mahasiswa secara sistematis meninjau kembali pengalaman belajar mereka. Refleksi dilakukan melalui diskusi kelompok, umpan balik dosen, dan self-assessment.

Mahasiswa diajak menganalisis kekuatan dan kelemahan produk, efektivitas kerja sama tim, serta pembelajaran apa yang mereka peroleh. Tahap ini penting untuk membangun kesadaran metakognitif, sehingga mahasiswa mampu memperbaiki diri di proyek berikutnya.

6. *Disseminate* (Diseminasi Produk)

Tahap akhir adalah diseminasi hasil proyek. Mahasiswa mempublikasikan produk digital mereka melalui platform online (YouTube, media sosial, website, e-journal mahasiswa), forum ilmiah, atau pameran karya di kampus/sekolah.

Dengan diseminasi, proyek tidak hanya bermanfaat bagi pembuatnya, tetapi juga dapat memberikan kontribusi nyata kepada masyarakat. Tahap ini

menumbuhkan rasa tanggung jawab sosial, sekaligus mengapresiasi karya mahasiswa sebagai bagian dari kontribusi akademik.

Tabel 3.4 Sintaks Model D-PjBL (6D)

Tahap (6D)	Aktivitas Utama	Peran Dosen	Hasil yang Diharapkan
<i>Define</i>	Identifikasi masalah autentik dalam Biologi.	Memfasilitasi diskusi & memberi stimulus masalah.	Rumusan masalah proyek yang jelas & tujuan belajar.
<i>Design</i>	Menyusun rencana proyek digital: produk, peran, sumber daya, jadwal.	Memberi arahan & masukan agar rancangan realistis.	Proposal/desain proyek digital.
<i>Develop</i>	Mengembangkan produk digital berbasis teknologi.	Membimbing teknis & pedagogis, memberi umpan balik.	Produk digital kreatif & sesuai tujuan.
<i>Demonstrate</i>	Presentasi & unjuk karya proyek.	Memberi kesempatan unjuk karya & mengelola diskusi.	Keterampilan komunikasi & produk yang siap diuji.
<i>Debrief</i>	Refleksi pengalaman belajar & hasil proyek.	Memfasilitasi refleksi & memberi umpan balik.	Kesadaran metakognitif, perbaikan berkelanjutan.
<i>Disseminate</i>	Publikasi produk melalui media digital/forum ilmiah.	Mendorong & memfasilitasi diseminasi karya.	Produk bermanfaat bagi masyarakat & menumbuhkan tanggung jawab sosial.

Gambar 3.2 Alur Sintaks 6D dalam Model D-PjBL

Alur operasional sintaks 6D pada model D-PjBL memperlihatkan keterkaitan antara peran dosen, aktivitas mahasiswa, luaran, dan asesmen pada setiap tahap. Proses berlangsung secara berurutan mulai dari Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, hingga Disseminate, tetapi tetap bersifat iteratif melalui umpan balik dan revisi. Digital Core Ecosystem mendukung seluruh tahap untuk memfasilitasi akses sumber ilmiah, kolaborasi, produksi, presentasi, refleksi, dokumentasi, dan publikasi produk digital.



Gambar 3.2 Diagram Alir Operasional Sintaks 6D dalam Model D-PjBL

Sumber: Dikembangkan oleh peneliti (2025)

b. Sistem Sosial dalam Model D-PjBL

Sistem sosial dalam model pembelajaran menggambarkan pola interaksi antar pelaku pembelajaran. Pada model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL), sistem sosial yang dikembangkan bersifat kolaboratif, demokratis, partisipatif, dan berorientasi hasil nyata.

Pertama, sistem sosial menekankan hubungan horizontal antara dosen dan mahasiswa. Dosen tidak lagi menjadi pusat pengetahuan tunggal, melainkan berperan sebagai fasilitator, mentor, dan coach yang mendukung proses belajar mahasiswa. Temuan Sadikin et al. (2024) menunjukkan bahwa penerapan model PjBL dalam *microteaching* calon guru Biologi efektif ketika dosen berperan sebagai fasilitator, bukan instruktur dominan.

Kedua, sistem sosial dalam model D-PjBL bersifat kolaboratif dan berbasis tim. Mahasiswa bekerja dalam kelompok kecil yang heterogen, sehingga terjadi pembagian peran sesuai potensi masing-masing anggota. Kerja tim ini tidak terbatas pada tatap muka, melainkan juga memanfaatkan platform digital kolaboratif seperti Google Workspace, Padlet, Miro, atau LMS. Menurut Wahyuni et al. (2025), penggunaan e-module berbasis PjBL yang didukung platform digital meningkatkan keterampilan kolaborasi dan literasi digital mahasiswa.

Ketiga, sistem sosial mendorong demokrasi dalam pengambilan keputusan. Setiap mahasiswa berhak menyampaikan pendapat, mengusulkan ide, dan memberikan masukan dalam kelompok. Hal ini sejalan dengan penelitian Simbolon & Koeswanti (2020) yang menemukan bahwa motivasi belajar siswa lebih tinggi dalam model PjBL ketika diberi kebebasan dalam mengelola peran kelompok.

Keempat, sistem sosial memunculkan interaksi multi-arah. Mahasiswa tidak hanya berinteraksi dengan dosen dan teman sebaya, tetapi juga dengan sumber belajar digital, komunitas profesional, bahkan masyarakat luas saat diseminasi produk. Menurut Rahmawati et al. (2022), pembelajaran berbasis proyek digital yang melibatkan interaksi dengan komunitas menghasilkan pengalaman belajar lebih autentik dan berdampak sosial.

Dengan demikian, sistem sosial model D-PjBL dirancang untuk membentuk iklim pembelajaran yang sehat, partisipatif, dan kolaboratif. Hal ini diharapkan mampu mengembangkan kompetensi akademik, sosial, dan profesional mahasiswa calon guru Biologi, sehingga mereka siap menghadapi tantangan abad ke-21.

Tabel 3.5 Sistem Sosial Dalam Model D-PjBL

Aspek	Deskripsi Sistem Sosial	Implikasi	Rujukan
Peran Dosen	Fasilitator, mentor, pemberi umpan balik, pengarah jalannya proyek.	Mahasiswa lebih mandiri dan percaya diri, namun tetap terarah.	Sadikin et al. (2024)
Peran Mahasiswa	Aktor utama, kreator, pengambil keputusan, pengembang produk digital.	Mahasiswa aktif, kreatif, dan bertanggung jawab pada proses belajar.	Wahyuni et al. (2025)
Pola Interaksi	Horizontal, kolaboratif, demokratis, multi-arah (dosen ↔ mahasiswa ↔ teman sebaya ↔ komunitas).	Meningkatkan keterampilan komunikasi, kolaborasi, dan kepemimpinan.	Simbolon & Koeswanti (2020)
Media Kolaborasi	Tatap muka dan daring (Google Workspace, LMS, Padlet, Miro, dll).	Pembelajaran lebih fleksibel, adaptif, dan mendukung literasi digital.	Wahyuni et al. (2025)
Iklim Pembelajaran	Demokratis, terbuka, menghargai perbedaan, berorientasi hasil nyata.	Membentuk sikap positif, empati, dan kemampuan kerja sama lintas perbedaan.	Rahmawati et al. (2022)

c. Prinsip Reaksi dalam Model D-PjBL

Prinsip reaksi dalam model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) menekankan pentingnya cara dosen merespons aktivitas mahasiswa selama enam tahap sintaks (6D). Reaksi dosen yang tepat akan memotivasi, mengarahkan, sekaligus menjaga dinamika pembelajaran agar tetap bermakna.

Pertama, pada tahap *Define*, dosen berperan memberi stimulus masalah nyata yang memantik rasa ingin tahu mahasiswa. Menurut Thomas (2000), model PjBL efektif ketika dosen mampu memberikan masalah yang bersifat autentik dan terbuka untuk dieksplorasi. Reaksi dosen berupa pertanyaan pemicu (*trigger questions*) membantu mahasiswa mengidentifikasi isu yang tepat untuk dijadikan proyek.

Kedua, pada tahap *Design*, dosen memberikan umpan balik konstruktif terhadap rancangan proyek yang disusun mahasiswa. Hmelo-Silver (2004) menegaskan bahwa scaffolding sangat diperlukan pada tahap perencanaan, agar mahasiswa mampu menyusun strategi penyelesaian masalah yang realistis dan terukur. Prinsip reaksi yang diterapkan adalah memberikan arahan tanpa mendikte, sehingga mahasiswa tetap memiliki otonomi dalam merancang proyek.

Ketiga, pada tahap *Develop*, dosen merespons kesulitan mahasiswa dengan bimbingan teknis maupun pedagogis. Penelitian Wahyuni et al. (2025) menunjukkan bahwa dukungan dosen dalam penggunaan perangkat digital mendorong mahasiswa lebih percaya diri menghasilkan produk berbasis teknologi. Reaksi dosen bersifat adaptif: memberi bantuan seperlunya, sambil tetap mendorong mahasiswa untuk berinisiatif mencari solusi.

Keempat, pada tahap *Demonstrate*, prinsip reaksi diwujudkan dalam bentuk apresiasi dan umpan balik formatif. Menurut Sadikin et al. (2024), mahasiswa calon guru yang mendapat apresiasi atas karyanya lebih termotivasi untuk meningkatkan kualitas proyek berikutnya. Dosen berperan mengarahkan diskusi, memberi klarifikasi konsep, sekaligus mendorong audiens (teman sebaya) untuk aktif memberi masukan.

Kelima, pada tahap *Debrief*, dosen memfasilitasi refleksi kritis mahasiswa. Reaksi dosen berupa pertanyaan reflektif (“apa yang paling menantang dalam proyek ini?”, “bagaimana cara kelompok Anda mengatasinya?”) membantu mahasiswa mengembangkan kesadaran metakognitif. Hal ini sesuai dengan pandangan Kolb (2015) bahwa pembelajaran akan bermakna ketika mahasiswa merefleksikan pengalaman konkret yang dialami.

Keenam, pada tahap *Disseminate*, prinsip reaksi berwujud dukungan penuh terhadap publikasi karya mahasiswa. Rahmawati et al. (2022) menekankan bahwa pembelajaran berbasis proyek digital akan lebih berdampak jika hasilnya dipublikasikan secara luas. Reaksi dosen di tahap ini berupa fasilitasi akses (misalnya membantu unggah ke YouTube, seminar kampus, atau jurnal mahasiswa) serta pengakuan terhadap kontribusi mahasiswa bagi masyarakat.

Dengan demikian, prinsip reaksi dalam D-PjBL berorientasi pada pemberdayaan mahasiswa: memberi arahan awal, scaffolding saat dibutuhkan, apresiasi karya, memfasilitasi refleksi, serta mendukung diseminasi. Semua ini dirancang agar mahasiswa menjadi subjek aktif yang kreatif, kritis, dan berdaya dalam pembelajaran Biologi.

Tabel 3.6 Prinsip Reaksi dalam D-PjBL

Tahap Sintaks (6D)	Prinsip Reaksi Dosen	Rujukan
<i>Define</i>	Memberikan stimulus masalah autentik melalui pertanyaan pemicu.	Thomas (2000)
<i>Design</i>	Memberi <i>scaffolding</i> & umpan balik konstruktif tanpa mendikte rancangan mahasiswa.	Hmelo-Silver (2004)
<i>Develop</i>	Membimbing teknis & pedagogis secara adaptif; mendorong inisiatif mahasiswa.	Wahyuni et al. (2025)
<i>Demonstrate</i>	Mengapresiasi karya & memberi umpan balik formatif; mengarahkan diskusi kelas.	Sadikin et al. (2024)
<i>Debrief</i>	Memfasilitasi refleksi kritis melalui pertanyaan reflektif & diskusi.	Kolb (2015)
<i>Disseminate</i>	Mendukung & memfasilitasi publikasi karya mahasiswa ke masyarakat.	Rahmawati et al. (2022)

d. Sistem Pendukung dalam Model D-PjBL

Sistem pendukung merupakan seluruh perangkat, sumber, sarana, dan kondisi yang diperlukan agar model Digital Project-Based Learning (D-PjBL) dapat dilaksanakan secara konsisten sesuai sintaks 6D. Sistem pendukung tidak hanya berupa teknologi, tetapi juga mencakup perangkat pembelajaran, sumber belajar, fasilitas kolaborasi, instrumen asesmen, serta pengaturan lingkungan belajar. Seluruh komponen tersebut berfungsi membantu mahasiswa membangun *Conceptual Understanding* (CU) dan menunjukkan *Problem Solving Skill* (PSS) melalui proses serta produk proyek digital.

Perangkat pembelajaran menjadi pendukung utama implementasi model. Perangkat tersebut meliputi Rencana Pembelajaran Semester (RPS), Satuan Acara Perkuliahan (SAP), Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) berbasis sintaks 6D, bahan ajar Fisiologi Hewan, instrumen tes CU, serta rubrik penilaian PSS berbasis produk. RPS dan SAP mengarahkan ketercapaian tujuan pembelajaran, sedangkan LKM menuntun aktivitas mahasiswa mulai dari mengidentifikasi masalah, merancang solusi, mengembangkan produk, mendemonstrasikan hasil, melakukan refleksi, hingga mendiseminasikan karya.

Sumber belajar yang digunakan harus ilmiah, relevan, dan dapat dipertanggungjawabkan. Mahasiswa diarahkan menggunakan buku ajar Fisiologi Hewan, artikel jurnal, sumber belajar digital, serta data atau fenomena kontekstual yang berkaitan dengan sistem saraf dan sistem endokrin. Sumber belajar tersebut digunakan untuk memverifikasi konsep, menyusun argumentasi ilmiah, dan mendukung keputusan selama proses pemecahan masalah.

Digital Core Ecosystem merupakan lapisan teknologi yang menghubungkan seluruh sistem pendukung. Pada Define, teknologi menyediakan stimulus dan sumber ilmiah; pada Design, teknologi memfasilitasi kolaborasi dan perancangan; pada Develop, teknologi mendukung produksi serta dokumentasi; pada Demonstrate, teknologi memfasilitasi presentasi dan umpan balik; pada Debrief, teknologi mendukung refleksi dan revisi; sedangkan pada Disseminate, teknologi menjadi sarana publikasi serta interaksi dengan audiens. Pemilihan platform disesuaikan dengan kebutuhan nyata pembelajaran, bukan dijadikan tujuan pembelajaran.

Instrumen asesmen juga menjadi bagian penting dari sistem pendukung. CU diukur melalui tes tertulis yang mencakup kemampuan memahami, menganalisis, mengevaluasi, dan mencipta, sedangkan PSS dinilai melalui kualitas proses dan produk proyek dengan indikator memahami masalah, merencanakan penyelesaian, melaksanakan rencana, serta mengevaluasi hasil. Penilaian diperkuat melalui rubrik produk, umpan balik teman sebaya, refleksi mahasiswa, dan dokumentasi proses pembelajaran.

Lingkungan belajar perlu diatur agar memungkinkan kerja kelompok yang kolaboratif, akses terhadap sumber digital, konsultasi dengan dosen, presentasi hasil, revisi produk, serta diseminasi karya. Dosen berperan menyediakan scaffolding, memastikan setiap anggota kelompok terlibat, memberi umpan balik konseptual dan teknis, serta menjaga etika akademik dan penggunaan teknologi. Dukungan institusi dapat berupa ketersediaan jaringan internet, ruang belajar, perangkat presentasi, dan waktu pelaksanaan proyek yang memadai.

Dengan demikian, sistem pendukung model D-PjBL terdiri atas perangkat pembelajaran, sumber belajar ilmiah, teknologi yang proporsional, instrumen asesmen CU dan PSS, pendampingan dosen, serta lingkungan akademik yang kondusif. Kesatuan komponen tersebut memastikan sintaks 6D dapat dilaksanakan secara utuh dan tujuan model dapat dicapai secara terukur.

Tabel 3.7 Sistem Pendukung Model D-PjBL

Kategori	Komponen Sistem Pendukung	Fungsi dalam Implementasi Model
Perangkat Pembelajaran	RPS, SAP, LKM berbasis sintaks 6D, bahan ajar Fisiologi Hewan, serta panduan pelaksanaan proyek.	Menjamin setiap tahap Define–Disseminate berlangsung sistematis dan selaras dengan tujuan pembelajaran.
Sumber Belajar Ilmiah	Buku ajar, artikel jurnal, sumber digital tepercaya, fenomena atau kasus sistem saraf dan sistem endokrin.	Mendukung verifikasi konsep, penyusunan argumentasi ilmiah, dan pengambilan keputusan dalam proyek.
Teknologi dan Platform Digital	Laptop/ telepon pintar, internet, LMS/kelas digital, serta aplikasi	Memfasilitasi kolaborasi, produksi karya, presentasi,

	pembuatan poster dan penyuntingan video.	umpan balik, dokumentasi, dan diseminasi.
Instrumen Asesmen	Tes CU; rubrik PSS berbasis produk; rubrik presentasi; refleksi mahasiswa; dan penilaian teman sebaya.	Mengukur ketercapaian CU dan PSS secara transparan, terarah, serta sesuai bukti proses dan produk.
Pendampingan dan Lingkungan Akademik	Scaffolding dosen, konsultasi, kerja kelompok, ruang presentasi, jaringan internet, serta alokasi waktu proyek.	Menjaga keterlibatan mahasiswa, kualitas konsep, kelancaran teknis, etika akademik, dan keberlanjutan implementasi.

e. Dampak Instruksional dan Dampak Pengiring

Model Digital Project-Based Learning (D-PjBL) dirancang untuk menghasilkan dua jenis dampak pembelajaran, yaitu dampak instruksional (*instructional effects*) dan dampak pengiring (*nurturant effects*). Dampak instruksional merupakan capaian belajar yang dirumuskan secara eksplisit, dikembangkan melalui aktivitas pembelajaran, dan diukur menggunakan instrumen yang telah ditetapkan. Sementara itu, dampak pengiring merupakan kemampuan, sikap, dan pengalaman belajar yang berkembang sebagai konsekuensi dari keterlibatan mahasiswa dalam seluruh tahapan model D-PjBL.

a) Dampak Instruksional

Dampak instruksional model D-PjBL dalam pembelajaran Fisiologi Hewan diarahkan pada dua capaian utama, yaitu *Conceptual Understanding* (CU) dan *Problem Solving Skill* (PSS).

1) *Conceptual Understanding* (CU)

Conceptual Understanding (CU) merupakan kemampuan individual mahasiswa pada aspek C2 (memahami), C4 (menganalisis), C5 (mengevaluasi), dan C6 (mencipta). CU dibangun ketika mahasiswa menjelaskan mekanisme, menghubungkan struktur–fungsi, menganalisis sebab–akibat, menilai ketepatan penjelasan atau solusi, dan menciptakan representasi konseptual dalam proyek digital.

Pemahaman konseptual diperkuat melalui kegiatan pencarian informasi, diskusi, penyusunan penjelasan ilmiah, pengembangan produk, presentasi, serta refleksi. Dengan demikian, mahasiswa tidak hanya mengingat konsep, tetapi mampu menjelaskan hubungan antarkonsep dan menerapkannya dalam konteks permasalahan yang berbeda.

CU diukur secara individual menggunakan tes esai sebelum dan sesudah pembelajaran pada Sistem Saraf dan Sistem Endokrin. Hasil dianalisis menurut lokasi, topik, dan aspek C2, C4, C5, serta C6.

2) ***Problem Solving Skill (PSS)***

Problem Solving Skill (PSS) merupakan kemampuan kelompok mahasiswa pada aspek understanding (memahami masalah), planning (merencanakan penyelesaian), solving (melaksanakan strategi dan mengembangkan solusi), dan evaluating (memeriksa hasil, menggunakan umpan balik, serta memperbaiki solusi). Keempat aspek terintegrasi dari Define hingga Debrief dan hasil akhirnya dikomunikasikan melalui Disseminate.

Pada tahap Define, mahasiswa mengidentifikasi dan merumuskan masalah autentik. Pada tahap Design, mahasiswa menyusun alternatif solusi, menentukan strategi, membagi peran, serta merancang produk. Pada tahap Develop, mahasiswa menerapkan rancangan, mengatasi kendala, dan memperbaiki solusi. Tahap Demonstrate memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk mempresentasikan dan mempertanggungjawabkan hasil pemecahan masalah. Selanjutnya, pada tahap Debrief, mahasiswa mengevaluasi proses dan hasil proyek, sedangkan tahap Disseminate digunakan untuk menyebarluaskan solusi atau produk yang telah disempurnakan.

PSS dinilai pada unit kelompok melalui bukti proses dalam LKM dan bukti kinerja pada produk digital: poster Sistem Saraf serta video Sistem Endokrin. Karena tidak menggunakan pretest–posttest PSS, hasil ditafsirkan sebagai ketercapaian aspek understanding, planning, solving, dan evaluating, bukan sebagai peningkatan individual.

b) Dampak Pengiring

Selain menghasilkan dampak instruksional, penerapan model D-PjBL juga memunculkan sejumlah dampak pengiring yang berkembang selama mahasiswa mengikuti kegiatan proyek digital.

1) Keterampilan kolaborasi

Kerja kelompok pada tahap *Design*, *Develop*, *Demonstrate*, dan *Debrief* membiasakan mahasiswa berbagi tugas, bertukar gagasan, mengambil keputusan, menyelesaikan konflik, dan bertanggung jawab terhadap keberhasilan proyek bersama.

2) Keterampilan komunikasi

Tahap *Demonstrate* melatih mahasiswa menyampaikan gagasan, menjelaskan landasan ilmiah produk, menjawab pertanyaan, serta memberikan dan menerima umpan balik secara akademik.

3) Kreativitas

Mahasiswa memperoleh ruang untuk menentukan bentuk, desain, dan cara penyajian produk digital. Proses ini mendorong munculnya gagasan baru dan kemampuan mengubah konsep abstrak menjadi media visual yang komunikatif.

4) Literasi digital

Penggunaan sumber informasi daring, perangkat lunak pengembangan produk, platform kolaborasi, dan media publikasi memperkuat kemampuan mahasiswa dalam mencari, memilih, mengolah, menghasilkan, dan menyebarkan informasi digital secara bertanggung jawab.

Tabel 3.8 Dampak Instruksional dan Dampak Pengiring Model D-PjBL

Jenis Dampak	Capaian	Proses Pengembangan dalam Sintaks 6D	Bentuk Pengukuran/Bukti
Instruksional	Conceptual Understanding (CU)	Identifikasi masalah, kajian konsep, perancangan solusi, pengembangan produk, presentasi, dan refleksi.	Tes tertulis sebelum dan setelah implementasi model D-PjBL.
Instruksional	Problem Solving Skill (PSS)	Memahami masalah, merencanakan solusi, melaksanakan rencana, mempresentasikan, dan mengevaluasi hasil.	Rubrik PSS pada poster Sistem Saraf dan video sistem endokrin.
Pengiring	Kolaborasi	Pembagian peran, kerja kelompok, diskusi, dan penyelesaian konflik.	Respons, refleksi, dan bukti proses mahasiswa.
Pengiring	Komunikasi	Presentasi produk, diskusi, tanya jawab, dan pemberian umpan balik.	Kinerja presentasi dan interaksi selama pembelajaran.
Pengiring	Kreativitas	Perancangan dan pengembangan produk digital yang komunikatif dan inovatif.	Kualitas desain dan penyajian produk.
Pengiring	Literasi digital	Pemanfaatan sumber digital, aplikasi pengembangan produk, platform kolaborasi, dan media publikasi.	Produk digital dan aktivitas pemanfaatan teknologi.
Pengiring	Kemandirian dan tanggung jawab	Pengelolaan waktu, tugas, sumber belajar, dan penyelesaian proyek.	Keterlibatan dan kontribusi mahasiswa dalam kelompok.
Pengiring	Sikap reflektif dan metakognitif	Penilaian proses, kendala, strategi, dan hasil proyek pada tahap Debrief.	Refleksi mahasiswa dan hasil revisi produk.
Pengiring	Kepedulian sosial dan etika akademik	Publikasi produk yang akurat, bermanfaat, dan menghargai sumber serta hak cipta.	Produk yang didiseminasikan melalui media digital.

5) Kemandirian dan tanggung jawab belajar

Mahasiswa mengelola waktu, pembagian tugas, sumber belajar, proses revisi, dan penyelesaian produk. Aktivitas tersebut membangun kemandirian, disiplin, serta tanggung jawab terhadap proses dan hasil belajar.

6) Sikap reflektif dan kesadaran metakognitif

Tahap *Debrief* membiasakan mahasiswa menilai kekuatan dan kelemahan strategi yang digunakan, mengidentifikasi kendala, serta merumuskan perbaikan untuk kegiatan berikutnya.

7) Kepedulian sosial dan etika akademik

Melalui tahap *Disseminate*, mahasiswa belajar bahwa produk yang dihasilkan memiliki tanggung jawab akademik dan sosial. Mahasiswa dibiasakan menyampaikan informasi yang akurat, mencantumkan sumber, menghormati hak cipta, serta menghasilkan karya yang bermanfaat bagi pengguna lain.

D. Keunggulan dan Keterbatasan Model D-PjBL

Setiap model pembelajaran memiliki keunggulan dan keterbatasan yang perlu dipahami agar penerapannya sesuai dengan karakteristik peserta didik, tujuan pembelajaran, materi, alokasi waktu, dan kondisi lingkungan belajar. Model D-PjBL dikembangkan melalui analisis kebutuhan, kajian teoretis, validasi ahli, dan uji coba sehingga memiliki karakteristik yang membedakannya dari Project-Based Learning konvensional.

a. Keunggulan Model D-PjBL

1) Memiliki sintaks yang sistematis dan mudah diikuti

Model D-PjBL memiliki enam tahapan terstruktur, yaitu Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, dan Disseminate. Kejelasan sintaks membantu dosen mengelola pembelajaran secara konsisten dan membantu mahasiswa memahami aktivitas, tanggung jawab, serta target pada setiap tahap.

2) Berorientasi pada masalah autentik

Pembelajaran dimulai dari masalah atau fenomena nyata yang berkaitan dengan materi Fisiologi Hewan sehingga mahasiswa menghubungkan konsep ilmiah dengan situasi kehidupan dan menggunakan konsep untuk menganalisis serta merumuskan penyelesaian.

3) Mengintegrasikan pengembangan CU dan PSS

Conceptual Understanding dikembangkan melalui pengkajian masalah, pencarian informasi, diskusi, penyusunan penjelasan ilmiah, dan pengembangan produk. Problem Solving Skill dilatih melalui kegiatan memahami masalah, merancang solusi, melaksanakan rencana, mengatasi kendala, serta mengevaluasi proses dan hasil proyek.

4) Menghasilkan produk digital yang relevan

Produk digital menjadi representasi pemahaman dan solusi terhadap masalah yang dikaji. Dalam implementasi pada Fisiologi Hewan, produk dapat berupa poster digital pada materi Sistem Saraf serta video pembelajaran pada materi sistem endokrin.

5) Memfasilitasi pembelajaran kolaboratif

Mahasiswa bekerja dalam kelompok melalui pembagian peran dan tanggung jawab sejak penyusunan rancangan, pengembangan produk, presentasi, revisi, hingga diseminasi.

6) Menempatkan refleksi sebagai tahap khusus

Tahap *Debrief* membimbing mahasiswa meninjau strategi, kendala, kualitas kerja sama, ketepatan konsep, dan kualitas produk untuk melakukan perbaikan.

7) Memperluas kebermanfaatan produk melalui diseminasi

Tahap *Disseminate* membuat produk mahasiswa tidak berhenti sebagai tugas kelas, tetapi dapat dipublikasikan melalui media digital sehingga menumbuhkan tanggung jawab akademik dan sosial.

8) Fleksibel diterapkan pada materi atau mata kuliah serumpun

Struktur model D-PjBL dapat diadaptasi pada materi Biologi atau mata kuliah serumpun dengan menyesuaikan masalah, tujuan, jenis proyek, bentuk produk, sumber belajar, dan instrumen penilaian tanpa mengubah prinsip sintaks 6D.

b. Keterbatasan Model D-PjBL

1) Membutuhkan alokasi waktu yang relatif panjang

Pelaksanaan enam tahap memerlukan waktu untuk mengidentifikasi masalah, menyusun rancangan, mengembangkan produk, mempresentasikan, merevisi, dan mendiseminasikan hasil. Keterbatasan ini dapat diantisipasi melalui jadwal proyek dan target setiap pertemuan.

2) Bergantung pada ketersediaan perangkat dan akses digital

Penerapan model membutuhkan perangkat digital, akses internet, aplikasi pengembangan produk, serta platform penyimpanan atau publikasi. Dosen dapat memilih aplikasi gratis, menerapkan penggunaan perangkat secara berkelompok, dan menyediakan alternatif luring.

3) Terdapat perbedaan kemampuan digital antarmahasiswa

Perbedaan penguasaan teknologi dapat menyebabkan pembagian tugas tidak seimbang. Antisipasi dilakukan melalui pembagian peran yang jelas, tutorial singkat, pendampingan teman sebaya, dan penilaian kontribusi.

- 4) Membutuhkan kesiapan dosen dalam memfasilitasi proyek

Dosen perlu memahami materi, sintaks 6D, pengelolaan proyek, teknologi yang relevan, scaffolding, dan pemberian umpan balik. Dosen tidak harus menguasai seluruh aplikasi, tetapi harus mampu mengarahkan pemilihan teknologi sesuai tujuan pembelajaran.

- 5) Penilaian memerlukan instrumen yang jelas

Penilaian perlu menggunakan instrumen yang sesuai agar tidak hanya menilai daya tarik visual. CU diukur dengan tes tertulis, sedangkan PSS dinilai melalui produk proyek menggunakan rubrik yang mengacu pada tahapan pemecahan masalah.

- 6) Berpotensi menimbulkan ketimpangan kontribusi kelompok

Dominasi anggota tertentu dapat membuat produk tidak merepresentasikan keterlibatan seluruh anggota. Hal ini diminimalkan melalui pembagian tugas, catatan perkembangan, penilaian teman sebaya, refleksi individu, dan konfirmasi dosen.

- 7) Kualitas informasi digital perlu dikontrol

Mahasiswa berpotensi menggunakan sumber kurang kredibel atau mengabaikan hak cipta. Dosen perlu mengarahkan penggunaan sumber ilmiah dan memeriksa akurasi konsep, etika akademik, hak cipta, serta keamanan publikasi.

Berdasarkan uraian tersebut, model D-PjBL memiliki keunggulan dalam menyediakan pengalaman belajar yang autentik, terstruktur, kolaboratif, reflektif, dan terintegrasi dengan teknologi digital. Keterbatasan model terutama berkaitan dengan waktu, fasilitas digital, perbedaan kemampuan mahasiswa, pengelolaan kerja kelompok, dan kompleksitas penilaian. Keterbatasan tersebut perlu diperhitungkan dalam perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi pembelajaran.

Tabel 3.9 Keunggulan dan Keterbatasan Model D-PjBL

Aspek	Keunggulan	Keterbatasan	Upaya Antisipasi
Sintaks pembelajaran	Alur 6D sistematis dari identifikasi masalah hingga diseminasi.	Membutuhkan waktu untuk seluruh tahapan.	Menyusun jadwal, target, dan batas waktu setiap tahap.
Orientasi masalah	Menghubungkan konsep dengan masalah autentik.	Masalah terlalu luas dapat menyulitkan mahasiswa.	Dosen membantu mempersempit dan menegaskan rumusan masalah.
CU dan PSS	Mengintegrasikan Conceptual Understanding dan Problem Solving Skill.	Mahasiswa dapat lebih fokus pada produk daripada konsep.	Penguatan konsep, pertanyaan penuntun, dan umpan balik.
Produk digital	Menghasilkan poster Sistem Saraf atau video Sistem Endokrin yang relevan.	Memerlukan perangkat, aplikasi, dan internet.	Aplikasi gratis, kerja kelompok, dan alternatif luring.
Kolaborasi	Melatih kerja sama, komunikasi, dan tanggung jawab.	Berpotensi terjadi ketimpangan kontribusi.	Pembagian tugas, catatan proses, dan refleksi individu.
Kemampuan digital	Memberikan pengalaman menghasilkan informasi digital.	Kemampuan digital mahasiswa tidak merata.	Tutorial, pendampingan teman sebaya, dan scaffolding.
Refleksi	Debrief memperkuat evaluasi dan perbaikan produk.	Refleksi dapat menjadi formalitas.	Pertanyaan reflektif dan bukti revisi produk.
Diseminasi	Memperluas manfaat produk dan tanggung jawab sosial.	Risiko ketidakakuratan, hak cipta, dan privasi.	Pemeriksaan isi, sumber, etika, dan kelayakan publikasi.
Penilaian	Menyediakan bukti belajar berupa tes, proses, dan produk.	Penilaian lebih kompleks.	Instrumen CU dan rubrik PSS dengan indikator jelas.
Peran dosen	Dosen sebagai fasilitator, mentor, dan pemberi umpan balik.	Membutuhkan kesiapan pedagogis dan teknologi.	Panduan implementasi dan sistem pendukung lengkap.

BAB IV. PANDUAN IMPLEMENTASI MODEL DIGITAL PROJECT-BASED LEARNING (D-PjBL)

Bab ini memberikan panduan operasional bagi dosen dalam menerapkan Model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) pada perkuliahan Fisiologi Hewan. Implementasi diarahkan untuk meningkatkan *Conceptual Understanding* (CU) dan memfasilitasi ketercapaian *Problem Solving Skill* (PSS) melalui poster digital Sistem Saraf dan video edukasi Sistem Endokrin. Teknologi digunakan sebagai Digital Core Ecosystem untuk mengakses serta memeriksa sumber, berkolaborasi, merancang, mengembangkan produk, mempresentasikan hasil, memberi umpan balik, melakukan refleksi dan revisi, mendokumentasikan proses, serta mendiseminasikan karya.

Pelaksanaan model D-PjBL dilakukan melalui tiga tahap utama: (1) tahap sebelum pembelajaran berupa persiapan tujuan, perangkat, sumber belajar, teknologi, dan asesmen; (2) tahap pelaksanaan pembelajaran melalui sintaks 6D; dan (3) tahap setelah pembelajaran berupa penilaian, refleksi, revisi, serta diseminasi produk.

a. Persiapan

1) Menganalisis capaian pembelajaran

Dosen mengidentifikasi capaian pembelajaran mata kuliah, materi esensial, dan kemampuan yang akan dikembangkan. Pada Fisiologi Hewan, pembelajaran difokuskan pada materi sistem saraf dan sistem endokrin.

2) Menentukan materi dan masalah autentik

Dosen memilih materi yang mengandung konsep kompleks, berkaitan dengan fenomena nyata, memungkinkan analisis masalah, dan dapat dikembangkan menjadi proyek digital.

3) Menentukan bentuk produk digital

Dalam implementasi penelitian, produk ditetapkan berupa poster digital pada Sistem Saraf dan video edukasi pada Sistem Endokrin. Bentuk tersebut digunakan secara konsisten pada LKM, rubrik, bahan ajar, dan pelaporan data penelitian.

4) Menyiapkan perangkat pembelajaran

Perangkat meliputi RPS, SAP, bahan ajar, LKM berbasis 6D, sumber ilmiah, stimulus masalah, tes CU, rubrik PSS, pedoman produk, dan lembar refleksi.

5) Menentukan teknologi yang digunakan

Teknologi dipilih berdasarkan tujuan, aksesibilitas, keamanan, kemudahan penggunaan, dan relevansinya dengan kegiatan pembelajaran.

- 6) Menyusun jadwal proyek
Jadwal mencakup identifikasi masalah, penyusunan rancangan, pengembangan, konsultasi, presentasi, revisi, refleksi, dan publikasi.
- 7) Membentuk kelompok mahasiswa
Kelompok dibentuk secara proporsional dengan pembagian peran yang jelas, tetapi seluruh anggota tetap harus memahami konsep dan proses proyek.
- 8) Menjelaskan ketentuan akademik dan etika digital
Dosen menjelaskan penggunaan sumber ilmiah, pencantuman referensi, larangan plagiarisme, hak cipta, privasi, dan etika publikasi.

b. Perencanaan Tujuan Pembelajaran

Tujuan pembelajaran harus spesifik, terukur, dan selaras dengan aktivitas serta asesmen. Tujuan tidak hanya menyatakan bahwa mahasiswa mampu menghasilkan produk digital, tetapi juga menegaskan kemampuan konseptual dan pemecahan masalah yang dikembangkan melalui produk tersebut.

- 1) Menjelaskan konsep sistem saraf dan sistem endokrin secara ilmiah;
- 2) Menghubungkan struktur, fungsi, mekanisme, dan regulasi pada sistem fisiologi hewan;
- 3) Menganalisis fenomena atau masalah autentik berdasarkan konsep Fisiologi Hewan;
- 4) Merumuskan masalah serta menyusun alternatif penyelesaian;
- 5) Melaksanakan dan mengevaluasi strategi penyelesaian melalui proyek digital;
- 6) Mengomunikasikan hasil analisis dalam bentuk poster Sistem Saraf atau video Sistem Endokrin;
- 7) Merevisi produk berdasarkan umpan balik; dan
- 8) Memublikasikan produk secara bertanggung jawab.

c. Perencanaan Aktivitas Mahasiswa Berdasarkan Sintaks 6D

1. *Define*

Mahasiswa mengamati stimulus, mengidentifikasi fakta dan konsep, membedakan informasi yang telah diketahui dan perlu dicari, merumuskan masalah, serta menentukan tujuan proyek. Luaran: rumusan masalah, konsep utama, tujuan proyek, dan kebutuhan informasi.

2. *Design*

Mahasiswa mengembangkan alternatif solusi, menentukan bentuk produk, menyusun struktur isi, memilih aplikasi, membagi peran, menyusun jadwal, dan menetapkan indikator keberhasilan. Luaran: rancangan solusi, storyboard atau sketsa, pembagian tugas, dan jadwal.

3. *Develop*

Mahasiswa menyeleksi informasi ilmiah, mengolahnya menjadi penjelasan konseptual, mengembangkan produk digital, mengatasi kendala, berkonsultasi,

dan merevisi. Luaran: draf atau prototipe produk, catatan perkembangan, dan bukti proses pemecahan masalah.

4. *Demonstrate*

Mahasiswa mempresentasikan produk, menjelaskan masalah dan landasan konsep, mempertanggungjawabkan solusi, menjawab pertanyaan, dan mencatat masukan. Luaran: presentasi, hasil tanya jawab, dan daftar revisi.

Tabel 4.1 Panduan Aktivitas Dosen dan Mahasiswa dalam Sintaks 6D

Sintaks	Aktivitas Dosen	Aktivitas Mahasiswa	Teknologi/Sistem Pendukung	Luaran
<i>Define</i>	Memberikan stimulus, pertanyaan pemantik, dan scaffolding.	Mengidentifikasi fenomena, menganalisis informasi, dan merumuskan masalah.	Video, artikel, bahan ajar, LKM, sumber digital.	Rumusan masalah dan tujuan proyek.
<i>Design</i>	Membimbing pemilihan solusi, produk, aplikasi, dan jadwal.	Menyusun solusi, desain produk, pembagian tugas, dan jadwal.	LKM, Google Docs, Canva, storyboard.	Rancangan proyek.
<i>Develop</i>	Memantau proses, memeriksa konsep, dan memberi umpan balik.	Mengembangkan, menguji, dan memperbaiki produk.	Canva, aplikasi penyunting video, sumber ilmiah, LMS.	Draf atau prototipe produk.
<i>Demonstrate</i>	Mengelola presentasi, diskusi, dan umpan balik.	Mempresentasikan produk serta mempertanggungjawabkan konsep dan solusi.	Laptop, proyektor, video, poster digital.	Presentasi dan masukan.
<i>Debrief</i>	Memfasilitasi refleksi dan mengarahkan revisi.	Mengevaluasi proses, kerja kelompok, solusi, dan produk.	Lembar refleksi, rubrik, formulir digital.	Refleksi dan produk revisi.
<i>Disseminate</i>	Memeriksa kelayakan publikasi dan etika akademik.	Memublikasikan produk dan membagikan hasil.	Instagram, YouTube, LMS, atau platform lain.	Produk final dan bukti publikasi.

5. *Debrief*

Mahasiswa merefleksikan proses, menilai strategi, mengidentifikasi keberhasilan dan kendala, mengevaluasi kerja kelompok, serta memperbaiki produk. Luaran: refleksi dan produk hasil revisi.

6. Disseminate

Mahasiswa melakukan pemeriksaan akhir isi dan sumber, memastikan etika akademik, memublikasikan produk, serta mendokumentasikan respons audiens. Luaran: produk final, tautan atau bukti publikasi, dan dokumentasi diseminasi.

d. Perencanaan Perangkat Pembelajaran

Perangkat pembelajaran dirancang sebagai satu kesatuan sistem pendukung model D-PjBL. Setiap perangkat memiliki fungsi berbeda, tetapi seluruhnya harus terhubung dengan tujuan pembelajaran, sintaks 6D, dan asesmen.

1. Rencana Pembelajaran Semester

Memuat capaian pembelajaran, materi, sintaks D-PjBL, bentuk proyek, pengalaman belajar, metode asesmen, alokasi waktu, dan sumber belajar.

2. Satuan Acara Perkuliahan

Menjabarkan kegiatan pendahuluan, inti berdasarkan tahap 6D, penutup, aktivitas dosen dan mahasiswa, media, asesmen, serta waktu.

3. Lembar Kerja Mahasiswa

Memuat stimulus, petunjuk kerja, pertanyaan *Define*, format *Design*, catatan *Develop*, panduan *Demonstrate*, refleksi *Debrief*, dan bukti *Disseminate*.

4. Bahan ajar

Menyediakan tujuan, peta konsep, materi esensial, ilustrasi, fenomena, sumber tambahan, pertanyaan penguatan, dan tautan atau QR code.

5. Instrumen penilaian

Terdiri atas tes CU, rubrik PSS, rubrik produk, pedoman presentasi, lembar refleksi, dan angket respons atau kepraktisan sesuai kebutuhan.

e. Lingkungan Belajar dan Pengelolaan Kelas

Lingkungan belajar dalam penerapan Model D-PjBL dirancang secara fleksibel, kolaboratif, dan berpusat pada mahasiswa untuk mendukung pelaksanaan proyek digital, penguasaan konsep, serta keterampilan pemecahan masalah. Dosen berperan sebagai fasilitator yang mengatur pembentukan kelompok, pembagian peran, alokasi waktu, pemanfaatan sumber belajar, penggunaan teknologi digital, serta interaksi antarmahasiswa selama proses pembelajaran. Pengelolaan kelas dilakukan melalui pemberian arahan yang jelas, pemantauan kemajuan proyek, scaffolding sesuai kebutuhan, fasilitasi diskusi dan umpan balik, serta penciptaan suasana belajar yang aman, terbuka, bertanggung jawab, dan menghargai kontribusi setiap anggota kelompok.

1. Pengaturan ruang belajar

Ruang diatur agar mendukung kerja kelompok, diskusi, penggunaan perangkat, presentasi, dan interaksi fleksibel. Pembelajaran dapat berlangsung secara bauran melalui LMS dan platform kolaborasi.

2. Iklim pembelajaran

Dosen membangun suasana terbuka terhadap gagasan, menghargai perbedaan, mendorong pertanyaan, memberi ruang mencoba, dan menekankan perbaikan berkelanjutan.

3. Pengelolaan kelompok

Dosen memastikan pembagian tugas, meminta catatan aktivitas, memantau keterlibatan, melakukan konfirmasi acak, dan menggunakan refleksi individu serta kelompok.

4. Monitoring proyek

Monitoring dilakukan pada setiap tahap terhadap perkembangan, ketepatan konsep, relevansi solusi, penggunaan sumber, kontribusi, kendala teknis, jadwal, dan kualitas produk.

5. Pemberian scaffolding

Scaffolding diberikan melalui pertanyaan penuntun, penguatan konsep, rekomendasi sumber, tutorial teknis, umpan balik, penyederhanaan masalah, dan arahan revisi.

f. Pelaksanaan Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai proses dan hasil pembelajaran. Penilaian tidak hanya berfokus pada produk akhir, tetapi juga pada penguasaan konsep, proses pemecahan masalah, kontribusi mahasiswa, refleksi, dan diseminasi.

1. Penilaian *Conceptual Understanding*

CU diukur secara individual menggunakan tes esai pretest dan posttest pada aspek C2, C4, C5, dan C6. Pengukuran dilakukan pada Sistem Saraf dan Sistem Endokrin untuk melihat perubahan pemahaman konseptual menurut lokasi, topik, dan aspek.

2. Penilaian *Problem Solving Skill*

PSS dinilai pada unit kelompok berdasarkan understanding, planning, solving, dan evaluating. Bukti proses bersumber dari LKM, sedangkan bukti kinerja bersumber dari poster Sistem Saraf dan video Sistem Endokrin. Rubrik yang sama digunakan untuk menjaga konsistensi aspek, tetapi karakteristik kedua produk tetap dipertimbangkan dalam interpretasi.

3. Penilaian produk

Produk dinilai berdasarkan ketepatan konsep, relevansi dengan masalah, kejelasan solusi, sistematika, komunikasi visual atau audiovisual, kreativitas, sumber, dan kelayakan diseminasi.

4. Penilaian proses

Penilaian proses mencakup partisipasi, pembagian tugas, ketepatan waktu, tanggung jawab, kemampuan menerima umpan balik, konsistensi mengikuti sintaks, dan kontribusi kelompok.

5. Refleksi mahasiswa

Refleksi menggali konsep yang dipahami, kesulitan, strategi efektif, kendala kelompok, manfaat teknologi, perubahan yang diperlukan, dan pengalaman pemecahan masalah.

6. Umpan balik dan revisi

Umpan balik diberikan secara spesifik, konstruktif, berorientasi pada konsep dan proses, serta ditindaklanjuti melalui revisi produk.

7. Prinsip penilaian

Penilaian dilaksanakan secara valid, objektif, transparan, adil, berkelanjutan, dan edukatif.

Tabel 4.2 Rencana Asesmen Model D-PjBL

Aspek yang Dinilai	Teknik Penilaian	Instrumen	Waktu Penilaian	Bukti
<i>Conceptual Understanding</i>	Tes individual pretest–posttest	Tes esai dan rubrik CU C2, C4, C5, C6	Sebelum dan setelah pembelajaran	Skor CU per lokasi, topik, dan aspek
<i>Problem Solving Skill</i>	Asesmen autentik kelompok	LKM dan rubrik PSS	Define sampai Debrief	Bukti understanding, planning, solving, evaluating
Ketepatan konsep produk	Penilaian produk	Rubrik produk	<i>Develop</i> dan <i>Demonstrate</i>	Poster Sistem Saraf dan video Sistem Endokrin
Presentasi	Unjuk kerja	Pedoman/rubrik presentasi	<i>Demonstrate</i>	Penyajian dan tanya jawab
Refleksi	Refleksi tertulis	Lembar refleksi	<i>Debrief</i>	Jawaban refleksi mahasiswa
Diseminasi	Dokumentasi	Daftar cek publikasi	<i>Disseminate</i>	Tautan dan bukti unggahan
Respons mahasiswa	Angket	Angket respons/kepraktisan	Setelah pembelajaran	Rekap respons mahasiswa

g. Panduan Teknis Penggunaan Platform Digital

Model D-PjBL menekankan integrasi teknologi digital dalam pembelajaran. Oleh karena itu, dosen dan mahasiswa perlu menggunakan platform digital yang mendukung proses kolaborasi, pembuatan produk, presentasi, hingga publikasi. Berikut adalah panduan teknis penggunaan platform digital yang dapat digunakan sesuai sintaks 6D.

a) Platform Kolaborasi

Platform kolaborasi digunakan pada tahap *Define* dan *Design* untuk brainstorming dan perencanaan proyek.

Tabel 4.2. Platform Digital yang Digunakan dalam Implementasi Model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) pada tahap *Define* dan *Design*

Platform	Kegunaan	Panduan Singkat
LMS Universitas	Manajemen kelas, distribusi materi, pengumpulan tugas	Dosen membuat kelas → membagikan kode → mahasiswa bergabung → materi & instruksi proyek diunggah.
Padlet	Kolaborasi ide & diskusi	Dosen membuat board → mahasiswa menuliskan ide proyek, referensi, timeline → diskusi terbuka dapat dilakukan di board.

b) Platform Pembuatan Produk Digital

Platform pembuatan produk digital digunakan terutama pada *Develop* dan *Demonstrate*. Canva atau aplikasi desain sejenis digunakan untuk poster Sistem Saraf, sedangkan aplikasi penyunting video yang dapat diakses mahasiswa digunakan untuk video Sistem Endokrin. Platform dapat berbeda antarkelompok selama memenuhi fungsi pedagogis, keterbacaan, ketepatan konsep, aksesibilitas, dan etika penggunaan.

Tabel 4.3. Platform Digital yang Digunakan dalam Implementasi Model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) Pada Tahap *Develop* Dan *Demonstrate*

Platform	Kegunaan	Panduan Singkat
Canva	Desain poster digital dan presentasi	Mahasiswa memilih template → menambahkan teks, gambar, ilustrasi sistem saraf/endokrin → menyimpan hasil sebagai poster/slide.
Canva	Animasi dan presentasi interaktif	Mahasiswa menyusun elemen visual poster Sistem Saraf atau bahan visual pendukung video Sistem Endokrin → ditinjau sebelum dipublikasikan.
PhET Simulation	Simulasi interaktif sains	Mahasiswa mengeksplorasi simulasi sinyal saraf/hormon sederhana → hasil eksplorasi digunakan sebagai bahan presentasi proyek.

c) Platform Presentasi dan Publikasi

Platform presentasi dan publikasi digunakan pada tahap *demonstrate – debrief – disseminate* untuk mempresentasikan dan menyebarkan hasil proyek digital.

Tabel 4.4. Platform Digital yang Digunakan dalam Implementasi Model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) Pada Tahap *Demonstrate – Debrief – Disseminate*

Platform	Kegunaan	Panduan Singkat
Zoom/Google Meet	Presentasi daring	Mahasiswa mempresentasikan produk digital → diskusi dengan dosen & teman.
YouTube/IG	Publikasi produk digital	Mahasiswa mengunggah poster Sistem Saraf atau video Sistem Endokrin → dibagikan kepada audiens yang ditetapkan.

Tabel 4.5. Contoh Integrasi Platform Digital pada Setiap Sintaks 6D dalam Model D-PjBL

Sintaks 6D	Platform yang Disarankan	Contoh Aktivitas
<i>Define</i>	LMS Universitas, Padlet	Mahasiswa brainstorming topik proyek sistem saraf/endokrin.
<i>Design</i>	Trello, Canva	Mahasiswa membuat rancangan proyek digital (alur kerja, storyboard).
<i>Develop</i>	Canva, Powtoon, PhET	Mahasiswa membuat poster digital Sistem Saraf atau video pembelajaran Sistem Endokrin.
<i>Demonstrate</i>	Zoom, LMS Universitas,	Mahasiswa mempresentasikan hasil proyek di kelas.

<i>Debrief</i>	Padlet, LMS Universitas	Diskusi reflektif setelah presentasi proyek.
<i>Disseminate</i>	YouTube, Blog, Sosial Media	Produk digital dipublikasikan untuk audiens luas.

Contoh Output Produk Digital Mahasiswa

Poster Digital — Sistem Saraf Hewan

Produk menyajikan masalah autentik Sistem Saraf, perbandingan mekanisme pada vertebrata dan invertebrata, hubungan stimulus–reseptor–pusat integrasi–efektor–respons, serta solusi atau pesan ilmiah. Poster harus menggunakan sumber tepercaya, visual yang terbaca, sitasi yang benar, dan menunjukkan hasil proses understanding, planning, solving, dan evaluating.

Video Edukasi — Sistem Endokrin Hewan

Video menjelaskan mekanisme respons hormon terhadap perubahan lingkungan atau perkembangan pada vertebrata dan invertebrata. Video memadukan narasi, visual, data atau bukti ilmiah, solusi, dan refleksi; durasi serta aplikasi disesuaikan dengan ketentuan proyek. Produk akhir diperiksa ketepatan konsep, kualitas komunikasi audiovisual, sumber, hak cipta, dan kelayakan diseminasi.

Diseminasi dan Bukti Publikasi

- Judul : *Dampak Pestisida pada Sistem Saraf Lebah*
- Format : Poster digital berisi:
 - ⇒ Fakta ilmiah : pestisida mengganggu enzim asetilkolinesterase.
 - ⇒ Dampak : disorientasi, penurunan populasi, ancaman ekosistem.
 - ⇒ Ajakan konservasi : “Selamatkan Lebah, Selamatkan Ekosistem.”
- Platform:
 - ⇒ Diunggah ke Sosial Media dengan deskripsi & sumber pustaka.
 - ⇒ Link dibagikan via LMS

Produk digital yang dihasilkan mahasiswa tidak dibatasi pada contoh di atas. Dosen dapat mendorong mahasiswa menggunakan platform lain (misalnya podcast, blog ilmiah, atau media sosial edukasi) sesuai kreativitas dan relevansi dengan tujuan pembelajaran.

BAB V. PENUTUP

A. Simpulan

Model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) dengan sintaks 6D (*Define, Design, Develop, Demonstrate, Debrief, dan Disseminate*) merupakan model pembelajaran yang mengintegrasikan masalah autentik, proyek digital, refleksi, asesmen autentik, dan *Digital Core Ecosystem*. Model dirancang untuk meningkatkan *Conceptual Understanding* (CU) serta memfasilitasi ketercapaian *Problem Solving Skill* (PSS) mahasiswa calon guru Biologi.

D-PjBL memiliki dampak instruksional berupa CU dan PSS. Kolaborasi, komunikasi, kreativitas, tanggung jawab, literasi digital, serta kemandirian belajar diposisikan sebagai potensi dampak pengiring dan tidak diklaim sebagai hasil yang diukur secara khusus. Dalam implementasi penelitian, poster Sistem Saraf dan video Sistem Endokrin menjadi bukti autentik proses membangun konsep dan memecahkan masalah.

B. Rekomendasi Penggunaan Model

Model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) yang dikembangkan dalam penelitian ini direkomendasikan untuk digunakan dalam pembelajaran di Perguruan Tinggi/Sekolah, khususnya pada Program Studi Kependidikan Sains/Biologi. Model ini dapat diterapkan pada mata kuliah yang menuntut pengembangan pemahaman konseptual sekaligus *problem solving skill* mahasiswa melalui kegiatan berbasis proyek digital.

D-PjBL direkomendasikan digunakan oleh dosen dengan memperhatikan:

1. Konteks Mata Kuliah : model ini lebih efektif untuk mata kuliah yang memiliki ruang bagi aktivitas proyek, kolaborasi, dan eksplorasi pemecahan masalah.
2. Kesiapan Dosen: dosen berperan sebagai fasilitator, sehingga perlu menyiapkan perangkat pembelajaran (RPS, SAP, bahan ajar, LKM, instrumen penilaian, dan media digital) sesuai sintaks D-PjBL.
3. Kesiapan Mahasiswa: mahasiswa diharapkan mampu bekerja dalam kelompok, memanfaatkan teknologi digital, dan aktif melakukan refleksi.
4. Dukungan Infrastruktur: implementasi membutuhkan dukungan perangkat digital, akses internet, serta platform kolaboratif yang memadai.

Dengan memenuhi prasyarat tersebut, D-PjBL diyakini dapat menjadi strategi pembelajaran inovatif untuk meningkatkan penguasaan konsep, keterampilan abad 21 (4C's), dan kemampuan pemecahan masalah kompleks pada mahasiswa calon guru.

C. Batasan Penggunaan Model

Model ini dikembangkan untuk mata kuliah Fisiologi Hewan dengan fokus topik sistem saraf dan sistem endokrin. Namun, dapat diadaptasi pada materi lain, implementasinya memerlukan penyesuaian dengan karakteristik materi, alokasi waktu, dan fasilitas pendukung yang tersedia. Penggunaan platform digital memerlukan kesiapan literasi digital mahasiswa dan ketersediaan akses internet yang memadai.

D. Harapan Pengembangan

Manual book ini diharapkan dapat menjadi panduan praktis bagi dosen, guru, dan mahasiswa dalam mengimplementasikan model D-PjBL. Ke depan, model ini dapat dikembangkan lebih lanjut.

Selain itu, model ini diharapkan dapat memperkuat kolaborasi antara perguruan tinggi, sekolah, dan komunitas MGMP, sehingga pembelajaran Biologi tidak hanya meningkatkan capaian akademik, tetapi juga membentuk generasi yang kritis, kreatif, kolaboratif, komunikatif, serta berdaya saing global.

DAFTAR PUSTAKA

- Arends, R. I. (2012). *Learning to teach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Bransford, J. D., & Stein, B. S. (1993). *The ideal problem solver: A guide for improving thinking, learning, and creativity* (2nd ed.). W. H. Freeman.
- Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. T. (2013). Removing obstacles to the pedagogical changes required by Jonassen's vision of authentic technology-enabled learning. *Computers & Education*, 64, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.008>
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
- Istiqomah, N., Hujjatusnaini, N., Septiana, N., & Amin, A. M. (2022). Implementasi model pembelajaran project-based learning terintegrasi praktikum studi antagonisme *Escherichia coli* dan *Candida albicans* terhadap keterampilan berpikir kritis mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 10(4), 892–904. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v10i4.26264>
- Joyce, B., Weil, M., & Calhoun, E. (2015). *Models of teaching* (9th ed.). Pearson.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Kolb, D. A. (2015). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (2nd ed.). Pearson.
- Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 317–334). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816833.020>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. International Universities Press.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1972). *The psychology of the child*. Basic Books.
- Polya, G. (1973). *How to solve it: A new aspect of mathematical method* (2nd ed.). Princeton University Press.
- Rahmawati, I., Sudarmin, & Sumarni, W. (2022). Development of a digital project-based learning model to support Merdeka Curriculum. *Journal of Science Education Research*, 6(3), 201–213.

- Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/159770>
- Rogers, C. R. (1983). *Freedom to learn for the 80s*. Charles E. Merrill.
- Sadikin, A., Rusdi, M., Hasibuan, M. H. E., & Siburian, J. (2024). Improving teaching quality: Development of the PjBL microteaching model for prospective biology teachers. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 17(2), 523–532. <https://doi.org/10.21009/biosferjpb.45294>
- Savitri, I. R., & Susanti, R. (2024). Learning ecosystem material with project-based learning (PjBL) model to improve science process skills and student creativity. *Journal of Biology Education*, 13(2), 175–184.
- Simbolon, R., & Koeswanti, H. D. (2020). Comparison of PjBL (project-based learning) models with PBL (problem-based learning) models to determine student learning outcomes and motivation. *International Journal of Elementary Education*, 4(4), 519–529. <https://doi.org/10.23887/ijee.v4i4.30087>
- Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learning*. Autodesk Foundation.
- Tondeur, J., Scherer, R., Baran, E., Siddiq, F., Valtonen, T., & Sointu, E. (2017). Teacher educators as gatekeepers: Preparing the next generation of teachers for technology integration in education. *British Journal of Educational Technology*, 48(2), 479–491. <https://doi.org/10.1111/bjet.12344>
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. Jossey-Bass.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wahyuni, R., Firdaus, L. N., Putra, R. A., Linggasari, M. N., Wulandari, P. A., & Fadilah, M. (2025). Project-based learning (PjBL) green pedagogy e-module in improving creative thinking and digital literacy. *Journal of Educational Sciences*, 9(2), 876–885. <https://doi.org/10.31258/jes.9.2.p.876-885>
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Rencana Pembelajaran Semester (RPS) Mata Kuliah Fisiologi Hewan

	PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI					KODE DOKUMEN:
RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER						
MATA KULIAH	KODE	RUMPUN MK	BOBOT (SKS)		SEMESTE R	TGL PENYUSUNAN
Fisiologi Hewan	3222331635	Ilmu Inti Biologi	T : 2 sks	P : 1 sks	Gasal	Agustus 2025
Capaian Pembelajaran (CP)	CPL-PRODI yang dibebankan pada MK	CPL 1	Mampu menunjukkan karakter dan Adab yang mencerminkan kemampuan beradaptasi, antusiasme dan integritas sebagai wujud ketaqwaan kepada Tuhan Yang Maha Esa			
		CPL-2	Menelaah konsep prinsip pedagogi, esensial biologi, sains yang termasuk didalamnya kajian perubahan iklim, matematika, teknologi dan perkembangannya, serta prinsip dasar metodologi ilmiah dan bidang lainnya secara mendalam sehingga mampu memformulasikan penyelesaian masalah prosedural			
		CPL-3	Menyelesaikan masalah secara kritis dan bijak dengan mengaplikasikan konsep prinsip pedagogi, esensial biologi, sains yang termasuk didalamnya kajian perubahan iklim, matematika, teknologi dan perkembangannya, prinsip dasar metodologi			

			ilmiah dan bidang lainnya dengan memanfaatkan IPTEKS dan kearifan lokal, serta mampu mengembangkan diri dan beradaptasi terhadap situasi yang dihadapi
		CPL-6	Mampu mengambil keputusan dan memilih berbagai alternatif solusi dalam pemecahan masalah bidang biologi dan pendidikan biologi secara mandiri dan kelompok serta menginternalisasi semangat nilai-nilai kewirausahaan
	Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK)	CPMK-1	Mahasiswa mampu memahami dan menjelaskan konsep sistem saraf dan endokrin sesuai perkembangan keilmuan serta pembelajarannya di sekolah dengan memperhatikan potensi dan kearifan lokal sehingga mampu menunjukkan kinerja mandiri serta menerapkan penguasaan konsep, prinsip, teori sesuai perkembangan ilmu pengetahuan, secara bertanggungjawab dan mandiri (P1, KU1, KU2, KK1, S9) Sub CPMK : 1.1. Menjelaskan struktur dan fungsi neuron serta jaringan pendukungnya pada sistem saraf hewan. 1.2. Mendeskripsikan mekanisme penghantaran impuls saraf dan transmisi sinaps pada hewan. 1.3. Menganalisis perbedaan sistem saraf pusat, tepi, somatik, dan otonom pada hewan. 1.4. Menjelaskan struktur, jenis hormon, dan mekanisme kerja sistem endokrin pada hewan. 1.5. Menganalisis keterkaitan sistem saraf dan sistem endokrin dalam menjaga homeostasis hewan. Level kognitif: C2–C4 Fokus: Conceptual Understanding fisiologi hewan
		CPMK-2	Mahasiswa mampu memecahkan masalah berbasis proyek dengan memanfaatkan teknologi digital serta pembelajarannya di sekolah dengan memperhatikan potensi dan kearifan local sehingga mampu menunjukkan kinerja mandiri serta

			menerapkan penguasaan konsep, prinsip, teori sesuai perkembangan ilmu pengetahuan, dengan menunjukkan sikap bertanggungjawab atas pekerjaan di bidang keahliannya secara mandiri dan menginternalisasi nilai, norma, dan etika akademik (P1, KU2, KK1, S9, S11) Sub CPMK : 2.1. Mengidentifikasi permasalahan pembelajaran atau fenomena fisiologis terkait sistem saraf dan endokrin. 2.2. Merumuskan solusi berbasis konsep fisiologi hewan melalui pendekatan proye 2.3. Merancang strategi pemecahan masalah menggunakan media dan teknologi digital yang relevan 2.4. Menerapkan langkah pemecahan masalah secara sistematis (identifikasi masalah, analisis, solusi, evaluasi). 2.5. Mengevaluasi efektivitas solusi atau produk digital yang dikembangkan berdasarkan umpan balik. Level kognitif: C2–C6 Fokus Conceptual Understanding (C2–C4) dan kemampuan pemecahan masalah (C4–C6/HOTS)
		CPMK-3	Mahasiswa mampu mengaplikasikan Conceptual Understanding dan kemampuan pemecahan masalah fisiologi hewan dalam bentuk produk edukatif digital sesuai perkembangan keilmuan serta pembelajarannya di sekolah dengan memperhatikan potensi dan kearifan lokal sehingga mampu menunjukkan kinerja mandiri serta menerapkan penguasaan konsep, prinsip, teori sesuai perkembangan ilmu pengetahuan, dengan menunjukkan sikap bertanggungjawab atas pekerjaan di bidang keahliannya secara mandiri (P1, KU2, KK1, S9) Sub CPMK : 3.1. Merancang konsep produk edukatif digital sesuai tujuan pembelajaran fisiologi hewan.

			3.2. Mengembangkan produk digital (poster Sistem Saraf dan video Sistem Endokrin) berbasis sistem saraf dan endokrin. 3.3. Menyajikan produk digital secara lisan dan visual dengan komunikasi ilmiah yang efektif. 3.4. Merevisi dan menyempurnakan produk digital berdasarkan masukan dosen dan teman sejawat. 3.5. Mempublikasikan produk digital pada platform yang relevan sebagai media pembelajaran biologi. Level kognitif: C5–C6 Fokus: Conceptual Understanding dan kemampuan pemecahan masalah yang diwujudkan dalam produk edukatif digital
Deskripsi Singkat Mata Kuliah	Mata kuliah fisiologi hewan merupakan mata kuliah dasar program studi dan bersifat wajib ditempuh bagi mahasiswa program studi S1 Pendidikan Biologi dengan bobot 3 sks. Mata kuliah ini mengkaji keseluruhan mekanisme fungsi sistem saraf & sistem hormon serta aplikasinya dalam menjaga homeostasis pada hewan baik invertebrate maupun vertebrata. Pembelajaran menggunakan model <i>Digital Project-Based Learning</i> (D-PjBL) untuk mengembangkan Conceptual Understanding dan keterampilan pemecahan masalah mahasiswa melalui pembuatan produk digital edukatif.		
Bahan Kajian Materi Pembelajaran	1. Sistem saraf: struktur, fungsi, mekanisme impuls saraf, sistem saraf pusat & tepi, sistem saraf otonom, refleks. 2. Sistem endokrin: kelenjar, hormon, mekanisme kerja hormon, integrasi saraf-endokrin. 3. Aplikasi teknologi digital dalam pembelajaran biologi		
Referensi	Utama		
		1. Hill, R. W., Wyse, G. A., & Anderson, M. (2016). <i>Animal physiology</i> (4th ed.). Sinauer Associates. 2. Moyes, C. D., & Schulte, P. M. (2021). <i>Principles of animal physiology</i> (3rd ed.). Pearson Canada. 3. Randall, D. J., Burggren, W. W., & French, K. (1997). <i>Eckert animal physiology: Mechanisms and adaptations</i> (4th ed.). W. H. Freeman and Company. 4. Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2025). <i>Campbell biology</i> (12th ed.).	
	Pendukung		

	1. Jayanti, U. N. A. D. (2021). Problem based learning dipadu jigsaw berbasis lesson study: Upaya pemberdayaan literasi informasi mahasiswa biologi di era digital. <i>Biolokus: Jurnal Penelitian Pendidikan Biologi dan Biologi</i>, 4(1). https://jurnaltarbiyah.uinsu.ac.id/index.php/biolokus/article/view/983 2. Marianti, A. (2013). Pembelajaran berbasis projek dengan pendekatan jelajah alam sekitar sebagai model perkuliahan fisiologi hewan. <i>Proceeding Biology Education Conference</i>. https://jurnal.uns.ac.id/prosbi/article/view/6330 3. Marianti, A. (2013). Pembelajaran berbasis projek dengan pendekatan jelajah alam sekitar sebagai model perkuliahan fisiologi hewan. <i>Proceeding Biology Education Conference</i>.				
Teknik Asesmen	Komponen Penilaian	Persentase	CPMK		
			1	2	3
	Tugas /Laporan praktikum/ LKM	20		10%	10%
	Project/Product	50	10%	20%	20%
	Aktifitas /Partisipasi	10	3%	3%	4%
	Pre-test	10		5%	5%
	Post-test	10		5%	5%
	TOTAL	100	13%	43%	44%

ANALISIS KOMPETENSI MK FISILOGI HEWAN

Mg ke-	Kemampuan akhir tiap tahapan belajar MK (SubCPMK)	Penilaian		Bentuk Pengalaman Belajar: Pendekatan/Model/Metode/Teknik dan estimasi waktu		Materi Pembelajaran	Jenis & Bobot Penilaian
		Indikator	Kriteria & Bentuk Penilaian	Luring	Daring		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	Sub-CPMK 1 (CPMK 1) Menganalisis konsep dasar dan mekanisme kerja sistem saraf	Menjelaskan struktur neuron dan mekanisme hantaran impuls saraf	Kriteria: ketepatan dan kelengkapan konsep Bentuk: Pretest & LKM konsep	Diskusi konsep, kajian literatur	Akses materi via padlet, web, PPT	Sistem saraf: neuron & impuls	Pretest 5% LKM konsep 5%
2	Sub-CPMK 2 (CPMK 2) Menganalisis permasalahan fisiologis pada sistem saraf	Mengidentifikasi masalah fisiologis berbasis kasus (Polya: understanding)	Kriteria: kejelasan identifikasi masalah & relevansi konsep Bentuk: LKM problem solving	Diskusi kasus kontekstual	Akses materi via padlet, web, PPT	Gangguan sistem saraf	LKM problem solving 5%
3	Sub-CPMK 3 (CPMK 2) Merancang dan menerapkan solusi masalah sistem saraf	Menyusun strategi dan solusi berbasis konsep (Polya: planning & carrying out)	Kriteria: ketepatan strategi dan solusi Bentuk: Observasi proses & LKM proyek	Kerja kelompok proyek	Akses materi via padlet, unggah produk digital di sosmed	Pemecahan masalah sistem saraf	Posttest : 5% Aktivitas proses 5%

4	Sub-CPMK 4 (CPMK 1) Menganalisis konsep dan mekanisme kerja sistem endokrin	Menjelaskan jenis hormon dan mekanisme kerjanya	Kriteria: ketepatan dan integrasi konsep Bentuk: pretest parsial & LKM konsep	Diskusi konsep & literatur	Akses materi via padlet, web, PPT	Sistem endokrin & hormon	Pretest konsep 5% LKM konsep 5%
5	Sub-CPMK 5 (CPMK 2) Menganalisis permasalahan fisiologis pada sistem endokrin	Merumuskan masalah dan rencana solusi (Polya: understanding & planning)	Kriteria: ketepatan analisis dan perencanaan solusi Bentuk: LKM problem solving	Diskusi berbasis masalah	Akses materi via padlet, web, PPT	Gangguan sistem endokrin	LKM problem solving 5%
6	Sub-CPMK 6 (CPMK 3) Mengevaluasi solusi dan mengomunikasikan hasil dalam produk digital	Mengevaluasi solusi dan refleksi (Polya: looking back)	Kriteria: akurasi konsep, kualitas problem solving, refleksi Bentuk: Produk digital, observasi proses, posttest akhir	Presentasi proyek & refleksi	Akses materi via padlet, unggah produk digital di sosmed	Integrasi sistem saraf & endokrin	Produk digital 15% Aktivitas proses 5% Posttest akhir 10%

Semarang, Juli 2025

Penyusun RPS

Atip Nurwahyunani, S.Si., S.Pd., M.Pd.

Lampiran 2. Bahan Ajar

(Ringkasan Materi Sistem Saraf dan Sistem Endokrin pada Hewan Vertebrata dan Invertebrata)

atipnurwahyunani.com



Lampiran 3. Media Pembelajaran Digital

PADLET SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN DIGITAL PADA MATERI SISTEM SARAF DAN SISTEM ENDOKRIN

A. Deskripsi Media

Media pembelajaran digital pada perangkat pembelajaran ini dikembangkan menggunakan platform Padlet. Media ini berfungsi sebagai ruang belajar kolaboratif yang memuat materi pembelajaran, sumber belajar pendukung, panduan pengerjaan proyek, serta menjadi wadah berbagi dan mendokumentasikan hasil kerja mahasiswa selama penerapan model Digital Project-Based Learning (D-PjBL).

B. Fungsi Media Pembelajaran

Media pembelajaran berbasis Padlet digunakan untuk:

1. Menyajikan materi pembelajaran inti dan materi pengayaan,
2. Memfasilitasi diskusi dan kolaborasi antar mahasiswa,
3. Mendukung pelaksanaan tahap sintaks 6D dalam sintaks D-PjBL.

C. Cara Akses Media

Media pembelajaran digital berbasis Padlet dapat diakses melalui tautan berikut:

<https://padlet.com/atipnurwahyunan/fisiologi-sistem-saraf-hewan-vu9luvbm480sz58w>

atau QR code media pembelajaran :



Lampiran 4. LKM (Panduan Untuk Dosen)

Implementasi Model D-PjBL pada Perkuliahan Fisiologi Hewan

Mata Kuliah	Fisiologi Hewan
Program Studi	Pendidikan Biologi
Model Pembelajaran	Digital Project-Based Learning (D-PjBL)
Cakupan	Sistem Saraf dan Sistem Endokrin
Penyusun	Atip Nurwahyunani

Model D-PjBL dengan Sintaks 6D

DEFINE • DESIGN • DEVELOP • DEMONSTRATE • DEBRIEF • DISSEMINATE

A. Kedudukan dan Fungsi Panduan

Dokumen ini merupakan pegangan dosen untuk memfasilitasi dua proyek dalam LKM mahasiswa. Pemetaan sintaks 6D, indikator *Conceptual Understanding* (CU), tahapan *Problem Solving Skill* (PSS), scaffolding, bukti belajar, dan asesmen ditampilkan secara eksplisit agar implementasi model konsisten. Dokumen ini tidak dibagikan sebagai lembar isian mahasiswa.

B. Capaian yang Difasilitasi

- 1) Menjelaskan dan menganalisis mekanisme koordinasi sistem saraf serta sistem endokrin pada vertebrata dan invertebrata.
- 2) Mengevaluasi ketepatan representasi konsep berdasarkan bukti ilmiah.
- 3) Menghasilkan produk digital yang mengomunikasikan solusi atau penjelasan ilmiah secara akurat.
- 4) Menerapkan pemecahan masalah melalui tahap memahami masalah, menyusun rencana, melaksanakan rencana, dan memeriksa kembali.

C. Peta Operasional Model D-PjBL

Sintaks	Peran dosen	Indikator CU	Tahap PSS	Bukti belajar
Define	Mengorientasikan mahasiswa pada topik besar dan kasus autentik; memfasilitasi identifikasi fakta, konsep, kesenjangan informasi, dan rumusan masalah.	C2: menjelaskan konsep awal; C4: menganalisis kasus dan hubungan antarkomponen .	Memahami masalah: mengidentifikasi diketahui—ditanyakan—kendala.	Peta fakta/pertanyaan; rumusan masalah dan tujuan proyek.

Design	Membimbing penetapan solusi komunikasi digital, sasaran audiens, isi, sumber, pembagian tugas, jadwal, dan kriteria mutu.	C4: mengorganisasi informasi; C6: merancang representasi konsep.	Menyusun rencana: memilih strategi, sumber, dan tahapan penyelesaian.	Proposal ringkas; peta konsep; storyboard/layout; jadwal.
Develop	Memantau pencarian bukti, pengolahan konsep, produksi prototipe, uji keterbacaan/akurasi, dan perbaikan.	C4: mengurai dan menghubungkan bukti; C5: menilai akurasi; C6: menghasilkan produk.	Melaksanakan rencana: menerapkan strategi, memonitor proses, mengatasi hambatan.	Draft/prototipe; log kemajuan; daftar referensi; produk versi 1.
Demonstrate	Mengatur unjuk karya dan tanya jawab; menguji ketepatan konsep dan kualitas argumentasi.	C4: menjelaskan hubungan; C5: mempertahankan penilaian berbasis bukti.	Melaksanakan dan mengomunikasikan penyelesaian.	Presentasi; respons atas pertanyaan; umpan balik sejawat.
Debrief	Memfasilitasi telaah proses dan hasil; membandingkan tujuan dengan capaian; memutuskan revisi.	C5: mengevaluasi produk/argumen; C6: merumuskan perbaikan.	Memeriksa kembali: memvalidasi hasil dan menentukan koreksi.	Catatan umpan balik; daftar revisi; refleksi individu/kelompok.
Disseminate	Memastikan revisi selesai, etika publikasi dipenuhi, dan produk dibagikan kepada audiens autentik.	C5: menilai kelayakan publikasi; C6: menyajikan produk final.	Memeriksa kembali dampak dan keberterimaan solusi.	Produk final; tautan publikasi; tanggapan audiens.

D. Prinsip Scaffolding

- 1) Mulai dari pertanyaan terbuka; bukan langsung memberi jawaban konsep.
- 2) Gunakan pertanyaan penuntun hanya ketika kelompok tidak dapat melanjutkan secara mandiri.
- 3) Minta mahasiswa menunjukkan sumber dan alasan, bukan sekadar menyebut istilah.
- 4) Kurangi bantuan secara bertahap saat mahasiswa mampu mengambil keputusan proyek.
- 5) Catat miskonsepsi dan hambatan sebagai dasar debrief serta tindak lanjut.

PROYEK A — Sistem Saraf

TOPIK BESAR

Bagaimana sistem saraf vertebrata dan invertebrata mengoordinasikan respons yang cepat dan tepat terhadap perubahan lingkungan?

Komponen	Keterangan
Alokasi	Pertemuan 1–3
Produk utama	Poster digital
Konsep kunci	organisasi sistem saraf; neuron dan transmisi impuls; lengkung refleks; integrasi sensorik-motorik; perbandingan vertebrata–invertebrata
Bukti proses dan hasil	rumusan masalah, peta konsep, rancangan poster, produk final, presentasi, catatan revisi, tautan publikasi

A. Situasi Autentik dan Tantangan Proyek

Katak segera melompat ketika mendeteksi ancaman, sedangkan serangga menampilkan respons orientasi, gerak, atau menghindari terhadap rangsangan. Keduanya menerima rangsangan dan menghasilkan respons, tetapi organisasi sistem saraf serta jalur koordinasinya tidak sama.

TANTANGAN PROYEK: Rancang poster digital komparatif yang menjelaskan alur stimulus–reseptor–pusat integrasi–efektor–respons pada katak dan satu contoh serangga, serta menunjukkan bagaimana perbedaan organisasi sistem saraf memengaruhi respons adaptif keduanya.

B. Spesifikasi Minimum Produk

- 1) Memuat satu kasus respons katak dan satu kasus respons serangga.
- 2) Menampilkan alur mekanisme respons secara ilmiah dan mudah dibaca.
- 3) Memuat persamaan dan perbedaan organisasi atau mekanisme saraf.
- 4) Menggunakan minimal tiga sumber ilmiah yang kredibel.
- 5) Mencantumkan sitasi ringkas dan daftar referensi.

C. Skenario Fasilitasi per Sintaks

6D	Fokus	Peran dosen	Scaffolding yang dapat digunakan	C U	PSS	Bukti
Definisi	Orientasi masalah dan penetapan fokus proyek	Tampilkan kasus tanpa memberi uraian mekanisme lengkap. Minta mahasiswa mencatat fakta, dugaan awal, informasi yang belum diketahui, dan pertanyaan yang layak dijawab melalui produk. Fasilitasi pemilihan satu fokus yang tetap menjawab topik besar.	Apa yang sudah diketahui dari kasus? Bukti apa yang mendukung dugaan itu? Bagian mekanisme mana yang belum dapat dijelaskan? Mengapa masalah ini penting bagi audiens?	C2, C4	Memahami masalah	Rumusan masalah spesifik, tujuan proyek, dan kebutuhan informasi.
Desain	Perencanaan solusi dan representasi digital	Minta kelompok menentukan audiens, pesan utama, struktur isi, sumber data, format visual/audio, pembagian peran, jadwal, dan indikator mutu. Uji apakah rancangan benar-benar menjawab rumusan masalah.	Apa pesan ilmiah utama? Bagaimana urutan informasi membantu audiens memahami mekanisme? Sumber mana yang paling dapat dipercaya? Apa risiko rencana dan alternatifnya?	C4, C6	Menyusun rencana	Peta konsep, layout/storyboard, daftar sumber, pembagian tugas, jadwal.
Develop	Produksi, pemantauan, dan uji awal	Lakukan konferensi singkat per kelompok. Periksa akurasi konsep, koherensi mekanisme, kualitas bukti, kejelasan komunikasi, etika penggunaan media, dan keterlaksanaan jadwal. Jangan mengambil alih keputusan kelompok.	Apakah setiap klaim memiliki sumber? Adakah lompatan mekanisme? Bagian mana yang dapat menimbulkan miskonsepsi? Apa hambatan utama dan langkah penanganannya?	C4, C5, C6	Melaksanakan rencana	Prototipe, log proses, hasil uji awal, dan produk versi 1.

De mon strate	Unjuk karya dan pengujian argumentasi	Atur presentasi ringkas. Kelompok menjelaskan keputusan konseptual dan desain, lalu menjawab pertanyaan. Sejawat memberi umpan balik berbasis kriteria.	Bagian mana yang paling kuat? Konsep apa yang perlu diklarifikasi? Apakah kesimpulan sejalan dengan bukti?	C4, C5	Melaks anakan rencana	Presentasi, tanya jawab, dan umpan balik sejawat.
De brief	Pemeriksaan kembali dan keputusan revisi	Bandungkan produk dengan tujuan, spesifikasi, dan umpan balik. Minta kelompok memilah revisi wajib dan pengayaan, serta menjelaskan alasannya. Tutup dengan refleksi individu.	Apa yang berubah dari pemahaman awal? Keputusan mana yang perlu direvisi? Apa bukti bahwa revisi memperbaiki produk? Strategi apa yang akan dipertahankan?	C5, C6	Memerika kembali	Matriks umpan balik— keputusan revisi dan refleksi.
Diss eminate	Finalisasi dan publikasi bertanggung jawab	Verifikasi akurasi, sitasi, kredit media, privasi, aksesibilitas, serta kesesuaian kanal. Minta kelompok merekam tautan dan tanggapan audiens.	Apakah produk layak dipublikasikan? Siapa audiensnya? Bagaimana tanggapan audiens digunakan untuk menilai kebermanfaatan produk?	C5, C6	Memerika kembali	Produk final, tautan publikasi, dan respons audiens.

D. Antisipasi Konsep dan Miskonsepsi

Miskonsepsi potensi	Konsep yang diarahkan	Tindak lanjut dosen
Respons cepat selalu berarti refleksi.	Bedakan respons refleksi dan respons sadar berdasarkan jalur integrasi.	Minta kelompok menelusuri alur impuls dan lokasi integrasi.
Sistem saraf serangga sama dengan vertebrata, hanya lebih sederhana.	Organisasi ganglion/rantai saraf ventral berbeda dari SSP vertebrata.	Gunakan diagram komparatif berbasis sumber zoologi/fisiologi.

Neuron mengirim “listrik” tanpa proses kimia.	Transmisi melibatkan potensial aksi dan sinaps kimia/elektrik.	Minta kelompok menandai bagian listrik dan kimia pada alur.
---	--	---

E. Checkpoint dan Asesmen Formatif

Checkpoint	Yang diperiksa	Keputusan tindak lanjut
Setelah Define	Masalah spesifik, relevan, dapat ditelusuri, dan selaras dengan topik besar.	Setujui fokus atau minta penyempitan/perumusan ulang.
Setelah Design	Alur konsep, kelayakan rencana, sumber, peran, jadwal, dan kriteria mutu.	Izinkan produksi atau minta perbaikan rancangan.
Saat Develop	Akurasi, koherensi, bukti, progres, dan etika media.	Berikan pertanyaan penuntun dan batas waktu revisi.
Setelah Demonstrate	Umpan balik substansial dan respons kelompok.	Tetapkan revisi wajib dan pengayaan.
Sebelum Disseminate	Produk final, sitasi, kredit, privasi, aksesibilitas.	Berikan izin publikasi atau kembalikan untuk koreksi.

Lampiran 5. Instrumen & Rubrik Asesmen Pembelajaran (LKM)

INSTRUMEN DAN RUBRIK PENILAIAN LKM

Rubrik Pendamping LKM Model D-PjBL pada Perkuliahan Fisiologi Hewan

A. Identitas Penilaian

Komponen	Isian
Mata kuliah	Fisiologi Hewan
Materi/proyek	☐ Sistem Saraf—Poster Digital ☐ Sistem Endokrin—Video Edukasi
Nama kelompok/mahasiswa	
Kelas	
Dosen/penilai	
Tanggal penilaian	

B. Petunjuk Penilaian

- 1) Cocokkan bukti yang terdapat dalam LKM, dokumen proses, presentasi, dan hasil publikasi dengan setiap indikator.
- 2) Berikan satu skor 1–4 pada setiap indikator berdasarkan deskriptor yang paling sesuai.
- 3) Gunakan bukti yang benar-benar tersedia; jangan menilai hanya dari kelengkapan tulisan jika bukti proses atau produk menunjukkan capaian yang berbeda.
- 4) Tuliskan catatan singkat pada indikator yang memerlukan perbaikan.
- 5) Jumlahkan skor 15 indikator. Skor maksimal adalah $15 \times 4 = 60$.

RUMUS NILAI AKHIR

Nilai Akhir = $(\text{Skor Perolehan} \div 60) \times 100$

C. Pemetaan Indikator Penilaian

No	Indikator	Bukti pada LKM	CU	PSS
1	Memahami konteks proyek	Fakta, dugaan awal, dan informasi yang perlu dicari.	CU: C2, C4	PSS: memahami masalah
2	Merumuskan masalah	Rumusan masalah proyek.	CU: C4	PSS: memahami masalah
3	Menetapkan tujuan proyek	Tujuan proyek dan alasan pentingnya fokus.	CU: C4	PSS: memahami masalah
4	Menentukan gagasan produk	Audiens, pesan utama, bentuk, dan gaya penyajian.	CU: C4	PSS: menyusun rencana
5	Merancang alur isi	Peta konsep, layout poster, atau storyboard video.	CU: C6	PSS: menyusun rencana
6	Mengorganisasi kerja kelompok	Pembagian peran, target waktu, dan bukti kontribusi.	CU: C4	PSS: menyusun rencana
7	Mengembangkan prototipe	Prototipe/draft yang merepresentasikan konsep dan fokus masalah.	CU: C6	PSS: melaksanakan rencana

8	Menggunakan sumber ilmiah	Sumber awal, sitasi, referensi, dan kredit media.	CU: C4, C5	PSS: melaksanakan rencana
9	Menyajikan produk	Presentasi dan ringkasan penjelasan produk.	CU: C4	PSS: melaksanakan rencana
10	Mempertahankan argumentasi	Jawaban terhadap pertanyaan berdasarkan konsep dan bukti.	CU: C5	PSS: melaksanakan rencana
11	Mengevaluasi pemahaman konsep	Refleksi tentang konsep yang berubah atau menguat.	CU: C5	PSS: memeriksa kembali
12	Mengidentifikasi hambatan	Log masalah dan uraian kesulitan selama proyek.	CU: C4	PSS: memeriksa kembali
13	Menetapkan solusi dan revisi	Keputusan penyelesaian masalah serta matriks umpan balik–revisi.	CU: C5, C6	PSS: memeriksa kembali
14	Mempublikasikan produk	Produk final, kanal, audiens, dan tautan publikasi.	CU: C6	PSS: memeriksa kembali
15	Menelaah respons audiens	Tanggapan audiens dan maknanya bagi kebermanfaatan/perbaikan produk.	CU: C5	PSS: memeriksa kembali

D. Rubrik Analitik Penilaian LKM

N o.	Indikator	4 — Sangat Baik	3 — Baik	2 — Cukup	1 — Kurang
1	Pemahaman konteks	Fakta, hubungan konsep, dan kebutuhan informasi diidentifikasi lengkap, tepat, dan relevan.	Sebagian besar tepat dan relevan, tetapi satu unsur belum lengkap.	Identifikasi masih umum/parsial dan terdapat kekeliruan konsep.	Tidak menunjukkan pemahaman konteks atau tidak ada bukti.
2	Rumusan masalah	Jelas, spesifik, dapat diselidiki, selaras dengan topik besar dan produk.	Jelas dan relevan, tetapi fokus atau keterukurannya belum optimal.	Masih terlalu luas/kabur atau kurang selaras dengan produk.	Tidak relevan atau tidak dirumuskan.
3	Tujuan proyek	Spesifik, selaras dengan masalah, produk, dan kebutuhan audiens.	Selaras dengan masalah, tetapi belum lengkap atau spesifik.	Hubungan tujuan dengan masalah/produk masih lemah.	Tidak selaras atau tidak dituliskan.
4	Gagasan produk	Audiens, pesan, format, dan pendekatan penyajian dipilih logis serta	Gagasan relevan; satu komponen keputusan belum kuat.	Gagasan masih umum dan hubungan dengan masalah kurang jelas.	Gagasan tidak sesuai atau tidak tersedia.

		menjawab masalah.			
5	Alur isi	Peta konsep/layout/storyboard sistematis, akurat, lengkap, dan mudah diikuti.	Sistematis dan sesuai konsep, tetapi masih ada bagian kurang rinci.	Alur kurang runtut atau memuat bagian yang berpotensi menimbulkan miskonsepsi.	Tidak tersedia atau tidak dapat digunakan sebagai rancangan.
6	Organisasi kelompok	Peran proporsional, target waktu jelas, dan kontribusi seluruh anggota terdokumentasi.	Peran dan waktu cukup jelas; dokumentasi kontribusi belum lengkap.	Pembagian peran/timeline kurang jelas atau tidak proporsional.	Tidak ada pembagian peran dan bukti kontribusi.
7	Prototipe produk	Prototipe utuh, akurat, merepresentasikan solusi dan konsep utama, serta layak dikembangkan.	Prototipe sesuai fokus dengan kekurangan minor.	Prototipe parsial atau belum merepresentasikan mekanisme secara tepat.	Tidak tersedia atau tidak relevan.
8	Sumber ilmiah	Minimal tiga sumber kredibel, relevan, mutakhir/layak, digunakan untuk mendukung klaim, dan ditulis konsisten.	Sumber memenuhi jumlah dan relevan, tetapi penggunaan/sitasi belum konsisten.	Sumber terbatas, kurang kredibel, atau tidak terhubung dengan klaim.	Tidak mencantumkan sumber.
9	Penyajian produk	Penyajian runtut, komunikatif, tepat konsep, sesuai waktu, dan menonjolkan jawaban atas masalah.	Runtut dan cukup tepat; terdapat kekurangan kecil pada komunikasi atau kedalaman.	Kurang runtut, kurang fokus, atau terdapat beberapa ketidaktepatan.	Tidak melakukan penyajian atau isi tidak dapat dinilai.
10	Argumentasi	Menjawab pertanyaan secara logis, tepat, dan konsisten dengan bukti ilmiah.	Jawaban tepat dan logis, tetapi bukti/penjelasan belum kuat.	Jawaban sebagian tepat, umum, atau kurang didukung bukti.	Tidak mampu menjawab atau jawaban tidak relevan.
11	Refleksi konsep	Menjelaskan perubahan/pengubahan pemahaman secara spesifik dengan contoh konsep yang tepat.	Menjelaskan pemahaman baru dengan cukup tepat, tetapi belum mendalam.	Refleksi masih umum atau hanya menyebut aktivitas.	Tidak ada refleksi konsep yang bermakna.

12	Identifikasi hambatan	Hambatan konseptual, teknis, dan/atau kolaboratif diidentifikasi spesifik beserta penyebabnya.	Hambatan diidentifikasi jelas, tetapi penyebab belum lengkap.	Hambatan disebutkan secara umum tanpa analisis.	Tidak mengidentifikasi hambatan.
13	Solusi dan revisi	Solusi logis, berbasis bukti/umpan balik, dilaksanakan, dan menghasilkan revisi yang jelas.	Solusi relevan dan revisi dilakukan, tetapi alasan/buktinya belum kuat.	Solusi kurang tepat atau revisi hanya sebagian.	Tidak ada solusi atau revisi.
14	Publikasi produk	Produk final layak, lengkap, etis, mudah diakses, dan dipublikasikan pada kanal yang sesuai audiens.	Produk dipublikasikan dengan kekurangan minor pada kelengkapan/aksesibilitas.	Publikasi dilakukan, tetapi kanal, kelengkapan, atau etika media kurang sesuai.	Produk tidak dipublikasikan dan tidak ada bukti tautan.
15	Respons audiens	Respons terdokumentasi dan dianalisis untuk menilai manfaat atau menentukan perbaikan.	Respons terdokumentasi dan ditanggapi, tetapi analisis belum mendalam.	Respons hanya dicantumkan tanpa penelaahan.	Tidak ada dokumentasi respons atau tindak lanjut.

LEMBAR PENSKORAN DAN REKAPITULASI PENILAIAN LKM

A. Identitas

Nama :

Kelompok :

Anggota/NIM : 1. 2. 3. dst.

Kelas :

Materi/Proyek : ☐ Sistem Saraf–Poster ☐ Sistem Endokrin–Video

Judul Produk :

Dosen/Penilai :

Tanggal :

No.	Indikator	Skor (1–4)	Catatan penilai
1	Memahami konteks proyek		
2	Merumuskan masalah		
3	Menetapkan tujuan proyek		
4	Menentukan gagasan produk		
5	Merancang alur isi		
6	Mengorganisasi kerja kelompok		
7	Mengembangkan prototipe		
8	Menggunakan sumber ilmiah		
9	Menyajikan produk		
10	Mempertahankan argumentasi		
11	Mengevaluasi pemahaman konsep		
12	Mengidentifikasi hambatan		
13	Menetapkan solusi dan revisi		
14	Mempublikasikan produk		
15	Menelaah respons audiens		
	JUMLAH SKOR		
	NILAI AKHIR = (Skor Perolehan ÷ 60) × 100		

Rentang nilai	Kategori	Interpretasi
85–100	Sangat Baik	Bukti proses dan hasil proyek menunjukkan capaian sangat optimal.
70–84	Baik	Bukti proses dan hasil proyek menunjukkan capaian yang baik.
55–69	Cukup	Sebagian capaian telah tampak, tetapi masih memerlukan penguatan.
<55	Kurang	Bukti capaian masih terbatas dan memerlukan tindak lanjut.

Catatan Penilai

.....

.....

.....

Lampiran 6. Instrumen & Rubrik Asesmen Pembelajaran (*Soal Pre-test dan Post-test*)

SOAL PRE-POST TEST SISTEM SARAF

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Mahasiswa yang saya banggakan, untuk memperdalam materi perkuliahan Fisiologi Hewan dengan topik Sistem Saraf, silakan mengisi pre-test/post-test berikut. Tujuan dari pretest ini adalah untuk:

1. Mengukur pengetahuan awal kalian tentang sistem saraf pada invertebrata dan vertebrata.
2. Mengetahui pemahaman dasar tentang mekanisme refleksi.
3. Menjadi bahan refleksi bagi kita semua agar proses pembelajaran lebih efektif.

Petunjuk Pengisian:

1. Bacalah setiap soal dengan cermat.
2. Jawablah sesuai pengetahuan yang kalian miliki saat ini (tidak perlu mencari jawaban di luar).
3. Tidak ada konsekuensi nilai negatif, hasil pretest ini murni untuk pemetaan awal.
4. Waktu pengerjaan maksimal: 10 menit.

Identitas Mahasiswa :

Nama :

Email :

Afiliasi/ Universitas :

A. SOAL

1. Seekor belut listrik mampu menghasilkan impuls saraf sangat cepat untuk melumpuhkan mangsanya. Analisislah bagaimana struktur akson bermielin dan non-mielin memengaruhi kecepatan hantaran impuls saraf!
2. Dalam eksperimen, seekor katak diberikan larutan yang menghambat kerja ion natrium pada membran neuron. Analisislah apa yang terjadi pada mekanisme potensial aksi dan transmisi impuls saraf katak tersebut!
3. Bandingkan efektivitas sistem saraf invertebrata (misalnya serangga) dengan vertebrata (misalnya burung) dalam merespons predator. Evaluasilah kelebihan dan keterbatasan masing-masing sistem dalam mendukung kelangsungan hidup hewan!
4. Seekor lebah terpapar pestisida dan kehilangan kemampuan orientasi saat terbang. Evaluasilah dampak pestisida terhadap sistem saraf lebah, dan berikan argumen ilmiah mengenai potensi ancaman terhadap kelangsungan populasi lebah di ekosistem!
5. Bayangkan Anda diminta membuat media pembelajaran digital untuk menjelaskan jalur refleksi pada hewan sederhana. Rancanglah konsep media digital tersebut (bentuk, konten utama, alur penyajian) agar mudah dipahami siswa SMA!
6. Seekor ikan di perairan tercemar merkuri menunjukkan gangguan koordinasi gerakan. Analisislah mekanisme gangguan sistem saraf yang terjadi!
7. Seekor anjing laboratorium diberikan obat yang menghambat enzim asetilkolinesterase. Analisis dampaknya terhadap transmisi impuls saraf!

8. Banyak koloni lebah mati mendadak setelah terpapar pestisida. Evaluasilah faktor saraf yang terlibat, serta dampaknya terhadap ekosistem!
9. Bayangkan Anda diminta memberi solusi mitigasi untuk peternakan ikan yang sering mengalami kematian akibat gangguan saraf karena limbah. Rancanglah strategi berbasis fisiologi hewan!
10. Anda diminta membuat proyek digital untuk menjelaskan refleks sederhana pada katak. Buatlah rancangan ide produk (bentuk, isi, tujuan) yang bisa diaplikasikan di kelas Biologi SMA!

B. Kisi-kisi Instrumen

No	CP Prodi	CPMK/Sub-CPMK	Indikator CU	Level	Soal	Pokok Jawaban	Skor
1	P1, KU1, KU2, KK1, S9	CPMK-1 Sub-CPMK 1.2	Menganalisis hubungan struktur akson bermielin dan nonmielin terhadap kecepatan hantaran impuls.	C4	Seekor belut listrik mampu menghasilkan impuls saraf sangat cepat untuk melumpuhkan mangsanya. Analisislah bagaimana struktur akson bermielin dan nonmielin memengaruhi kecepatan hantaran impuls saraf!	• Fungsi mielin • Nodus Ranvier • Konduksi saltatori • Akson bermielin lebih cepat • Dikaitkan dengan belut listrik	0–4
2	P1, KU1, KU2, KK1, S9	CPMK-1 Sub-CPMK 1.2	Menganalisis mekanisme potensial aksi akibat hambatan ion Na^+ .	C4	Dalam eksperimen, seekor katak diberikan larutan yang menghambat kerja ion natrium pada membran neuron. Analisislah apa yang terjadi pada mekanisme potensial aksi dan transmisi impuls saraf katak tersebut!	• Na^+ berperan pada depolarisasi • Potensial aksi gagal terbentuk • Impuls terganggu	0–4
3	P1, KU1, KU2, KK1, S9	CPMK-1 Sub-CPMK 1.3	Mengevaluasi perbedaan sistem saraf vertebrata dan invertebrata.	C5	Bandingkan efektivitas sistem saraf invertebrata dengan vertebrata dalam merespons predator.	• Vertebrata lebih kompleks • Invertebrata lebih sederhana • Kelebihan dan keterbatasan masing-masing	0–4
4	P1, KU1, KU2, KK1, S9	CPMK-1 Sub-CPMK 1.3	Mengevaluasi dampak pestisida terhadap sistem saraf lebah.	C5	Seekor lebah terpapar pestisida dan kehilangan kemampuan orientasi saat terbang. Evaluasilah dampaknya.	• Neurotoksik • Gangguan neurotransmiter • Dampak populasi	0–4

5	P1, KU1, KU2, KK1, S9	CPMK-1 Sub-CPMK 1.2	Merancang representasi konsep jalur refleks berdasarkan fisiologi saraf.	C6	Bayangkan Anda diminta membuat media pembelajaran digital untuk menjelaskan jalur refleks pada hewan sederhana.	• Jalur refleks benar • Urutan neuron benar • Konsep fisiologi benar	0–4
6	P1, KU1, KU2, KK1, S9	CPMK-1 Sub-CPMK 1.2	Menganalisis gangguan sistem saraf akibat merkuri.	C4	Seekor ikan di perairan tercemar merkuri menunjukkan gangguan koordinasi gerakan. Analisislah mekanisme gangguan sistem saraf yang terjadi!	• Merkuri neurotoksik • Merusak neuron • Gangguan koordinasi	0–4
7	P1, KU1, KU2, KK1, S9	CPMK-1 Sub-CPMK 1.2	Menganalisis dampak penghambatan asetilkolinesterase.	C4	Seekor anjing laboratorium diberikan obat yang menghambat enzim asetilkolinesterase. Analisis dampaknya terhadap transmisi impuls saraf!	• ACh menumpuk • Rangsang terus-menerus • Transmisi terganggu	0–4
8	P1, KU1, KU2, KK1, S9	CPMK-1 Sub-CPMK 1.3	Mengevaluasi dampak gangguan saraf lebah terhadap ekosistem.	C5	Banyak koloni lebah mati mendadak setelah terpapar pestisida. Evaluasilah faktor saraf yang terlibat serta dampaknya terhadap ekosistem!	• Gangguan orientasi • Penyerbukan menurun • Ekosistem terganggu	0–4
9	P1, KU1, KU2, KK1, S9	CPMK-1 Sub-CPMK 1.3	Merancang strategi konseptual berbasis fisiologi saraf.	C6	Bayangkan Anda diminta memberi solusi mitigasi untuk peternakan ikan yang sering mengalami kematian akibat gangguan saraf karena limbah.	• Konsep fisiologi benar • Mitigasi ilmiah • Kualitas lingkungan	0–4
10	P1, KU1, KU2, KK1, S9	CPMK-1 Sub-CPMK 1.2	Merancang representasi konsep refleks dalam proyek digital.	C6	Anda diminta membuat proyek digital untuk menjelaskan refleks sederhana pada katak.	• Konsep refleks benar • Jalur refleks tepat • Tujuan edukatif	0–4

C. Rubrik Penskoran Conceptual Understanding

Skor	Kriteria
4	Konsep lengkap, benar, terintegrasi, menggunakan istilah ilmiah secara tepat.
3	Konsep benar namun masih kurang lengkap.
2	Sebagian konsep benar, masih terdapat miskonsepsi ringan.
1	Jawaban sangat terbatas dan kurang tepat.
0	Tidak menjawab atau tidak relevan.

Lampiran 7. Instrumen Penilaian *Problem Solving Skill* (PSS) melalui Produk Proyek Digital Model D-PjBL

Instrumen ini digunakan untuk menilai Keterampilan Pemecahan Masalah (*Problem Solving Skill*/PSS) mahasiswa melalui produk proyek digital berupa poster (materi Sistem Saraf) dan video (materi Sistem Endokrin). Instrumen diturunkan berdasarkan tahapan *Problem Solving Polya* sehingga seluruh indikator berorientasi pada kemampuan memecahkan masalah.

A. Lembar Penilaian

No	Indikator PSS	Tahapan Polya	Bukti yang Diamati	Skor (1-4)	Catatan
1	Mengidentifikasi permasalahan fisiologis secara tepat	Understand	Masalah dirumuskan jelas, kontekstual, berbasis fenomena		
2	Menentukan informasi dan konsep ilmiah yang relevan untuk memahami masalah	Understand	Informasi/konsep yang dipilih mendukung pemahaman masalah		
3	Merumuskan tujuan penyelesaian masalah	Understand	Tujuan sesuai dengan masalah yang dikaji		
4	Menyusun strategi penyelesaian masalah	Plan	Strategi logis, sistematis, dapat diterapkan		
5	Mengembangkan solusi ilmiah berdasarkan hasil analisis	Solve	Solusi didukung argumentasi dan hubungan sebab-akibat		
6	Menyajikan solusi melalui media digital secara efektif	Solve	Poster/video membantu audiens memahami solusi		
7	Mengomunikasikan solusi secara ilmiah	Solve	Bahasa ilmiah, runtut, komunikatif		
8	Menunjukkan kreativitas dalam mengembangkan solusi	Solve	Ada kebaruan ide/visualisasi		
9	Mengevaluasi dampak dan implikasi solusi	Evaluate	Dampak biologis/lingkungan dibahas kritis		
10	Mengevaluasi keterpaduan solusi dalam menjawab permasalahan	Evaluate	Seluruh komponen produk saling mendukung		

Skor Maksimum = 40

Nilai Akhir = $(\text{Skor Perolehan}/40) \times 100$

B. Rubrik Penskoran Umum

Skor	Deskripsi
4	Sangat sesuai dengan indikator; bukti tampak lengkap, logis, sistematis, dan menunjukkan kemampuan problem solving yang sangat baik.
3	Sesuai dengan indikator; sebagian besar bukti tampak, masih terdapat kekurangan kecil.
2	Kurang sesuai dengan indikator; hanya sebagian bukti tampak sehingga kemampuan problem solving belum optimal.
1	Tidak sesuai dengan indikator atau belum menunjukkan kemampuan problem solving yang diharapkan.

C. Kategori Penilaian

Rentang	Kategori	Interpretasi
85–100	Sangat Baik	PSS berkembang sangat optimal
70–84	Baik	PSS berkembang dengan baik
55–69	Cukup	PSS berkembang namun masih memerlukan penguatan
<55	Kurang	PSS belum berkembang optimal