
**POTENSI BLENDED LABORATORY-BASED LEARNING DALAM
MENINGKATKAN KETERAMPILAN PROSES SAINS DAN PEMAHAMAN
KONSEP SISWA: SEBUAH SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

Wahyu Nur Hidayat

Universitas Riau, Pekanbaru

*Email korespondensi: wahyunurhidayat927@gmail.com

ABSTRAK

Rendahnya keterampilan proses sains dan pemahaman konsep siswa Indonesia, sebagaimana tercermin dari hasil PISA 2022, mendorong perlunya inovasi pembelajaran. *Blended Laboratory-Based Learning* (BLBL) hadir sebagai solusi dengan mengintegrasikan keunggulan laboratorium riil dan virtual dalam kerangka pembelajaran terpadu. Penelitian Systematic Literature Review (SLR) ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas BLBL dalam meningkatkan keterampilan proses sains dan pemahaman konsep siswa berdasarkan bukti empiris terkini. Metode review dilakukan dengan protokol PRISMA, menganalisis 5 artikel empiris dari jurnal terindeks. Hasil analisis tematik menunjukkan bahwa BLBL konsisten efektif dalam meningkatkan kedua aspek tersebut. Model B-PjBL signifikan meningkatkan keterampilan proses sains ($p < 0,05$), sementara STB-LAB meningkatkan pemahaman konsep dengan effect size Cohen's D 1,226 (kategori sangat kuat). Integrasi laboratorium riil-virtual dan inkuiri berbasis simulasi juga menunjukkan peningkatan N-gain kategori sedang. Keberhasilan BLBL ditentukan oleh faktor desain pembelajaran, infrastruktur teknologi, kapasitas pedagogik guru, dan konteks pendukung. Disimpulkan bahwa BLBL merupakan model pembelajaran yang efektif dan relevan untuk pembelajaran sains era digital.

Kata kunci: Blended Learning, Laboratorium Virtual, Keterampilan Proses Sains, Pemahaman Konsep, Systematic Review

PENDAHULUAN

Pembelajaran sains di Indonesia masih menghadapi tantangan kompleks, khususnya dalam penguasaan keterampilan proses sains dan pemahaman konsep siswa. Hal ini ditunjukkan oleh posisi Indonesia pada peringkat 70 dari 81 negara dalam studi PISA 2022 (OECD, 2023). Keterampilan proses sains seperti observasi, perumusan hipotesis, dan interpretasi data merupakan kemampuan fundamental dalam konstruksi pengetahuan sains (Rustaman, 2007). Namun, praktik pembelajaran di lapangan seringkali belum optimal mengembangkan aspek-aspek tersebut.

Dalam konteks revolusi industri 4.0, perkembangan teknologi pendidikan menawarkan peluang transformatif melalui model *Blended Laboratory-Based Learning* (BLBL). BLBL mengintegrasikan pembelajaran tatap muka dengan pemanfaatan laboratorium virtual, memadukan keunggulan pengalaman sensori dari laboratorium riil dan fleksibilitas visualisasi dari laboratorium virtual (Muis, 2022). Integrasi ini diharapkan dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih komprehensif dan bermakna.

Studi ini dilandasi oleh kerangka *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) (Mishra & Koehler, 2006) dan teori Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) (Mayer, 2009). TPACK menjelaskan bagaimana keberhasilan BLBL bergantung pada integrasi yang bermakna antara pengetahuan teknologi (laboratorium virtual), pedagogi (model inkuiri, PjBL), dan konten sains. Sementara itu, CTML memberikan prinsip desain untuk meminimalkan beban kognitif dan memaksimalkan pembelajaran melalui representasi multimodal yang disajikan oleh laboratorium virtual dan riil.

Meskipun beberapa studi empiris telah menguji BLBL secara terpisah, sintesis sistematis yang memadukan temuan untuk mengidentifikasi pola efektivitas, model terbaik, dan faktor penentu keberhasilan dalam konteks Indonesia masih terbatas. Systematic Literature Review (SLR) ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan memberikan bukti terpadu dan rekomendasi praktis yang berbasis bukti bagi peneliti, praktisi, dan pembuat kebijakan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dirancang untuk menjawab pertanyaan: (1) Bagaimana efektivitas BLBL dalam meningkatkan keterampilan proses sains siswa? (2) Sejauh mana BLBL berkontribusi terhadap penguatan pemahaman konseptual siswa? (3) Model dan strategi BLBL seperti apa yang terbukti efektif berdasarkan bukti empiris? (4) Faktor-faktor apa saja yang memediasi keberhasilan implementasi BLBL?

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan Systematic Literature Review (SLR) menggunakan metode PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page & Moher, 2017). Pendekatan sistematis ini dipilih untuk memastikan transparansi, reproduisibilitas, dan minimalisasi bias dalam proses review (Snyder, 2019).

Pertanyaan Penelitian

Tahapan tinjauan pustaka didasarkan pada pertanyaan penelitian (RQ) yang disajikan pada Tabel 1, bertujuan untuk fokus dan memudahkan penemuan data relevan.

Tabel 1. Pertanyaan Penelitian

No.	Pertanyaan Penelitian	Tujuan Analisis
1	Bagaimana efektivitas implementasi BLBL dalam meningkatkan	Menganalisis efektivitas BLBL dalam meningkatkan keterampilan proses sains

No.	Pertanyaan Penelitian	Tujuan Analisis
2	keterampilan proses sains siswa? Sejauh mana BLBL berkontribusi terhadap penguatan pemahaman konseptual siswa?	siswa berdasarkan sintesis evidence-based Mengevaluasi kontribusi BLBL terhadap penguatan pemahaman konseptual siswa
3	Model dan strategi BLBL seperti apa yang terbukti efektif berdasarkan bukti empiris?	Mengidentifikasi model dan strategi BLBL yang terbukti efektif
4	Faktor-faktor apa saja yang memediasi keberhasilan implementasi BLBL?	Menganalisis faktor-faktor penentu keberhasilan implementasi BLBL

Strategi Pencarian

Pencarian literatur dilakukan pada empat basis data ilmiah:

1. Crossref - untuk akses DOI dan metadata publikasi
2. Google Scholar - untuk cakupan publikasi yang luas
3. Semantic Scholar - untuk analisis sitasi berpengaruh
4. OpenAlex - untuk akses terbuka dan data bibliometrik

string pencarian: ("blended learning" OR "hybrid learning") AND ("science lab" OR "virtual lab") AND ("science process skills" OR "conceptual understanding") AND Indonesia.

Prosedur Seleksi

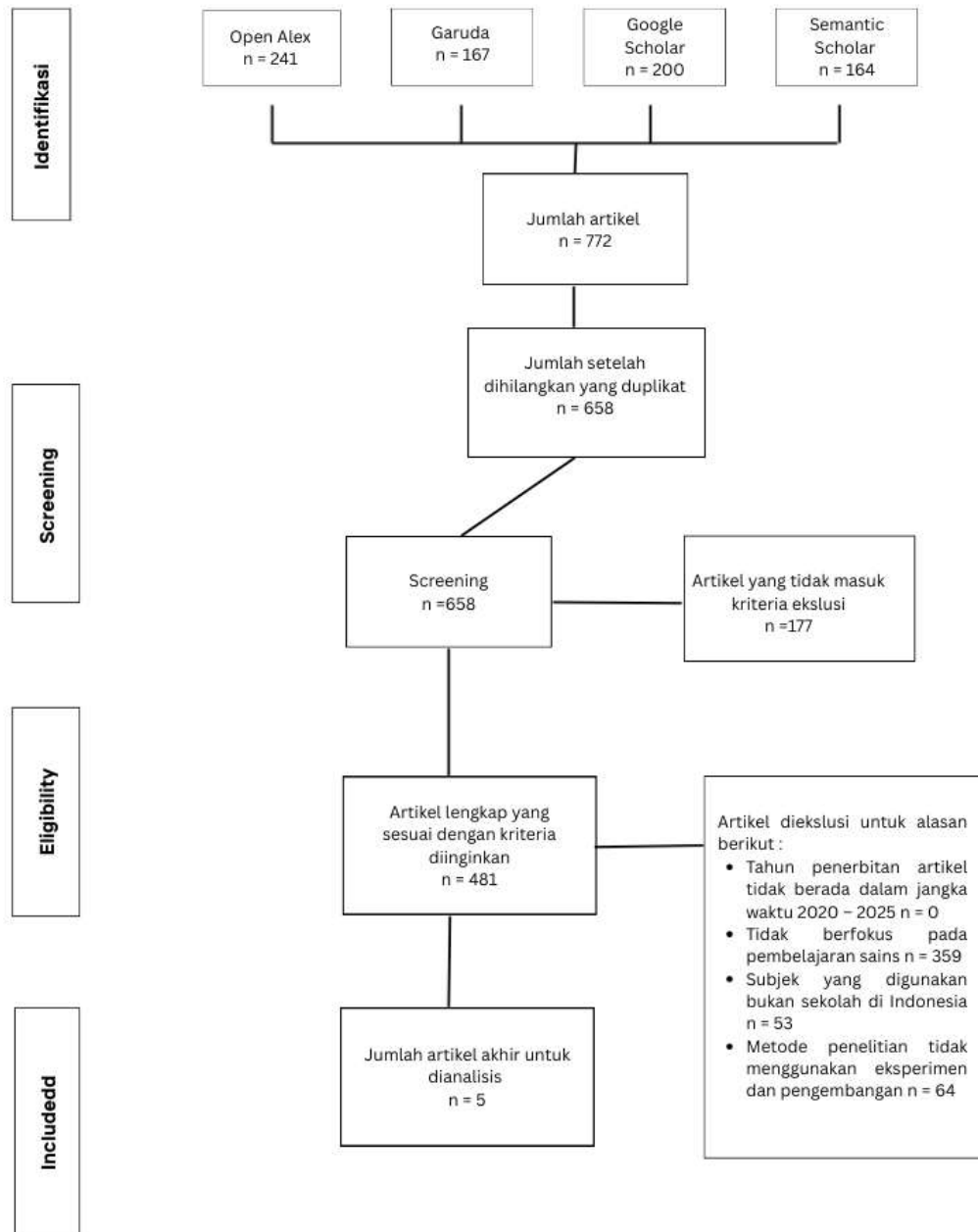
Proses seleksi mempertimbangkan kriteria inklusi dan eksklusi pada judul, abstrak, dan isi. Kriteria inklusi dan eksklusi untuk memilih artikel yang relevan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2. Diagram alir PRISMA digunakan untuk mendokumentasikan proses tinjauan sistematis, meringkas secara visual proses penyaringan, dan melaporkan keputusan yang dibuat pada setiap tahap

Tabel 2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria	Deskripsi
Kriteria Inklusi	1. Artikel empiris tentang implementasi BLBL dalam pembelajaran sains
	2. Mengukur outcome keterampilan proses sains dan/atau pemahaman konsep
	3. Diterbitkan dalam rentang 5 tahun terakhir (2020-2025)
	4. Konteks penelitian di Indonesia
	5. Memiliki desain penelitian yang jelas (kuasi-eksperimen/eksperimen)
Kriteria Eksklusi	1. Artikel tanpa teks lengkap (<i>full text</i>)
	2. Artikel non-empiris
	3. Tidak mengukur outcome yang relevan
	4. Artikel duplikasi
	5. Artikel review, prosiding, atau buku

Ekstraksi Data

Berdasarkan pedoman deklarasi PRISMA, diagram alir telah disiapkan yang menunjukkan proses seleksi yang dilakukan dalam penelitian ini, menurut ukuran identifikasi, penyaringan, kelayakan, dan inklusi.



Gambar 1. Diagram Alir PRISMA

Prosedur Analisis Data

Dalam proses analisis, data dimasukkan ke dalam spreadsheet, di mana informasi yang diambil dari makalah diidentifikasi dan disusun dalam kolom berdasarkan topik berikut: judul/penulis/terbitan berkala dan tahun penerbitan; metode; hasil/kesimpulan; bahan, dan potensinya. Bagian diskusi hasil berfungsi untuk menganalisis, menginterpretasikan, dan membandingkan temuan penelitian dengan teori atau penelitian sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Studi yang Diinklusi

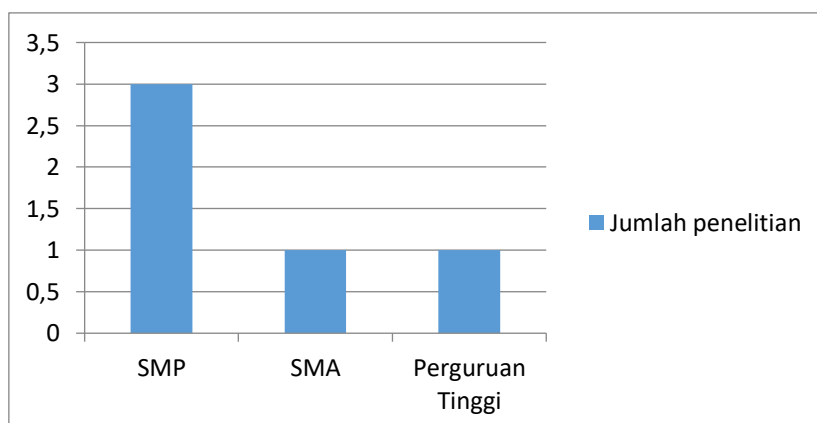
Studi empiris terhadap kelima artikel yang diinklusi dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3. Ringkasan Studi Empiris tentang BLBL yang Diinklusi dalam Review

Peneliti (Tahun)	Desain/Model BLBL	Partisipan	Variabel Terikat	Temuan Utama (Effect Size/N-gain/p-value)
Nurdiansah et al. (2024)	B-PjBL (Blended-Project Based Learning)	Siswa SMA	Keterampilan Proses Sains (KPS)	$p < 0,05$; peningkatan signifikan pada perancangan eksperimen & interpretasi data
Dirgantara et al. (2024)	STB-LAB	Mahasiswa	Pemahaman Konsep (GIS)	Cohen's $d = 1,226$ (Efek sangat kuat)
Anggraini & Zulkarnaen (2025)	Inkuiri Terbimbing + Simulasi PhET	Siswa SMP	Keterampilan Proses Sains	N-gain = 0,499 (kategori sedang)
Muis (2022)	Kombinasi Lab Riil & Virtual	Siswa SMP	Hasil Belajar Kognitif	Rata-rata nilai > kelompok konvensional (77,8 vs 77,6)
Faresta et al. (2024)	Go-Lab Inquiry Learning Space (ILS)	Siswa SMP	Pemahaman Konsep	Peningkatan signifikan (nilai post-test lebih tinggi)

Tabel 4. Distribusi variasi konteks dan pendekatan BLBL

Tingkat Pendidikan	Tahun	Pendekatan BLBL
SMP	2022, 2024, 2025	Kombinasi Laboratorium Riil dan Virtual Go-Lab Inquiry Learning Space (ILS) Inkuiri Terbimbing + Simulasi PhET
SMA	2024	B-PjBL
Perguruan Tinggi	2024	STB-LAB



Gambar 2. Grafik Jumlah Penelitian Pendekatan BLBL per tingkat kurun waktu 5 tahun

Temuan Systemic Literature Review ini mengonfirmasi konsistensi bukti empiris mengenai efektivitas BLBL. Keberhasilan BLBL dapat dijelaskan melalui beberapa teori pembelajaran. Cognitive Load Theory (Sweller, 1988) menjelaskan bagaimana BLBL mengoptimalkan beban kognitif dengan mendistribusikan proses belajar antara persiapan online dan aktivitas lab. Social Constructivism (Vygotsky, 1978) menekankan peran kolaborasi dan scaffolding dalam komunitas belajar. Sementara Multiple Representations Theory menyoroti manfaat integrasi representasi visual-virtual dan pengalaman sensori-riil dalam memperkuat pemahaman konseptual.

Implikasi praktis dari temuan ini mencakup perlunya redesain kurikulum laboratorium yang mengintegrasikan komponen virtual dan riil, pengembangan komunitas belajar profesional bagi guru, serta reformasi sistem assessment yang menekankan proses dan produk. Kendala implementasi seperti kesenjangan digital dan resistensi guru dapat dimitigasi melalui penyediaan akses alternatif, pelatihan berkelanjutan, dan kebijakan yang mendukung.

Efektivitas BLBL terhadap Keterampilan Proses Sains

Bukti empiris yang terkumpul secara konsisten menunjukkan efektivitas signifikan *Blended Laboratory-Based Learning* (BLBL) dalam meningkatkan Keterampilan Proses Sains (KPS) siswa. Efektivitas ini tidak hanya ditunjukkan oleh parameter statistik (nilai-p, N-gain), tetapi juga dapat dijelaskan melalui mekanisme pembelajaran yang kokoh secara teoretis.

Pertama, penelitian oleh Nurdiansah et al. (2024) mendemonstrasikan bahwa model *Blended-Project Based Learning* (B-PjBL) menghasilkan peningkatan KPS yang menyeluruh. Keunggulan model ini terletak pada sintaksnya yang terstruktur, yang secara sengaja dirancang untuk membimbing siswa melalui seluruh siklus inkuiri ilmiah. Fase-fase seperti *project planning* dan *scheduling* secara langsung melatih keterampilan merancang eksperimen, sementara fase *monitoring* dan *assessment* melatih keterampilan interpretasi data. Struktur ini selaras dengan prinsip scaffolding dalam teori Vygotsky, di mana dukungan terstruktur memungkinkan siswa beroperasi dalam *Zone of Proximal Development* (ZPD) mereka, menguasai keterampilan kompleks yang belum dapat mereka lakukan secara mandiri.

Kedua, temuan Anggraini & Zulkarnaen (2025) yang menunjukkan peningkatan KPS dengan N-gain kategori sedang melalui kombinasi inkuiri dan simulasi PhET, mengonfirmasi peran representasi visual interaktif dalam pembelajaran. Simulasi PhET berfungsi sebagai scaffolding konseptual yang powerful. Menurut Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2009), presentasi visual dan interaktif membantu memfasilitasi pemrosesan informasi yang lebih dalam. Dengan memanipulasi variabel secara langsung dan melihat dampaknya secara real-time, siswa dapat menguji hipotesis, mengidentifikasi pola, dan membangun hubungan sebab-akibat yang merupakan inti dari KPS dengan risiko dan biaya yang minimal. Hal ini mengubah pembelajaran dari yang pasif menjadi pengalaman membangun model mental secara aktif.

Analisis tematik lebih lanjut mengungkap tiga mekanisme psiko-pedagogis mendasar yang menjadi penjelasan di balik efektivitas BLBL:

1. Pengelolaan Beban Kognitif (Cognitive Load Management) melalui Preparasi Online

Aktivitas *pre-lab* online, seperti mempelajari modul atau tutorial simulasi, berfungsi untuk mengurangi *extraneous cognitive load* (beban kognitif yang tidak relevan) selama sesi laboratorium. Siswa datang dengan pemahaman awal tentang prosedur dan konsep, sehingga *working memory* mereka dapat dialokasikan sepenuhnya untuk *germane cognitive load*, yaitu proses mental yang diperlukan untuk konstruksi schema dan penguasaan KPS, bukan untuk memahami instruksi dasar.

2. Latihan Berulang (Repeated Practice) melalui Simulasi dan Praktikum Riil

BLBL menciptakan siklus pembelajaran yang powerful. Simulasi virtual memungkinkan latihan ulang yang aman dan cepat, memungkinkan siswa membuat kesalahan dan merevisi pemahaman mereka tanpa takut akan konsekuensi fisik atau pemborosan bahan. Tahap ini kemudian dikonsolidasikan melalui praktikum riil, yang memberikan konteks autentik dan pengalaman sensorimotor untuk menguatkan konsep yang telah dipelajari. Kombinasi ini mematangkan pemahaman prosedural dan konseptual yang mendasari KPS.

3. Umpan Balik Langsung (Immediate Feedback) melalui Assessment Terintegrasi

Platform digital dalam BLBL seringkali dilengkapi dengan fitur *assessment* yang memberikan umpan balik segera. Menurut teori *formative assessment*, umpan balik yang cepat dan spesifik ini sangat krusial untuk pembelajaran yang efektif. Siswa dapat segera mengetahui kesalahan dalam merumuskan hipotesis atau menginterpretasi data, dan melakukan koreksi secara *real-time*. Proses ini mempercepat kurva belajar dan mengembangkan metakognisi siswa tentang proses ilmiah mereka sendiri.

Dengan demikian, efektivitas BLBL terhadap KPS bukanlah fenomena yang terisolasi, melainkan hasil dari desain pembelajaran yang secara teoretis *informed*, yang memanfaatkan teknologi untuk mengoptimalkan proses kognitif, memberikan *scaffolding* yang tepat, dan menciptakan lingkungan belajar yang kaya akan latihan dan umpan balik.

Efektivitas BLBL terhadap Pemahaman Konsep

Kontribusi signifikan *Blended Laboratory-Based Learning* (BLBL) terhadap penguatan pemahaman konseptual dapat dijelaskan melalui kerangka teori belajar yang menjelaskan bagaimana integrasi ini memfasilitasi konstruksi pengetahuan yang lebih dalam dan lebih bermakna.

Pertama, temuan Dirgantara et al. (2024) dengan *effect size* yang sangat kuat (Cohen's $d = 1.226$) dari model STB-LAB mengindikasikan bahwa peningkatan pemahaman konsep terjadi bukan hanya secara statistik, tetapi juga secara substansial. Keberhasilan ini dapat ditelusuri pada sintaks modelnya, khususnya tahap *verification* dan *communication*. Tahap *verification* berperan sebagai proses konflik kognitif dan rekonsiliasi, di mana argumen atau hipotesis awal siswa (yang dibangun di tahap *argumentation*) diuji. Proses ini memaksa siswa untuk merevisi dan memurnikan skema mental mereka, yang merupakan inti dari konstruksi pengetahuan menurut perspektif konstruktivisme. Selanjutnya, tahap *communication* mengharuskan siswa untuk mengartikulasikan pemahaman mereka. Sesuai dengan *Hypothesis of Generative Learning*, kegiatan menjelaskan dan mengajarkan konsep kepada orang lain (seperti dalam presentasi atau diskusi) memerlukan organisasi ulang dan elaborasi pengetahuan, sehingga memperkuat retensi dan pemahaman konseptual (Fiorella & Mayer, 2016; Wittrock, 1974).

Kedua, sinergi antara laboratorium riil dan virtual yang ditunjukkan oleh Muis (2022) menciptakan suatu ekosistem belajar multi-modal yang sangat *powerful*. Laboratorium riil memberikan pengalaman *embodied cognition*, di mana pemahaman dibangun melalui interaksi fisik dan sensorimotor dengan peralatan dan materi yang nyata. Pengalaman autentik ini membangun dasar konkret untuk konsep-konsep abstrak. Di sisi lain, laboratorium virtual berfungsi sebagai "laboratorium pikiran" yang memungkinkan eksplorasi tanpa batas ruang, waktu, dan skala. Siswa dapat memanipulasi variabel yang tidak mungkin diubah di lab riil (seperti gravitasi atau koefisien gesek) dan mengamati dampaknya secara instan. Kombinasi ini menyediakan jalur ganda untuk memahami suatu fenomena: melalui pengalaman fisik dan eksplorasi model teoritis, yang bersama-sama membentuk pemahaman yang lebih komprehensif dan resilien.

Ketiga, mekanisme inti dari efektivitas BLBL terletak pada pemberian *scaffolding* konseptual melalui *multiple representations*. Platform seperti Go-Lab (Faresta et al., 2024) mempresentasikan konsep ilmiah yang abstrak (seperti rangkaian listrik atau hukum Newton) dalam berbagai bentuk representasi—seperti grafik, animasi, simbol, dan angka. Menurut Teori Pemrosesan Informasi dan *Cognitive Theory of Multimedia Learning*, penyajian informasi melalui multi-saluran (*visual*, *verbal*, *interaktif*) meningkatkan peluang untuk dikodekan dan disimpan dalam memori jangka panjang (Mayer, 2020; Baddeley, 1986). Setiap representasi saling melengkapi; simulasi virtual memvisualisasikan hubungan abstrak yang tidak terlihat oleh mata, sementara kegiatan *hands-on* di lab riil memberikan konteks

nyata bagi representasi tersebut. Proses mentranslasikan antara representasi yang berbeda ini misalnya, menghubungkan kurva pada grafik di simulasi dengan perubahan suhu yang dirasakan di lab riil merupakan aktivitas kognitif tingkat tinggi yang secara langsung membangun dan mengonsolidasikan pemahaman konseptual yang mendalam.

Dengan demikian, efektivitas BLBL untuk pemahaman konsep muncul dari kemampuannya untuk menciptakan lingkungan belajar yang kaya, di mana siswa secara aktif terlibat dalam siklus memprediksi, menguji, merevisi, dan mengomunikasikan ide-ide mereka, didukung oleh perpaduan unik antara keautentikan pengalaman fisik dan fleksibilitas eksplorasi digital.

Model dan Strategi BLBL yang Efektif

Berdasarkan sintesis temuan empiris, teridentifikasi tiga model *Blended Laboratory-Based Learning* (BLBL) yang menunjukkan efektivitas signifikan dalam konteks pembelajaran sains di Indonesia. Keefektifan masing-masing model ini dapat dijelaskan melalui landasan teoretis yang kokoh yang mendasari desain dan implementasinya.

1. B-PjBL (*Blended-Project Based Learning*)

Model B-PjBL mengintegrasikan prinsip-prinsip Project-Based Learning (PjBL) yang autentik dengan fleksibilitas platform digital dalam sebuah kerangka terstruktur. Efektivitas model ini bersumber dari desainnya yang mengikuti siklus belajar yang komprehensif. Fase pre-lab yang dilakukan secara online memungkinkan terjadinya reduksi *extraneous cognitive load* (Sweller, 1988), di mana siswa dapat mempelajari konsep dasar dan prosedur praktikum terlebih dahulu, sehingga kapasitas kognitif mereka selama fase lab dapat sepenuhnya dialokasikan untuk proses investigasi dan pemecahan masalah yang kompleks (*germane load*). Fase post-lab, yang seringkali melibatkan analisis data, pembuatan laporan, dan presentasi hasil secara kolaboratif (baik synchronous maupun asynchronous), memfasilitasi konstruksi pengetahuan sosial (Vygotsky, 1978) dan proses elaborasi yang mendalam. Dengan demikian, B-PjBL tidak hanya mengajarkan konten, tetapi juga membangun keterampilan abad ke-21 seperti kolaborasi, komunikasi, dan berpikir kritis melalui proyek yang bermakna.

2. STB-LAB (*Sophisticated Thinking Blended Laboratory*)

Model STB-LAB dirancang secara spesifik untuk menargetkan pengembangan berpikir kompleks dan pemahaman konseptual yang mendalam. Sintaksnya yang sistematis mulai dari *disposition* (membangkitkan minat dan rasa ingin tahu), *argumentation* (penyusunan argumen dan hipotesis berdasarkan logika), *verification* (pengujian argumen melalui eksperimen riil/virtual), *lab* (aplikasi praktis), hingga *communication* (mengomunikasikan temuan) mendorong siswa untuk melampaui hafalan menuju pemahaman yang terstruktur. Tahap *argumentation* dan *verification* secara khusus menciptakan konflik kognitif yang diperlukan untuk restrukturisasi skema mental. Proses ini memaksa siswa untuk merevisi pemahaman naif mereka dan membangun argumentasi yang didukung oleh bukti empiris. Tahap *communication* kemudian mengkonsolidasikan pemahaman ini, karena untuk dapat menjelaskan suatu konsep secara koheren, seseorang harus terlebih dahulu memahaminya secara mendalam (*Prinsip Learning by Teaching*).

3. Inkuiri Berbasis Simulasi

Model ini memadukan kerangka guided inquiry dengan kekuatan media simulasi interaktif seperti PhET dan Go-Lab. Simulasi digital berfungsi sebagai laboratorium mikrokosmik yang memungkinkan siswa untuk mengeksplorasi konsep-konsep abstrak dan memanipulasi variabel yang tidak mungkin atau sulit diubah dalam setting laboratorium konvensional (misalnya, percepatan gravitasi atau resistivitas material). Menurut Cognitive

Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2009), simulasi yang interaktif dan visual ini memfasilitasi pemrosesan informasi yang lebih dalam dengan memanfaatkan saluran visual dan verbal secara bersamaan. Pendekatan *guided inquiry* memberikan scaffolding yang diperlukan untuk membimbing siswa melalui proses ilmiah yang terstruktur mulai dari merumuskan masalah, merancang investigasi, hingga menganalisis data tanpa menghilangkan unsur penemuan dan otonomi. Kombinasi ini menghasilkan pengalaman belajar di mana siswa secara aktif membangun model mental mereka sendiri melalui eksplorasi dan pengujian, sehingga keterampilan investigasi ilmiahnya berkembang secara lebih otentik.

Secara keseluruhan, ketiga model tersebut efektif karena tidak sekadar menambahkan teknologi ke dalam pembelajaran, tetapi secara sengaja mendesain integrasi tersebut untuk mengaktifkan proses kognitif yang mendalam, mengelola beban kognitif, dan memberikan scaffolding yang tepat sesuai dengan tahap perkembangan berpikir siswa.

Faktor Penentu Keberhasilan Implementasi BLBL

Berdasarkan sintesis terhadap studi-studi empiris, keberhasilan implementasi *Blended Laboratory-Based Learning* (BLBL) tidak hanya bergantung pada modelnya semata, melainkan pada interaksi dinamis dari empat faktor penentu utama. Faktor-faktor ini membentuk sebuah ekosistem yang saling terkait, di mana kelemahan pada satu aspek dapat mengganggu efektivitas keseluruhan.

1. Faktor Desain Pembelajaran (*Instructional Design Factor*)

Faktor ini merupakan fondasi konseptual dari BLBL. Keberhasilan kritisnya terletak pada prinsip alignment konstruktif (Biggs, 1996), yaitu penciptaan koherensi yang disengaja antara Tujuan Pembelajaran (seperti menguasai keterampilan merumuskan hipotesis), Aktivitas Pembelajaran (seperti fase pre-lab online untuk mempelajari variabel, kegiatan lab riil/virtual untuk menguji hipotesis), dan Assessment (seperti rubrik yang menilai kualitas hipotesis dan desain eksperimen). Tanpa alignment ini, aktivitas online dan offline akan terpecah dan kehilangan makna pembelajarannya. Integrasi yang *meaningful* berarti bahwa komponen digital dan tatap muka bukan sekadar alternatif, tetapi saling melengkapi dan memperkuat untuk mencapai tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan, sehingga menciptakan suatu *learning trajectory* yang utuh.

2. Faktor Teknologis (*Technological Factor*)

Faktor teknologi berfungsi sebagai *enabler* atau pemungkin yang menghubungkan desain pembelajaran dengan realitas implementasi. Aspek user-friendly pada platform dan simulasi berhubungan langsung dengan teori beban kognitif (Sweller, 1988). Antarmuka yang intuitif dan mudah dinavigasi meminimalkan *extraneous cognitive load* (beban yang tidak perlu), sehingga sumber daya kognitif siswa dapat dialokasikan sepenuhnya untuk memproses materi yang esensial (*germane load*). Sementara itu, konektivitas yang stabil adalah prasyarat infrastrukural. Gangguan teknis yang sering terjadi tidak hanya mengganggu alur pembelajaran, tetapi juga dapat meningkatkan *emotional cognitive load* siswa, yang berdampak negatif pada motivasi dan keterlibatan belajar.

3. Faktor Kapasitas Pedagogik Guru (*Teacher's Pedagogical Capacity*)

Faktor ini menekankan pada peran sentral guru sebagai arsitek dan fasilitator pembelajaran. Kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) (Mishra & Koehler, 2006) menjelaskan bahwa guru yang efektif dalam BLBL tidak hanya menguasai konten sains (Content Knowledge-CK) atau teknologi (Technological Knowledge-TK) secara terpisah, tetapi memiliki kemampuan untuk mengintegrasikan keduanya dengan pengetahuan pedagogi (Pedagogical Knowledge-PK) yang tepat. Seorang guru dengan TPACK yang mumpuni mampu memilih simulasi virtual (TK) yang paling sesuai untuk menjelaskan suatu

konsep fisika (CK) melalui strategi inkuiri terbimbing (PK), serta memberikan *scaffolding* yang dibutuhkan saat siswa mengalami kesulitan. Kapasitas ini menentukan kualitas fasilitasi dan transformasi desain pembelajaran menjadi pengalaman belajar yang hidup dan bermakna.

4. Faktor Kontekstual (*Contextual Factor*)

Faktor kontekstual merupakan ekosistem pendukung yang mempengaruhi keberlangsungan implementasi BLBL.

- Karakteristik Siswa (seperti pengetahuan awal, gaya belajar, dan motivasi) mengharuskan pendekatan yang diferensiasi. BLBL harus dapat diadaptasi untuk memenuhi beragam kebutuhan belajar.
- Budaya Sekolah yang kolaboratif dan mendukung inovasi menciptakan lingkungan yang aman bagi guru untuk bereksperimen dengan metode baru. Sebaliknya, budaya yang resisten terhadap perubahan akan menjadi penghalang signifikan.
- Kebijakan Pendukung, baik dari tingkat sekolah maupun pemerintah (seperti kurikulum yang fleksibel, alokasi anggaran untuk pengembangan teknologi, dan kebijakan penilaian yang sesuai), memberikan legitimasi dan sumber daya yang diperlukan untuk keberlanjutan program.

Secara keseluruhan, keempat faktor ini saling berinteraksi dalam sebuah sistem. Sebuah desain pembelajaran yang ideal akan gagal diimplementasikan tanpa infrastruktur teknologi yang memadai. Demikian pula, teknologi yang canggih tidak akan berguna tanpa guru yang memiliki kapasitas TPACK untuk memanfaatkannya, dan semua upaya ini memerlukan dukungan kontekstual agar dapat bertahan dan berkembang dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pendekatan sistemik yang mempertimbangkan keempat pilar ini secara holistik sangat penting untuk menjamin keberhasilan dan keberlanjutan implementasi BLBL.

Berdasarkan sintesis temuan empiris dari lima studi yang dianalisis, penelitian ini mengusulkan Kerangka Implementasi *Blended Laboratory-Based Learning (BLBL)* yang terdiri dari empat pilar utama yang saling berinteraksi dan bersinergi. Keempat pilar tersebut membentuk ekosistem pembelajaran yang efektif dan berkelanjutan, di mana kekuatan atau kelemahan satu pilar dapat memengaruhi stabilitas sistem secara keseluruhan.

1. Pilar Konten dan Desain

Pilar ini berfungsi sebagai fondasi intelektual BLBL, yang menekankan perlunya desain pembelajaran yang intentional dan teralignment. Model seperti B-PjBL dan STB-LLAB menunjukkan keunggulan melalui sintaks pembelajaran yang terstruktur. Keselarasan (alignment) yang disengaja antara tujuan pembelajaran, aktivitas (pre-lab online, investigasi laboratorium, analisis data), dan asesmen (proses dan produk) menjadikan integrasi online-offline bermakna dan terarah.

2. Pilar Teknologi

Pilar teknologi berperan sebagai enabler yang menjembatani desain pembelajaran dengan pengalaman belajar. Platform yang user-friendly dan simulasi interaktif (misalnya PhET dan Go-Lab) berfungsi sebagai *scaffolding* teknologi untuk memvisualisasikan konsep abstrak, memanipulasi variabel, dan melakukan praktik berulang. Tanpa dukungan teknologi yang memadai, implementasi desain pembelajaran tidak dapat terwujud secara operasional.

3. Pilar Pedagogi

Pilar ini menekankan peran sentral guru sebagai fasilitator dengan mengintegrasikan kerangka TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*). Guru tidak hanya menguasai konten dan teknologi, tetapi juga mampu merancang dan memfasilitasi pembelajaran inkuiri, memberikan *scaffolding* selama penggunaan simulasi, serta mengelola

diskusi di lingkungan blended. Agenitas guru mentransformasi teknologi dan konten menjadi pengalaman belajar yang bermakna.

4. Pilar Dukungan Sistem

Pilar ini merupakan ekosistem pendukung di tingkat makro yang meliputi:

- Budaya sekolah yang mendukung inovasi dan kolaborasi,
- Kebijakan kurikulum yang fleksibel, alokasi waktu, dan sistem penilaian yang relevan,
- Infrastruktur seperti perangkat keras, konektivitas internet, dan akses platform.

Tanpa dukungan sistemik, inisiatif implementasi BLBL oleh guru berpotensi terhambat. Keempat pilar tersebut saling terkait secara dinamis, membentuk kerangka komprehensif yang menunjang keberhasilan dan keberlanjutan BLBL.

KESIMPULAN

Berdasarkan sintesis terhadap lima studi empiris, disimpulkan bahwa BLBL merupakan model pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan keterampilan proses sains dan pemahaman konsep siswa IPA. Model-model seperti B-PjBL, STB-LAB, dan inkuiri berbasis simulasi terbukti berhasil dalam konteks Indonesia. Keberhasilan implementasinya bergantung pada desain pembelajaran yang teliti, dukungan infrastruktur, kompetensi guru, dan lingkungan yang kondusif.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, A. T., & Zulkarnaen. (2025). Inkuiri dan PhET: Kombinasi Ampuh untuk Pembelajaran IPA yang Aktif dan Interaktif di SMPN 15 Kota Bima. *STRATEGY: Jurnal Inovasi Strategi dan Model Pembelajaran*, 5(2), 79-89.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford University Press.
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32(3), 347–364. <https://doi.org/10.1007/BF00138871>
- Dirgantara, Y., Agustina, R. D., Putra, R. P., & Indrawan, I. S. (2024). Sophisticated Thinking Blended Laboratory for Increasing Physics Education Students' Understanding of GIS. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(4), 572-582.
- Faresta, R. A., Suhardi, R. M., & Safana, M. (2024). The Effectiveness of Go-Lab Based Inquiry Learning Space (ILS) as Media on Science Subject for Junior High School in Indonesia. *Jurnal Tatsqif*, 22(1), 91-109.
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2016). Eight ways to promote generative learning. *Educational Psychology Review*, 28(4), 717–741. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9348-9>
- Mayer, R. E. (2020). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- 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>
- Muis, A. (2022). Pembelajaran Sains Menggunakan Lab Riil dan Virtual Ditinjau dari Kemampuan Proses Sains dan Pengaruhnya terhadap Hasil Belajar. *Jurnal Kewarganegaraan*, 6(1), 196-201.
- Nurdiansah, I., Surahman, E., Makiyah, Y. S., & Kurnia, E. (2024). The Effect of Laboratory-Based Blended-Project Based Learning Model on The Science Process Skills of Students. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 20(1), 74-84.
- OECD. (2023). *PISA 2022 Results: What Students Know and Can Do*. OECD Publishing.
- Page, M. J., & Moher, D. (2017). Evaluations of the uptake and impact of the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement and

- extensions: a scoping review. *Systematic Reviews*, 6 (1), 263.
<https://doi.org/10.1186/s13643-017-0663-8>
- Rustaman, N. (2007). Keterampilan Proses Sains. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104 (July), 333–339.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Vygotsky, L. S. (1978). Mind in society: The development of higher psychological processes. Harvard University Press.
- Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative process. *Educational Psychologist*, 11(2), 87–95. <https://doi.org/10.1080/00461527409529129>.