

LEMBAR KERJA MURID (LKM)
PRAKTIKUM EVOLUSI TUMBUHAN
Kladogram Divisi Tumbuhan (Plantae) Berbantuan Kartu Spesimen Interaktif

Mata pelajaran / Materi	Biologi / Evolusi
Kelas / Fase	XII / Fase F
Alokasi waktu	2 × 45 menit
Kelompok	
Anggota kelompok	1. 2. 3. 4. 5.
Hari / tanggal	

A. Capaian dan Tujuan Pembelajaran

Capaian pembelajaran. Murid memahami teori evolusi dan mengaitkannya dengan biodiversitas masa kini maupun masa lampau. Murid juga mampu merencanakan dan melakukan penyelidikan ilmiah, mengolah dan menganalisis data, menarik kesimpulan, serta mengomunikasikan hasilnya secara digital maupun nondigital.

Tujuan pembelajaran. Melalui kegiatan ini, murid mampu:

1. mengidentifikasi lima karakter penanda evolusi (karakter apomorfik) pada kelompok tumbuhan (Plantae) dengan tepat;
2. mengonversi data karakter morfologi lima divisi tumbuhan ke dalam matriks biner (0 dan 1) secara akurat;
3. menyusun kladogram berdasarkan total skor matriks karakter secara sistematis dan rapi, lalu membuatnya dalam versi digital menggunakan Canva;
4. menganalisis perbedaan pendekatan kladistik dan fenetik untuk mengurangi miskonsepsi tentang hubungan kekerabatan evolusi secara kritis.

B. Petunjuk Kegiatan

1. Bentuklah kelompok beranggotakan 4–5 orang. Kerjakan kegiatan secara berurutan, mulai dari Kegiatan 1 sampai Kegiatan 6.
2. Setiap kelompok menerima **5 Kartu Spesimen**. **Sisi depan** kartu memuat foto spesimen, nama umum, nama ilmiah, dan divisinya. **Sisi belakang** (bagian interaktif) memuat foto alat reproduksi, foto anatomi, dan kode QR video referensi yang dapat dipindai dengan ponsel.

- Gunakan **bukti yang tampak pada kartu** untuk menentukan karakter, bukan dugaan dari bentuk luar spesimen saja.
- Beri skor **1** jika spesimen memiliki karakter dan skor **0** jika tidak memiliki karakter tersebut. Gunakan kriteria pada Tabel 2 agar penilaian antar kelompok seragam.
- Jika ada perbedaan pendapat dalam kelompok, kembali ke kartu dan cari bukti yang mendukung, lalu putuskan bersama.

C. Ringkasan Konsep

Pelajari istilah berikut sebelum mengerjakan Kegiatan 4 dan Kegiatan 5.

Istilah	Pengertian
Kladistik	Metode pengelompokan makhluk hidup berdasarkan hubungan kekerabatan evolusi (nenek moyang bersama) dengan memakai karakter turunan.
Fenetik	Metode pengelompokan makhluk hidup berdasarkan kemiripan keseluruhan yang tampak (fenotipe), tanpa mempertimbangkan asal-usul evolusinya.
Kladogram	Diagram bercabang yang menggambarkan hipotesis hubungan kekerabatan. Setiap titik percabangan (simpul) mewakili nenek moyang bersama.
Plesiomorfi	Karakter leluhur (“primitif”) yang diwarisi dari nenek moyang yang lebih jauh.
Apomorfi	Karakter turunan, yaitu karakter baru yang muncul pada suatu garis keturunan.
Sinapomorfi	Apomorfi yang dimiliki bersama oleh dua takson atau lebih; menjadi penanda satu kelompok kekerabatan.
Autapomorfi	Apomorfi yang khas dan hanya dimiliki oleh satu takson.
Monofiletik	Kelompok yang terdiri atas satu nenek moyang bersama dan seluruh keturunannya.
Homologi dan analogi	Homologi: kemiripan struktur karena berasal dari nenek moyang yang sama. Analogi: kemiripan bentuk atau fungsi akibat tekanan lingkungan yang serupa, bukan karena nenek moyang bersama (evolusi konvergen).

Catatan: istilah “primitif → maju” pada praktikum ini hanya berarti urutan kemunculan karakter dalam sejarah evolusi. Kelompok yang “primitif” bukan berarti kurang berhasil bertahan hidup; alga, lumut, dan paku masih lestari hingga sekarang.

D. Kegiatan Praktikum

Kegiatan 1. Asesmen Diagnostik (Pre-test)

Kerjakan secara **individu** dalam waktu ± 10 menit tanpa membuka sumber apa pun. Jawablah dengan singkat.

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Tuliskan definisi dan fungsi klorofil.	
2.	Tuliskan definisi dan fungsi kutikula pada tumbuhan.	
3.	Tuliskan definisi dan fungsi pembuluh angkut pada tumbuhan.	
4.	Tuliskan definisi dan fungsi biji.	
5.	Tuliskan definisi dan fungsi bunga.	
6.	Tuliskan definisi dan contoh alga hijau.	
7.	Tuliskan definisi dan contoh Bryophyta.	
8.	Tuliskan definisi dan contoh Pteridophyta.	
9.	Tuliskan definisi dan contoh Gymnospermae.	
10.	Tuliskan definisi dan contoh Angiospermae.	

Kegiatan 2. Mengamati Kartu Spesimen

Tujuan: mengumpulkan bukti keberadaan lima karakter pada setiap spesimen. Waktu ± 20 menit.

Langkah 1. Periksa bahwa kelompokmu menerima kelima kartu berikut.

Tabel 1. Daftar Kartu Spesimen

No. Kartu	Divisi	Nama umum	Nama ilmiah
1	Chlorophyta (alga hijau)	Alga hijau / ganggang benang	<i>Spirogyra</i> sp.

No. Kartu	Divisi	Nama umum	Nama ilmiah
2	Bryophyta (lumut)	Lumut hati	<i>Marchantia polymorpha</i>
3	Pteridophyta (paku)	Paku sarang burung	<i>Asplenium nidus</i>
4	Gymnospermae (tumbuhan berbiji terbuka)	Pinus / tusam	<i>Pinus merkusii</i>
5	Angiospermae (tumbuhan berbiji tertutup)	Mawar	<i>Rosa sp.</i>

Langkah 2. Pelajari kriteria pemberian skor pada Tabel 2. Ingat bahwa setiap karakter memiliki batasan yang jelas.

Tabel 2. Kriteria Pemberian Skor Karakter

Karakter	Skor 1 (memiliki) jika ...	Skor 0 (tidak memiliki) jika ...	Bagian kartu yang diamati
1. Klorofil a dan b (fotosintesis)	Tubuh berfotosintesis dengan pigmen klorofil a dan b (tampak hijau).	Tidak berfotosintesis dengan klorofil a dan b.	Foto tampilan luar dan video referensi (pigmen).
2. Kutikula / embrio darat	Permukaan tubuh dilapisi kutikula dan/atau embrio dilindungi jaringan induk, sehingga tidak bergantung pada air bebas.	Zigot berkembang tanpa perlindungan jaringan induk dan tanpa kutikula.	Alat reproduksi dan video referensi.
3. Pembuluh sejati (xilem/floem)	Terdapat jaringan xilem dan floem pada anatomi batang.	Tidak terdapat jaringan pengangkut sejati.	Anatomi batang / tubuh.
4. Reproduksi biji	Menghasilkan biji sebagai alat perbanyakan.	Berkembang biak dengan spora atau sel gamet tanpa biji.	Alat reproduksi.
5. Organ bunga sejati	Memiliki bunga sejati (kelopak, mahkota, benang sari, putik) dan bijinya tertutup bakal buah/buah.	Tidak memiliki bunga sejati (misalnya hanya berupa strobilus/konus, spora, atau sporofil).	Alat reproduksi dan foto tampilan luar.

Langkah 3. Amati kartu satu per satu (sisi depan dan sisi belakang). Tuliskan **bukti** yang kamu temukan pada kolom “Bukti pengamatan”, lalu tentukan skornya.

Tabel 3.1. Kartu 1 – Alga hijau (*Spirogyra* sp.)

Karakter	Bukti pengamatan pada kartu	Skor (0/1)
Karakter 1: Klorofil a dan b (fotosintesis)		
Karakter 2: Kutikula / embrio darat		
Karakter 3: Pembuluh sejati (xilem/floem)		
Karakter 4: Reproduksi biji		
Karakter 5: Organ bunga sejati		

Tabel 3.2. Kartu 2 – Lumut hati (*Marchantia polymorpha*)

Karakter	Bukti pengamatan pada kartu	Skor (0/1)
Karakter 1: Klorofil a dan b (fotosintesis)		
Karakter 2: Kutikula / embrio darat		
Karakter 3: Pembuluh sejati (xilem/floem)		
Karakter 4: Reproduksi biji		
Karakter 5: Organ bunga sejati		

Tabel 3.3. Kartu 3 – Paku sarang burung (*Asplenium nidus*)

Karakter	Bukti pengamatan pada kartu	Skor (0/1)
Karakter 1: Klorofil a dan b (fotosintesis)		
Karakter 2: Kutikula / embrio darat		

Karakter	Bukti pengamatan pada kartu	Skor (0/1)
Karakter 3: Pembuluh sejati (xilem/floem)		
Karakter 4: Reproduksi biji		
Karakter 5: Organ bunga sejati		

Tabel 3.4. Kartu 4 – Pinus (*Pinus merkusii*)

Karakter	Bukti pengamatan pada kartu	Skor (0/1)
Karakter 1: Klorofil a dan b (fotosintesis)		
Karakter 2: Kutikula / embrio darat		
Karakter 3: Pembuluh sejati (xilem/floem)		
Karakter 4: Reproduksi biji		
Karakter 5: Organ bunga sejati		

Tabel 3.5. Kartu 5 – Mawar (*Rosa* sp.)

Karakter	Bukti pengamatan pada kartu	Skor (0/1)
Karakter 1: Klorofil a dan b (fotosintesis)		
Karakter 2: Kutikula / embrio darat		
Karakter 3: Pembuluh sejati (xilem/floem)		
Karakter 4: Reproduksi biji		
Karakter 5: Organ bunga sejati		

Kegiatan 3. Pertanyaan Penuntun dan Tabel Karakter Biner

Bagian A. Pertanyaan penuntun. Gunakan bukti dari Kegiatan 2 untuk melengkapi tabel berikut.

Tabel 4. Sebaran Karakter pada Divisi Tumbuhan

Karakter	Divisi yang MEMILIKI karakter	Divisi yang TIDAK memiliki karakter
Karakter 1: Klorofil a dan b (fotosintesis)		
Karakter 2: Kutikula / embrio darat		
Karakter 3: Pembuluh sejati (xilem/floem)		
Karakter 4: Reproduksi biji		
Karakter 5: Organ bunga sejati		

Bagian B. Tabel karakter biner. Pindahkan skor dari Kegiatan 2 ke dalam tabel berikut. Total skor adalah jumlah angka 1 pada setiap baris (jumlah perubahan evolusi yang sudah terjadi).

Tabel 5. Tabel Karakter Biner (isi dengan angka 0 atau 1)

Spesimen	K1 Klorofil	K2 Kutikula / embrio	K3 Pembuluh	K4 Biji	K5 Bunga	Total skor
Alga hijau (Chlorophyta)						
Lumut (Bryophyta)						
Paku (Pteridophyta)						
Pinus (Gymnospermae)						
Mawar (Angiospermae)						

K1 = Klorofil a dan b; K2 = Kutikula / embrio darat; K3 = Pembuluh sejati (xilem/floem); K4 = Reproduksi biji; K5 = Organ bunga sejati.

Bagian C. Analisis matriks. Jawablah pertanyaan berikut berdasarkan Tabel 5.

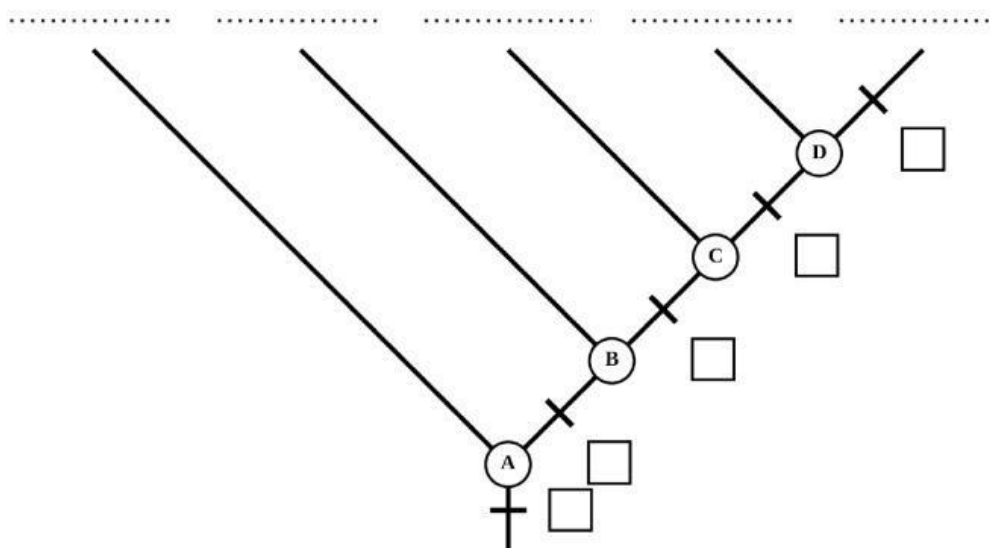
1. Karakter mana yang bernilai 1 pada **semua** spesimen? Apakah karakter tersebut dapat digunakan untuk membedakan kelima divisi? Jelaskan.
2. Urutkan kelima spesimen dari total skor terkecil ke terbesar:
3. Bagaimana pola perubahan skor dari alga hijau sampai mawar? Apa yang ditunjukkan pola tersebut tentang cara karakter baru muncul selama evolusi tumbuhan?

.....
.....
.....

Kegiatan 4. Menyusun Kladogram

Tujuan: menyusun kladogram dari data Tabel 5 untuk menentukan urutan divisi dari yang paling awal (primitif) hingga yang paling akhir (maju). Waktu $\pm$ 25 menit.

1. Urutkan divisi berdasarkan total skor, dari yang terkecil (paling banyak mempertahankan karakter leluhur) ke yang terbesar.
2. Tulislah nama divisi pada garis putus-putus di ujung cabang, dari kiri ke kanan sesuai urutan tersebut.
3. Pada setiap tanda garis silang (||) terdapat kotak. Isilah kotak dengan **nomor karakter** yang **pertama kali muncul** pada cabang tersebut.
4. Huruf A–D pada bagan menunjukkan simpul (titik percabangan). Lengkapi Tabel 6 dan jawab pertanyaan di bawahnya.



Gambar 1. Bagan kladogram kosong divisi tumbuhan (Plantae)

Tabel 6. Simpul, Kelompok Monofiletik, dan Sinapomorf

Simpul	Anggota kelompok monofiletik yang berasal dari simpul	Sinapomorf (karakter penanda kelompok)
A		
B		
C		

Simpul	Anggota kelompok monofiletik yang berasal dari simpul	Sinapomorf (karakter penanda kelompok)
D		

1. Karakter apa yang menjadi **autapomorf** (ciri khas) satu divisi saja? Pada divisi apa karakter itu muncul?
2. Apakah kelompok “tumbuhan tidak berbiji” (Lumut + Paku) termasuk kelompok monofiletik? Jelaskan dengan melihat simpul dan anggota keturunannya pada kladogram.
3. **Versi digital (Canva).** Setelah kladogram diperiksa guru, salin ke Canva: buat halaman baru, gambar struktur cabang dengan elemen garis, tambahkan nama divisi, nomor karakter pada tanda garis silang, serta foto spesimen dari kartu pada ujung cabang. Unduh dalam format PDF atau PNG dan kumpulkan sesuai arahan guru.

Kegiatan 5. Kladistik atau Fenetik? Menguji Kemiripan Bentuk

Wacana. Kaktus (dari Benua Amerika) dan *Euphorbia* (dari Benua Afrika) sama-sama berbatang tebal berdaging penyimpan air dan berduri, sehingga sekilas tampak sangat mirip. Namun keduanya berasal dari famili yang berbeda (Cactaceae dan Euphorbiaceae) yang terpisah jauh pada pohon evolusi tumbuhan berbunga. Kemiripan tersebut muncul karena keduanya hidup di lingkungan kering.

1. Jika kamu mengelompokkan tumbuhan hanya dari kemiripan bentuk (pendekatan fenetik), apakah kaktus dan *Euphorbia* akan kamu kelompokkan bersama? Jelaskan.
2. Batang berdaging dan duri pada kaktus dan *Euphorbia* termasuk struktur homolog atau analog? Berikan alasannya.
3. Bagaimana pendekatan kladistik membantu menghindari kesalahan pengelompokan pada kasus tersebut?
4. Alga hijau dan lumut sama-sama tidak memiliki pembuluh sejati (skor 0 pada Karakter 3). Apakah “tumbuhan tanpa pembuluh” (alga hijau + lumut) layak dijadikan satu kelompok kekerabatan dalam kladogram? Jelaskan dengan istilah plesiomorf dan sinapomorf.

Lengkapi tabel perbandingan berikut.

Tabel 7. Perbandingan Pendekatan Fenetik dan Kladistik

Aspek	Pendekatan fenetik	Pendekatan kladistik
Dasar pengelompokan		
Jenis karakter yang dipakai		
Hasil akhir		
Risiko kesalahan pada kasus kaktus dan <i>Euphorbia</i>		

Kegiatan 6. Asesmen Sumatif dan Kesimpulan

Kerjakan secara **individu** berdasarkan data Tabel 5 dan kladogram yang telah kamu susun.

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Berdasarkan matriks karakter yang telah kamu isi, tentukan karakter mana yang menjadi apomorfi bagi Bryophyta (lumut) tetapi menjadi plesiomorfi bagi Pteridophyta (paku)!	
2.	Apakah bunga merupakan plesiomorfi yang dimiliki oleh Gymnospermae? Jelaskan alasanmu.	
3.	Jelaskan makna apomorfi berdasarkan data pada tabel praktikum.	
4.	Jelaskan makna plesiomorfi berdasarkan data pada tabel praktikum.	
5.	Jelaskan bagaimana apomorfi dan plesiomorfi menunjukkan adanya evolusi.	

No.	Pertanyaan	Jawaban
6.	Alga, lumut, paku, pinus, dan mawar semuanya masih hidup pada masa kini. Apakah kladogram berarti alga hijau “berubah menjadi” lumut yang kita lihat sekarang? Jelaskan, lalu kaitkan dengan keanekaragaman tumbuhan masa kini.	

Kesimpulan kelompok. Tuliskan kesimpulan tentang hubungan kekerabatan kelima divisi tumbuhan dan peran evolusi dalam menjelaskan keanekaragaman tumbuhan.

.....

.....

.....

.....

LAMPIRAN (KHUSUS GURU/DOSEN)

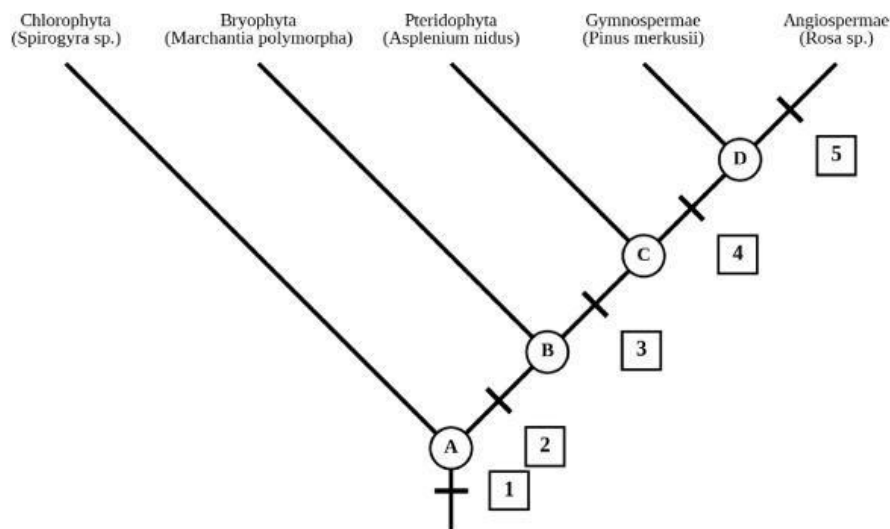
Kunci jawaban, panduan isi kartu, dan rubrik — hapus lampiran ini sebelum LKM dibagikan kepada murid

L1. Kunci Tabel Karakter Biner (Tabel 5)

Spesimen	K1	K2	K3	K4	K5	Total skor
Alga hijau (Chlorophyta)	1	0	0	0	0	1
Lumut (Bryophyta)	1	1	0	0	0	2
Paku (Pteridophyta)	1	1	1	0	0	3
Pinus (Gymnospermae)	1	1	1	1	0	4
Mawar (Angiospermae)	1	1	1	1	1	5

Kunci Tabel 4: K1 dimiliki semua divisi; K2 dimiliki Lumut, Paku, Pinus, Mawar (tidak: alga hijau); K3 dimiliki Paku, Pinus, Mawar (tidak: alga hijau, lumut); K4 dimiliki Pinus dan Mawar (tidak: alga hijau, lumut, paku); K5 hanya dimiliki Mawar.

L2. Kunci Kladogram (Gambar 1) dan Tabel 6



Gambar L2. Kladogram kunci. Angka pada kotak adalah nomor karakter yang pertama kali muncul pada cabang tersebut.

Simpul	Anggota kelompok monofiletik	Sinapomorf
A	Alga hijau, Lumut, Paku, Pinus, Mawar	Klorofil a dan b (Karakter 1)
B	Lumut, Paku, Pinus, Mawar (tumbuhan darat)	Kutikula / embrio darat (Karakter 2)
C	Paku, Pinus, Mawar (tumbuhan berpembuluh)	Pembuluh sejati (Karakter 3)
D	Pinus, Mawar (tumbuhan berbiji)	Reproduksi biji (Karakter 4)

1. Autapomorf: organ bunga sejati (Karakter 5), khas pada Angiospermae (mawar).
2. Lumut + Paku bukan kelompok monofiletik: nenek moyang bersama keduanya (simpul B) juga menurunkan Pinus dan Mawar, yang tidak ikut dalam kelompok tersebut (parafiletik).

L3. Kunci Kegiatan 1, 3 (Bagian C), 5, dan 6

Kegiatan 1 (jawaban ringkas). (1) Klorofil: pigmen hijau menyerap cahaya untuk fotosintesis. (2) Kutikula: lapisan lilin pada permukaan tubuh yang mengurangi kehilangan air. (3) Pembuluh angkut: xilem mengangkut air dan mineral, floem mengangkut hasil fotosintesis. (4) Biji: bakal biji dewasa berisi embrio dan cadangan makanan; alat perbanyakan dan penyebaran. (5) Bunga: organ reproduksi generatif Angiospermae. (6–10) Contoh: *Spirogyra/Ulva*; *Marchantia/Funaria*; *Asplenium/Pteris*; *Pinus/Cycas*; *Rosa/Oryza sativa*.

Kegiatan 3 Bagian C. (1) Karakter 1 (klorofil a dan b); tidak dapat membedakan divisi karena dimiliki semua, merupakan karakter leluhur bersama. (2) Alga hijau (1) → Lumut (2) → Paku (3) → Pinus (4) → Mawar (5). (3) Skor bertambah satu pada setiap tingkat; karakter baru muncul bertahap dan diwariskan, sehingga karakter menumpuk pada kelompok yang lebih akhir.

Kegiatan 5. (1) Ya, kaktus dan *Euphorbia* akan dikelompokkan bersama karena tampak mirip. (2) Analog: fungsi serupa (menyimpan air, pertahanan) muncul secara terpisah akibat lingkungan kering, bukan diwariskan dari nenek moyang bersama. (3) Kladistik hanya menggunakan karakter turunan yang diwariskan (sinapomorf), sehingga kemiripan konvergen tidak dijadikan bukti kekerabatan. (4) Tidak layak: ketiadaan pembuluh adalah karakter leluhur (plesiomorf); kelompok yang hanya disatukan oleh plesiomorf tidak monofiletik. Isian Tabel 7: fenetik – dasar kemiripan keseluruhan, karakter apa saja yang tampak, hasil berupa fenogram, berisiko menyatukan keduanya; kladistik – dasar nenek moyang bersama, karakter turunan (sinapomorf), hasil berupa kladogram, kemiripan konvergen tidak dianggap bukti.

Kegiatan 6. (1) Karakter 2 (kutikula/embrio darat): muncul baru pada lumut dan diwarisi paku. (2) Bukan; Gymnospermae tidak berbunga. Bunga adalah apomorfi (autapomorf) Angiospermae, sedangkan plesiomorfi adalah karakter yang diwarisi dari nenek moyang. (3)

Apomorfi: karakter baru yang muncul setelah percabangan, misalnya pembuluh sejati pada paku. (4) Plesiomorfi: karakter leluhur yang diwarisi, misalnya klorofil a dan b pada semua divisi, atau kutikula pada paku. (5) Karakter muncul bertahap dari nenek moyang bersama; plesiomorf menunjukkan asal-usul yang sama dan apomorf menunjukkan perubahan pada garis keturunan. (6) Tidak; kladogram menunjukkan percabangan dari nenek moyang bersama, bukan tangga. Alga dan lumut masa kini sama-sama hasil evolusi yang berlangsung hingga sekarang, dan percabangan serta pembentukan karakter baru inilah yang menghasilkan keanekaragaman tumbuhan.

L4. Rekomendasi Isi Kartu Spesimen

Agar kelima karakter dapat diskor dari kartu saja, sisi belakang setiap kartu sebaiknya memuat butir berikut.

Kartu	Sisi depan	Sisi belakang (foto dan QR)	Info tambahan agar Karakter 1–2 dapat diamati
1. <i>Spirogyra</i> sp.	Foto mikroskopis filamen hijau; nama; divisi.	Foto kloroplas berpita (spiral); foto konjugasi/zigot; QR video.	Keterangan pigmen klorofil a dan b; zigot tidak dilindungi jaringan induk.
2. <i>Marchantia polymorpha</i>	Foto talus di tempat lembab; nama; divisi.	Foto gametangiofor/arkegonium; foto irisan talus; QR video.	Foto embrio dalam arkegonium; keterangan kutikula tipis.
3. <i>Asplenium nidus</i>	Foto tumbuhan utuh (sudah ada).	Foto sorus pada daun; foto irisan batang/rimpang (xilem-floem); QR video.	Keterangan pigmen klorofil a dan b serta kutikula.
4. <i>Pinus merkusii</i>	Foto pohon dan daun jarum; nama; divisi.	Foto strobilus/konus dan biji terbuka; foto irisan batang (xilem, floem); QR video.	Keterangan bahwa konus bukan bunga sejati.
5. <i>Rosa</i> sp.	Foto bunga mawar; nama; divisi.	Foto bagian bunga (kelopak, mahkota, benang sari, putik); foto irisan batang; foto buah/biji tertutup; QR video.	Keterangan biji tertutup bakal buah.