

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Dalam era digital abad ke-21 ini, transformasi global telah mengubah lanskap pendidikan secara fundamental, di mana sumber belajar tidak lagi terbatas pada buku teks dan papan tulis konvensional. Perkembangan teknologi telah mengubah cara manusia mengakses informasi, berinteraksi, dan menyelesaikan masalah. Dalam ranah pendidikan, teknologi digital membuka peluang baru untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif, personal, dan bermutu, sehingga dapat mewujudkan pendidikan yang bermakna bagi peserta didik (Asgarov & Badalova, 2024). Berbagai platform pembelajaran digital, simulasi interaktif, dan sumber belajar multimedia telah dikembangkan untuk mendukung pencapaian kompetensi pembelajaran yang lebih optimal. Namun demikian, implementasi teknologi dalam pembelajaran di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk ketidakmerataan akses, keterbatasan kompetensi pedagogis guru dalam mengintegrasikan teknologi, serta ketersediaan konten yang berkualitas (Sihotang et al., 2025).

Melimpahnya arus informasi di era digital ini melahirkan tuntutan kompetensi baru yang esensial, yakni literasi kuantitatif. Literasi kuantitatif telah menjadi salah satu kompetensi inti dalam pendidikan abad ke-21 yang memungkinkan individu untuk memahami, menginterpretasikan, dan menerapkan informasi numerik dalam konteks kehidupan nyata. Sejalan dengan hal tersebut, Fitriani (2022) menegaskan bahwa dalam perkembangan biologi modern, konsep-konsep keilmuan biologi tidak lagi hanya berlandaskan pada aspek kualitatif semata, melainkan bertransformasi menjadi ilmu yang menuntut muatan kuantitatif yang kuat. Oleh karena itu, kemampuan mengolah dan bernalar menggunakan data numerik menjadi kecakapan yang sangat krusial bagi peserta didik untuk memahami fenomena biologis secara komprehensif.

Meskipun literasi kuantitatif menjadi prioritas kompetensi global, realita pendidikan di Indonesia masih menunjukkan capaian yang belum memuaskan. Hal ini secara jelas tercermin dari hasil asesmen PISA (*Programme for International Student Assessment*) tahun 2022 yang menunjukkan bahwa Indonesia masih berada di peringkat rendah dalam literasi matematika dengan skor rata-rata 366, jauh di bawah rata-rata standar OECD sebesar 472 poin dan dalam literasi sains dengan skor rata-rata 383, jauh di bawah rata-rata standar OECD sebesar 485 poin (OECD, 2023). Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan serius dalam kemampuan peserta didik menengah atas (SMA) untuk menerapkan konsep penalaran matematika dalam konteks memecahkan masalah sains di kehidupan sehari-hari.

Rendahnya capaian PISA tersebut dipicu oleh beberapa faktor fundamental dalam ekosistem pembelajaran di sekolah. Hasil survei nasional mengonfirmasi problematika ini, yang menunjukkan bahwa hanya 25% peserta didik SMA yang mampu menerapkan konsep matematika dalam konteks sains (Kemendikbudristek, (2022). Problematika utama berakar pada model pembelajaran konvensional yang kerap memisahkan matematika dari sains terapan, menyebabkan peserta didik gagal melihat relevansi dan makna angka tersebut di dunia nyata. Hal ini diperkuat oleh temuan empiris Fauzi & Fadilah (2024), yang mengungkapkan bahwa 68% peserta didik SMA mengalami kesulitan fatal dalam menginterpretasikan data grafis dalam konteks biologi. Selain itu, dominasi metode transmitif di mana guru cenderung menggunakan ceramah sebagai strategi utama, menempatkan peserta didik sebagai penerima informasi yang pasif. Kondisi yang minim eksplorasi aktif ini sangat bertentangan dengan prinsip pembelajaran mendalam, sehingga peserta didik cenderung hanya menghafal konsep tanpa pemahaman analitis yang kuat (Kemendikdasmen (2023).

Lemahnya integrasi penalaran angka ini menjadi kendala krusial dalam pembelajaran sains biologi, khususnya pada materi Sistem Pernapasan Manusia. Biologi abad ke-21 telah berkembang menjadi sains yang sangat bergantung pada analisis data numerik. Materi sistem pernapasan merupakan kompetensi esensial dalam kurikulum kelas XI yang membahas tentang pemeliharaan homeostatis

(Kemendikbudristek, 2022). Dalam memahami materi ini, peserta didik tidak hanya dituntut untuk menghafal struktur organ, melainkan memerlukan pemahaman kuantitatif tentang volume tidal, perhitungan kapasitas vital, dan analisis faktor-faktor yang memengaruhi fungsi pernapasan (Pellico et al., 2022). Sayangnya, sifat abstrak dari proses-proses mekanisme pernapasan yang terjadi di dalam tubuh menyulitkan peserta didik untuk memvisualisasikan data (Sari & Widiyanti, 2021). Kesulitan dalam membaca dan mengolah data kuantitatif inilah yang pada akhirnya sering memicu berbagai miskonsepsi umum terkait mekanisme ventilasi dan pertukaran gas di kalangan peserta didik SMA (Majid et al., 2023).

Untuk merespons berbagai problematika tersebut, diperlukan sebuah solusi inovatif yang mampu menjembatani pemahaman konseptual biologi dan penalaran matematis secara terintegrasi. Salah satu solusi yang ditawarkan adalah pemanfaatan Electronic Lembar Kerja Peserta Didik (E-LKPD) berbasis STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*). Berbeda dengan LKPD cetak konvensional yang terbatas pada teks dan gambar statis, E-LKPD memiliki potensi besar karena kemampuannya mengintegrasikan berbagai elemen multimedia, animasi, simulasi interaktif, dan kuis formatif di dalam satu platform yang adaptif (Susilana & Riyana, 2022). Integrasi kerangka STEAM ke dalam E-LKPD ini memposisikan keterkaitan antar disiplin sebagai inti pembelajaran untuk memecahkan masalah kompleks (Chappell et al., 2025). Melalui STEAM, matematika tidak lagi dipelajari secara terisolasi, melainkan menjadi alat ukur yang valid untuk menganalisis data eksperimen sains, sementara elemen seni (*Arts*) membantu memvisualisasikan data tersebut menjadi representasi kreatif yang bermakna bagi peserta didik (Yakman & Lee, 2022). Pemanfaatan fitur interaktif ini memungkinkan peserta didik belajar melalui aksi langsung (*Learning by doing*), yang secara efektif dapat mengembangkan keterampilan proses sains dan literasi kuantitatif (Kamal et al., 2024). Bahkan, studi Dettmann dan Pea (2023) membuktikan bahwa peserta didik yang belajar melalui pendekatan STEAM menunjukkan peningkatan literasi kuantitatif sebesar 28% dibandingkan dengan pendekatan konvensional.

Agar implementasi E-LKPD berbasis STEAM tersebut tidak hanya sekedar menjadi digitalisasi media, pendekatan ini harus ditopang oleh fondasi pedagogis yang kuat, yakni pembelajaran mendalam (*deep Learning*). Pembelajaran mendalam merupakan pendekatan pedagogis yang menekankan pada pemahaman konseptual yang kuat, kemampuan untuk mentransfer pengetahuan ke konteks baru, serta pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Fathurrohman et al., 2026). Berbeda dengan pembelajaran superfisial yang hanya berfokus pada hafalan rumus biologi, pendekatan mendalam menuntut keterlibatan kognitif di mana peserta didik mampu memahami makna di balik angka dan data yang mereka peroleh (Biggs & Tang, 2022). Dalam konteks sains, pendekatan *deep Learning* terbukti secara empiris mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan analitis peserta didik hingga 35% (Richards et al., 2019). Kombinasi antara E-LKPD STEAM dan iklim pembelajaran mendalam ini akan menciptakan ekosistem yang optimal, di mana peserta didik tidak hanya sekedar menghitung, tetapi juga mampu menginterpretasikan hasil perhitungannya secara autentik ke dalam kehidupan nyata.

Dalam operasionalisasi materi sistem pernapasan, perwujudan ekosistem *deep Learning* yang berorientasi pada literasi kuantitatif mutlak membutuhkan pengalaman empiris yang nyata. Pembelajaran akan menjadi dangkal apabila peserta didik tidak dapat memvisualisasikan mekanisme pernapasan secara utuh. Sayangnya, salah satu tantangan paling krusial di lapangan adalah keterbatasan fasilitas laboratorium untuk memfasilitasi praktikum pengukuran fungsi pernapasan tersebut. Penggunaan instrumen ukur standar seperti spirometer digital kerap terkendala oleh harganya yang relatif mahal. Ketidakseimbangan rasio antara ketersediaan alat spirometer dengan jumlah peserta didik di sekolah menjadi hambatan serius dalam pelaksanaan praktikum yang representatif. Kondisi keterbatasan infrastruktur ini sering kali memaksa guru untuk kembali mengandalkan metode demonstrasi atau simulasi pasif, yang pada akhirnya merampas hak peserta didik untuk mendapatkan pengalaman saintifik secara langsung.

Dalam upaya mengatasi keterbatasan fasilitas laboratorium tersebut, sekaligus menghidupkan elemen rekayasa (*engineering*) di dalam kerangka STEAM, pendekatan *Do It Yourself* (DIY) hadir sebagai solusi alternatif yang inovatif dan ekonomis. Sebagai produk luaran dari pendekatan ini, dikembangkanlah purwarupa *Spiro Tech DIY*, yakni instrumen pengukur volume dan kapasitas paru-paru bervolume nyata yang dirakit secara mandiri menggunakan material bekas seperti galon air mineral dan ember plastik. Meskipun memanfaatkan bahan sederhana yang mudah dijangkau, *Spiro Tech DIY* mampu memberikan pengalaman langsung bagi peserta didik untuk mengukur kapasitas vital paru-paru mereka sendiri secara presisi. Pengalaman perakitan dan pengukuran mandiri ini menumbuhkan pemahaman yang jauh lebih bermakna, karena peserta didik dilibatkan secara aktif dalam merancang instrumen, memvalidasi keakuratan alat, dan menganalisis data empiris hasil tiupan napas mereka sendiri. Aktivitas ini secara holistik tidak hanya mengakomodasi kompetensi esensial materi sistem pernapasan, tetapi juga menstimulus secara langsung keterampilan rekayasa, kreativitas, dan literasi kuantitatif yang menjadi jantung dari intervensi STEAM.

Produk *Spiro Tech DIY* yang dipadukan dengan E-LKPD interaktif ini sejalan dengan temuan dan rekomendasi berbagai penelitian terdahulu. Implementasi pendekatan berbasis sains dan teknologi secara konsisten menunjukkan dampak positif terhadap kualitas pembelajaran biologi. Berdasarkan hasil penelitian Necta et al. (2024), penerapan pendekatan STEM pada biologi tingkat SMA terbukti memberikan dampak positif terhadap peningkatan hasil belajar dan sikap ilmiah peserta didik. Secara lebih spesifik, kerangka STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*) telah terbukti efektif dalam mengembangkan literasi kuantitatif. Penelitian Yakman dan Lee (2022) menegaskan bahwa STEAM memungkinkan peserta didik menerapkan konsep matematika dalam konteks sains autentik, yang secara signifikan mendongkrak kemampuan berpikir kuantitatif. Keberhasilan ini diukur oleh studi Dettmann dan Pea (2023) yang menemukan bahwa peserta didik yang belajar melalui pendekatan STEAM menunjukkan peningkatan literasi kuantitatif sebesar

28% dibandingkan dengan pendekatan konvensional. Peningkatan ini tidak terlepas dari peran integrasi elemen *Arts* yang membantu peserta didik dalam memvisualisasikan data dan mengakomodasi berbagai gaya belajar demi retensi pengetahuan jangka panjang (Hehakaya et al., 2022). Lebih lanjut, pengemasan intervensi ini ke dalam bentuk E-LKPD dan model *Project-Based Learning* (PjBL) terbukti secara signifikan mampu meningkatkan hasil belajar kognitif dan keterampilan proses sains peserta didik (Nurhayati et al., 2023; Pudjiastuti et al., 2025).

Meskipun berbagai literatur tersebut menunjukkan kontribusi positif dalam pengembangan pembelajaran, analisis kritis terhadap kajian yang ada menyingkap sebuah kesenjangan penelitian (*research gap*) yang mendasar. Terdapat tiga temuan utama yang menyoroti celah ini. Pertama, penelitian Kamal et al. (2024) memang telah mengembangkan LKPD berbasis STEM pada kelas XI SMA yang layak dan efektif, namun pendekatannya masih terbatas tanpa integrasi elemen *Arts*, serta pengukurannya hanya berfokus pada ketuntasan kognitif tanpa menilai indikator pembelajaran mendalam (*deep Learning*) secara komprehensif. Kedua, penelitian Khasanah et al. (2021) sukses merekonstruksi LKPD praktikum menggunakan alat sederhana untuk meningkatkan HOTS, namun belum mengintegrasikan STEAM secara sistematis dan belum mengembangkan E-LKPD berbasis digital yang relevan dengan kebutuhan abad ke-21. Ketiga, inovasi pembelajaran berbasis *local material* yang diteliti oleh Hasanah et al. (2023) terbukti mampu meningkatkan pemahaman, akan tetapi penelitian tersebut dilaksanakan di tingkat SMP kelas VIII sehingga belum mengakomodasi tuntutan kedalaman materi kelas XI SMA, serta belum memanfaatkan platform digital secara eksplisit. Jika dirangkum menjadi satu garis besar, kesenjangan utamanya adalah: belum ada penelitian yang secara utuh mengintegrasikan pendekatan STEAM dan *deep Learning* di dalam satu platform digital (E-LKPD) yang dipadukan dengan aktivitas praktis rekayasa (*DIY*), untuk secara spesifik mengukur dan meningkatkan literasi kuantitatif pada materi sistem pernapasan SMA.

Bertolak dari kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) berupa pengujian efektivitas E-LKPD berbasis STEAM menggunakan pendekatan pembelajaran mendalam secara spesifik untuk meningkatkan literasi kuantitatif pada materi sistem pernapasan. Keunikan utama dari penelitian ini terletak pada penciptaan model intervensi hibrida yang mengintegrasikan kelima elemen STEAM dalam satu platform digital yang dipadukan langsung dengan aktivitas praktis rekayasa fisik. Selain memberikan kontribusi teoretis, penelitian ini juga menghasilkan luaran praktis berupa produk E-LKPD dan *Spiro Tech DIY* yang aplikatif dan *low-budget*, sehingga dapat di replikasi dengan mudah oleh sekolah-sekolah lain.

Kehadiran penelitian ini memiliki tingkat urgensi yang sangat strategis, baik di tingkat makro maupun mikro. Secara makro, penelitian ini sangat mendesak mengingat prioritas nasional Indonesia dalam meningkatkan literasi kuantitatif sebagai bagian dari target perbaikan skor PISA 2025. Secara mikro, kondisi empiris di SMAN 1 Ciparay menunjukkan bahwa pembelajaran sering kali diperparah oleh keterbatasan akses terhadap platform pembelajaran digital yang analitis serta minimnya instrumen praktikum yang memadai. Pembelajaran yang mengawinkan penalaran angka dengan konteks biologi ini menjadi semakin urgen agar peserta didik memiliki kecakapan analitis dalam menghadapi isu-isu nyata terkait kesehatan sistem pernapasan di lingkungan mereka.

Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan tujuan untuk mengembangkan dan menguji efektivitas E-LKPD berbasis STEAM melalui pendekatan pembelajaran mendalam pada materi Sistem Pernapasan peserta didik kelas XI SMAN 1 Ciparay. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi model pembelajaran digital yang interaktif dan efektif untuk pengembangan literasi kuantitatif, khususnya pada materi sains biologi yang sangat memerlukan keandalan analisis data numerik.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rendahnya kualitas pemahaman sains: Skor literasi kuantitatif peserta didik Indonesia masih berada di bawah rata-rata OECD berdasarkan data PISA (*Programme for International Student Assessment*) (2022). Hal ini tercermin pada peserta didik kelas XI SMAN 1 Ciparay yang cenderung hanya menghafal materi Sistem Pernapasan tanpa memahami korelasi klinisnya.
2. Karakteristik materi dan metode pembelajaran: Sifat abstrak dari mekanisme pernapasan menyulitkan peserta didik untuk memvisualisasikan proses yang terjadi di dalam tubuh. Selain itu, *miskonsepsi* sering terjadi karena pendekatan pembelajaran masih didominasi oleh model *transmitif* (ceramah) yang menempatkan peserta didik sebagai penerima pasif.
3. Keterbatasan fasilitas laboratorium: Pelaksanaan praktikum pengukuran fungsi pernapasan terhambat oleh minimnya fasilitas laboratorium. Alat standar seperti spirometer digital memiliki harga yang relatif mahal, sehingga rasionya tidak seimbang dengan jumlah peserta didik.
4. Kesenjangan pengembangan media dan aspek penilaian: Pengembangan media pembelajaran interaktif berupa E-LKPD yang mengintegrasikan kelima elemen STEAM pada materi sistem pernapasan kelas XI belum banyak ditemukan. Selain itu, penelitian sebelumnya belum mengukur peningkatan literasi kuantitatif dan dampak inovasi pembelajaran terhadap *Deep Learning* secara komprehensif yang mencakup indikator *Mindful*, *Meaningful* dan *Joyful Learning*.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, mendalam, dan tidak meluas pada aspek yang di luar jangkauan, maka peneliti menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Subjek Penelitian: Peserta didik kelas XI fase F di SMAN 1 Ciparay pada semester genap tahun ajaran 2025/2026.

2. Materi Pembelajaran: Dibatasi pada materi Sistem Pernapasan Manusia, dengan fokus spesifik pada sub-materi Volume dan Kapasitas Udara Paru-paru.
3. Media dan Pendekatan: Media yang digunakan adalah E-LKPD (Elektronik Lembar Kerja Peserta Didik) yang mengintegrasikan pendekatan STEAM (*Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics*) melalui proyek perakitan dan penggunaan alat ukur napas sederhana bernama '*Spiro Tech DIY*' (alat ukur kapasitas paru-paru sederhana berprinsip perpindahan air).
4. Variabel yang Diukur: Kemampuan literasi kuantitatif (pemahaman numerik dan matematika sains) yang diukur menggunakan instrumen tes (*Pre-test dan Post-test*).
5. Perwujudan Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*) yang dibatasi pada tiga indikator utama: *Joyful Learning* (Menggembirakan), *Meaningful Learning* (Bermakna), dan *Mindful Learning* (Berkesadaran), yang diukur menggunakan instrumen angket.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, rumusan masalah utama dalam penelitian ini adalah: "Bagaimana efektivitas penggunaan E-LKPD berbasis STEAM berbantuan media *Spiro Tech DIY* dalam meningkatkan literasi kuantitatif peserta didik kelas XI SMAN 1 Ciparay pada materi Sistem Pernapasan?"

Untuk mengurai dan menjawab permasalahan utama tersebut secara komprehensif, penelitian ini menjabarkannya ke dalam beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Apakah terdapat perbedaan peningkatan literasi kuantitatif yang signifikan antara peserta didik yang menggunakan E-LKPD berbasis STEAM (kelas eksperimen) dengan peserta didik yang menggunakan pembelajaran konvensional (kelas kontrol)?
2. Bagaimana profil pencapaian pada masing-masing indikator literasi kuantitatif peserta didik setelah diterapkan pembelajaran menggunakan E-LKPD berbasis STEAM?

3. Bagaimana keterlaksanaan profil Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*) yang mencakup aspek *Joyful*, *Meaningful*, dan *Mindful Learning* selama proses implementasi E-LKPD berbasis STEAM?

1.5 Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat efektivitas penggunaan E-LKPD berbasis STEAM berbantuan media *Spiro Tech DIY* dalam meningkatkan literasi kuantitatif peserta didik kelas XI SMAN 1 Ciparay pada materi Sistem Pernapasan.

Untuk mencapai tujuan utama tersebut, penelitian ini merincinya ke dalam beberapa tujuan khusus sebagai berikut:

1. Mengetahui peningkatan kemampuan literasi kuantitatif yang signifikan antara peserta didik yang menggunakan E-LKPD berbasis STEAM (kelas eksperimen) dengan peserta didik yang menggunakan pembelajaran konvensional (kelas kontrol).
2. Menjelaskan profil pencapaian pada masing-masing indikator literasi kuantitatif peserta didik setelah diterapkan pembelajaran menggunakan E-LKPD berbasis STEAM.
3. Mengkaji keterlaksanaan profil Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*) yang mencakup aspek *Joyful*, *Meaningful*, dan *Mindful Learning* selama proses implementasi E-LKPD berbasis STEAM.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoritis maupun praktis, yaitu:

1. Manfaat Teoretis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian keilmuan pada bidang pendidikan biologi, khususnya mengenai implementasi E-LKPD berbasis Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) dalam meningkatkan kemampuan literasi kuantitatif

peserta didik. Memberikan kontribusi konseptual terhadap implementasi Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*) sebagaimana dikembangkan oleh Kemendikdasmen, dengan menunjukkan bahwa integrasi E-LKPD berbasis STEAM berbantuan media praktikum *Spiro-Tech DIY* mampu menciptakan pengalaman belajar yang berkesadaran (*mindful learning*), bermakna (*meaningful learning*), dan menyenangkan (*joyful learning*). Ketiga karakteristik tersebut menjadi mekanisme pedagogis yang mendukung berkembangnya kemampuan literasi kuantitatif peserta didik secara lebih optimal.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi Peserta Didik

Penelitian ini diharapkan memberikan pengalaman belajar yang lebih aktif, kontekstual, dan bermakna melalui implementasi E-LKPD berbasis STEAM berbantuan media praktikum *Spiro-Tech DIY*. Pembelajaran tersebut membantu peserta didik mengembangkan kemampuan literasi kuantitatif, seperti membaca dan menginterpretasikan data, melakukan perhitungan, menganalisis hubungan antarvariabel, mengevaluasi hasil pengukuran, serta mengomunikasikan temuan berdasarkan bukti empiris. Selain itu, pengalaman belajar tersebut mendukung terbentuknya karakteristik Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*), yaitu belajar secara sadar, bermakna, dan menyenangkan.

b. Bagi Guru

Penelitian ini diharapkan menjadi referensi bagi guru biologi dalam merancang pembelajaran yang mengintegrasikan pendekatan STEAM melalui pemanfaatan E-LKPD digital dan media praktikum sederhana. Perangkat pembelajaran yang dikembangkan dapat digunakan sebagai alternatif strategi pembelajaran untuk meningkatkan literasi kuantitatif peserta didik sekaligus mendukung implementasi kebijakan Pembelajaran Mendalam yang menekankan pembelajaran aktif, kontekstual, dan berpusat pada peserta didik.

c. Bagi Sekolah

Hasil penelitian ini diharapkan menjadi masukan bagi sekolah dalam mengembangkan inovasi pembelajaran yang mendukung peningkatan kualitas proses belajar. Implementasi E-LKPD berbasis STEAM berbantuan media

praktikum *Spiro-Tech DIY* dapat menjadi salah satu alternatif perangkat pembelajaran yang mendukung penguatan literasi kuantitatif, kompetensi abad ke-21, serta implementasi kebijakan Pembelajaran Mendalam di lingkungan sekolah.

d. Bagi Peneliti Selanjutnya

Penelitian ini diharapkan menjadi referensi empiris bagi penelitian selanjutnya yang mengembangkan pembelajaran berbasis STEAM, media praktikum, maupun perangkat pembelajaran digital pada materi biologi lainnya. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk mengkaji hubungan antara karakteristik Pembelajaran Mendalam (*mindful learning*, *meaningful learning*, dan *joyful learning*) dengan berbagai kompetensi abad ke-21, seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, penalaran ilmiah, literasi sains, dan literasi kuantitatif.

