

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pendidikan biologi di perguruan tinggi bertujuan tidak hanya membekali mahasiswa dengan penguasaan konsep-konsep ilmiah, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, kolaboratif, komunikasi, dan kemampuan memanfaatkan teknologi dalam proses pembelajaran. Untuk mencapai tujuan tersebut, proses pembelajaran perlu dirancang agar mahasiswa memperoleh pengalaman belajar yang aktif dan kontekstual. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah mengoptimalkan kegiatan praktikum yang didukung oleh bahan ajar yang sesuai dengan karakteristik mata kuliah dan kebutuhan mahasiswa. Menurut Cahyadi (2019), bahan ajar tidak hanya berfungsi sebagai sumber informasi, tetapi juga sebagai pedoman yang membantu dosen mengelola proses pembelajaran dan memfasilitasi mahasiswa dalam mencapai hasil belajar yang telah ditetapkan. Prastowo (2015) menyatakan bahwa bahan ajar perlu dirancang secara sistematis agar dapat mendorong mahasiswa untuk belajar secara aktif, mandiri, dan bermakna. Oleh karena itu, pencapaian tujuan tersebut perlu didukung oleh perangkat pembelajaran yang mampu memfasilitasi keterlibatan aktif mahasiswa sepanjang proses pembelajaran.

Dalam upaya mewujudkan proses pembelajaran yang efektif, diperlukan bahan ajar yang berperan sebagai panduan bagi mahasiswa dalam memahami materi sekaligus melaksanakan kegiatan pembelajaran. Salah satu bahan ajar yang umum digunakan dalam proses pembelajaran, terutama dalam kegiatan praktikum

di perguruan tinggi, adalah Lembar Kerja Mahasiswa (LKM). LKM dipilih sebagai salah satu bentuk bahan ajar karena dapat membantu membimbing mahasiswa dalam melaksanakan kegiatan praktikum secara terstruktur. Melalui LKM, mahasiswa diarahkan untuk memahami tujuan pembelajaran, mengikuti prosedur kerja, melakukan pengamatan, hingga menganalisis hasil praktikum secara sistematis. LKM dirancang sebagai panduan pembelajaran yang berisi petunjuk pelaksanaan, prosedur kerja, tugas, dan berbagai pertanyaan yang membantu mahasiswa membangun pemahaman melalui pengalaman belajar secara langsung (Indriyani & Ita, 2020). Melalui penggunaan LKM, mahasiswa tidak hanya lebih mudah memahami materi yang dipelajari, tetapi juga dipandu untuk melakukan pengamatan, mengumpulkan dan mengolah data, menganalisis hasil yang diperoleh, serta menarik kesimpulan berdasarkan kegiatan laboratorium yang telah mereka lakukan (Fatmawati *et al.*, 2023). Oleh karena itu, LKM memiliki peran penting sebagai bahan ajar yang mendukung terciptanya pengalaman belajar yang lebih aktif, sistematis, dan berpusat pada mahasiswa.

Salah satu mata kuliah yang membutuhkan bahan ajar yang mampu mendukung pembelajaran aktif adalah Fisiologi Tumbuhan. Mata kuliah ini membahas berbagai proses yang terjadi di dalam tumbuhan, termasuk penyerapan air dan mineral, respirasi, transpirasi, kerja hormon tumbuhan, fotosintesis, dan pigmen tumbuhan (Fauziah, 2021). Sebagian besar materi yang dipelajari berkaitan dengan mekanisme yang terjadi pada tingkat seluler dan molekuler, sehingga konsep-konsep ini cenderung sulit dipahami jika dijelaskan hanya melalui teori. Situasi ini berarti bahwa mahasiswa memerlukan pengalaman belajar yang lebih

praktis untuk memahami hubungan antara teori dan proses-proses yang terjadi pada tumbuhan. Oleh karena itu, kegiatan praktikum memainkan peran penting dalam pendidikan Fisiologi Tumbuhan karena memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk secara langsung mengamati, memverifikasi, dan menganalisis berbagai fenomena fisiologis yang sedang dipelajari.

Dalam perspektif Islam, berbagai proses yang terjadi pada tumbuhan merupakan bagian dari tanda-tanda kebesaran Allah Swt. yang dapat dijadikan sebagai objek pembelajaran dan kajian ilmiah. Salah satu ayat Al-Qur'an yang menunjukkan kekuasaan Allah terhadap proses yang berlangsung pada tumbuhan terdapat dalam Q.S. Yasin (36): 80.

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِنْهُ تُوقَدُونَ

Berdasarkan tafsir Al-Afkar menyebutkan, bahwa: “Kata *asy-syajar al-akhḍar* (pohon hijau) menunjukkan struktur tumbuhan yang kaya zat hijau daun yang secara biologis kita kenal sebagai *klorofil*. Ulama menafsirkan bahwa kekuatan energi yang tersimpan dalam jaringan hijau berasal dari proses yang kini dikenal sebagai fotosintesis. Pada surat ini Zaghlul an Najjār menerangkan proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuh-tumbuhan hijau. Ia berpendapat bahwa proses ini sangat menakjubkan dan hanya terjadi pada tumbuhan hijau. Allah swt hanya metakdirkan proses ini pada tumbuhan hijau. Proses fotosintesis ini membutuhkan cahaya matahari, CO₂ dan H₂O (air) .

Salah satu topik utama dalam mata kuliah Fisiologi Tumbuhan adalah pigmen tumbuhan (Anis, 2024). Pigmen tumbuhan adalah senyawa yang berperan dalam penyerapan energi cahaya selama fotosintesis. Pigmen utama yang terdapat pada tumbuhan antara lain klorofil, karotenoid, dan antosianin, yang masing-masing memiliki fungsi fisiologis dalam mendukung aktivitas fotosintesis serta melindungi jaringan tumbuhan dari pengaruh lingkungan. Klorofil merupakan pigmen utama yang berperan dalam penyerapan energi cahaya pada proses fotosintesis (Taiz *et al.*, 2018). Oleh karena itu, pemahaman tentang pigmen

tumbuhan menjadi landasan bagi mahasiswa untuk memahami fotosintesis sebagai salah satu proses fisiologis utama pada tumbuhan.

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan dosen pengampu mata kuliah Fisiologi Tumbuhan di Program Studi Pendidikan Biologi UIN Antasari Banjarmasin menunjukkan bahwa proses pembelajaran mengenai pigmen tumbuhan masih menghadapi beberapa tantangan. Mahasiswa masih kesulitan menghubungkan konsep-konsep teoritis yang telah mereka pelajari dengan hasil yang diperoleh selama praktikum. Di sisi lain, LKM yang saat ini digunakan belum sepenuhnya memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk melakukan penyelidikan dan membangun pemahaman mereka secara mandiri. Praktikum tersebut juga belum mengintegrasikan model pembelajaran yang menumbuhkan keterampilan berpikir kritis, serta belum memanfaatkan teknologi digital sebagai alat untuk mengumpulkan dan menganalisis data eksperimen. Berdasarkan hasil observasi tersebut, diperlukan model pembelajaran yang mampu mengoptimalkan peran LKM sebagai panduan praktikum sekaligus mendorong keterlibatan aktif mahasiswa dalam proses pembelajaran.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan model pembelajaran yang mampu mengoptimalkan peran LKM sebagai panduan praktikum sekaligus mendorong keterlibatan aktif mahasiswa dalam proses pembelajaran. Salah satu model pembelajaran yang dapat diterapkan adalah *Project Based Learning* (PjBL). Model ini menempatkan mahasiswa sebagai pusat pembelajaran melalui penyelesaian suatu proyek yang berkaitan dengan masalah dunia nyata (Wajdi, 2017). Dalam penerapannya, mahasiswa tidak hanya mempelajari konsep-konsep

teoritis, tetapi juga melakukan penyelidikan, merancang prosedur kerja, melaksanakan proyek, menganalisis data, dan mengevaluasi hasil yang diperoleh (Thomas, 2000). Oleh karena itu, PjBL merupakan model pembelajaran yang mendukung pembelajaran aktif dan kontekstual karena memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk membangun pengetahuan mereka melalui pengalaman belajar secara langsung.

Selain mendukung pembelajaran aktif, penerapan model PjBL juga mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih kontekstual. Melalui model ini, mahasiswa didorong untuk menghubungkan konsep-konsep yang dipelajari dengan permasalahan nyata melalui penyelesaian suatu proyek. Dengan demikian, pemahaman yang diperoleh tidak hanya terbatas pada aspek teoretis, tetapi juga dapat diterapkan secara langsung dalam kegiatan praktikum sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna (Fatmawati *et al.*, 2023). Dalam penelitian ini, pembelajaran kontekstual diterapkan melalui kegiatan praktikum pigmen tumbuhan yang memanfaatkan *Cobra SMARTsense* sebagai alat pendukung pembelajaran. Melalui praktikum tersebut, Mahasiswa memperoleh pengalaman belajar secara langsung melalui kegiatan mengamati objek, mengumpulkan dan menganalisis data hasil pengukuran, serta mengaitkan temuan yang diperoleh dengan konsep-konsep fisiologi tumbuhan.

Melalui pengalaman belajar tersebut, mahasiswa dibimbing untuk mengikuti tahapan kerja ilmiah, mulai dari mengidentifikasi permasalahan, menyusun prosedur kerja, melakukan eksperimen, mengumpulkan dan mengolah data, menganalisis hasil, hingga menarik kesimpulan berdasarkan bukti yang

diperoleh. Rangkaian kegiatan tersebut membantu mahasiswa membangun kemampuan berpikir ilmiah yang menjadi salah satu kompetensi penting dalam pembelajaran sains. Di samping itu, mahasiswa juga mengembangkan kemampuan berpikir kritis, memecahkan masalah, bekerja sama, dan berkomunikasi melalui setiap tahapan PjBL (Utami & Dewi, 2020). Oleh karena itu, LKM yang dikembangkan berdasarkan sintaks PjBL diharapkan dapat mendukung pembelajaran yang lebih aktif, kontekstual, serta memfasilitasi mahasiswa dalam mengembangkan kemampuan berpikir ilmiah melalui kegiatan praktikum Fisiologi Tumbuhan.

Selain pemilihan model pembelajaran yang tepat, pemanfaatan teknologi juga berperan penting dalam meningkatkan kualitas pelaksanaan praktikum. Salah satu teknologi yang dapat digunakan dalam pembelajaran Fisiologi Tumbuhan adalah *Cobra SMARTsense*. Perangkat ini mampu mengukur berbagai parameter optik, seperti absorbansi, transmitansi, dan kekeruhan, sehingga menghasilkan data yang lebih akurat, objektif, serta lebih mudah dianalisis dan diinterpretasikan (OECD, 2023). Agar pemanfaatannya berlangsung secara optimal, penggunaan *Cobra SMARTsense* perlu disertai dengan bahan ajar yang dapat membimbing mahasiswa dalam mengoperasikan alat, melaksanakan prosedur praktikum, serta menganalisis dan menginterpretasikan data hasil pengukuran. Oleh karena itu, pengembangan LKM yang terintegrasi dengan *Cobra SMARTsense* menjadi penting untuk memfasilitasi pelaksanaan praktikum yang lebih aktif, kontekstual, dan mampu mengembangkan kemampuan berpikir ilmiah mahasiswa.

Pemanfaatan *Cobra SMARTsense* dalam kegiatan praktikum tidak hanya mempermudah proses pengukuran digital, tetapi juga membantu mahasiswa melaksanakan setiap tahapan kerja ilmiah secara lebih sistematis. Melalui penggunaan perangkat ini, mahasiswa dapat melakukan pengamatan, mengukur berbagai parameter optik, mengumpulkan dan menganalisis data, menginterpretasikan hasil pengukuran, serta menarik kesimpulan berdasarkan bukti yang diperoleh selama praktikum. Dengan demikian, *Cobra SMARTsense* tidak hanya meningkatkan akurasi dan objektivitas hasil pengukuran, tetapi juga memperkaya pengalaman belajar mahasiswa dalam menerapkan metode ilmiah pada pembelajaran Fisiologi Tumbuhan. Oleh karena itu, diperlukan LKM berbasis PjBL yang terintegrasi dengan *Cobra SMARTsense* agar mahasiswa memperoleh panduan yang sistematis dalam melaksanakan praktikum sekaligus mengembangkan kemampuan berpikir ilmiah.

Salah satu pendekatan yang dianggap cocok untuk diintegrasikan ke dalam LKM adalah PjBL. Melalui kerangka kerja PjBL, siswa tidak hanya mengikuti langkah-langkah percobaan laboratorium, tetapi juga didorong untuk mengidentifikasi masalah, merancang solusi, melakukan percobaan, menganalisis data pengamatan, dan mengevaluasi hasil proyek mereka. Dengan demikian, kegiatan laboratorium tidak lagi semata-mata berorientasi pada penyelesaian prosedur, melainkan menjadi sarana bagi mahasiswa untuk membangun pemahaman konseptual melalui pengalaman belajar yang aktif dan bermakna. Penerapan PjBL dalam LKM juga diharapkan dapat mengembangkan keterampilan

berpikir kritis, pemecahan masalah, kolaborasi, dan komunikasi, yang sangat penting untuk pendidikan tinggi.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan bahan ajar berbentuk LKM dengan menerapkan model PjBL. Penelitian Mamonto *et al.* (2023) menyatakan bahwa LKM berbasis PjBL efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep serta kemampuan berpikir kritis mahasiswa. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Riana (2024) mengembangkan Lembar Kerja Peserta Didik berbasis PjBL dengan topik ekosistem untuk siswa kelas X SMA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang dikembangkan dinilai sangat sesuai berdasarkan validasi oleh para ahli bidang studi, media, dan bahasa, sehingga dapat digunakan sebagai bahan ajar yang mendukung pembelajaran biologi yang lebih aktif.

Meskipun kedua penelitian tersebut sama-sama mengembangkan bahan ajar berbasis PjBL, terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian yang dilakukan. Penelitian Mamonto *et al.* (2023) berfokus pada pengembangan LKM berbasis PjBL, tetapi belum mengintegrasikan pemanfaatan teknologi sensor digital untuk mendukung pelaksanaan praktikum. Sementara penelitian Riana (2024) lebih menitikberatkan pada pengembangan LKPD untuk siswa SMA pada materi ekosistem. Penelitian tersebut belum mengintegrasikan penggunaan teknologi sensor digital sebagai pendukung dalam pelaksanaan kegiatan praktikum. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan LKM berbasis PjBL menggunakan *Cobra SMARTsense* pada praktikum pigmen tumbuhan masih sangat terbatas.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian sebelumnya, masih terdapat kesenjangan dalam penelitian ini, yaitu belum adanya LKM yang mengintegrasikan sintaks PjBL dengan penggunaan *Cobra SMARTsense* dalam eksperimen laboratorium pigmen tumbuhan dalam mata kuliah fisiologi tumbuhan. Penelitian-penelitian terdahulu umumnya masih berfokus pada pengembangan bahan ajar berbasis PjBL atau pemanfaatan teknologi digital secara terpisah. Padahal, pengintegrasian model pembelajaran, bahan ajar, dan teknologi sensor digital dalam satu produk pembelajaran masih belum banyak dikembangkan. Oleh karena itu, kesenjangan tersebut menunjukkan perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan LKM yang mampu mengintegrasikan ketiga aspek tersebut secara terpadu.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan Lembar Kerja Mahasiswa berbasis PjBL yang terintegrasi dengan penggunaan *Cobra SMARTsense* pada praktikum pigmen tumbuhan. berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya, LKM yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai panduan praktikum yang sistematis, tetapi juga dirancang untuk memberikan pengalaman pembelajaran berbasis proyek melalui penggunaan teknologi digital dalam proses pengumpulan, pengukuran, dan analisis data eksperimen. Dengan demikian, produk yang dihasilkan diharapkan dapat berfungsi sebagai inovasi pembelajaran yang mampu mendukung pencapaian tujuan pembelajaran serta meningkatkan efektivitas sesi praktikum pada mata kuliah Fisiologi Tumbuhan.

Berdasarkan pembahasan yang disampaikan, peneliti menyimpulkan bahwa pengembangan LKM berbasis PjBL yang memanfaatkan *Cobra SMARTsense* pada

praktikum pigmen tumbuhan perlu dilakukan. Pengembangan ini diharapkan dapat menghasilkan bahan ajar yang memenuhi kriteria validitas dan keterbacaan, sehingga layak digunakan dalam kegiatan praktikum. Selain itu, LKM yang dikembangkan diharapkan dapat mendorong proses pembelajaran yang lebih aktif, kontekstual, dan berpusat pada mahasiswa, serta membantu mahasiswa memahami konsep pigmen tumbuhan sebagai bagian dari kurikulum Fisiologi Tumbuhan secara lebih komprehensif. Berdasarkan pertimbangan tersebut, peneliti melakukan penelitian berjudul **“Pengembangan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) Fisiologi Tumbuhan Berbasis *Project Based Learning* (PjBL) Menggunakan *Cobra SMARTsense* Pada Praktikum Pigmen Tumbuhan.”**

B. Definisi Operasional

1. Lembar Kerja Mahasiswa (LKM): LKM yang dikembangkan dalam penelitian ini berfungsi sebagai bahan ajar sekaligus panduan bagi mahasiswa dalam melaksanakan praktikum pigmen tumbuhan pada mata kuliah Fisiologi Tumbuhan. LKM ini disusun secara sistematis dengan memuat identitas praktikum, capaian pembelajaran, tujuan praktikum, petunjuk penggunaan *Cobra SMARTsense*, sintaks PjBL, prosedur kerja, lembar pengamatan, analisis data, pertanyaan diskusi, hingga refleksi pembelajaran. Melalui penyusunan komponen-komponen tersebut, LKM diharapkan dapat membantu mahasiswa mengikuti kegiatan praktikum secara lebih terarah dan bermakna.
2. *Project Based Learning* (PjBL): Dalam penelitian ini, PjBL digunakan sebagai model pembelajaran yang menjadi dasar dalam penyusunan

aktivitas pada LKM. Penerapan model ini dilakukan melalui beberapa tahapan sintaks, yaitu merumuskan pertanyaan mendasar, merancang proyek, menyusun jadwal pelaksanaan, melaksanakan dan memantau proyek, menguji hasil yang diperoleh, serta melakukan evaluasi terhadap pengalaman belajar. Melalui tahapan tersebut, mahasiswa didorong untuk berperan aktif selama kegiatan praktikum, bekerja sama dalam kelompok, menganalisis data yang diperoleh, serta menghasilkan produk akhir berupa poster yang menyajikan hasil praktikum.

3. Fisiologi Tumbuhan: Fisiologi Tumbuhan dalam penelitian ini merupakan salah satu mata kuliah pada Program Studi Pendidikan Biologi yang membahas berbagai proses fisiologis yang terjadi pada tumbuhan, seperti fotosintesis, respirasi, transpirasi, penyerapan air dan mineral, kerja hormon tumbuhan, serta proses metabolisme. Dalam penelitian ini, materi yang menjadi fokus pengembangan LKM adalah pigmen tumbuhan, yang merupakan salah satu topik dalam mata kuliah Fisiologi Tumbuhan. Materi tersebut dipelajari melalui kegiatan praktikum dengan memanfaatkan *Cobra SMARTsense* sebagai alat pendukung untuk membantu mahasiswa melakukan pengamatan dan analisis hasil praktikum secara lebih optimal.
4. *Cobra SMARTsense*: *Cobra SMARTsense* merupakan sensor digital yang dimanfaatkan sebagai alat bantu praktikum untuk mengukur karakteristik optik ekstrak pigmen tumbuhan. Dalam penelitian ini, perangkat tersebut digunakan untuk memperoleh data berupa nilai absorbansi, transmitansi, dan tingkat kekeruhan (*turbidity*) ekstrak pigmen bunga. Proses pengukuran

dilakukan melalui aplikasi *MeasureApp* yang telah terhubung dengan sensor *Cobra SMARTsense*.

5. Pigmen Tumbuhan: Pigmen tumbuhan dalam penelitian ini merupakan materi praktikum pada mata kuliah Fisiologi Tumbuhan yang menjadi fokus pengembangan LKM. Kegiatan praktikum meliputi pengamatan terhadap tiga jenis pigmen utama, yaitu klorofil, karotenoid, dan antosianin, yang diperoleh melalui proses ekstraksi dari beberapa jenis bunga. Karakteristik masing-masing pigmen kemudian dianalisis berdasarkan hasil pengukuran nilai absorbansi, transmitansi, dan tingkat kekeruhan (*turbidity*) menggunakan *Cobra SMARTsense*.
6. Pengembangan LKM: Pengembangan LKM pada penelitian ini dilakukan melalui proses penyusunan produk dengan menggunakan metode *Educational Design Research* (EDR) model Plomp. Tahapan yang dilalui meliputi penelitian pendahuluan (*preliminary research*), tahap pengembangan (*prototyping phase*), dan tahap penilaian (*assessment phase*). Sementara itu, proses evaluasi formatif mengacu pada model Tessmer yang dalam penelitian ini dibatasi hingga tahap *expert review* dan *one-to-one evaluation*. Pembatasan tersebut bertujuan untuk menghasilkan LKM yang memiliki tingkat validitas dan keterbacaan sehingga layak digunakan dalam kegiatan pembelajaran.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka terdapat rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana tingkat validitas LKM Fisiologi Tumbuhan berbasis PJBL menggunakan *Cobra SMARTsense* pada praktikum pigmen tumbuhan?
2. Bagaimana tingkat keterbacaan LKM Fisiologi Tumbuhan berbasis PJBL menggunakan *Cobra SMARTsense* berdasarkan hasil uji coba terbatas (*one-to-one*) terhadap mahasiswa Biologi?

D. Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah yang diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui tingkat validitas LKM Fisiologi Tumbuhan berbasis PjBL menggunakan *Cobra SMARTsense* yang dikembangkan berdasarkan hasil penilaian para ahli.
2. Mengetahui tingkat keterbacaan LKM Fisiologi Tumbuhan berbasis PjBL menggunakan *Cobra SMARTsense* berdasarkan hasil uji coba terbatas (*one-to-one*).

E. Signifikasi Penelitian

Penelitian ini memiliki arti penting dari sisi teoritis maupun praktis.

1. Secara Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi utama dalam pengembangan pendidikan biologi, khususnya di bidang fisiologi tumbuhan,

dengan menerapkan model PjBL yang dipadukan dengan pemanfaatan teknologi digital. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkuat landasan teoritis mengenai efektivitas penggunaan media berbasis aplikasi ponsel pintar, yang secara aktif meningkatkan kemampuan berpikir ilmiah, kemampuan observasi, dan kemampuan analisis data siswa. Selain itu, penelitian ini berpotensi untuk dijadikan referensi teoritis, di mana integrasi alat ukur digital seperti *Measure App* dapat dipertimbangkan sebagai media pembelajaran alternatif yang inovatif dan aplikatif dalam pembelajaran fisiologi tumbuhan.

2. Secara Praktis

- a. Bagi Mahasiswa: Penelitian ini memfasilitasi pemahakan konsep fisiologi tumbuhan yang abstrak melalui pengalaman belajar berbasis proyek, sekaligus meningkatkan keterampilan ilmiah dan kemampuan menggunakan teknologi dalam praktikum.
- b. Bagi Dosen: Memberikan alternatif perangkat pembelajaran berupa LKM berbasis PjBL berbantuan *Measure App* yang valid, praktis, dan dapat meningkatkan kualitas perkuliahan fisiologi tumbuhan.
- c. Bagi Lembaga Pendidikan: Menjadi contoh inovasi pembelajaran yang memanfaatkan teknologi sederhana dan relevan sebagai acuan dalam pengembangan pembelajaran biologi di perguruan tinggi.
- d. Bagi Penelitian Selanjutnya: Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan untuk mengembangkan media pembelajaran serupa pada materi biologi lainnya serta menguji efektivitasnya dalam penerapan yang lebih luas.

F. Peneiltian Terdahulu Yang Relevan

Tabel 1. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu yang Menjadi Referensi Peneliti

Judul Jurnal	Penulis & Tahun	Fokus Kajian	Temuan Utama	Keterkaitan dengan Penelitian & Keterbaharuan
Development of Student's Worksheet using Project-Based Learning (PjBL) on Ecosystem Concept for Class X SMA	Febi Riana, Sunarto, Jendri Mamangkey (2024)	Pengembangan LKM berbasis PjBL pada materi ekosistem	LKM berbasis PjBL valid, praktis, dan mendapat respons positif siswa	Memberi acuan langkah pengembangan LKM PjBL. Keterbaharuan penelitian: mengembangkan LKM pada materi fisiologi tumbuhan (pigmen & pertumbuhan sel) dengan bantuan aplikasi digital (Measure App).
Development of Student Worksheet on Growth and Development of Drought-Stressed Plants	Saifullah Mamonto; Novri Youla Kandowangko; Frida Maryati Yusuf (2023)	LKM untuk topik pertumbuhan & perkembangan tumbuhan pada kondisi stres kekeringan	LKM dinilai valid, praktis, dan efektif berdasarkan uji ahli dan uji coba	Relevan karena topik sama (pertumbuhan & perkembangan sel). Keterbaharuan: mengintegrasikan pigmen tumbuhan serta penggunaan aplikasi pengukuran digital.
The Development of Student Worksheet Integrated by STEM Approach in Plant Growth and Development Material	Mahmudi, I.; Susantini, E.; Yakub, P. (2020)	LKM dengan pendekatan STEM pada materi pertumbuhan & perkembangan tumbuhan	Integrasi teknologi sederhana meningkatkan keterlibatan dan keterampilan praktik siswa	Relevan dengan integrasi teknologi. Keterbaharuan: penggunaan Measure App secara khusus sebagai alat bantu pengukuran pigmen.
Smartphone-Based Leaf Colorimetric Analysis	Bodor-Pesti et al. (2024)	Analisis pigmen daun menggunakan aplikasi smartphone berbasis colorimetri	Korelasi signifikan antara hasil aplikasi smartphone dengan alat pengukur klorofil; metode non-destruktif valid	Memberi dasar empiris bahwa aplikasi smartphone bisa digunakan untuk mengukur pigmen tumbuhan. Keterbaharuan: penerapan aplikasi ini di dalam LKM berbasis PJBL.

Judul Jurnal	Penulis & Tahun	Fokus Kajian	Temuan Utama	Keterkaitan dengan Penelitian & Keterbaharuan
Smartphone-Enabled Colorimetry	Ciaccheri et al. (2023)	Review pemanfaatan smartphone sebagai colorimeter untuk analisis pigmen	Smartphone dapat menjadi alat colorimetri edukatif yang reliabel bila dikalibrasi dengan benar	Relevan sebagai pedoman teknis penggunaan Measure App. Keterbaharuan: mengaplikasikan teknik ini secara langsung dalam pengembangan LKM fisiologi tumbuhan.
Pengujian Elektrolit Jus Buah Mengkudu dan Ekstrak Limau Kuit Khas Kalimantan	Indri Nur Fatima, Nurul Istiqomah, Khairiatul Muna, Helda Rahmawati (2023)	Pengukuran kadar elektrolit jus buah menggunakan <i>Cobra Smartsense (Phywe)</i>	Alat <i>Cobra Smartsense</i> efektif digunakan untuk pengukuran elektrolit secara cepat dan akurat	Relevan karena menggunakan <i>Cobra Smartsense</i> sebagai alat pengukur yang terhubung dengan aplikasi digital. Keterbaharuan: menjadi acuan penggunaan alat <i>Cobra Smartsense</i> dalam LKM praktikum fisiologi pigmen tumbuhan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, terlihat bahwa pengembangan LKM yang menggunakan pendekatan PjBL, STEM, maupun aktivitas ilmiah memberikan dampak positif, terutama dalam meningkatkan pemahaman konsep serta kemampuan berpikir mahasiswa. Meski demikian, studi-studi tersebut masih menunjukkan beberapa kekurangan, seperti cakupan materi yang sempit, belum memasukkan aspek fisiologi tumbuhan yang lebih kompleks misalnya pigmen fotosintesis dan belum memaksimalkan penggunaan teknologi digital dalam kegiatan observasi dan analisis data. Selain itu, walaupun perangkat seperti *Cobra SMARTsense* telah terbukti akurat untuk keperluan pengukuran ilmiah, pemanfaatannya belum difokuskan pada pembelajaran fisiologi tumbuhan berbasis proyek. Dengan demikian, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengembangkan LKM yang memadukan pendekatan PjBL, materi fisiologi tumbuhan, dan teknologi digital secara langsung dalam proses pembelajaran.

G. Sistematika Penulisan

Agar isi penelitian dapat tersaji secara sistematis dan mudah dipahami, peneliti menyusun sistematika penulisan yang terdiri dari lima bab, yaitu:

BAB I : Pendahuluan, memberikan pembahasan mendalam mengenai latar belakang permasalahan yang mendasari penelitian. Lebih lanjut, bab ini mencakup definisi operasional, rumusan masalah, tujuan penelitian, signifikansi penelitian, tinjauan penelitian terdahulu, dan metodologi penulisan yang dirancang secara sistematis.

- BAB II : Kajian teori dan kerangka pikir pada bab ini memuat dasar teori tentang penelitian dan pengembangan, Lembar Kerja Mahasiswa (LKM), fisiologi serta pigmen tumbuhan, dan media pendukung praktikum. Kerangka penelitian juga dijelaskan secara lengkap sebagai landasan pemahaman.
- BAB III : Metodologi penelitian, menjelaskan jenis dan pendekatan penelitian, desain penelitian, lokasi dan waktu penelitian, populasi dan sampel, variabel penelitian, sumber dan jenis data, teknik dan instrumen pengumpulan data, prosedur penelitian, dan teknik analisis data dijelaskan secara rinci dalam bab ini. Pendekatan ini memastikan bahwa metodologi yang digunakan ilmiah dan kuat.
- BAB IV : Hasil penelitian dan pembahasan, menyajikan hasil penelitian, diikuti dengan analisis dan pembahasan mendalam atas data yang terkumpul. Proses ini bertujuan untuk menginterpretasikan temuan secara objektif dan mengaitkannya dengan konteks teoritis yang relevan.
- BAB V : Penutup, merangkum temuan penelitian dan menyajikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya. Rekomendasi ini dirumuskan berdasarkan analisis yang dilakukan, yang memberikan arahan bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang fisiologi tumbuhan.