

Judul E-Module Flipbook:

Plantelligence: Cerdas Belajar Fisiologi Tumbuhan dengan PBL dan AI

1. Deskripsi

E-Module “Plantelligence” merupakan modul digital interaktif yang dirancang untuk menunjang pembelajaran mata kuliah *Fisiologi Tumbuhan* bagi mahasiswa S1 Pendidikan Biologi. Modul ini mengintegrasikan pendekatan deep learning, model pembelajaran Problem-Based Learning (PBL), dan pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) untuk meningkatkan *student ownership of learning* serta literasi digital mahasiswa, khususnya dalam penggunaan teknologi AI secara edukatif dan reflektif.

Disusun berdasarkan kurikulum terkini dan kebutuhan pembelajaran abad ke-21, e-modul ini dilengkapi dengan berbagai fitur inovatif, seperti tugas kolaboratif, refleksi mendalam, serta kuis interaktif. Melalui integrasi pendekatan ini, diharapkan mahasiswa tidak hanya memahami konsep fisiologi tumbuhan secara konseptual, tetapi juga mampu menerapkannya secara kritis, kolaboratif, dan kreatif dalam konteks nyata.

2. Isi cover

Logo UM, Logo Prodi

E-Module “Plantelligence” Cerdas Belajar Fisiologi Tumbuhan dengan PBL dan AI

Program Studi S1 Pendidikan Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang

Tahun Pelajaran 2025/2026

Disusun oleh: Alfiatus Sa’diyah

Pembimbing:

Dr. Balqis, S.Pd., M.Si

Prof. Dra. Herawati Susilo, M.Sc., Ph.D

Kurikulum: Kurikulum Merdeka

Pendekatan: Deep Learning

Model Pembelajaran: Problem-Based Learning (PBL)

3. Kata pengantar

Assalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Alhamdulillah, puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga e-module ini dapat tersusun dengan baik.

Modul ini berjudul “**Plantelligence: Cerdas Belajar Fisiologi Tumbuhan dengan PBL dan AI**”, disusun sebagai salah satu bentuk inovasi pembelajaran di era digital untuk mendukung proses pendidikan biologi, khususnya pada materi fisiologi tumbuhan.

Kehadiran modul ini diharapkan dapat menjadi sarana pembelajaran yang interaktif, bermakna, dan menyenangkan bagi mahasiswa Program Studi Pendidikan Biologi, serta mampu mengembangkan Student ownership of learning dan literasi digital AI

mahasiswa melalui integrasi model pembelajaran Problem-Based Learning (PBL) berbantuan kecerdasan buatan.

Penyusunan modul ini tidak hanya merujuk pada kurikulum terbaru dan tuntutan pembelajaran abad ke-21, tetapi juga mempertimbangkan karakteristik peserta didik yang semakin dekat dengan teknologi dan pembelajaran mandiri. Modul ini dirancang dengan pendekatan terpadu tanpa membatasi berdasarkan jenjang pendidikan secara eksplisit, dengan harapan dapat mengurangi terjadinya pengulangan materi dan memberikan kesinambungan pemahaman.

Dalam proses penyusunan modul ini, berbagai referensi ilmiah dan praktik baik dari pembelajaran inovatif dijadikan acuan, sehingga kualitas isi dan pendekatannya dapat dipertanggungjawabkan secara akademik. Modul ini juga memberi ruang bagi mahasiswa untuk mengevaluasi pemahamannya secara mandiri melalui fitur refleksi, yang dirancang untuk meningkatkan kesadaran metakognitif. Penyusunan ini tentu tidak terlepas dari dukungan para dosen pembimbing, rekan sejawat, serta berbagai pihak yang telah memberikan masukan dan validasi selama proses pengembangan.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa modul ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan penyempurnaan modul ini di masa yang akan datang. Besar harapan kami, modul ini dapat memberikan kontribusi positif dalam dunia pendidikan, khususnya dalam menciptakan pengalaman belajar biologi yang lebih kontekstual, adaptif terhadap perkembangan teknologi, dan relevan dengan kebutuhan zaman.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Malang, Juni 2025

Penyusun

4. Daftar isi

Kata Pengantar
Petunjuk Penggunaan
Elemen E-Modul
CPMK & Tujuan Pembelajaran
Peta Konsep
Materi 1: Air dan Sel Tumbuhan
Fakta Unik
Quiz
Materi 2: Transpirasi
Fakta Unik
Quiz
Materi 3: Nutrisi dan Transport
Fakta Unik
Quiz
Refleksi: Aku & Pemahamanku
Glosarium
Daftar Pustaka
Halaman Penutup

5. Isi Fakta unik

- a. Dua Mesin Cahaya di Dalam Daun: Fotosistem yang Bekerja pada Panjang Gelombang Berbeda
Tahukah kamu bahwa daun tumbuhan bekerja layaknya pabrik energi canggih yang memiliki dua "mesin" cahaya berbeda? Fotosintesis tidak hanya sekadar menangkap sinar matahari, tetapi juga mengatur energi tersebut lewat dua fotosistem yang bekerja pada panjang gelombang berbeda: Fotosistem II (PSII) aktif pada 680 nm, dan Fotosistem I (PSI) pada 700 nm. Keduanya saling bekerjasama untuk mengubah cahaya menjadi energi kimia berupa ATP dan NADPH, dua molekul yang menjadi bahan bakar utama bagi kehidupan tumbuhan. Dengan memahami ini, kita tidak hanya sekadar belajar tentang daun, tetapi sedang mengungkap rahasia pabrik energi alami yang menopang seluruh rantai kehidupan di bumi
- b. Tanaman Bisa Mengangkat Air Melawan Gravitasi, Tanpa Pompa!
Bayangkan jika kamu harus memindahkan air dari bawah ke atas tanpa bantuan alat atau mesin. Tidak mungkin, bukan? Tapi tumbuhan mampu melakukan ini setiap hari! Lewat mekanisme alami yang luar biasa, kombinasi kohesi antar molekul air dan adhesi terhadap dinding pembuluh memungkinkan air naik dari akar menuju daun, melawan gaya gravitasi. Proses ini sangat penting karena air membawa nutrisi esensial sekaligus membantu menjaga suhu tubuh tanaman melalui transpirasi. Ini adalah bukti betapa cerdas dan efisien sistem biologis tumbuhan.
- c. Translokasi Gula Tidak Hanya Turun, Tapi Juga Bisa Naik dan Menyamping!
Sering kali kita mengira bahwa makanan hasil fotosintesis hanya bergerak ke bawah menuju akar, namun kenyataannya jauh lebih kompleks dan menakjubkan! Proses translokasi asimilat (gula seperti sukrosa) di dalam floem dapat terjadi dua arah ke atas, ke bawah, bahkan menyamping. Ini memungkinkan tumbuhan menyalurkan energi secara cerdas ke bagian-bagian yang paling membutuhkannya, seperti bunga, buah, atau pucuk muda. Dengan memahami ini, kita menyadari bahwa tumbuhan punya sistem logistik internal yang luar biasa adaptif dan efisien.
- d. Floem Tidak Hanya Angkut Gula Biasa, Tapi Juga Gula Alkohol dan Oligosakarida!
Saat membayangkan hasil fotosintesis, mungkin kita hanya memikirkan glukosa atau sukrosa. Namun ternyata, floem mengangkut beragam jenis senyawa, seperti oligosakarida (rafinosa, stachiosa, verbaskosa) dan bahkan gula alkohol seperti mannitol dan sorbitol. Keanekaragaman ini memungkinkan tumbuhan menyimpan dan mendistribusikan energi dalam berbagai bentuk sesuai kebutuhan metabolisme yang berbeda-beda. Ini menunjukkan betapa fleksibel dan canggihnya sistem transportasi tumbuhan.

- e. **Unsur Hara Mikro: Kecil Jumlahnya, Tapi Besar Perannya!**
Beberapa unsur hara seperti nikel (Ni) hanya dibutuhkan dalam jumlah sekitar 200 mg sepanjang siklus hidup tumbuhan. Namun jangan salah, perannya sangat krusial! Nikel adalah bagian penting dari enzim urease yang membantu tumbuhan memanfaatkan nitrogen secara efisien. Ini adalah bukti bahwa meski hanya dalam jumlah mikroskopis, unsur-unsur mikro ini adalah kunci utama dalam mengatur metabolisme dan pertumbuhan optimal tumbuhan.
- f. **Daun Bisa Berubah Peran: Dari Konsumen Menjadi Produsen Energi**
Daun muda awalnya bertindak sebagai "sink" tempat penampungan asimilat karena belum memiliki klorofil cukup untuk melakukan fotosintesis. Namun seiring bertambahnya umur dan berkembangnya pigmen fotosintetik, daun tersebut bisa berubah menjadi "source", yaitu penghasil dan penyumbang energi untuk bagian tumbuhan lainnya. Transformasi ini menunjukkan bagaimana tumbuhan mampu mengelola sumber daya internalnya secara dinamis dan adaptif, sejalan dengan fase pertumbuhannya

6. Feedback tergantung skor

- **Nilai 85–100: “Luar Biasa!”**

Feedback: Selamat! Kamu telah menunjukkan penguasaan materi yang sangat baik. Ini menunjukkan bahwa kamu belajar dengan sungguh-sungguh dan benar-benar memahami, bukan sekadar menghafal. Pertahankan semangat dan pola belajar ini! Jangan ragu untuk membagikan pemahamanmu kepada teman lain karena mengajarkan adalah bentuk pembelajaran tertinggi. Kamu berada di jalur yang luar biasa. Teruslah menjadi pembelajar aktif, reflektif, dan inspiratif!

- **Nilai 70–84: “Sudah Baik, Tinggal Selangkah Lagi!”**

Feedback: Kamu telah memahami sebagian besar konsep dengan cukup baik. Jawabanmu menunjukkan upaya yang kuat dan pemahaman yang mulai terbentuk dengan jelas. Meski masih ada beberapa bagian yang dapat diperkuat, itu adalah hal yang wajar dalam proses belajar. Cobalah untuk meninjau ulang poin-poin yang masih membingungkan. Kamu sudah sangat dekat dengan penguasaan penuh teruskan semangatmu, dan jangan ragu berdiskusi atau bertanya jika diperlukan!

- **Nilai 55–69: “Ayo Semangat, Kamu Sudah di Tengah Jalan!”**

Feedback: Kamu telah menunjukkan usaha yang baik dan pantang menyerah ini adalah sikap penting dalam belajar. Beberapa jawabanmu mencerminkan pemahaman awal, namun masih ada konsep-konsep yang perlu diperkuat. Cobalah kembali mengeksplorasi materi melalui video, simulasi, atau fitur AI yang tersedia dalam e-modul untuk membantu memperjelas bagian yang sulit. Ingat, membangun pemahaman itu proses, dan kamu sedang berada di tengah perjalanan yang benar. Teruslah berusaha, sedikit demi sedikit pemahamanmu akan semakin kuat!

- **Nilai 40–54: “Masih Ada Waktu untuk Memperbaiki”**
Feedback: Tidak apa-apa jika hasil ini belum sesuai harapan. Yang terpenting adalah kamu sudah memulai dan mencoba. Ini saat yang tepat untuk melakukan refleksi: bagian mana yang belum kamu pahami? Manfaatkan momen ini untuk memperbaiki, bukan menyerah. Cobalah pelajari ulang secara bertahap, gunakan media interaktif yang tersedia, dan ajukan pertanyaan jika ada yang belum jelas. Jangan ragu memanfaatkan AI untuk memberi penjelasan ulang atau contoh baru. Kamu punya potensi besar jangan biarkan satu hasil menentukan langkahmu ke depan. Terus berjuang, ya!
- **Nilai < 40: “Jangan Putus Asa, Belajar Butuh Proses”**
Feedback: Nilai ini bukan akhir dari segalanya ini justru awal dari proses belajar yang sesungguhnya. Mungkin kamu sedang beradaptasi atau belum menemukan metode belajar yang paling sesuai untukmu. Jangan khawatir, e-module ini menyediakan berbagai alat bantu seperti refleksi “Aku & Pemahamanku”, visualisasi, serta dukungan AI yang bisa kamu manfaatkan untuk belajar lebih menyenangkan dan personal. Cobalah ulangi materi dengan perlahan dan tanpa tekanan. Satu langkah kecil hari ini akan membawamu menuju pemahaman yang lebih besar esok hari. Tetap semangat, kamu tidak sendiri dalam perjalanan ini!

7. Feedback otomatis

- Bagus! Itu artinya kamu sudah mulai membuka diri terhadap materi. Meskipun kamu belum sepenuhnya memahami, kamu sudah memulai langkah pertama: membaca dan menyimak. Sekarang, coba bantu otakmu menyerap informasi dengan aktif catat poin penting, buat pertanyaan, atau diskusikan bersama teman. Jika kamu butuh penjelasan yang lebih ringan, gunakan fitur AI untuk menceritakan ulang konsep dengan gaya bahasa yang lebih sederhana. Teruslah membuka diri terhadap proses pemahaman akan tumbuh saat kamu terlibat aktif.
- Kamu sedang berada di titik penting dalam perjalanan belajarmu. Pemahaman awal sudah terbentuk, dan sekarang saatnya memperhalus dan memperjelas. Jangan ragu untuk mengulang bagian yang belum kamu kuasai, dan coba kerjakan latihan soal tambahan untuk mengukur seberapa jauh kamu sudah memahami. Gunakan juga catatan visual atau mind map agar informasi lebih mudah diingat. Teruslah melangkah, karena setiap langkahmu membawa kamu lebih dekat ke pemahaman utuh. Sedikit demi sedikit, kamu akan merasa lebih yakin dan mandiri dalam belajar.
- Luar biasa! Pemahamanmu sudah kuat, dan itu menunjukkan kerja keras dan fokusmu selama belajar. Sekarang adalah waktu yang tepat untuk mengokohkan pemahaman tersebut. Coba tantang dirimu dengan soal HOTS atau ajak teman diskusi denganmu. Cobalah membuat Infografis untuk menuangkan pemahamanmu secara visual cara ini sangat efektif untuk mengintegrasikan konsep-konsep penting. Teruslah menjaga semangat belajar dan rasa ingin

tahumu, karena pemahaman yang kamu miliki saat ini bisa menjadi pondasi kuat untuk topik berikutnya.

- Kamu luar biasa! Kamu tidak hanya memahami materi dengan baik, tapi juga sudah siap menjadi sumber inspirasi bagi orang lain. Ini adalah puncak dari proses belajar yang reflektif dan mendalam. Sekarang saatnya kamu berbagi: buatlah ringkasan, poster edukatif, atau bahkan konten singkat yang bisa membantu teman-temanmu memahami. Kamu juga bisa berkontribusi di “Kolaborasi Refleksi” atau forum diskusi modul ini. Dengan berbagi, kamu tidak hanya memperkuat pemahamanmu, tetapi juga menciptakan dampak positif bagi lingkungan belajarmu. Jadilah pelita bagi proses belajar bersama!
- Kamu hebat! Terkadang, kita merasa tertinggal bukan karena kurang belajar, tapi karena terlalu sering membandingkan diri. Padahal, proses setiap orang itu berbeda. Kalau kamu sudah membaca, mencatat, mencoba menjawab soal, dan tetap merasa belum cukup itu bukan tanda kelemahan, tapi bentuk tanggung jawab belajar yang tinggi. Yuk, fokus pada progresmu sendiri. Coba lihat kembali bagian yang sudah kamu kuasai, lalu rayakan pencapaian kecilmu. Gunakan fitur “Refleksi” untuk mencatat hal-hal yang sudah kamu lakukan. Ingat, belajar bukan perlombaan cepat-cepat paham, tapi perjalanan mengenal cara berpikirmu sendiri. Kamu jauh lebih berkembang dari yang kamu kira.

8. Glosarium

Absorpsi cahaya: Proses penyerapan cahaya oleh pigmen seperti klorofil untuk digunakan dalam fotosintesis.

Adhesi: Gaya tarik menarik antara molekul air dan permukaan benda lain seperti dinding sel tumbuhan.

Air: Pelarut universal yang penting dalam proses fisiologis tumbuhan seperti transpor zat, fotosintesis, dan menjaga turgor sel.

Apoplas: Jalur transpor air dan zat terlarut yang bergerak melalui ruang antarsel dan dinding sel, tanpa melewati sitoplasma.

Asimilat: Produk fotosintesis seperti sukrosa yang ditranslokasikan ke bagian tumbuhan lain sebagai sumber energi atau cadangan.

ATP (Adenosin Trifosfat): Molekul penyimpan energi kimia yang digunakan dalam berbagai reaksi metabolik termasuk sintesis gula.

Boron: Unsur mikro penting dalam pertumbuhan polen dan pembelahan sel, defisiensinya menyebabkan kematian meristem pucuk.

Defisiensi hara: Kekurangan unsur hara tertentu yang mengakibatkan gangguan fisiologis dan pertumbuhan abnormal pada tumbuhan.

Fotosintesis: Proses konversi energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk glukosa oleh tumbuhan hijau.

Floem: Jaringan pengangkut yang bertugas menyalurkan hasil fotosintesis (seperti gula) dari daun ke seluruh tubuh tumbuhan.

Grana: Tumpukan tilakoid di dalam kloroplas tempat berlangsungnya reaksi terang fotosintesis.

Hara esensial: Unsur-unsur kimia yang mutlak diperlukan tumbuhan untuk melangsungkan siklus hidupnya secara normal.

Imbibisi: Proses awal masuknya air ke dalam biji kering yang memicu dimulainya perkecambahan.

Ion: Atom atau molekul bermuatan yang terlibat dalam transportasi nutrisi dan aktivitas enzimatik di dalam sel tumbuhan.

Klorofil: Pigmen hijau dalam kloroplas yang menyerap cahaya matahari untuk fotosintesis.

Kloroplas: Organel tumbuhan tempat berlangsungnya fotosintesis, terdiri atas tilakoid, stroma, dan grana.

Kohesi: Gaya tarik antar molekul air yang memungkinkan air bergerak secara kontinu dalam jaringan tumbuhan.

Kutikula: Lapisan lilin pada permukaan daun yang berfungsi mencegah kehilangan air melalui penguapan.

Mesofil: Jaringan dalam daun tempat utama terjadinya fotosintesis.

Mitokondria: Organel sel yang menghasilkan energi melalui respirasi seluler.

Nikel (Ni): Unsur mikro esensial yang berperan dalam aktivasi enzim urease dan mobilisasi nitrogen dalam perkecambahan.

Phloem loading: Proses pemuatan senyawa hasil fotosintesis (misalnya sukrosa) dari sel sumber ke dalam jaringan floem.

Phloem unloading: Proses pengosongan asimilat dari floem ke jaringan sink (seperti buah, akar, atau biji).

Pigmen: Zat pewarna dalam tumbuhan yang menyerap cahaya untuk fotosintesis, seperti klorofil dan karotenoid.

Polaritas air: Sifat molekul air yang memiliki distribusi muatan tidak merata, memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen.

Sink: Jaringan atau organ tumbuhan yang menggunakan atau menyimpan hasil fotosintesis.

Source: Organ atau jaringan penghasil hasil fotosintesis, seperti daun dewasa.

Spektrum aksi: Grafik yang menunjukkan efektivitas panjang gelombang cahaya terhadap suatu proses biologi, seperti fotosintesis.

Spektrum absorpsi: Grafik yang menunjukkan panjang gelombang cahaya yang diserap oleh suatu pigmen.

Stomata: Celah kecil di permukaan daun yang mengatur pertukaran gas dan transpirasi.

Sukrosa: Gula utama yang ditranslokasikan dalam floem sebagai bentuk utama hasil fotosintesis.

Tilakoid: Struktur membran dalam kloroplas tempat berlangsungnya reaksi terang dalam fotosintesis.

Translokasi: Proses pemindahan hasil fotosintesis (misalnya gula) dari sumber ke jaringan penyimpanan atau pertumbuhan.

Transpor aktif: Pemindahan zat melawan gradien konsentrasi menggunakan energi (ATP).

Transpor pasif: Pergerakan zat mengikuti gradien konsentrasi tanpa menggunakan energi.

Turgor: Tekanan air dalam vakuola sel tumbuhan yang menjaga bentuk dan kekakuan jaringan.

Xerofit: Jenis tumbuhan yang beradaptasi untuk hidup di lingkungan kering dengan mengurangi kehilangan air.

9. Daftar pustaka

Bhatla, S. C., & Lal, M. A. (2018). *Plant physiology, development and metabolism*. Springer Singapore.

Heldt, H. W. & Piechulla, B. 2011. *Plant Biochemistry 4th ed*. New York: Elsevier

Hopkins, W. G., & Hüner, N. P. A. (2008). *Introduction to plant physiology* (4th ed.). John Wiley & Sons.

Kochhar, S. L., & Gujral, S. K. (2020). *Plant physiology: Theory and applications* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Scott, P. (2008). *Physiology and behaviour of plants*. John Wiley & Sons.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.

10. Halaman penutup

E-Module “Plantelligence: Cerdas Belajar Fisiologi Tumbuhan dengan PBL dan AI”

Terima kasih telah menapaki setiap bagian dari e-modul ini dengan semangat dan rasa ingin tahu yang luar biasa. Kami sangat menghargai dedikasi Anda dalam mengikuti proses pembelajaran yang tidak hanya menekankan pada pemahaman konsep fisiologi tumbuhan, tetapi juga pada pengembangan diri sebagai pembelajar aktif, mandiri, dan reflektif.

Melalui modul ini, Anda telah diajak mengeksplorasi berbagai topik penting, mulai dari proses **osmosis dan transpirasi**, hingga pemahaman mendalam tentang **defisiensi nutrisi dan transportasi air dan zat hara dalam tumbuhan**. Lebih dari sekadar menghafal teori, Anda telah terlibat dalam aktivitas *Problem-Based Learning (PBL)* yang mendorong penyusunan pertanyaan kritis, kerja tim, analisis data, pembuatan infografis, serta refleksi diri yang memperkuat **student ownership of learning** dan **literasi digital AI**. Setiap tugas dan pengalaman belajar dalam modul ini tidak dimaksudkan sebagai beban, tetapi sebagai latihan untuk membentuk karakter pembelajar abad ke-21 yang berpikir kritis, mampu berkolaborasi, serta peduli terhadap keberlanjutan dan kompleksitas kehidupan.

Kami berharap, pembelajaran ini tidak berhenti di sini. Biarkan rasa ingin tahu Anda terus tumbuh seperti akar yang mencari air, dan biarkan semangat belajar Anda merekah seperti daun yang menangkap cahaya. Dunia tumbuhan adalah dunia yang penuh keajaiban dan apa yang Anda pelajari hari ini, mencerminkan prinsip-prinsip kehidupan itu sendiri: **keseimbangan, adaptasi, dan keberlanjutan**.

“Belajar tumbuhan bukan hanya tentang daun dan akar, tapi tentang kehidupan itu sendiri.”

Teruslah belajar, teruslah bertanya, dan teruslah menciptakan makna dari setiap pengetahuan yang Anda temukan. Sampai jumpa di topik pembelajaran selanjutnya.

Semoga ilmu ini menjadi bekal berharga, tidak hanya bagi perjalanan akademik Anda, tetapi juga bagi dunia yang lebih hijau, lebih bijak, dan lebih baik.