

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Biologi merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari makhluk hidup serta berbagai proses kehidupan yang berlangsung di dalamnya. Sebagai ilmu yang terus berkembang, biologi tidak hanya mempelajari struktur organisme, tetapi juga fungsi, mekanisme, dan interaksi yang terjadi pada makhluk hidup (Sirajuddin *et al.*, 2024). Salah satu cabang utama dalam biologi adalah fisiologi, yaitu ilmu yang mempelajari fungsi dan proses kehidupan yang terjadi dalam organisme. Fisiologi secara umum terbagi menjadi fisiologi hewan dan fisiologi tumbuhan. Fisiologi hewan mempelajari fungsi organ dan sistem organ pada hewan, sedangkan fisiologi tumbuhan mempelajari berbagai proses fisiologis yang terjadi pada tumbuhan, seperti penyerapan air dan mineral, transpirasi, respirasi, pertumbuhan, perkembangan, serta fotosintesis (Mailidarni, & Djafar, 2025).

Fisiologi tumbuhan merupakan salah satu mata kuliah penting dalam Program Studi Tadris Biologi karena membekali mahasiswa dengan pemahaman mengenai berbagai proses kehidupan yang terjadi pada tumbuhan. Pemahaman tersebut diperlukan sebagai dasar dalam menjelaskan berbagai fenomena biologis yang terjadi di lingkungan sekitar. Salah satu materi pokok yang dipelajari dalam fisiologi tumbuhan adalah fotosintesis. Fotosintesis merupakan proses metabolisme yang memungkinkan tumbuhan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia

dalam bentuk senyawa organik yang digunakan sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Selain menghasilkan bahan makanan bagi tumbuhan, fotosintesis juga menghasilkan oksigen dan berperan dalam menjaga keseimbangan kadar karbon dioksida di atmosfer. Oleh karena itu, fotosintesis menjadi salah satu konsep mendasar yang harus dipahami oleh mahasiswa dalam pembelajaran fisiologi tumbuhan (Fauziah, 2021).

Pentingnya mempelajari proses kehidupan tumbuhan juga sejalan dengan nilai-nilai keislaman yang terkandung dalam Alquran. Allah Swt. berfirman dalam QS. Al-An'am ayat 99:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرَجُ  
 مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِنَ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ  
 مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ انظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ٩٩

Menurut Al-Qurtubī (2006) dalam *Al-Jāmi' li Ahkām al-Qur'an*, QS. Al-An'am ayat 99 menjelaskan tanda-tanda kebesaran Allah yang tampak melalui keragaman tumbuhan di alam. Beliau menerangkan bahwa Allah menciptakan berbagai jenis tanaman dengan variasi bentuk, warna, rasa, dan aroma, meskipun semuanya berasal dari unsur dasar yang sama, yaitu tanah dan air. Hal ini menjadi pengingat bagi manusia agar senantiasa bersyukur atas nikmat Allah serta tidak mengingkarinya. Selain itu, Al-Qurtubī juga menafsirkan frasa “perhatikanlah buahnya ketika berbuah dan ketika masak” tidak hanya bermakna spiritual, tetapi juga mengandung makna ilmiah. Secara spiritual, ayat tersebut mengajak manusia untuk merenungi kebesaran dan kekuasaan Allah dalam penciptaan. Sementara secara ilmiah, ayat ini mendorong manusia untuk mengamati proses pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan secara cermat dan teratur. Dengan demikian, ayat ini menunjukkan adanya keterkaitan antara ilmu pengetahuan modern, khususnya fisiologi tumbuhan, dengan nilai-nilai keimanan yang terdapat dalam Al-Qur'an.

Pembelajaran fisiologi tumbuhan pada materi fotosintesis idealnya tidak hanya menekankan penguasaan konsep secara teoritis, tetapi juga memberikan pengalaman belajar melalui kegiatan praktikum. Praktikum berperan penting dalam

membantu mahasiswa memahami hubungan antara konsep yang dipelajari dengan fenomena yang terjadi secara nyata (Santoso & Darnanengsih, 2025). Melalui kegiatan praktikum, mahasiswa dapat mengamati faktor-faktor yang memengaruhi laju fotosintesis serta menganalisis data hasil pengamatan secara langsung. Pembelajaran yang memadukan teori dan praktikum diharapkan mampu meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa sekaligus mengembangkan keterampilan proses sains yang diperlukan dalam pembelajaran biologi.

Salah satu metode yang umum digunakan dalam praktikum fotosintesis adalah metode *bubble counting* atau penghitungan gelembung oksigen. Metode ini dilakukan dengan mengamati jumlah gelembung oksigen yang dihasilkan tumbuhan air, seperti *Hydrilla verticillata*, selama proses fotosintesis berlangsung. Menurut Kratochvil & Pollirer (2017), penghitungan gelembung gas yang dihasilkan tumbuhan air merupakan metode yang paling umum digunakan untuk mendeteksi perubahan laju proses fotosintesis. Metode *bubble counting* digunakan untuk memperkirakan laju fotosintesis berdasarkan jumlah gelembung oksigen yang dilepaskan dalam satuan waktu tertentu. Penggunaan metode *bubble counting* relatif mudah diterapkan dan tidak memerlukan peralatan yang kompleks sehingga sering digunakan dalam kegiatan praktikum fisiologi tumbuhan.

Meskipun demikian, metode *bubble counting* memiliki beberapa keterbatasan. Jumlah gelembung yang diamati tidak selalu mencerminkan volume oksigen yang sama karena ukuran gelembung dapat berbeda-beda. Selain itu, proses pengamatan sangat bergantung pada ketelitian pengamat sehingga berpotensi menimbulkan subjektivitas dan kesalahan perhitungan. Kondisi lingkungan yang

sulit dikendalikan secara optimal juga dapat memengaruhi hasil pengamatan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode penghitungan gelembung memiliki tingkat akurasi yang lebih rendah dibandingkan pengukuran menggunakan sensor digital karena data yang diperoleh masih bergantung pada pengamatan manual (Tahany *et al.*, 2022). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya dukungan teknologi yang dapat membantu menghasilkan data pengamatan yang lebih objektif dan akurat.

Perkembangan teknologi pada abad ke-21 telah mendorong pemanfaatan berbagai perangkat digital dalam pembelajaran sains, termasuk dalam kegiatan praktikum biologi. Penggunaan sensor digital memungkinkan proses pengukuran berbagai parameter dilakukan secara lebih akurat, objektif, dan *real-time*. Pada materi fotosintesis, teknologi sensor dapat digunakan untuk mengukur berbagai parameter yang berkaitan dengan proses fotosintesis, seperti intensitas cahaya, suhu, kadar oksigen, dan konsentrasi karbon dioksida. Data yang diperoleh dari sensor digital dapat membantu mahasiswa memahami proses fotosintesis secara lebih mendalam karena didasarkan pada data empiris yang terukur.

Berdasarkan hasil observasi awal pada mata kuliah Fisiologi Tumbuhan di Program Studi Tadris Biologi UIN Antasari Banjarmasin, pembelajaran materi fotosintesis masih didominasi oleh penyampaian teori dan praktikum sederhana menggunakan metode *bubble counting*. Hasil wawancara pendahuluan terhadap 5 mahasiswa yang telah mengikuti perkuliahan Fisiologi Tumbuhan menunjukkan bahwa praktikum fotosintesis membantu mahasiswa memahami konsep dasar fotosintesis, namun data yang diperoleh masih terbatas pada hasil pengamatan

manual. Mahasiswa juga menyatakan bahwa kegiatan praktikum belum memanfaatkan teknologi digital secara optimal sehingga mereka masih mengalami kesulitan dalam menghubungkan konsep fotosintesis dengan data empiris yang lebih akurat.

Hasil wawancara dengan laboran Laboratorium Terintegrasi Tadris Biologi UIN Antasari Banjarmasin menunjukkan bahwa laboratorium telah memiliki perangkat *Cobra Smart Sense* yang dapat dimanfaatkan dalam kegiatan praktikum fisiologi tumbuhan. Perangkat tersebut mampu mengukur berbagai parameter secara digital dan *real-time*, seperti suhu, intensitas cahaya, kadar oksigen, dan konsentrasi karbon dioksida. Ketersediaan fasilitas tersebut menunjukkan bahwa laboratorium memiliki potensi yang memadai untuk mendukung pembelajaran fotosintesis berbasis teknologi.

Meskipun perangkat *Cobra Smart Sense* telah tersedia, pemanfaatannya dalam kegiatan praktikum fisiologi tumbuhan masih belum optimal. Berdasarkan hasil wawancara dengan laboran, belum tersedia panduan praktikum maupun Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) yang secara khusus mengintegrasikan penggunaan *Cobra Smart Sense* pada materi fotosintesis. Kondisi tersebut menyebabkan alat yang tersedia belum digunakan secara maksimal dalam kegiatan pembelajaran. Akibatnya, kegiatan praktikum masih lebih banyak menggunakan metode konvensional dan belum memanfaatkan potensi teknologi digital yang tersedia di laboratorium.

Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) merupakan salah satu perangkat pembelajaran yang berfungsi sebagai panduan bagi mahasiswa dalam

melaksanakan kegiatan belajar maupun praktikum secara sistematis (Sari & Wulanda, 2019). Penggunaan LKM yang dirancang dengan baik dapat membantu mahasiswa memahami tujuan kegiatan, prosedur kerja, pengumpulan data, analisis hasil, hingga penyusunan kesimpulan. Integrasi pendekatan *Project Based Learning* (PjBL) ke dalam LKM memungkinkan mahasiswa terlibat secara aktif dalam proses pembelajaran melalui kegiatan penyelidikan dan pemecahan masalah yang berkaitan dengan fenomena nyata (Suryani, 2024). Oleh karena itu, pengembangan LKM berbasis proyek dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran fisiologi tumbuhan.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengembangan perangkat pembelajaran berbasis proyek dapat mendukung proses pembelajaran yang lebih aktif dan bermakna. Nirwana (2024) mengembangkan E-LKM berbasis Etno-STEM yang diintegrasikan dengan *Project Based Learning* (PjBL) dan memperoleh hasil bahwa perangkat yang dikembangkan mampu meningkatkan pemahaman sains serta kepedulian lingkungan peserta didik. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi LKM dengan model pembelajaran berbasis proyek dapat membantu peserta didik membangun pengetahuan melalui pengalaman belajar yang lebih kontekstual. Akan tetapi, penelitian tersebut berfokus pada pengembangan E-LKM berbasis Etno-STEM dan belum memanfaatkan perangkat sensor digital dalam kegiatan praktikum.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Fadillah, Susanti, & Fitriani (2023) mengembangkan e-modul berbasis proyek pada materi fotosintesis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat yang dikembangkan mampu mendukung

kemampuan berpikir kritis, kerja sama, dan pemahaman konsep peserta didik. Meskipun demikian, produk yang dikembangkan masih berupa e-modul pembelajaran dan belum dirancang sebagai panduan praktikum yang terintegrasi dengan penggunaan alat digital untuk memperoleh data pengamatan secara langsung.

Berdasarkan kedua penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa pengembangan perangkat pembelajaran berbasis proyek telah banyak dilakukan dan memberikan dampak positif terhadap proses pembelajaran. Namun, penelitian yang secara khusus mengembangkan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) Fisiologi Tumbuhan pada materi fotosintesis berbasis proyek dengan dukungan alat digital *Cobra Smart Sense* masih belum ditemukan. Sementara itu, hasil wawancara dengan laboran menunjukkan bahwa Laboratorium Terintegrasi Tadris Biologi UIN Antasari Banjarmasin telah memiliki perangkat *Cobra Smart Sense* yang berpotensi mendukung pembelajaran fotosintesis berbasis data digital.

Akan tetapi, belum tersedia LKM yang dapat memandu pemanfaatan alat tersebut secara sistematis dalam kegiatan praktikum. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara ketersediaan fasilitas laboratorium dengan perangkat pembelajaran yang mendukung penggunaannya. Kesenjangan tersebut menunjukkan perlunya pengembangan perangkat pembelajaran yang mampu mengintegrasikan penggunaan teknologi digital dengan kegiatan praktikum fisiologi tumbuhan.

Oleh karena itu, diperlukan pengembangan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) Fisiologi Tumbuhan pada materi fotosintesis berbasis proyek dengan

dukungan *Cobra Smart Sense*. Pengembangan ini diharapkan menghasilkan LKM yang valid dan praktis untuk digunakan dalam kegiatan praktikum fisiologi tumbuhan serta mampu membantu mahasiswa melaksanakan pengamatan fotosintesis secara lebih sistematis, terarah, dan berbasis data empiris. Selain itu, pengembangan LKM ini juga diharapkan dapat mengoptimalkan pemanfaatan fasilitas laboratorium yang telah tersedia sehingga mendukung pelaksanaan pembelajaran fisiologi tumbuhan yang lebih inovatif dan sesuai dengan perkembangan teknologi pembelajaran saat ini.

## **B. Definisi Operasional**

Definisi operasional disajikan guna menghindari kesalahan dalam memahami dan menafsirkan istilah-istilah yang digunakan dalam judul penelitian. Definisi ini berfungsi sebagai penjelasan terhadap setiap istilah yang terdapat dalam judul skripsi:

### **1. Pengembangan**

Penelitian ini mengacu pada pendekatan yang dikemukakan oleh Plomp dan Nieveen (2013), yaitu *Educational Design Research* (EDR), yang merupakan proses sistematis untuk merancang, menyusun, menguji, dan menyempurnakan produk Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) berbasis proyek yang terintegrasi dengan teknologi *Cobra Smart Sense*. Namun, penelitian ini dibatasi hanya pada tahap pengembangan atau pembuatan prototipe. Pada tahap tersebut, evaluasi formatif dilakukan dengan mengacu pada konsep evaluasi yang dikemukakan oleh Tessmer (1993), yang bertujuan untuk menilai kualitas awal produk, mengidentifikasi

kekurangan, serta memperoleh masukan sebagai dasar perbaikan secara berkelanjutan sehingga produk yang dikembangkan menjadi lebih valid dan praktis.

## 2. Lembar Kerja Mahasiswa (LKM)

Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) pada mata kuliah Fisiologi Tumbuhan merupakan sumber pembelajaran cetak yang berfokus pada materi fotosintesis. LKM ini memuat beberapa komponen, antara lain tujuan pembelajaran, petunjuk penggunaan, prosedur praktikum, lembar pengamatan, pertanyaan analisis, serta tugas penyusunan laporan proyek. LKM yang dikembangkan dengan dukungan *Cobra Smart Sense* disusun untuk membantu mahasiswa belajar secara mandiri, aktif, dan kolaboratif melalui eksperimen fotosintesis menggunakan *Hydrilla verticillata*. Perangkat *Cobra Smart Sense* digunakan untuk mengukur parameter seperti konsentrasi CO<sub>2</sub>, oksigen, suhu, dan intensitas cahaya secara *real-time*. Kualitas LKM dinilai berdasarkan aspek validitas, kepraktisan, dan efektivitas dalam mendukung proses pembelajaran.

## 3. Fisiologi Tumbuhan

Fisiologi tumbuhan ialah salah satu bidang ilmu biologi yang mempelajari fungsi organ serta berbagai proses kehidupan yang berlangsung pada tumbuhan. Kajian ini meliputi mekanisme fisiologis seperti fotosintesis, respirasi, transpirasi, penyerapan air, serta pertumbuhan dan perkembangan. Dalam penelitian ini, pembahasan difokuskan pada materi fotosintesis yang dijadikan dasar dalam penyusunan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) berbasis proyek. Materi tersebut dipelajari melalui kegiatan praktikum dan eksperimen dengan menggunakan

*Hydrilla verticillata* yang didukung oleh *Cobra Smart Sense*, guna menganalisis berbagai faktor yang memengaruhi laju fotosintesis.

#### 4. Fotosintesis

Dalam mata kuliah fisiologi tumbuhan, fotosintesis dipahami sebagai proses pembentukan senyawa organik, seperti glukosa, dari karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dengan memanfaatkan energi cahaya matahari serta bantuan klorofil, yang berlangsung bersamaan dengan pelepasan oksigen ( $\text{O}_2$ ). Dalam penelitian ini, materi fotosintesis menjadi fokus untuk menciptakan aktivitas proyek di Lembar Kerja Mahasiswa (LKM). *Hydrilla verticillata* adalah bahan utama dalam praktikum karena merupakan tumbuhan air yang dapat secara eksplisit menghasilkan gelembung oksigen selama proses fotosintesis. Oleh karena itu, sesuai digunakan dalam metode penghitungan gelembung untuk melacak laju fotosintesis. *Cobra Smart Sense* mendukung kegiatan praktikum dengan mengukur  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , suhu, dan intensitas cahaya secara *real-time*.

#### 5. Berbasis Proyek (*Project-Based Learning/PjBL*)

*Project-Based Learning (PjBL)* merupakan model pembelajaran yang berfokus pada implementasi proyek nyata. Model ini membantu mahasiswa untuk terlibat secara aktif dalam kegiatan seperti pemecahan masalah, penyelidikan, dan pembuatan produk. Pendekatan PjBL diterapkan pada Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) mata kuliah Fisiologi Tumbuhan pada materi fotosintesis dalam penelitian ini. Mahasiswa melaksanakan proyek eksperimen dengan menggunakan *Hydrilla verticillata* sebagai objek praktikum untuk mengamati laju fotosintesis. Tahapan kegiatan proyek meliputi identifikasi masalah, perancangan percobaan,

pelaksanaan eksperimen, pengumpulan dan analisis data, hingga penyusunan laporan hasil penelitian. Proses pembelajaran tersebut didukung oleh penggunaan *Cobra Smart Sense* yang mampu merekam data fotosintesis, seperti konsentrasi CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, suhu, dan intensitas cahaya secara *real-time*.

#### 6. *Cobra Smart Sense*

*Cobra Smart Sense* merupakan perangkat sensor digital yang digunakan untuk mengukur parameter lingkungan, seperti kadar karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), oksigen (O<sub>2</sub>), intensitas cahaya, dan suhu. Perangkat ini dimanfaatkan sebagai alat pendukung pada Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) Fisiologi Tumbuhan berbasis proyek, khususnya pada materi fotosintesis. Penggunaan *Cobra Smart Sense* membantu mahasiswa memperoleh data eksperimen yang lebih akurat, objektif, dan bersifat *real-time*. Alat ini diaplikasikan pada praktikum fotosintesis dengan menggunakan *Hydrilla verticillata* sebagai bahan utama untuk menganalisis hubungan antara perubahan faktor lingkungan dengan laju fotosintesis. Analisis dilakukan melalui perbandingan antara hasil perhitungan gelembung oksigen dan data yang diperoleh dari pengukuran sensor digital.

### **C. Rumusan Masalah**

Fokus pada penelitian ini, berdasarkan permasalahan pada latar belakang yang telah diuraikan, yaitu :

1. Bagaimana tingkat validitas Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) Fisiologi Tumbuhan pada materi fotosintesis berbasis proyek dengan dukungan *Cobra Smart Sense* yang telah dikembangkan?

2. Bagaimana tingkat kepraktisan terhadap Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) Fisiologi Tumbuhan pada materi fotosintesis berbasis proyek dengan dukungan *Cobra Smart Sense*?

#### **D. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini, berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, adalah :

1. Menganalisis tingkat validitas Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) Fisiologi Tumbuhan pada materi fotosintesis berbasis proyek dengan dukungan *Cobra Smart Sense* yang telah dikembangkan.
2. Menganalisis tingkat kepraktisan terhadap Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) Fisiologi Tumbuhan pada materi fotosintesis berbasis proyek dengan dukungan *Cobra Smart Sense*.

#### **E. Signifikansi Penelitian**

Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan kontribusi secara teoritis maupun praktis dalam bidang pendidikan, terkhusus pada pembelajaran Fisiologi Tumbuhan di perguruan tinggi dan lembaga pendidikan biologi.

##### **1. Manfaat Teoritis**

Pengembangan bahan ajar berbasis proyek (*Project-Based Learning*) yang terintegrasi dengan teknologi sensor digital *Cobra Smart Sense* pada materi fotosintesis adalah subjek penelitian ini. Hasil penelitian diharapkan dapat berfungsi sebagai sumber referensi ilmiah untuk penelitian lanjutan, terutama

dalam hal membangun metode pembelajaran biologi baru yang menggabungkan teknologi digital dengan metode saintifik dalam praktikum dan eksperimen fisiologi tumbuhan.

## 2. Manfaat Praktis

- a. Bagi peneliti, penelitian ini memberikan pengalaman empiris dalam mengembangkan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) berbasis proyek yang terintegrasi dengan teknologi sensor digital. Selain itu, penelitian ini juga menjadi pondasi serta referensi bagi pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya dalam bidang pendidikan biologi dan teknologi pembelajaran.
- b. Bagi dosen, hasil penelitian ini dapat menjadi sumber inspirasi sekaligus panduan dalam merancang pembelajaran Fisiologi Tumbuhan yang lebih kontekstual, interaktif, dan berbasis data, dengan memanfaatkan *Cobra Smart Sense* sebagai alat pendukung dalam pembelajaran fotosintesis.
- c. Bagi mahasiswa, LKM yang dikembangkan diharapkan dapat meningkatkan pemahaman mengenai konsep fotosintesis melalui pengalaman belajar berbasis proyek dan kegiatan eksperimen langsung yang didukung oleh sensor digital. Dengan demikian, mahasiswa diharapkan menjadi lebih aktif, kritis, dan terampil dalam menganalisis berbagai fenomena fisiologi tumbuhan secara lebih mendalam.
- d. Bagi lembaga pendidikan atau universitas, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan inovasi pembelajaran di lingkungan kampus, khususnya untuk mendukung implementasi program Merdeka Belajar serta mempercepat transformasi digital dalam bidang sains.

## F. Penelitian Terdahulu yang Relevan

Tabel 1.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti (tahun)	Judul	Metode	Hasil
1	Nirwana (2024)	Pengembangan E-LKM Berbasis Etno-STEM yang Diintegrasikan dengan Model <i>Project-Based Learning</i> (PJBL)	<i>Research and Development</i> (R&D) dengan model Borg and Gall yang dimodifikasi	E-LKM dan PjBL berbasis Etno-STEM meningkatkan pemahaman sains dan kepedulian lingkungan. Keduanya sama-sama berbasis proyek, tetapi berbeda pada konteks penggunaan pemanfaatan teknologi digital interaktif.
2	Fadillah, Susanti, & Fitriani (2023)	Pengembangan E-Modul Berbasis Proyek pada Materi Fotosintesis untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Pemahaman Konsep	<i>Research and Development</i> (R&D) dengan model ADDIE	Penggunaan e-modul berbasis proyek dapat meningkatkan berpikir kritis, kerja sama, dan pemahaman konsep siswa. Persamaannya dengan media digital berbasis proyek, sedangkan perbedaannya pada tingkat keterlibatan dan kompleksitas integrasi.
3	Susanti (2021)	Penerapan <i>Problem-Based Learning</i> dalam Praktikum Fotosintesis dan Respirasi untuk Meningkatkan Kemampuan Generik Sains	Eksperimen dengan desain pretest-posttest control group	PBL meningkatkan pemahaman konsep, pemecahan masalah, dan berpikir logis. Persamaannya pada pembelajaran aktif, sedangkan perbedaannya pada model (PBL) dan media (e-modul berbasis proyek).
4	Susongko (2020)	Pengembangan Model Asesmen Literasi Sains Berbasis IPA Terpadu Menggunakan <i>Rasch Model Analysis</i>	<i>Research and Development</i> (R&D)	Pendekatan terpadu efektif untuk meningkatkan literasi sains siswa. Persamaannya terletak pada pengembangan perangkat pembelajaran, sedangkan perbedaannya pada fokus, yaitu asesmen dan e-modul berbasis proyek.

No	Peneliti (tahun)	Judul	Metode	Hasil
5	Suharti & Daesusi (2021)	Penerapan <i>Lesson Study</i> dalam Pembelajaran Fisiologi Tumbuhan untuk Meningkatkan Kemampuan Komunikasi dan Tanggung Jawab Mahasiswa	<i>Classroom Action Research (CAR)</i>	Terbukti meningkatkan interaksi, komunikasi, dan tanggung jawab siswa. Persamaannya pada pengembangan karakter dan pembelajaran aktif, sedangkan perbedaannya pada metode, yaitu e-modul berbasis proyek digital.

Studi sebelumnya menyatakan bahwa model pembelajaran aktif seperti *Project Based Learning (PjBL)*, *Problem Based Learning (PBL)*, dan *lesson study* telah digunakan untuk mengembangkan berbagai media pembelajaran biologi. Terbukti bahwa kemampuan berpikir kritis, literasi sains, dan pembentukan karakter siswa dapat ditingkatkan melalui penggunaan media digital seperti e-LKM, modul, dan asesmen. Namun, masih tidak ada penelitian yang mengembangkan LKM Fisiologi Tumbuhan yang berbasis teknologi sensor digital seperti *Cobra Smart Sense* pada materi fotosintesis. Akibatnya, penelitian ini memadukan pendekatan berbasis proyek dengan teknologi digital untuk menghasilkan proses pembelajaran yang lebih autentik, kontekstual, dan didukung oleh data *real-time*. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah hasil pembelajaran yang lebih baik.

### G. Sistematika Penelitian

Skripsi ini disusun secara sistematis, di mana BAB I sampai dengan BAB V menjelaskan tahapan penelitian mulai dari perumusan masalah hingga penarikan kesimpulan.

- Bab I : Pendahuluan mencakup latar belakang penelitian, definisi operasional, rumusan masalah, tujuan dan signifikansi penelitian, serta sistematisasi penulisan.
- BAB II : Landasan Teori membahas teori fisiologi tumbuhan dan fotosintesis, metode penghitung balon, pengukuran CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>, pembelajaran berbasis proyek, pengembangan LKM, dan pentingnya adopsi teknologi *Cobra Smart Sense*.
- BAB III : Metodologi Penelitian membahas jenis dan desain penelitian EDR, lokasi dan subjek penelitian, variabel penelitian, dan teknik pengumpulan dan analisis data.
- BAB IV : Hasil dan Pembahasan menyajikan hasil pengembangan LKM berbasis proyek, uji validitas dan kepraktisan, serta pembahasan keunggulan, keterbatasan, dan keterkaitan dengan teori serta penelitian terdahulu.
- BAB V : Penutup berisi simpulan, keterbatasan penelitian, dan saran untuk pengembangan serta penerapan LKM di pembelajaran fisiologi tumbuhan dan biologi.