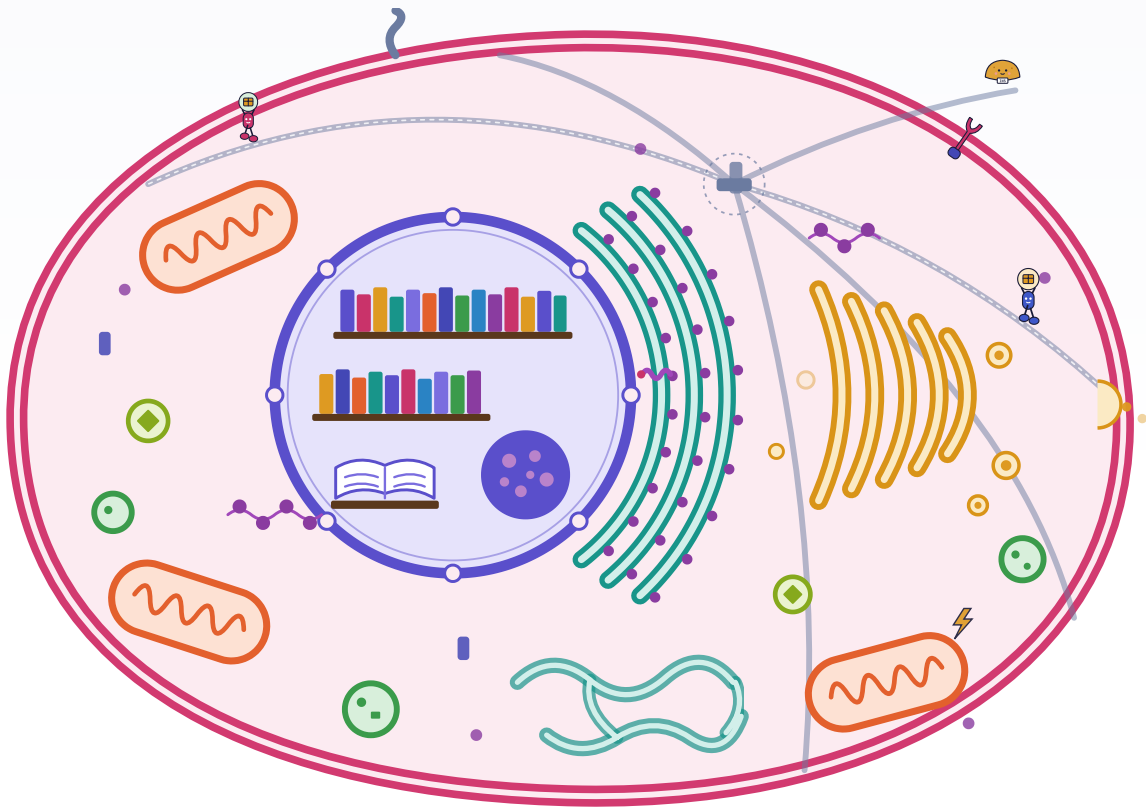


LEMBAR KERJA PESERTA DIDIK • EDISI GURU (DENGAN
KUNCI DAN RUBRIK)

Negara Bernama Sel

37 LKPD siap cetak untuk setiap bab, dari praktikum sederhana
sampai eksperimen maya



dr. Rachmat Hidayat, M.Sc, PhD

Bagian Biologi Kedokteran, Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya

Editor: Abdullah Hanif Hidayat

Didukung oleh Aurumgen Academy • Edisi 5 • 2026

Cellpedia: Negara Bernama Sel

Lembar Kerja Peserta Didik · edisi guru (dengan kunci dan rubrik)

Penulis	dr. Rachmat Hidayat, M.Sc, PhD Bagian Biologi Kedokteran, Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya
Editor	Abdullah Hanif Hidayat
Didukung oleh	Aurumgen Academy
Edisi	Edisi 5, 2026
Versi interaktif	aurumgen.my.id/cellpedia

© 2026 dr. Rachmat Hidayat, M.Sc, PhD · Didukung oleh Aurumgen Academy.

Hak cipta dilindungi Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi karya ini dalam bentuk apa pun tanpa izin tertulis dari pemegang hak cipta, kecuali untuk kegiatan pembelajaran di kelas dengan menyebutkan sumbernya.

Buku ini untuk belajar dan bukan pengganti nasihat medis. Versi cetak menampilkan setiap animasi sebagai rangkaian gambar. Simulator dan permainan interaktif dapat dicoba di versi online.

Daftar LKPD

BAB 1	KTP Organela: Bermain Peran Negara Sel Selamat Datang di Negara Sel · Bermain peran & presentasi · 2 × 45 menit	6
BAB 2	Ekstraksi DNA Stroberi & Model Tangga DNA Perpustakaan Genetik · Praktikum sederhana · 2 × 45 menit	11
BAB 3	Juru Salin Berpasangan Menyalin Resep Rahasia Pempek · Permainan peran berpasangan + LKPD digital · 45 menit	16
BAB 4	Lomba Dapur Ribo: Merangkai Protein PEMPEK Dapur Ribosom Memasak Pempek · Permainan kartu (simulasi translasi) + LKPD digital · 45 menit	20
BAB 5	Resi Paket Insulin: Simulasi Rantai Pengiriman Protein Packing, Ekspedisi & Pelabuhan · Simulasi bermain peran + studi kasus · 2 × 45 menit	24
BAB 6	Kunci dan Gembok: Surat Mencari Kotak Surat Surat-Menyurat Antarsel · Permainan simulasi · 2 × 45 menit	28
BAB 7	Gula Darah Naik-Turun Insulin, Pintu Glukosa & Diabetes · LKPD digital · eksperimen maya · 2 × 45 menit	33
BAB 8	Balon Ragi & Buku Kas ATP PLN Negara Sel · Eksperimen sederhana + permainan kelompok · 2 × 45 menit	38
BAB 9	Busa Ajaib dari Hati Ayam Dinas Kebersihan & Daur Ulang · Eksperimen laboratorium sederhana · 45 menit	43
BAB 10	Kentang Lembek, Kentang Kaku Perbatasan & Jalan Raya · Eksperimen sederhana · 45 menit + 1 malam	48
BAB 11	Berburu Mitosis di Ujung Akar Bawang Negara Membelah Diri · Praktikum mikroskop + model plastisin · 2 × 45 menit (akar ditumbuhkan 3–4 hari sebelumnya)	53
BAB 12	Kaus Kaki Ayah, Kaus Kaki Ibu Warisan Dua Edisi · Simulasi model + LKPD digital (kalkulator Punnett) · 2 × 45 menit	58
BAB 13	Tiga Kementerian dari Satu Bola Plastisin Membangun Negara Baru · Pembuatan model + LKPD digital (kalender kehamilan) · 2 × 45 menit	63
BAB 14	Poster Buronan: 8 Pelanggaran Sel Pemberontak Sel yang Memberontak · Proyek poster · 2 × 45 menit	69
BAB 15	Bukit Waddington dari Kardus dan Kelereng Warga Serba Bisa · Model & diskusi · 2 × 45 menit	74
BAB 16	Operasi Penangkapan Virus dan Rahasia Buku KIA Tentara Negara Sel · Bermain peran & analisis dokumen · 2 × 45 menit	79

BAB 17	Kartu Nasib Sel dan Klinik Luka Maya Terluka, Gugur, lalu Pulih · Sortir kartu + LKPD digital (simulasi penyembuhan luka) · 2 × 45 menit	84
BAB 18	Pabrik Yoghurt Mini: Bekerja Sama dengan Bakteri Asam Laktat Desa Tanpa Perpustakaan · Praktikum · 2 × 45 menit (+ inkubasi 1 malam)	91
BAB 19	Flashdisk dari Kertas dan Jejak Glitter Penyusup Pembawa Flashdisk · Model & simulasi · 2 × 45 menit	96
BAB 20	Mengintip Waduk Sel: Plasmolisis pada Daun Rhoeo dan Bawang Merah Negara Berbenteng · Praktikum · 2 × 45 menit	101
BAB 21	Mencari Faktor Pembatas di Akuarium Hydrilla PLTS & Dapur Gula · Eksperimen maya · 2 × 45 menit	106
BAB 22	Adu Cepat Kabel Kilat: Waktu Reaksi dan Gerak Refleks Jaringan Kabel Kilat · Praktikum · 2 × 45 menit	111
BAB 23	Sisir Sarkomer dan Jepitan Jemuran: Merasakan Kerja Tim Tarik Tambang Tim Tarik Tambang · Praktikum & pemodelan · 2 × 45 menit	116
BAB 24	Membaca Nilai Ct: Detektif Resep Virus di Mesin qPCR Mesin Fotokopi Resep · Eksperimen maya · 2 × 45 menit	121
BAB 25	Pelat ELISA dari Gelas Plastik: Simulasi Uji Warna dan Membaca Rapid Test Anjing Pelacak Protein · Praktikum simulasi · 2 × 45 menit	126
BAB 26	Perjalanan Resep Latihan: Bermain Peran Vaksin mRNA dan Cek Fakta Hoaks Resep Latihan untuk Tentara · Bermain peran & literasi sains · 2 × 45 menit	131
BAB 27	Dari Tabung Darah ke Surat Penyembuh: Model PRP-AGF dan Pemeriksa Klaim Iklan Surat-Surat Penyembuh · Model sederhana, kartu urutan, dan literasi sains (pemeriksa klaim) · 2 × 45 menit (ditambah tugas mengumpulkan iklan sebelum pertemuan)	136
BAB 28	Pabrik Obat Hidup dan Lab Maya Eksosom: Dari Donor ke Pasien, dari Sel ke Paket Mengirim Tukang, Mengirim Paket · Kartu urutan dan diagram alir, LKPD digital (simulasi pemisahan eksosom), dan sortir peta bukti · 2 × 45 menit	143
BAB 29	Detektif Hasil Lab: Membaca Darah Lengkap, Mencocokkan Golongan Darah, dan Melacak Muatan Oksigen Armada Sungai Merah · LKPD digital (tiga lab maya), tabel data, dan studi kasus · 2 × 45 menit	150
BAB 30	Detektif Termostat Tiroid: Membaca Pola Hormon dan Melindungi Generasi dari GAKY Siaran dari Istana · LKPD digital (simulator termostat tiroid), analisis kartu kasus, dan survei label garam di rumah · 2 × 45 menit	158
BAB 31	Detektif Sinar UV: Menghitung Waktu Terbakar dan Membaca Label Tabir Surya Tembok Bata Hidup · LKPD digital (lab maya UV dan tabir surya), pengamatan bayangan tongkat, dan survei label tabir surya di rumah · 2 × 45 menit	164

BAB 32	Detektif Kampung Usus: Lab Maya Mikrobiota, Detektif Label Produk, dan Catatan Serat Tiga Hari	170
	Tamu yang Membayar Sewa · LKPD digital (lab maya kebun warga usus), kartu klasifikasi label produk, dan catatan makanan di rumah · 2 × 45 menit	
BAB 33	Mengapa Puding Gelatin Tidak Membeku? Praktikum Bromelain dan Papain serta Lab Maya Juru Masak Kilat	179
	Juru Masak Kilat · Praktikum nyata dengan bahan dapur (uji puding gelatin) dan LKPD digital (lab maya enzim di Bab 33.5) · 2 × 45 menit	
BAB 34	Penjelajah Negara Sel: Praktikum Mikroskop Sel Bawang Merah dan Daun Hydrilla	189
	Mata untuk yang Tak Kasatmata · Praktikum laboratorium dengan mikroskop cahaya sekolah, dengan lab maya mikroskop di Bab 34.7 sebagai cadangan bila mikroskop tidak tersedia · 2 × 45 menit	
BAB 35	Membedah Paha Ayam dan Menguji Nefron Maya	196
	Dari Warga ke Kota · Praktikum pengamatan jaringan pada bahan makanan matang, percobaan tulang dalam cuka, dan LKPD digital (lab maya nefron) · 2 × 45 menit (ditambah perendaman tulang 3–5 hari yang dimulai sebelumnya)	
BAB 36	Tali Waktu Kehidupan: Mesin Waktu Bumi, Bukti Endosimbiosis, dan Sidang Komisi Etik Mini	204
	Silsilah Negara Sel · LKPD praktik model skala (tali waktu), lab maya mesin waktu, tabel bukti, dan diskusi kasus bermain peran · 2 × 45 menit	
BAB 37	Detektif Salah Ketik: Fotokopi Kilat, Tim Korektor, dan Lab Maya Resep Globin Beta	211
	Salah Ketik di Perpustakaan · Kegiatan berpasangan tanpa alat elektronik (fotokopi kilat dengan dan tanpa korektor), LKPD digital (lab maya gen HBB di Bab 37.3), dan studi kasus tim korektor yang mogok · 2 × 45 menit	

KTP Organela: Bermain Peran Negara Sel

Bab 1: Selamat Datang di Negara Sel · Bermain peran & presentasi · SMP–SMA · 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengidentifikasi letak dan tugas satu organela memakai analogi lembaga Negara Sel.
2. Peserta didik dapat menjelaskan tugas organela kepada teman dalam bentuk Kartu Tanda Organela (KTP).
3. Peserta didik dapat menganalisis kerja sama beberapa organela saat sel pankreas membuat dan mengirim insulin.

B Cerita pembuka

Bima baru saja menghabiskan pempek kapal selam di kantin sekolah. Ia bertanya-tanya: kalau tubuhnya tersusun dari ± 30 triliun sel, siapa yang mengatur semua pekerjaan di dalam satu sel? Dr. Sela menjawab, “Setiap sel itu seperti negara. Ada perbatasan, perpustakaan, dapur, PLN, sampai dinas kebersihan.” Hari ini kelasmu menjadi Negara Sel, dan setiap kelompok menjadi salah satu lembaganya!

C Alat dan bahan

- Kertas karton ukuran A3 (satu lembar per kelompok)
- Spidol warna, pensil, dan lem
- Kartu undian nama organela
- Tali rafia ± 5 meter untuk “rantai kerja sama”
- Buku Cellpedia atau gawai untuk membuka Peta Negara Sel (bagian 1.3)

D Langkah kegiatan

1. Bentuk kelompok berisi 3–4 orang. Setiap kelompok mengambil satu kartu undian organela: nukleus, ribosom, RE kasar, RE halus, badan Golgi, mitokondria, lisosom, membran plasma, atau sitoskeleton.
2. Baca bagian 1.3 dan 1.4, atau buka Peta Negara Sel dan ketuk organela kelompokmu, untuk mengumpulkan informasi.
3. Buat KTP organela di kertas karton berisi: nama, julukan di Negara Sel, alamat (letak di dalam sel), ukuran, jumlah per sel, pekerjaan, dan gambar sederhana.
4. Tambahkan kolom “Kalau bermasalah”: tuliskan apa yang terjadi pada sel bila organela kelompokmu rusak atau mogok kerja.

5. Pilih satu juru bicara. Latih presentasi 2 menit dengan gaya perkenalan: “Perkenalkan, saya ... dari Negara Sel. Tugas saya ...”.
6. Setiap kelompok tampil di depan kelas. Kelompok lain mencatat informasi penting di tabel pengamatan dan boleh mengajukan satu pertanyaan.
7. Guru membacakan kisah insulin di bagian 1.6. Kelompok yang organelnya disebut berdiri berurutan sambil memegang tali rafia sehingga terbentuk “rantai kerja sama”.
8. Diskusikan bersama: organela mana yang masuk rantai, mana yang tidak, dan mengapa. Setelah itu jawab pertanyaan diskusi.

E Tabel rekap KTP organela

No	Organela	Julukan di Negara Sel	Tugas sebenarnya	Akibat bila rusak
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

F Pertanyaan diskusi

1. Sebutkan tiga organela yang dipresentasikan hari ini beserta julukannya di Negara Sel.

2. Mengapa membran plasma diibaratkan perbatasan dan kantor imigrasi, bukan tembok yang tertutup rapat?

3. Kelompok “lisosom” tiba-tiba mogok kerja. Ramalkan apa yang terjadi pada Negara Sel dan jelaskan alasannya.

4. Urutkan lembaga yang terlibat ketika sel pankreas membuat dan mengirim insulin, mulai dari perpustakaan sampai pelabuhan. Lembaga apa yang menyediakan energinya?

5. Setiap analogi punya batas. Pilih satu organela, lalu jelaskan satu hal yang **tidak** cocok antara organela itu dan lembaga negara yang menjadi analoginya.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang bagaimana organela-organela di dalam sel bekerja sama seperti lembaga-lembaga dalam sebuah negara.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang organela hari ini adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Analogi Negara Sel membantu saya belajar karena ... (atau kurang membantu karena ...)

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Contoh: nukleus = perpustakaan nasional; ribosom = dapur; mitokondria = PLN; lisosom = dinas kebersihan; badan Golgi = kantor ekspedisi; RE kasar = dapur katering ekspor dan ruang packing. Jawaban benar bila pasangan organela–julukan sesuai tabel 1.4.

2. Membran tidak menutup sel sepenuhnya. Ia bersifat selektif permeabel: mengizinkan zat tertentu keluar-masuk, sebagian lewat pintu khusus berupa protein transpor, dan menolak zat lain. Membran juga menjadi tempat reseptor (kotak surat) dan tempat paket dilepas (pelabuhan).
3. Sampah sel, organela tua, dan kuman yang tertelan tidak dicerna sehingga menumpuk. Bahan yang seharusnya didaur ulang tidak dapat dipakai lagi. Lama-kelamaan kerja sel terganggu dan sel bisa rusak atau mati. Ini menunjukkan setiap lembaga saling bergantung.
4. Nukleus (menyimpan resep insulin) → resep disalin menjadi mRNA → ribosom di RE kasar (memasak dan mengemas) → badan Golgi (ekspedisi) → vesikel diantar kurir di atas sitoskeleton → membran plasma (pelabuhan, eksositosis) → insulin diterima reseptor di sel otot. Energinya (ATP) disediakan mitokondria.
5. Contoh: perpustakaan manusia meminjamkan buku aslinya, sedangkan nukleus tidak pernah mengeluarkan DNA asli, hanya salinan mRNA. Contoh lain: PLN mengalirkan listrik lewat kabel, sedangkan ATP adalah molekul yang berpindah dan dipakai langsung oleh enzim. Jawaban diterima bila menunjuk fakta ilmiah yang membuat analogi tidak tepat.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan isi KTP organela	Semua isian KTP (julukan, letak, ukuran, tugas, akibat bila rusak) benar dan sesuai buku.	Sebagian besar isian benar; ada satu kekeliruan kecil.	Beberapa isian keliru atau kosong; tugas organela kurang tepat.	Sebagian besar isian keliru atau tidak lengkap.
Kejelasan presentasi	Menyampaikan tugas organela dengan jelas dan runtut, memakai analogi dengan tepat, dan mampu menjawab pertanyaan teman.	Jelas dan runtut, analogi tepat, tetapi kurang mampu menjawab pertanyaan teman.	Kurang runtut; analogi dipakai tetapi kurang tepat.	Tidak jelas; hanya membaca tanpa menunjukkan pemahaman.
Analisis kerja sama organela	Mengurutkan jalur insulin dengan benar, menjelaskan peran tiap organela, dan menyebut mitokondria sebagai pemasok energi.	Urutan jalur insulin benar, tetapi penjelasan peran organela kurang lengkap.	Sebagian urutan jalur insulin keliru.	Belum dapat mengurutkan jalur insulin.
Kerja sama kelompok	Semua anggota aktif, berbagi tugas dengan adil, dan saling membantu.	Sebagian besar anggota aktif; pembagian tugas cukup baik.	Hanya satu atau dua anggota yang aktif.	Kelompok tidak bekerja sama; tugas tidak selesai.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Ekstraksi DNA Stroberi & Model Tangga DNA

Bab 2: Perpustakaan Genetik · Praktikum sederhana · SMP-SMA · 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengisolasi DNA dari buah stroberi memakai bahan rumah tangga.
2. Peserta didik dapat menjelaskan fungsi sabun, garam, dan alkohol dingin dalam ekstraksi DNA.
3. Peserta didik dapat membuat model tangga DNA yang menerapkan aturan pasangan basa A-T dan G-C.

B Cerita pembuka

Bima membantu ibunya membuat jus stroberi. “Kalau semua makhluk hidup menyimpan resepnya di DNA, berarti stroberi juga punya perpustakaan, dong?” tanyanya. Dr. Sela tersenyum, “Betul! Kamu bahkan bisa melihat tumpukan ‘kertas’ DNA-nya dengan mata telanjang, asal tahu cara membongkar tembok perpustakaannya.”

C Alat dan bahan

- 3–4 buah stroberi segar (atau beku yang sudah dicairkan)
- Kantong plastik berklip
- Larutan pemecah: 100 mL air, 1 sendok makan sabun cuci piring cair, ½ sendok teh garam dapur
- Alkohol 70% (etanol atau isopropil) yang didinginkan di kulkas minimal 1 jam
- Saringan teh atau kain kasa, gelas bening, dan sendok
- Tusuk sate atau sumpit
- Sedotan plastik, manik-manik 4 warna, dan kawat bulu untuk model DNA

⚠ Keselamatan: Alkohol mudah terbakar: jauhkan dari api, kompor, dan korek. Jangan mencicipi stroberi atau cairan apa pun yang sudah dicampur sabun atau alkohol. Pakai sarung tangan bila kulitmu sensitif terhadap sabun, hati-hati dengan ujung tusuk sate dan kawat bulu, lalu cuci tangan setelah praktikum. Buang sisa cairan ke wastafel sambil dialiri air.

D Langkah kegiatan

1. Buat larutan pemecah: campurkan 100 mL air, 1 sendok makan sabun cuci piring, dan ½ sendok teh garam. Aduk pelan agar tidak berbusa.
2. Buang daun stroberi, masukkan buahnya ke kantong plastik berklip, tutup rapat, lalu remas-remas selama ±2 menit sampai halus.

3. Tambahkan 3 sendok makan larutan pemecah ke dalam kantong. Remas pelan lagi selama ± 1 menit dan hindari busa berlebih.
4. Saring campuran dengan saringan teh atau kain kasa ke dalam gelas bening sampai cairan saringan setinggi $\pm 2-3$ cm.
5. Miringkan gelas, lalu tuangkan alkohol dingin perlahan lewat dinding gelas sampai terbentuk lapisan alkohol kira-kira setebal cairan saringan. Jangan diaduk.
6. Diamkan 2–3 menit. Amati batas antara cairan merah dan lapisan alkohol, lalu catat warna, bentuk, dan letak benda yang muncul.
7. Masukkan tusuk sate ke batas lapisan, putar perlahan, lalu angkat. Amati benda yang tergulung di tusuk sate.
8. Buat model tangga DNA: dua sedotan sebagai tiang gula-fosfat, anak tangga dari kawat bulu berisi dua manik. Pakai empat warna manik untuk A, T, G, dan C, lalu pasangkan sesuai aturan A–T dan G–C (minimal 8 anak tangga).
9. Tulis urutan satu untai modelmu, tukarkan dengan kelompok lain, dan minta mereka menuliskan untai pasangannya. Periksa hasilnya dengan Mesin Pasangan Basa di bagian 2.3.
10. Puntir model perlahan sehingga membentuk tangga berpilin, lalu jawab pertanyaan diskusi.

E Tabel pengamatan ekstraksi DNA

Tahap	Bahan yang ditambahkan	Pengamatan (warna, bentuk, lapisan)
Stroberi diremas		
Ditambah larutan sabun–garam		
Setelah disaring		
Ditambah alkohol dingin (2–3 menit)		
Benda di tusuk sate		

F Pertanyaan diskusi

1. Seperti apa wujud DNA yang kamu peroleh (warna, bentuk, dan letaknya)?

2. Apa fungsi sabun cuci piring dalam percobaan ini? Hubungkan dengan membran sel dan selubung inti (tembok ganda perpustakaan).

3. Mengapa DNA muncul di lapisan alkohol, bukan tetap larut di dalam cairan stroberi? Apa peran garam?

4. Model tangga DNA kelompokmu memiliki 8 anak tangga, 3 di antaranya pasangan G–C. Berapa jumlah A, T, G, dan C pada model itu? Aturan apa yang kamu terapkan?

5. Satu molekul DNA hanya selebar ± 2 nm, jauh terlalu kecil untuk dilihat mata. Mengapa kamu tetap bisa melihat benang DNA stroberi?

6. Bima berkata, “DNA stroberi dan DNA manusia tersusun dari huruf yang sama, jadi resepnya pasti sama.” Evaluasilah pendapat Bima.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang wujud DNA, cara mengeluarkannya dari sel, dan aturan pasangan basa yang menyusun tangga DNA.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari praktikum ini adalah ...
2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...
3. Jika mengulang percobaan ini, hal yang akan saya ubah atau perbaiki adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. DNA tampak sebagai benang atau gumpalan putih bening yang agak lengket, berkumpul di batas antara cairan stroberi dan lapisan alkohol, lalu dapat digulung dengan tusuk sate.
2. Sabun melarutkan lemak penyusun membran sel dan selubung inti, sehingga “tembok perpustakaan” terbuka dan DNA keluar ke dalam cairan. Meremas stroberi membantu menghancurkan jaringan dan dinding sel.
3. Garam menetralkan muatan negatif gugus fosfat DNA dan membantu melepaskan protein dari DNA, sehingga untaian DNA bisa saling mendekat dan menggumpal. DNA tidak larut dalam alkohol, sehingga ketika bertemu alkohol DNA mengendap dan terkumpul di lapisan alkohol. Alkohol yang dingin membuat pengendapan lebih banyak.
4. 3 pasangan G–C berarti $G = 3$ dan $C = 3$. Sisanya 5 pasangan A–T, jadi $A = 5$ dan $T = 5$. Aturannya: A selalu berpasangan dengan T dan G dengan C, sehingga jumlah $A = T$ dan $G = C$ (aturan Chargaff).
5. Yang terlihat bukan satu molekul, melainkan jutaan molekul DNA dari banyak sel yang saling menggumpal menjadi benang tebal. Stroberi budi daya juga memiliki delapan set kromosom, sehingga DNA-nya melimpah.
6. Pendapat Bima kurang tepat. DNA stroberi dan manusia memang tersusun dari empat huruf yang sama (A, T, G, C) dan berbentuk tangga berpilin yang sama. Namun, urutan huruf dan jumlah gennya berbeda, sehingga resep yang ditulis juga berbeda, seperti dua buku yang memakai abjad sama tetapi isinya berlainan.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Keterampilan dan keselamatan praktikum	Mengikuti semua langkah dengan urutan rapi serta mematuhi seluruh aturan keselamatan.	Mengikuti langkah dengan benar; ada satu kelalaian kecil yang tidak membahayakan.	Beberapa langkah terlewat atau perlu diingatkan soal keselamatan lebih dari sekali.	Tidak mengikuti langkah atau mengabaikan aturan keselamatan.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan pengamatan	Tabel diisi lengkap dengan deskripsi warna, bentuk, dan letak yang teliti pada setiap tahap.	Tabel hampir lengkap dan deskripsi cukup teliti.	Tabel kurang lengkap dan deskripsinya sangat umum.	Tabel kosong atau tidak sesuai pengamatan.
Ketepatan model DNA	Semua anak tangga memakai pasangan A-T dan G-C yang benar, tiang gula-fosfat jelas, model dipuntir menjadi heliks, dan untai pasangan kelompok lain ditulis benar.	Pasangan basa benar, tetapi satu unsur (pilinan atau keterangan warna) kurang.	Terdapat 1-2 pasangan basa yang keliru.	Banyak pasangan basa keliru atau model tidak selesai.
Penjelasan konsep	Menjelaskan fungsi sabun, garam, dan alkohol dengan benar dan menjawab pertanyaan evaluasi dengan alasan ilmiah.	Menjelaskan dua dari tiga fungsi bahan dengan benar.	Menjelaskan satu fungsi bahan; alasan kurang tepat.	Belum dapat menjelaskan fungsi bahan.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Juru Salin Berpasangan

Bab 3: Menyalin Resep Rahasia Pempek · Permainan peran berpasangan + LKPD digital · SMP-SMA · 45 menit

Nama: Kelas: Tanggal: Kelompok:

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menuliskan salinan mRNA dari untai cetakan DNA dengan aturan $T \rightarrow A$, $A \rightarrow U$, $G \rightarrow C$, $C \rightarrow G$.
2. Peserta didik dapat membedakan untai cetakan dan untai pengode serta menjelaskan arah $5' \rightarrow 3'$ salinan mRNA.
3. Peserta didik dapat memperagakan pengeditan pra-mRNA (topi $5'$, ekor poli-A, dan splicing) dengan kartu.

B Cerita pembuka

Pesanan mendadak masuk ke Perpustakaan Nasional: “INSULIN, segera!” Buku resep asli tidak boleh keluar, jadi juru salin harus bekerja cepat dan teliti. Satu huruf saja salah salin, pempek yang dimasak di dapur bisa gagal. Hari ini kamu dan pasanganmu bergantian menjadi pustakawan dan juru salin Polim.

C Alat dan bahan

- Kartu huruf DNA (A, T, G, C) dan kartu huruf RNA (A, U, G, C), masing-masing ± 30 lembar per pasangan
- Kartu untai cetakan dari guru, misalnya gen PEMPEK-1: $3' \text{--TAC GGA CTT TAC GGT CTC TTT ATT--}5'$
- Kartu “promoter”, kartu “topi” (G), kartu “ekor AAAA”, dan kartu “iklan” (intron) berwarna berbeda
- Selotip dan kertas HVS
- Stopwatch atau jam pada gawai
- Gawai untuk permainan Jadi Juru Salin (bagian 3.5), bila tersedia

D Langkah kegiatan

1. Bentuk pasangan. Siswa A berperan sebagai pustakawan (pembaca untai cetakan), siswa B sebagai juru salin (RNA polimerase).
2. Siswa A menata kartu untai cetakan DNA dari kiri ke kanan ($3' \rightarrow 5'$) dan meletakkan kartu “promoter” di awalnya.
3. Siswa A membacakan huruf cetakan satu per satu. Siswa B memasang kartu huruf RNA pasangannya tepat di bawahnya ($T \rightarrow A$, $A \rightarrow U$, $G \rightarrow C$, $C \rightarrow G$). Catat waktunya dengan stopwatch.
4. Setelah selesai, periksa bersama. Hitung jumlah huruf yang salah salin dan catat di tabel.

5. Tukar peran, lalu ulangi dengan untai cetakan kedua dari guru.
6. Guru membagikan pra-mRNA yang berisi “iklan” (intron) berwarna berbeda. Pasang kartu topi di ujung 5' dan kartu ekor AAAA di ujung 3'.
7. Lepaskan kartu intron, lalu sambungkan ekson-ekson dengan selotip menjadi mRNA matang.
8. Coba splicing alternatif: sambungkan ekson dengan kombinasi berbeda (misalnya E1-E3-E4) dan bandingkan panjang mRNA hasilnya.
9. Sebagai penguatan, mainkan Jadi Juru Salin di bagian 3.5, lalu bandingkan hasilnya dengan salinan kartu kalian.
10. Jawab pertanyaan diskusi bersama pasanganmu.

E Tabel hasil penyalinan

Putaran	Juru salin	Untai cetakan (3'→5')	mRNA hasil (5'→3')	Waktu (detik)	Jumlah salah
1					
2					
3					
4					

F Pertanyaan diskusi

1. Tuliskan mRNA hasil salinan dari untai cetakan 3'-TAC CTT GGG AAA ACT-5'.

2. Mengapa di salinan mRNA tidak pernah muncul huruf T?
3. Bandingkan urutan mRNA hasilmu dengan untai pengode (pasangan untai cetakan). Apa persamaan dan perbedaannya?

4. Apa yang terjadi pada panjang salinan setelah intron dibuang? Mengapa intron harus dibuang sebelum mRNA keluar dari inti?

5. Juru salin yang terburu-buru membuat banyak salah salin. Bandingkan akibat satu salah salin pada mRNA dengan satu salah ketik pada DNA. Mana yang lebih berbahaya bagi sel? Jelaskan.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang cara sel menyalin resep dari DNA menjadi mRNA dan merapikannya sebelum dikirim ke dapur.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang transkripsi hari ini adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan (misalnya arah 5' dan 3') adalah ...

3. Saat berperan sebagai juru salin, kesalahan yang paling sering saya buat adalah ... dan cara mencegahnya adalah ...

Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. 5'-AUG GAA CCC UUU UGA-3' (T→A, A→U, C→G, G→C; huruf T tidak dipakai di RNA).

2. RNA tidak memiliki basa timin (T). Penggantinya urasil (U), sehingga setiap A pada untai cetakan dipasangkan dengan U.

3. Urutan dan arah mRNA sama dengan untai pengode (5'→3'); bedanya, setiap T pada untai pengode diganti U pada mRNA. mRNA justru merupakan pasangan dari untai cetakan.

4. Salinan menjadi lebih pendek karena intron dibuang dan hanya ekson yang disambung. Intron harus dibuang karena bukan bagian resep; bila ikut dibaca ribosom, urutan asam amino menjadi salah. Pori inti hanya meloloskan salinan yang sudah bertopi, berekor, dan rapi.
5. Salah salin pada mRNA hanya memengaruhi protein dari salinan itu; mRNA berumur pendek dan salinan lain yang benar tetap dibuat. Salah ketik pada DNA (mutasi) menetap, ikut tersalin ke setiap mRNA berikutnya, dan diwariskan ke sel anak. Jadi salah ketik pada DNA lebih berbahaya.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan penyalinan	Semua huruf mRNA benar, memakai U (bukan T), dan arah 5'→3' ditulis tepat.	Ada 1-2 huruf keliru; arah ditulis benar.	Ada 3-5 huruf keliru atau arah tidak ditulis.	Lebih dari 5 huruf keliru atau masih memakai huruf T.
Pemahaman pengeditan mRNA	Memasang topi di ujung 5' dan ekor di ujung 3', membuang semua intron, dan dapat menunjukkan contoh splicing alternatif.	Topi, ekor, dan splicing benar, tetapi belum dapat menunjukkan splicing alternatif.	Salah satu tahap pengeditan keliru, misalnya topi di ujung yang salah.	Belum memahami tahap pengeditan mRNA.
Kerja sama dan pergantian peran	Bergantian peran dengan tertib, saling memeriksa, dan mencatat waktu serta kesalahan dengan jujur.	Bergantian peran dengan baik, tetapi pencatatan kurang lengkap.	Pergantian peran tidak seimbang; satu siswa lebih dominan.	Tidak bergantian peran dan tidak saling memeriksa.
Penalaran jawaban diskusi	Semua jawaban benar, termasuk perbandingan akibat salah salin mRNA dan salah ketik DNA yang beralasan.	Sebagian besar jawaban benar; alasan pada soal terakhir kurang lengkap.	Hanya jawaban soal-soal awal yang benar.	Sebagian besar jawaban keliru atau kosong.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Lomba Dapur Ribo: Merangkai Protein PEMPEK

Bab 4: Dapur Ribosom Memasak Pempek · Permainan kartu (simulasi translasi) + LKPD digital · SMP-SMA · 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menerjemahkan urutan kodon mRNA menjadi urutan asam amino memakai tabel kode genetik.
2. Peserta didik dapat menentukan antikodon tRNA yang berpasangan dengan setiap kodon.
3. Peserta didik dapat menjelaskan peran tempat A, P, dan E serta kodon mulai dan kodon stop dalam translasi.
4. Peserta didik dapat menganalisis akibat perubahan satu huruf kodon terhadap rantai protein.

B Cerita pembuka

Salinan resep rahasia PEMPEK-1 yang kamu buat di Bab 3 sudah tiba di dapur ribosom. Mas Ribo butuh bantuan: kurir tRNA berdatangan membawa bahan, tetapi hanya kurir dengan antikodon yang pas yang boleh masuk ke meja A. Kelompok mana yang paling cepat dan paling tepat merangkai rantai adonan M-P-E-M-P-E-K?

C Alat dan bahan

- 8 kartu kodon mRNA: AUG, CCU, GAA, AUG, CCA, GAG, AAA, UAA
- ±20 kartu tRNA bertuliskan antikodon di satu sisi dan nama asam amino di sisi lain (termasuk kartu pengecoh)
- 1 kartu “faktor pelepas”
- Selembar karton bergambar ribosom dengan tiga kotak berlabel A, P, dan E
- Penjepit kertas atau klip untuk menyambung “rantai adonan”
- Tabel kode genetik (Kamus Kodon, bagian 4.1) dan stopwatch

D Langkah kegiatan

1. Bentuk kelompok berisi 4 orang dengan peran: “subunit kecil” (membaca kodon), “petugas meja A” (menerima kurir), “subunit besar” (menyambung bahan), dan “pencatat”.
2. Susun kartu kodon berurutan dari ujung 5' ke 3'. Subunit kecil mencari kodon mulai AUG, lalu menempatkan karton ribosom sehingga AUG berada di meja P.
3. Petugas meja A menempelkan kartu tRNA pembawa metionin (antikodon UAC) pada AUG di meja P. Untuk kodon berikutnya di meja A, pilih kartu tRNA yang antikodonna berpasangan. Ingat: A–U dan G–C.

4. Subunit besar memindahkan rantai dari tRNA di meja P ke asam amino pada tRNA di meja A, lalu menyambunginya dengan klip (ikatan peptida).
5. Geser karton ribosom tepat satu kodon: tRNA kosong pindah ke meja E lalu keluar, dan tRNA pembawa rantai pindah ke meja P.
6. Ulangi langkah 3–5 sampai kodon UAA tiba di meja A. Masukkan kartu faktor pelepas, lepaskan rantai, dan hentikan stopwatch.
7. Pencatat mengisi tabel: kodon, antikodon, asam amino, dan kode satu hurufnya.
8. Tantangan mutasi: guru mengganti satu kartu kodon (misalnya GAA menjadi UAA, atau CCU menjadi CCC). Ulangi translasi dan bandingkan rantai yang terbentuk.
9. Mainkan Dapur Ribo di bagian 4.4 untuk memeriksa jawaban kelompokmu, lalu jawab pertanyaan diskusi.

E Tabel penerjemahan resep PEMPEK-1

Kodon ke-	Kodon (mRNA)	Antikodon (tRNA)	Asam amino	Kode 1 huruf
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

F Pertanyaan diskusi

1. Tuliskan urutan asam amino (kode satu huruf) yang kalian rangkai dari resep PEMPEK-1.

2. Mengapa kodon UAA tidak pernah mendapat kartu tRNA? Apa yang masuk ke meja A saat kodon itu tiba?

3. Kodon CCU dan CCA sama-sama menghasilkan prolin. Apa istilah untuk sifat kode genetik ini, dan apa manfaatnya ketika terjadi salah ketik?

4. Pada tantangan mutasi, kodon ke-3 (GAA) diganti menjadi UAA. Bagaimana nasib rantai adonan? Bandingkan dengan penggantian CCU menjadi CCC.

5. Dalam permainan, satu kelompok memasak satu rantai. Di dalam sel, satu mRNA dibaca banyak ribosom sekaligus (polisom). Jelaskan keuntungannya dan bagaimana kalian dapat memperagakannya di kelas.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang bagaimana ribosom, mRNA, dan tRNA bekerja sama menerjemahkan resep menjadi rantai protein.

H Refleksi diri

1. Bagian translasi yang paling mudah saya pahami adalah ...

2. Bagian yang masih membingungkan (misalnya pasangan antikodon atau meja A-P-E) adalah ...

3. Hubungan antara transkripsi di Bab 3 dan translasi di bab ini menurut saya adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. M-P-E-M-P-E-K (metionin, prolin, asam glutamat, metionin, prolin, asam glutamat, lisin), lalu berhenti di UAA. Rantai ini “menuliskan” kata PEMPEK.

2. UAA adalah kodon stop yang tidak memiliki tRNA pembawa bahan. Yang masuk ke meja A adalah faktor pelepas, protein yang berarti “resep selesai”. Rantai dilepas dan kedua subunit ribosom berpisah.
3. Sifat ini disebut redundan: satu asam amino dapat memiliki beberapa kodon. Manfaatnya, bila terjadi salah ketik (terutama pada huruf ketiga), asam aminonya sering tidak berubah sehingga protein tetap normal.
4. GAA → UAA mengubah kodon ke-3 menjadi kodon stop, sehingga rantai berhenti setelah dua asam amino (M-P). Rantai itu terlalu pendek dan tidak berfungsi. CCU → CCC tetap mengode prolin, sehingga rantai tetap M-P-E-M-P-E-K (perubahan diam/sinonim).
5. Polisom membuat banyak protein sekaligus dari satu salinan mRNA, sehingga produksi lebih cepat dan hemat salinan. Peragaan: beberapa kelompok (ribosom) memulai translasi pada kartu mRNA yang sama secara bergiliran, misalnya berselang dua kodon; kelompok yang mulai lebih awal memegang rantai yang lebih panjang.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan penerjemahan	Semua kodon, antikodon, dan asam amino di tabel benar, dan kodon stop dikenali.	Ada satu kesalahan kecil di tabel.	Ada 2–3 kesalahan di tabel.	Lebih dari 3 kesalahan atau tabel tidak selesai.
Pemahaman mekanisme translasi	Memperagakan kedatangan tRNA di meja A, penyambungan, pergeseran satu kodon, dan terminasi oleh faktor pelepas dengan tepat.	Peragaan benar, tetapi satu tahap (misalnya perpindahan ke meja E) terlewat.	Dua tahap atau lebih keliru.	Belum dapat memperagakan tahap translasi.
Analisis mutasi	Memprediksi dengan benar akibat perubahan menjadi kodon stop dan perubahan sinonim, disertai alasan.	Prediksi benar, tetapi alasannya kurang lengkap.	Hanya satu prediksi yang benar.	Kedua prediksi keliru.
Kerja sama dan pembagian peran	Setiap anggota menjalankan perannya dengan baik dan saling mengoreksi.	Sebagian besar anggota menjalankan perannya.	Peran tidak jelas; hanya sebagian anggota yang bekerja.	Kelompok tidak bekerja sama.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Resi Paket Insulin: Simulasi Rantai Pengiriman Protein

Bab 5: Packing, Ekspedisi & Pelabuhan · Simulasi bermain peran + studi kasus · SMP-SMA · 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengurutkan jalur protein sekretori dari ribosom di RE sampai eksositosis.
2. Peserta didik dapat membedakan label tujuan protein (peptida sinyal, manosa-6-fosfat, KDEL, sinyal inti) beserta tujuan pengirimannya.
3. Peserta didik dapat menganalisis titik gagal pengiriman protein pada kasus fibrosis kistik.

B Cerita pembuka

Toko pempek di Palembang menerima pesanan dari Jakarta. Pempek harus dikemas rapat, diberi label alamat, diperiksa, lalu dikirim lewat ekspedisi. Kalau labelnya salah, paket nyasar; kalau kemasannya rusak, paket ditolak gudang. Sel beta pankreas juga “mengirim” insulin setiap hari. Hari ini kelasmu menjadi jaringan ekspedisi Negara Sel!

C Alat dan bahan

- 6 kardus kecil (kotak bekas pasta gigi atau teh) sebagai “paket protein”
- Stiker label bertuliskan: EKSPOR (peptida sinyal), M6P, KDEL, dan NLS
- Papan stasiun dari karton: Ribosom bebas, RE kasar, Golgi cis, Golgi trans, Membran/pelabuhan, Lisosom, Nukleus, Sitoplasma, Proteasom
- Tali rafia sebagai “jalan tol mikrotubulus” dengan tanda ujung – (pusat sel) dan + (pinggir sel)
- Kartu resep protein: insulin, enzim lisosom, histon, BiP, GLUT4, enzim glikolisis
- Kartu studi kasus fibrosis kistik (CFTR $\Delta F508$)

D Langkah kegiatan

1. Guru menata papan stasiun di sekeliling kelas dan membentangkan tali rafia dari “pusat sel” (ujung –) ke “membran” (ujung +).
2. Setiap kelompok menerima satu paket (kardus) dan satu kartu resep protein.
3. Baca tabel tujuan protein di bagian 5.1, lalu tempelkan label yang benar pada paketmu. Ada protein yang tidak memerlukan label sama sekali.
4. Mulailah di stasiun Ribosom bebas. Paket berlabel EKSPOR “digiring SRP” ke stasiun RE kasar; paket tanpa label EKSPOR langsung menuju tujuannya.
5. Di stasiun RE kasar, petugas QC (guru atau siswa) memeriksa kemasan. Kardus yang penyok ditolak dan dikirim ke stasiun Proteasom. Paket berlabel KDEL berhenti di sini.

6. Paket yang lolos QC berjalan ke Golgi cis lalu Golgi trans. Di Golgi, tempel stiker M6P pada paket yang menuju lisosom.
7. Paket tujuan membran berjalan di sepanjang tali rafia menuju ujung + (diantar kurir kinesin), lalu “dilepas” di pelabuhan (eksositosis). Catat setiap stasiun yang dilewati di lembar resi.
8. Studi kasus: guru memberi satu kelompok paket CFTR yang sengaja dibuat sedikit penyok. Ikuti aturan QC dengan ketat dan catat apa yang terjadi.
9. Setiap kelompok melaporkan rute paketnya dalam satu menit, lalu kelas mendiskusikan pertanyaan.

E Lembar resi kiriman

Nama protein	Label yang dipasang	Stasiun yang dilewati	Tujuan akhir	Sampai / gagal
Insulin				
Enzim lisosom				
Histon				
BiP (chaperone RE)				
GLUT4				
Enzim glikolisis				
CFTR $\Delta F508$				

F Pertanyaan diskusi

1. Paket mana yang tidak pernah mampir ke RE? Apa persamaan label paket-paket itu?

2. Tuliskan urutan stasiun yang dilewati paket insulin, dari ribosom sampai keluar sel.

3. Mengapa paket BiP berhenti di RE, padahal ia juga memiliki peptida sinyal?

4. Pada kasus CFTR $\Delta F508$, pintu klorida itu sebenarnya masih dapat bekerja sebagian. Mengapa pasien tetap sakit? Jelaskan akibatnya bagi saluran napas.

5. Obat corrector membantu CFTR melipat dengan benar. Di stasiun mana obat ini bekerja, dan mengapa cara ini lebih masuk akal daripada “memecat” petugas QC?

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang peran label, RE, Golgi, kurir, dan pelabuhan dalam mengirim protein ke tujuan yang tepat, serta akibatnya bila satu tahap gagal.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang pengiriman protein adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Persamaan antara pengiriman paket di kehidupan sehari-hari dan pengiriman protein di sel menurut saya adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Paket histon dan enzim glikolisis. Keduanya tidak memiliki peptida sinyal, sehingga dimasak di ribosom bebas lalu dipakai di sitoplasma atau masuk ke nukleus (histon memakai kartu akses inti, NLS).
2. Ribosom bebas → digiring SRP → ribosom di RE kasar → lumen RE (label dipotong, dilipat, lolos QC) → vesikel → Golgi cis → Golgi trans (dikemas dalam granul) → kurir kinesin di mikrotubulus → membran sel → eksositosis ke darah.
3. BiP memiliki label KDEL yang berarti “jangan pergi”. Walaupun masuk RE lewat peptida sinyal, label itu membuat BiP tetap di RE; bila sempat terbawa ke Golgi, ia dikembalikan ke RE.

4. Petugas QC di RE tidak menilai apakah pintu masih bisa bekerja, melainkan apakah lipatannya benar. CFTR $\Delta F508$ yang sedikit penyok ditahan lalu dihancurkan proteasom, sehingga hampir tidak ada pintu klorida di membran. Akibatnya lendir saluran napas menjadi kental dan menyumbat paru-paru.
5. Corrector bekerja di RE dengan membantu CFTR melipat sehingga lolos QC. Menghapus QC berbahaya karena semua protein salah lipat di sel akan ikut lolos, menumpuk, atau bekerja keliru. QC melindungi sel dan tubuh dari protein rusak.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan label dan rute	Semua paket diberi label yang benar dan melewati stasiun sesuai tujuannya.	Satu paket keliru label atau rute.	Dua sampai tiga paket keliru label atau rute.	Sebagian besar paket keliru label atau rute.
Kelengkapan resi kiriman	Resi diisi lengkap dan runtut untuk semua protein, termasuk paket yang gagal.	Resi hampir lengkap; satu baris kurang rinci.	Beberapa baris kosong atau urutan stasiun tidak runtut.	Resi tidak diisi atau tidak sesuai kegiatan.
Analisis studi kasus fibrosis kistik	Menjelaskan titik gagal (QC di RE), akibatnya bagi saluran napas, dan logika kerja obat corrector dengan tepat.	Menjelaskan titik gagal dan akibatnya, tetapi logika obat kurang tepat.	Hanya menyebut bahwa CFTR tidak sampai ke membran tanpa alasan.	Belum dapat menganalisis kasus.
Kerja sama dan komunikasi	Semua anggota aktif, laporan rute jelas dan tepat waktu.	Sebagian besar anggota aktif; laporan cukup jelas.	Hanya satu atau dua anggota yang aktif; laporan kurang jelas.	Kelompok tidak bekerja sama dan tidak melapor.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Kunci dan Gembok: Surat Mencari Kotak Surat

Bab 6: Surat-Menyurat Antarsel • Permainan simulasi • SMP-SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menjelaskan kecocokan molekul sinyal dan reseptor dengan model kunci-gembok.
2. Peserta didik dapat membedakan jalur sinyal larut air (reseptor di membran) dan sinyal larut lemak (reseptor di dalam sel).
3. Peserta didik dapat memperagakan tahap penerimaan, transduksi (amplifikasi), dan respons.
4. Peserta didik dapat menganalisis gangguan komunikasi sel pada diabetes, miastenia gravis, dan kanker.

B Cerita pembuka

Bima baru saja menghabiskan tiga pempek. Gula darahnya naik, dan sel beta pankreasnya langsung “menulis surat” bernama insulin. Surat itu beredar ke seluruh tubuh, tetapi hanya sel yang punya kotak surat yang pas yang bisa membacanya. Hari ini kelasmu menjadi tubuh Bima: ada pengirim, surat, dan sel-sel penerima.

C Alat dan bahan

- Potongan karton berbentuk geometri (segitiga, bintang, bulan sabit, lingkaran) sebagai “surat”, disiapkan guru
- Kotak atau amplop bekas berlubang sesuai bentuk surat sebagai “kotak surat” (reseptor)
- Kertas kuning bertanda L sebagai surat larut lemak
- Kartu nama sel: sel otot, sel hati, sel lemak, sel tiroid, sel saraf
- Karton kecil bertuliskan GLUT4 sebagai “pintu glukosa”
- Kancing baju atau kelereng sebagai “molekul glukosa”
- Lakban kertas dan stopwatch

D Langkah kegiatan

1. Bagi kelas menjadi tiga peran: “pengirim” (kelenjar), “sel sasaran” yang membawa kotak surat, dan “pelari estafet” (protein di dalam sel).
2. Pengirim membagikan surat berbentuk geometri secara acak ke seluruh kelas, seperti hormon yang beredar di darah.
3. Setiap sel sasaran mencoba memasukkan surat ke kotak suratnya. Catat surat mana yang pas dan mana yang tidak.

4. Jika surat pas (penerimaan), sel menepuk pelari estafet pertama (tahap 1). Pelari itu menepuk 2 teman (tahap 2), lalu masing-masing menepuk 2 teman lagi (tahap 3). Hitung jumlah pelari yang aktif di setiap tahap (transduksi dan amplifikasi).
5. Pelari terakhir mengambil karton GLUT4 dan memasangnya di “membran”. Setelah itu kancing “glukosa” boleh masuk ke dalam sel (respons). Catat waktu dari surat tiba sampai glukosa masuk.
6. Ulangi dengan surat kuning bertanda L (larut lemak, misalnya kortisol). Surat ini boleh langsung masuk ke dalam “sel” tanpa kotak surat, mencari reseptor di dalam, lalu berjalan ke “perpustakaan” untuk menyalakan gen. Tunggu 1 menit sebagai tanda respons yang lebih lambat.
7. Mainkan skenario penyakit. Diabetes tipe 1: pengirim tidak mengirim surat sama sekali. Diabetes tipe 2: pelari estafet bergerak sangat lambat. Miastenia gravis: kotak surat ditutup lakban. Catat apa yang terjadi pada glukosa atau respons.
8. Skenario tombol OFF: setelah respons, guru meminta sel “mematikan” sinyal dengan melepas surat dari kotaknya. Ulangi tanpa pernah melepas surat dan amati bedanya.
9. Isi tabel pengamatan, lalu jawab pertanyaan diskusi.

E Tabel pengamatan komunikasi sel

Skenario	Surat terkirim?	Surat diterima?	Jumlah pelari aktif	Respons yang terjadi
Normal: insulin				
Surat larut lemak: kortisol				
Diabetes tipe 1				
Diabetes tipe 2				
Miastenia gravis				
Tombol OFF rusak				

F Pertanyaan diskusi

1. Mengapa surat berbentuk bintang tidak bisa masuk ke kotak surat berbentuk lingkaran? Hubungkan dengan istilah sel sasaran.

2. Berapa pelari yang aktif pada tahap 3? Jika setiap pelari menepuk 10 teman (bukan 2), berapa pelari yang aktif pada tahap 3? Apa arti hasil ini bagi sel?

3. Bandingkan jalur surat larut air dan surat larut lemak dalam permainan: di mana reseptornya, dan mana yang responsnya lebih cepat? Mengapa?

4. Bandingkan skenario diabetes tipe 1 dan tipe 2. Pada bagian komunikasi mana masing-masing gagal?

5. Pada skenario tombol OFF rusak, sel terus menerima perintah. Jelaskan mengapa keadaan ini berbahaya bila isi suratnya “tumbuh!”, dan hubungkan dengan kanker.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang tiga unsur komunikasi sel, tahap penerimaan → transduksi → respons, dan akibatnya bila salah satu bagian rusak.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang komunikasi sel adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Contoh “salah komunikasi” di tubuh yang ingin saya pelajari lebih lanjut adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Surat hanya masuk ke kotak surat yang bentuknya pas (spesifik), seperti kunci dan gembok. Sel yang memiliki reseptor yang cocok dengan suatu molekul sinyal disebut sel sasaran; sel lain tidak “mendengar” pesan itu walaupun suratnya lewat.
2. Dengan 2 tepukan: tahap 1 = 1 pelari, tahap 2 = 2 pelari, tahap 3 = 4 pelari. Dengan 10 tepukan: tahap 3 = 100 pelari. Artinya satu surat kecil dapat diperbesar menjadi perintah bagi sangat banyak molekul (amplifikasi), sehingga sel merespons kuat walaupun hormonnya sedikit.
3. Surat larut air (insulin) tidak dapat menembus membran, reseptornya di membran, dan responsnya cepat (detik–menit) karena hanya mengaktifkan protein atau pintu yang sudah ada. Surat larut lemak (kortisol) menembus membran, reseptornya di dalam sel, lalu menyalakan gen; responsnya lambat (jam) karena protein baru harus disalin dan dimasak, tetapi tahan lama.
4. Diabetes tipe 1 gagal di pengirim: sel beta rusak sehingga surat insulin tidak pernah dikirim. Diabetes tipe 2 gagal di penerima: surat sampai, tetapi estafet di dalam sel melemah (resistensi insulin), sehingga pintu GLUT4 jarang dipasang. Pada keduanya glukosa sulit masuk ke sel dan gula darah tetap tinggi.
5. Jika sinyal tidak pernah dimatikan (surat tidak dilepas, fosfat tidak dicopot fosfatase, atau sakelar RAS macet ON), sel terus menerima perintah “tumbuh” walaupun tidak ada pesanan. Sel membelah tanpa kendali, yang menjadi salah satu penyebab kanker.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan pengamatan dan pencatatan	Tabel diisi lengkap dan akurat untuk semua skenario, termasuk jumlah pelari dan waktu respons.	Tabel hampir lengkap; satu skenario kurang rinci.	Beberapa skenario tidak dicatat atau datanya keliru.	Tabel tidak diisi atau tidak sesuai kegiatan.
Pemahaman tahap komunikasi sel	Menjelaskan penerimaan, transduksi, amplifikasi, dan respons dengan tepat serta membedakan jalur larut air dan larut lemak.	Menjelaskan ketiga tahap dengan tepat, tetapi perbedaan kedua jalur kurang lengkap.	Hanya menjelaskan sebagian tahap.	Belum memahami tahap komunikasi sel.
Analisis skenario penyakit	Menentukan titik gagal setiap skenario (pengirim, reseptor, transduksi, tombol OFF) dengan tepat dan memberi alasan.	Titik gagal sebagian besar skenario tepat.	Hanya satu atau dua skenario yang dianalisis dengan tepat.	Belum dapat menganalisis skenario.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Partisipasi dan kerja sama	Aktif menjalankan peran, mengikuti aturan permainan, dan membantu teman.	Menjalankan peran dengan baik, tetapi kurang aktif berdiskusi.	Kurang aktif dan perlu sering diingatkan.	Tidak ikut berperan.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Gula Darah Naik-Turun

Bab 7: Insulin, Pintu Glukosa & Diabetes • LKPD digital • eksperimen maya • SMP-SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengidentifikasi perubahan gula darah, insulin, dan jumlah pintu GLUT4 setelah makan pada tubuh sehat.
2. Peserta didik dapat membandingkan respons tubuh sehat, diabetes tipe 1, dan diabetes tipe 2 terhadap makanan, suntikan insulin, dan olahraga.
3. Peserta didik dapat menganalisis kandungan gula pada label gizi minuman kemasan dan mengaitkannya dengan pencegahan diabetes tipe 2.

B Cerita pembuka

Sepulang sekolah, Bima makan tiga pempek kapal selam dan segelas es teh manis. Kakeknya, yang menderita diabetes tipe 2, hanya boleh makan satu pempek dan diminta jalan kaki sesudahnya. “Kenapa tubuh Kakek berbeda dengan tubuhku?” tanya Bima. Hari ini kamu menjadi peneliti di Negara Sel: pakai simulator gula darah untuk menjawab pertanyaan Bima, lalu periksa berapa banyak gula yang tersembunyi di minuman favoritmu.

C Alat dan bahan

- Gawai (HP, tablet, atau laptop) yang membuka Cellpedia Bab 7.5 Simulator gula darah; satu gawai untuk 2–3 siswa
- 3 kemasan minuman manis yang berbeda (teh botol, susu kemasan, minuman bersoda, dll.) atau foto label gizinya
- Kalkulator dan alat tulis
- Lembar LKPD ini

D Langkah kegiatan

1. Buka Bab 7.5 (Simulator gula darah). Perhatikan jarum gula darah, garis batas 140 dan 200 mg/dL pada grafik, enam tempat pintu GLUT4 di membran sel otot, dan kotak cerita di bawahnya. Ingat: 1 detik di simulator = 8 menit di tubuh.
2. Pilih kondisi **Sehat**. Catat gula darah puasa dan jumlah pintu GLUT4 yang terpasang di membran pada baris pertama tabel.
3. Tekan **Makan 3 pempek**. Amati selama ± 30 detik (± 4 jam di tubuh). Catat gula darah tertinggi, jumlah pintu GLUT4 yang terbuka saat puncak, dan isi kotak cerita.
4. Tekan tombol ulang: simulasi dimulai lagi dengan Bima yang baru selesai makan. Segera nyalakan **Olahraga**. Bandingkan puncak gula darah dan kecepatan turunnya dengan hasil langkah 3.

5. Pilih **Diabetes tipe 1**. Catat gula darah puasanya, lalu tekan **Makan 3 pempek** dan amati. Setelah itu tekan **Suntik insulin** satu atau dua kali, lalu catat perubahannya.
6. Pilih **Diabetes tipe 2**. Tekan **Makan 3 pempek**, lalu amati jumlah insulin dan pintu GLUT4 yang terbuka. Setelah itu nyalakan **Olahraga** dan catat perbedaannya.
7. Bagian 2 (label gizi): baca tabel Informasi Nilai Gizi pada setiap kemasan. Catat takaran saji, jumlah sajian per kemasan, dan gula per sajian (gram) di buku catatanmu.
8. Hitung gula dalam satu kemasan (gula per sajian $\times$ jumlah sajian). Ubah menjadi sendok teh (1 sendok teh gula $\approx$ 4 gram), lalu bandingkan dengan total glukosa di seluruh darah orang dewasa ($\pm$ 5 gram, Bab 7.1).
9. Diskusikan dalam kelompok tiga kebiasaan yang bisa dilakukan remaja untuk mencegah diabetes tipe 2, berdasarkan data simulator dan label gizi. Sajikan dalam poster kecil atau presentasi 2 menit.

E Tabel pengamatan simulator gula darah

Kondisi & aksi	Gula darah awal (mg/dL)	Gula darah tertinggi (mg/dL)	Pintu GLUT4 terbuka (dari 6)	Catatan dari kotak cerita
Sehat · puasa				
Sehat · makan 3 pempek				
Sehat · makan + olahraga				
Tipe 1 · makan 3 pempek				
Tipe 1 · makan + suntik insulin				
Tipe 2 · makan 3 pempek				
Tipe 2 · makan + olahraga				

F Pertanyaan diskusi

1. Pada kondisi sehat, apa yang terjadi pada jumlah pintu GLUT4 di membran setelah Bima makan pempek? Mengapa gula darahnya bisa kembali di bawah 140 mg/dL?

2. Bandingkan gula darah tertinggi pada kondisi sehat, diabetes tipe 1, dan diabetes tipe 2. Kondisi mana yang paling tinggi, dan apa penyebabnya menurut simulator?

3. Mengapa suntikan insulin menurunkan gula darah pada diabetes tipe 1, sedangkan pada diabetes tipe 2 pankreas sudah mengirim banyak insulin tetapi gula darah tetap tinggi?

4. Olahraga membantu menurunkan gula darah pada diabetes tipe 2. Jelaskan jalur yang dipakai otot sehingga pintu GLUT4 tetap bisa dipasang walaupun sel kurang peka insulin.

5. Satu botol teh manis mengandung 25 gram gula. Berapa sendok teh gula itu, dan berapa kali lipat dibandingkan total glukosa di dalam darahmu? Apa artinya bagi kerja pankreas dan sel otot?

6. Berdasarkan data simulator dan label gizi, susunlah dua saran untuk Kakek Bima yang menderita diabetes tipe 2, dan jelaskan dasar biologi sel dari setiap saran.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang peran insulin dan pintu GLUT4 dalam menjaga gula darah, serta perbedaan kegagalan komunikasi sel pada diabetes tipe 1 dan tipe 2.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari kegiatan ini adalah ...
2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...
3. Satu kebiasaan makan atau bergerak yang akan saya ubah mulai minggu ini adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Jumlah pintu GLUT4 di membran bertambah, dari sedikit menjadi hampir semua. Insulin dari pankreas memerintahkan sel otot memasang pintu yang tersimpan di vesikel, sehingga glukosa masuk ke sel otot dan gula darah turun kembali ke rentang normal.
2. Diabetes tipe 1 paling tinggi, bahkan sejak puasa, karena sel beta rusak sehingga tidak ada insulin dan hampir semua pintu tertutup. Diabetes tipe 2 juga tinggi karena sel kurang peka sehingga hanya sedikit pintu terbuka. Pada kondisi sehat, gula darah naik sebentar lalu kembali normal.
3. Pada tipe 1 masalahnya pengirim rusak: surat insulin tidak ada. Insulin suntikan menggantikan surat itu, dan reseptor yang masih normal langsung memerintahkan pemasangan GLUT4. Pada tipe 2 masalahnya penerima kurang dengar (resistensi insulin): estafet di balik reseptor melemah, sehingga walau insulin banyak, pintu GLUT4 tidak cukup dipasang.
4. Kontraksi otot melepas Ca^{2+} dan menyalakan enzim AMPK saat ATP menipis. Keduanya melepas rem AS160 sehingga vesikel GLUT4 dipasang tanpa melewati reseptor insulin. Jalan pintas ini tidak terganggu oleh resistensi insulin.
5. $25 \text{ g} : 4 \text{ g} \approx 6$ sendok teh, kira-kira 5 kali total glukosa di darah ($\pm 5 \text{ g}$). Gula cair masuk ke darah dengan cepat, sehingga pankreas harus melepas banyak insulin dan otot serta hati harus cepat menyimpan glukosa. Bila sering terjadi, sel beta bekerja lembur dan risiko diabetes tipe 2 meningkat.
6. Contoh: (1) jalan kaki ± 15 menit setelah makan, karena kontraksi otot membuka GLUT4 lewat Ca^{2+} dan AMPK tanpa insulin; (2) mengganti minuman manis dengan air putih dan membatasi porsi pempek sesuai Isi Piringku, karena gula cair cepat menaikkan gula darah sementara sel Kakek kurang peka insulin; (3) tidur cukup, karena kurang tidur menurunkan kepekaan sel terhadap insulin. Setiap saran harus disertai alasan biologi sel dan tidak menggantikan nasihat dokter.



Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan pengamatan dan pencatatan data	Semua baris tabel terisi lengkap, angka sesuai simulator, dan catatan kotak cerita relevan.	Sebagian besar baris terisi dengan benar; 1-2 data kurang lengkap.	Hanya sekitar separuh baris terisi atau banyak angka tidak sesuai simulator.	Tabel hampir kosong atau data tidak berasal dari pengamatan.
Pemahaman konsep insulin-GLUT4 dan tipe diabetes	Menjelaskan alur insulin → reseptor → estafet → GLUT4 dan membedakan tipe 1 dan tipe 2 dengan tepat memakai istilah dan analogi buku.	Penjelasan benar, tetapi ada satu langkah yang terlewat atau istilah kurang tepat.	Hanya menyebut insulin menurunkan gula darah tanpa menjelaskan GLUT4 atau perbedaan tipe diabetes.	Konsep keliru, misalnya menyebut diabetes tipe 1 akibat makan gula.
Analisis label gizi dan perhitungan	Perhitungan gula per kemasan dan konversi ke sendok teh benar untuk semua minuman, disertai perbandingan dengan ± 5 g glukosa darah.	Perhitungan benar untuk sebagian besar minuman; perbandingan kurang lengkap.	Ada kesalahan hitung, misalnya lupa mengalikan dengan jumlah sajian.	Tidak melakukan perhitungan.
Saran pencegahan dan kesimpulan	Saran realistis, berbasis data, dan dijelaskan dengan mekanisme sel (GLUT4, jalan pintas olahraga, resistensi insulin).	Saran realistis dengan alasan umum yang benar.	Saran ada, tetapi tanpa alasan biologis.	Tidak ada saran atau sarannya keliru.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Balon Ragi & Buku Kas ATP

Bab 8: PLN Negara Sel • Eksperimen sederhana + permainan kelompok • SMP–SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengidentifikasi gas yang dihasilkan fermentasi ragi serta faktor yang memengaruhi lajunya.
2. Peserta didik dapat membandingkan fermentasi dengan respirasi aerob dari segi tempat, kebutuhan oksigen, dan jumlah ATP.
3. Peserta didik dapat menghitung neraca ATP satu glukosa dalam bentuk buku kas.

B Cerita pembuka

Ibu Bima membuat roti untuk dijual di dekat Jembatan Ampera. Bima heran: adonan yang tadinya kecil bisa mengembang dua kali lipat hanya dengan sesendok ragi. “Ragi itu makhluk hidup bersel satu, dan ia punya genset darurat,” kata Dr. Sela. Hari ini kamu akan menangkap “asap” genset ragi dengan balon, lalu menghitung berapa token listrik ATP yang didapat sel dari satu glukosa.

C Alat dan bahan

- 3 botol plastik bekas air mineral 600 mL, diberi label A, B, dan C
- 3 balon karet berukuran sama dan 3 karet gelang
- Ragi roti instan (± 3 sendok teh) dan gula pasir (± 4 sendok makan)
- Air hangat $\pm 35\text{--}40^\circ\text{C}$ (terasa hangat, bukan panas, di punggung tangan) dan air dingin (air es)
- Corong, sendok teh, sendok makan, dan gelas ukur
- Benang atau meteran jahit, penggaris, spidol, dan jam/stopwatch
- Kartu buku kas ATP berisi nama tahap respirasi (disiapkan guru)

⚠ Keselamatan: Pakai air hangat $\pm 35\text{--}40^\circ\text{C}$, jangan air mendidih, dan minta bantuan guru saat menuang air hangat. Jangan mencicipi atau meminum isi botol. Saat melepas balon, arahkan mulut botol menjauhi wajah. Buang isi botol ke wastafel, lalu cuci tangan dengan sabun.

D Langkah kegiatan

1. Beri label A, B, dan C pada tiga botol. Masukkan 1 sendok teh ragi ke setiap botol memakai corong.
2. Tambahkan 2 sendok makan gula ke botol B dan C. Botol A tidak diberi gula sebagai kontrol.

3. Tuang 150 mL air hangat ke botol A dan B, serta 150 mL air dingin ke botol C. Goyang setiap botol perlahan sampai isinya tercampur.
4. Segera pasang balon yang kempis di mulut setiap botol dan kencangkan dengan karet gelang. Catat waktu mulai.
5. Setiap 10 menit selama 40 menit, ukur keliling balon di bagian terlebar memakai benang, lalu ukur panjang benangnya dengan penggaris. Catat di tabel.
6. Amati juga busa di permukaan cairan dan aroma di dekat mulut botol (tanpa mencicipi). Catat pengamatanmu.
7. Buat grafik garis keliling balon terhadap waktu untuk ketiga botol dalam satu gambar.
8. Lomba buku kas ATP: dalam kelompok, urutkan kartu tahap respirasi (glikolisis, reaksi penghubung, siklus Krebs, fosforilasi oksidatif), lalu isi kolom tempat, ATP dipakai, ATP didapat, NADH/FADH₂, dan CO₂ untuk satu glukosa. Kelompok tercepat yang semua isianannya benar menjadi pemenang.
9. Bandingkan saldo akhir buku kas respirasi aerob ($\pm 30\text{--}32$ ATP) dengan fermentasi ragi di dalam botol (2 ATP). Diskusikan mengapa ragi di dalam botol tertutup tetap bisa hidup.

E Tabel pengamatan keliling balon (cm)

Waktu (menit)	Botol A: ragi + air hangat	Botol B: ragi + gula + air hangat	Botol C: ragi + gula + air dingin
0			
10			
20			
30			
40			

F Pertanyaan diskusi

1. Balon manakah yang paling besar setelah 40 menit? Gas apa yang mengisi balon itu?

2. Mengapa balon A (tanpa gula) hampir tidak mengembang? Apa peran gula bagi ragi?

3. Bandingkan balon B dan C. Mengapa suhu memengaruhi kecepatan fermentasi? Kaitkan dengan kerja enzim.

4. Oksigen di dalam botol yang tertutup balon cepat habis. Jelaskan cara ragi tetap menghasilkan ATP, dan bandingkan jumlah ATP-nya dengan respirasi aerob.

5. Berdasarkan buku kas ATP, tahap mana yang menyumbang ATP terbanyak? Mengapa tahap itu tidak dapat berjalan di dalam botol yang kehabisan oksigen?

6. Rancang percobaan lanjutan untuk menguji apakah jenis zat (gula pasir, gula aren, atau garam) memengaruhi fermentasi ragi. Tuliskan variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, dan ramalan hasilnya.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang hubungan gula, suhu, dan oksigen dengan jumlah CO₂ dan ATP yang dihasilkan sel.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari kegiatan ini adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Jika mengulang percobaan ini, satu hal yang akan saya perbaiki adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Balon B (ragi + gula + air hangat) paling besar. Gas di dalamnya adalah karbon dioksida (CO_2) hasil fermentasi alkohol.
2. Gula adalah bahan bakar ragi. Tanpa glukosa, glikolisis dan fermentasi hampir tidak berjalan, sehingga CO_2 yang terbentuk sangat sedikit. Ragi memecah gula menjadi piruvat, lalu mengubahnya menjadi alkohol dan CO_2 .
3. Fermentasi dijalankan oleh enzim-enzim ragi. Pada suhu hangat enzim bekerja lebih cepat; pada air dingin molekul bergerak lambat sehingga reaksi dan produksi CO_2 melambat. Sebaliknya, air yang terlalu panas merusak enzim (denaturasi) dan mematikan ragi.
4. Ragi menyalakan genset darurat, yaitu fermentasi alkohol. Glikolisis di sitoplasma tidak membutuhkan oksigen dan tetap menghasilkan 2 ATP per glukosa; piruvat diubah menjadi alkohol dan CO_2 . Respirasi aerob menghasilkan ± 30 –32 ATP, jadi fermentasi jauh lebih boros bahan bakar.
5. Fosforilasi oksidatif (± 26 –28 ATP) di membran dalam mitokondria. Tahap ini membutuhkan oksigen sebagai penampung elektron terakhir; tanpa oksigen rantai transpor elektron macet dan turbin ATP sintase berhenti.
6. Variabel bebas: jenis zat (gula pasir, gula aren, garam, tanpa zat). Variabel terikat: keliling balon setelah 30–40 menit. Variabel kontrol: jumlah ragi, jumlah zat, volume dan suhu air, ukuran botol dan balon, serta lama pengamatan. Ramalan: gula pasir dan gula aren mengembangkan balon karena menjadi bahan bakar, sedangkan garam tidak.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pelaksanaan percobaan dan keselamatan	Semua langkah dikerjakan runtut, takaran tepat, aturan keselamatan dipatuhi, dan meja dibersihkan.	Langkah dikerjakan dengan benar, tetapi ada satu takaran atau waktu yang kurang tepat.	Beberapa langkah terlewat atau takaran tidak sama antarbotol.	Percobaan tidak selesai atau aturan keselamatan dilanggar.
Ketepatan data dan grafik	Tabel terisi lengkap setiap 10 menit dan grafik ketiga botol benar (sumbu, satuan, dan keterangan lengkap).	Tabel lengkap, tetapi grafik kurang satu unsur (satuan atau keterangan).	Ada data yang hilang atau grafik salah skala.	Data dan grafik tidak dibuat.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Buku kas ATP	Urutan tahap, tempat, ATP, NADH/FADH ₂ , dan CO ₂ benar semua; total ±30–32 ATP dijelaskan.	Urutan benar dengan 1–2 isian angka yang keliru.	Urutan tahap benar, tetapi banyak angka keliru.	Urutan dan angka sebagian besar keliru.
Penjelasan konsep	Menjelaskan peran gula, suhu (enzim), dan oksigen dengan tepat serta membandingkan fermentasi dan respirasi aerob memakai analogi genset dan PLN.	Penjelasan benar, tetapi salah satu faktor kurang lengkap.	Penjelasan sebagian keliru, misalnya menyebut gas balon adalah oksigen.	Tidak ada penjelasan atau konsep keliru.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Busa Ajaib dari Hati Ayam

Bab 9: Dinas Kebersihan & Daur Ulang • Eksperimen laboratorium sederhana • SMP–SMA • 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengidentifikasi gas yang dihasilkan ketika katalase mengurai hidrogen peroksida.
2. Peserta didik dapat membandingkan aktivitas katalase pada hati ayam mentah, hati ayam rebus, hati yang dihaluskan, dan kentang mentah.
3. Peserta didik dapat menjelaskan pengaruh perebusan (denaturasi) terhadap kerja enzim dan kaitannya dengan tugas peroksisom.

B Cerita pembuka

Lulut Bima lecet saat bermain bola di dekat Benteng Kuto Besak. Di UKS, lukanya ditetesi cairan dari botol cokelat, dan tiba-tiba muncul busa putih. “Ini tanda lukanya kotor, ya?” tanya Bima. Dr. Sela tersenyum, “Bukan. Busa itu hasil kerja petugas pengolah limbah di sel-selmu sendiri.” Hari ini kamu akan membuktikan siapa petugas itu memakai hati ayam dari pasar.

C Alat dan bahan

- Hidrogen peroksida (H_2O_2) 3% dari apotek, ± 100 mL
- Hati ayam mentah ± 50 g dan hati ayam yang sudah direbus 10 menit (disiapkan guru)
- 1 buah kentang mentah
- 5 gelas plastik bening kecil atau tabung reaksi, diberi label 1–5
- Gelas ukur atau sendok teh, penggaris, dan stopwatch
- Pisau kecil, talenan, dan ulekan kecil untuk menghaluskan hati
- Sarung tangan plastik dan kaca mata pelindung
- Lidi dan korek api (hanya dipegang guru) untuk uji bara

⚠ Keselamatan: H_2O_2 3% dapat mengiritasi mata dan kulit: pakai sarung tangan dan kaca mata pelindung, jangan menyentuh mata, dan segera bilas dengan air mengalir bila terkena. Hati ayam mentah dapat membawa bakteri seperti *Salmonella*: jangan dicicipi, pakai talenan khusus, lalu cuci tangan dengan sabun. Gunakan pisau dengan hati-hati di atas talenan. Uji bara lidi hanya dilakukan guru, jauh dari bahan yang mudah terbakar. Buang sisa bahan ke tempat sampah tertutup.

D Langkah kegiatan

1. Kenakan sarung tangan dan kaca mata. Beri label gelas 1–5: (1) H_2O_2 saja, (2) hati mentah, (3) hati rebus, (4) hati mentah yang dihaluskan, (5) kentang mentah.

- Potong hati mentah, hati rebus, dan kentang menjadi potongan yang kira-kira sama besar ($\pm 1 \text{ cm}^3$).
Haluskan satu potong hati mentah di ulekan untuk gelas 4.
- Masukkan setiap bahan ke gelas. Gelas 1 dibiarkan tanpa bahan sebagai kontrol.
- Tuang 10 mL (± 2 sendok teh) H_2O_2 3% ke gelas 1, nyalakan stopwatch, dan amati selama 1 menit.
- Ulangi langkah 4 untuk gelas 2 sampai 5, satu per satu, dengan jumlah H_2O_2 yang sama.
- Setelah 1 menit, ukur tinggi busa (cm) dengan penggaris dan beri skor kecepatan: 0 = tidak ada, + = lambat, ++ = sedang, +++ = cepat. Catat di tabel.
- Demo guru: guru mendekatkan lidi yang membara (tanpa api) ke mulut gelas 2 atau 4. Amati apakah bara menyala lebih terang.
- Tambahkan lagi 5 mL H_2O_2 ke gelas 2 yang busanya sudah berhenti. Amati apakah busa muncul kembali.
- Bersihkan meja, buang bahan ke tempat sampah tertutup, lalu cuci tangan dengan sabun.

E Tabel pengamatan uji katalase

Gelas & bahan	Tinggi busa setelah 1 menit (cm)	Kecepatan (0 / + / ++ / +++)	Pengamatan lain
1. H_2O_2 saja (kontrol)			
2. Hati ayam mentah			
3. Hati ayam rebus			
4. Hati mentah dihaluskan			
5. Kentang mentah			

F Pertanyaan diskusi

- Di gelas mana busa paling banyak dan paling sedikit? Gas apa yang membentuk busa, dan apa buktinya dari uji bara lidi?

- Apa fungsi gelas 1 (H_2O_2 saja) dalam percobaan ini?

3. Mengapa hati rebus hampir tidak berbusa? Kaitkan dengan putih telur yang menjadi padat saat direbus (denaturasi, Bab 4).

4. Mengapa hati yang dihaluskan berbusa lebih cepat daripada potongan hati utuh?

5. Saat H_2O_2 ditambahkan lagi ke gelas 2, busa muncul kembali. Apa artinya tentang enzim katalase?

6. Hati adalah organ pengolah alkohol dan racun. Mengapa sel hati membutuhkan banyak peroksisom dan katalase? Ramalkan apa yang terjadi pada sel bila katalasenya tidak bekerja.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang peran katalase di peroksisom dan pengaruh perebusan terhadap kerja enzim.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari percobaan ini adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Jika mengulang percobaan ini, satu hal yang akan saya ubah agar hasilnya lebih teliti adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Busa terbanyak biasanya di gelas 4 (hati dihaluskan) atau gelas 2 (hati mentah); paling sedikit di gelas 1 dan gelas 3. Gasnya oksigen dari reaksi $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Buktinya, bara lidi menyala lebih terang karena oksigen membantu pembakaran.
2. Gelas 1 adalah kontrol. Gelas ini menunjukkan bahwa H_2O_2 tanpa jaringan hampir tidak terurai dalam waktu singkat, sehingga busa di gelas lain memang disebabkan enzim dari sel.
3. Katalase adalah protein. Panas perebusan merusak bentuk 3D-nya (denaturasi), seperti albumin putih telur yang menggumpal saat direbus. Bagian enzim yang mengikat H_2O_2 rusak sehingga enzim tidak dapat bekerja lagi.
4. Menghaluskan hati memecah banyak sel sehingga lebih banyak katalase yang langsung bersentuhan dengan H_2O_2 (luas permukaan bertambah). Akibatnya reaksi berlangsung lebih cepat.
5. Enzim tidak habis terpakai. Katalase keluar dari reaksi dalam keadaan utuh dan dapat dipakai berulang kali. Busa sempat berhenti karena H_2O_2 (bahan yang diurai) habis, bukan karena enzimnya habis.
6. Peroxisom sel hati mengolah alkohol, asam lemak rantai sangat panjang, dan racun, dan dalam prosesnya menghasilkan H_2O_2 yang berbahaya. Katalase segera mengubahnya menjadi air dan oksigen. Tanpa katalase, H_2O_2 menumpuk dan merusak protein, lemak membran, dan DNA sel, sehingga sel bisa rusak atau mati.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Keselamatan dan keterampilan kerja	Selalu memakai sarung tangan dan kacamata, takaran H_2O_2 sama di setiap gelas, dan meja dibersihkan dengan baik.	Aturan keselamatan dipatuhi, tetapi ada satu takaran yang kurang tepat.	Kadang lupa memakai alat pelindung atau takaran tidak konsisten.	Mengabaikan aturan keselamatan, misalnya mencicipi bahan atau tidak memakai sarung tangan.
Ketepatan pengamatan dan data	Tinggi busa dan skor kecepatan tercatat untuk kelima gelas, disertai pengamatan tambahan yang relevan.	Data lengkap, tetapi pengamatan tambahan kurang.	Data 1–2 gelas tidak tercatat atau tidak diukur.	Tabel hampir kosong.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Penjelasan konsep enzim dan denaturasi	Menjelaskan fungsi kontrol, denaturasi, luas permukaan, dan sifat enzim yang dapat dipakai ulang dengan tepat.	Tiga dari empat konsep dijelaskan dengan tepat.	Hanya satu atau dua konsep yang benar.	Konsep keliru, misalnya menyebut busa berasal dari kotoran luka.
Kesimpulan dan kaitan dengan peroksisom	Kesimpulan didukung data dan mengaitkan katalase dengan tugas peroksisom di sel hati.	Kesimpulan benar, tetapi kaitan dengan peroksisom kurang jelas.	Kesimpulan tidak sesuai data yang dicatat.	Tidak menulis kesimpulan.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Kentang Lembek, Kentang Kaku

Bab 10: Perbatasan & Jalan Raya • Eksperimen sederhana • SMP–SMA • 45 menit + 1 malam

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengidentifikasi arah gerak air (osmosis) pada batang kentang yang direndam dalam larutan dengan kepekatan berbeda.
2. Peserta didik dapat membandingkan perubahan panjang dan kelenturan batang kentang dalam air tawar, larutan garam encer, dan larutan garam pekat.
3. Peserta didik dapat menerapkan konsep hipotonik, isotonik, dan hipertonic untuk menjelaskan cairan infus dan pengawetan ikan asin.

B Cerita pembuka

Di Pasar 16 Ilir, Bima melihat ikan asin yang dijemur sehari-hari tetapi tidak membusuk. Sementara itu, kangkung yang layu di rumah kembali segar setelah direndam air. “Garam dan air sama-sama bisa ‘menyihir’ sel, ya?” tanya Bima. Hari ini kamu akan memakai kentang untuk melihat ke mana air bergerak menembus membran sel, seperti petugas imigrasi yang mengatur lalu lintas di perbatasan.

C Alat dan bahan

- 2 buah kentang berukuran sedang
- Garam dapur dan air matang
- 4 gelas plastik bening, diberi label A–D
- Pisau dapur dan talenan
- Penggaris (skala mm) dan tisu
- Sendok teh, gelas ukur, dan plastik penutup gelas
- Timbangan dapur digital (opsional)

⚠ Keselamatan: Gunakan pisau dengan hati-hati: potong di atas talenan dengan gerakan menjauhi tubuh, atau minta guru memotong batang kentang. Jangan mencicipi larutan maupun kentang yang sudah direndam semalam. Bersihkan meja yang terkena air garam dan cuci tangan setelah praktikum.

D Langkah kegiatan

1. Kupas kentang, lalu potong menjadi 8 batang berukuran sama ($\pm 5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$). Buang ujung yang tidak rata.
2. Siapkan empat larutan, masing-masing 200 mL air matang: A = air tawar, B = $\frac{1}{4}$ sendok teh garam, C = 2 sendok teh garam, D = 4 sendok teh garam. Aduk sampai garam larut.
3. Keringkan batang kentang dengan tisu, ukur panjangnya dengan penggaris sampai milimeter, dan catat sebagai panjang awal. Bila ada timbangan, catat juga massanya.

4. Masukkan dua batang kentang ke setiap gelas sampai terendam seluruhnya. Tutup gelas dengan plastik dan tulis waktu mulai.
5. Sebelum pulang, amati sekali lagi setelah ± 30 menit dan catat perubahan awal yang terlihat. Biarkan gelas semalam di tempat yang sejuk.
6. Keesokan harinya, angkat batang kentang, keringkan dengan tisu, lalu ukur lagi panjangnya dan catat sebagai panjang akhir.
7. Uji kelenturan: pegang satu ujung batang dan coba lengkungkan perlahan. Catat apakah kaku, sedang, atau lembek dan mudah dibengkokkan.
8. Hitung perubahan panjang (akhir – awal) dan persentase perubahannya untuk setiap batang, lalu ambil rata-rata dari dua batang di setiap gelas.
9. Buat grafik batang: jenis larutan (A–D) terhadap persentase perubahan panjang. Diskusikan pola yang kamu temukan dengan kelompok lain.

E Tabel pengamatan batang kentang (rata-rata dua batang)

Gelas & larutan	Panjang awal (mm)	Panjang akhir (mm)	Perubahan (mm)	Perubahan (%)	Kelenturan
A · air tawar					
B · $\frac{1}{4}$ sdt garam					
C · 2 sdt garam					
D · 4 sdt garam					

F Pertanyaan diskusi

1. Di gelas mana batang kentang bertambah panjang dan menjadi kaku? Di gelas mana batang kentang memendek dan lembek?

2. Jelaskan arah gerak air pada gelas A dan gelas D memakai istilah hipotonik dan hipertonic.

3. Sel kentang yang dimasukkan air tidak pecah, padahal sel darah merah di air murni bisa pecah. Mengapa? (Petunjuk: sel tumbuhan memiliki dinding sel.)

4. Berdasarkan grafikmu, perkirakan kepekatan garam yang membuat panjang kentang hampir tidak berubah. Apa sebutan untuk larutan seperti itu, dan apa hubungannya dengan cairan infus NaCl 0,9%?

5. Mengapa ikan asin tidak mudah busuk? Jelaskan dengan bantuan hasil percobaanmu.

6. Pedagang sayur memercikkan air agar sayurnya tetap segar, sedangkan petani yang memberi pupuk terlalu banyak justru membuat tanamannya layu. Jelaskan kedua peristiwa ini dengan konsep osmosis.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang hubungan kepekatan larutan di luar sel dengan arah gerak air dan perubahan ukuran sel.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari percobaan ini adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Contoh peristiwa osmosis lain yang pernah saya lihat dalam kehidupan sehari-hari adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Batang di gelas A (air tawar) biasanya bertambah panjang dan kaku. Batang di gelas C dan D memendek dan lembek, paling jelas di gelas D. Perubahan di gelas B kecil.
2. Di gelas A, larutan luar lebih encer (hipotonik) daripada isi sel kentang, sehingga air masuk ke sel dan sel menegang. Di gelas D, larutan luar lebih pekat (hipertonik), sehingga air keluar dari sel menuju larutan garam dan sel mengerut.
3. Sel tumbuhan dilindungi dinding sel yang kuat. Saat air masuk, sel menekan dinding sehingga menjadi kaku (tegang), tetapi dinding menahan sel agar tidak pecah. Sel darah merah hanya dibatasi membran, sehingga bisa pecah (hemolisis) bila terlalu banyak air masuk.
4. Kepekatan saat perubahan panjang mendekati nol (biasanya di sekitar gelas B) adalah larutan yang isotonik dengan isi sel kentang: air masuk dan keluar seimbang. Cairan infus NaCl 0,9% dipilih karena isotonik dengan darah, sehingga sel darah merah tidak membengkak ataupun mengerut.
5. Garam pekat bersifat hipertonik. Garam menarik air keluar dari sel-sel bakteri pembusuk, seperti batang kentang di gelas D yang kehilangan air. Bakteri yang kekurangan air tidak dapat tumbuh, sehingga ikan menjadi awet.
6. Air yang dipercikkan bersifat hipotonik terhadap sel sayur, sehingga air masuk dan sel kembali tegang (segar). Pupuk berlebihan membuat larutan tanah lebih pekat (hipertonik) daripada isi sel akar, sehingga air justru keluar dari akar dan tanaman layu walaupun tanahnya basah.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Keterampilan kerja dan keselamatan	Batang kentang dipotong seragam dengan aman, larutan dibuat dengan takaran tepat, dan meja dibersihkan.	Kerja aman dan rapi, tetapi ukuran batang kurang seragam.	Takaran larutan atau ukuran batang tidak konsisten sehingga hasil sulit dibandingkan.	Mengabaikan aturan keselamatan atau percobaan tidak diselesaikan.
Ketepatan pengukuran dan perhitungan	Panjang awal dan akhir diukur sampai milimeter, perubahan dan persentase dihitung benar, dan rata-rata dua batang diambil.	Pengukuran lengkap dengan 1-2 kesalahan hitung kecil.	Beberapa data tidak diukur atau persentase tidak dihitung.	Data tidak diukur atau hanya berupa perkiraan.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Penyajian grafik	Grafik batang benar, sumbu diberi judul dan satuan, dan nilai negatif/positif terbaca jelas.	Grafik benar, tetapi kurang satu keterangan.	Grafik salah skala atau tidak sesuai data.	Grafik tidak dibuat.
Penjelasan konsep osmosis	Menjelaskan arah gerak air dengan istilah hipotonik, isotonik, dan hipertonic serta menerapkannya pada infus, ikan asin, dan tanaman.	Penjelasan benar, tetapi penerapan pada kehidupan sehari-hari kurang lengkap.	Arah gerak air benar, tetapi istilah sering tertukar.	Konsep keliru, misalnya menyebut garam masuk ke sel sehingga kentang memendek.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Berburu Mitosis di Ujung Akar Bawang

Bab 11: Negara Membelah Diri • Praktikum mikroskop + model plastisin • SMA (SMP dengan bimbingan guru) • 2 × 45 menit (akar ditumbuhkan 3–4 hari sebelumnya)

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengidentifikasi fase-fase mitosis pada preparat ujung akar bawang merah.
2. Peserta didik dapat menghitung indeks mitosis dan persentase sel di setiap fase.
3. Peserta didik dapat menganalisis hubungan jumlah sel di setiap fase dengan lamanya fase tersebut dalam siklus sel.
4. Peserta didik dapat memodelkan pergerakan kromosom selama mitosis memakai plastisin.

B Cerita pembuka

Luka lecet di lutut Bima sembuh dalam seminggu, dan rambutnya terus memanjang. “Berarti sel-selku sedang membelah sekarang juga?” tanya Bima. Dr. Sela mengambil sebutir bawang merah dari dapur. “Ujung akar bawang adalah kota yang paling sibuk membelah. Mari kita intip negara-negara kembar yang sedang lahir, lalu kita hitung berapa lama setiap fasenya.”

C Alat dan bahan

- Bawang merah yang akarnya sudah ditumbuhkan di atas gelas berisi air selama 3–4 hari (panjang akar ± 1 –2 cm)
- Larutan HCl 1 M dan pewarna asetokarmin (disiapkan guru atau laboran)
- Mikroskop cahaya, kaca objek, dan kaca penutup
- Silet atau cutter, pinset, pipet tetes, dan tisu
- Penangas air ± 60 °C atau lampu spiritus (dioperasikan guru)
- Sarung tangan, kaca mata pelindung, dan jas lab
- Plastisin dua warna, benang wol, dan kertas karton

⚠ Keselamatan: HCl dan asetokarmin (mengandung asam asetat) bersifat korosif dan dapat menodai kulit: pakai sarung tangan, kaca mata pelindung, dan jas lab. Bila terkena kulit atau mata, segera bilas dengan air mengalir dan lapor guru. Pemanasan dengan penangas atau lampu spiritus dilakukan guru atau di bawah pengawasan langsung; jangan mengarahkan tabung atau kaca objek yang dipanaskan ke wajah. Silet dan kaca objek tajam: potong di atas alas, dan buang pecahan kaca ke wadah khusus. Cuci tangan setelah praktikum.

D Langkah kegiatan

1. Tiga sampai empat hari sebelumnya: letakkan bawang merah di mulut gelas berisi air sehingga pangkalnya menyentuh air. Ganti airnya setiap hari sampai akar tumbuh ± 1 –2 cm.

- Potong 2–3 mm ujung akar (bagian paling putih) dengan silet, lalu masukkan ke tabung kecil berisi HCl 1 M.
- Guru menghangatkan ujung akar dalam HCl pada $\pm 60^{\circ}\text{C}$ selama ± 5 menit agar jaringan lunak dan sel mudah dipisahkan.
- Pindahkan ujung akar ke kaca objek, bilas dengan setetes air, lalu teteskan 1–2 tetes asetokarmin. Diamkan ± 5 menit agar kromosom berwarna merah.
- Tutup dengan kaca penutup, lapisi dengan tisu, lalu tekan perlahan dengan ibu jari sampai jaringan menyebar tipis. Jangan menggeser kaca penutup.
- Amati di mikroskop mulai dari perbesaran lemah (objektif $10\times$). Cari daerah dengan sel kecil berbentuk kotak, lalu ganti ke perbesaran kuat (objektif $40\times$).
- Dalam satu bidang pandang, hitung jumlah sel di interfase, profase, metafase, anafase, dan telofase. Ulangi di dua bidang pandang lain, lalu jumlahkan.
- Gambar satu contoh sel dari setiap fase yang kamu temukan dan beri keterangan (kromosom, bidang tengah, kutub, selubung inti).
- Buat 2 pasang kromosom dari plastisin dua warna. Peragakan fotokopi di fase S, lalu gerakan kromosom dari profase sampai sitokinesis di atas karton, dengan benang wol sebagai gelendong. Cocokkan urutannya dengan permainan “Urutkan Fase Mitosis” di Bab 11.4.

E Tabel penghitungan sel ujung akar bawang merah

Fase	Bidang pandang 1	Bidang pandang 2	Bidang pandang 3	Jumlah	Persentase (%)
Interfase					
Profase					
Metafase					
Anafase					
Telofase					
Total sel					

F Pertanyaan diskusi

- Fase apa yang paling banyak kamu temukan? Ciri apa yang kamu pakai untuk mengenalinya?

- Hitung indeks mitosis preparatmu: $(\text{jumlah sel yang sedang mitosis} \div \text{jumlah seluruh sel}) \times 100\%$.

3. Mengapa sel di interfase jauh lebih banyak daripada sel yang sedang mitosis? Kaitkan dengan jam siklus sel di Bab 11.2.

4. Mengapa praktikum ini memakai ujung akar, bukan potongan daun atau umbi bawang?

5. Anggap satu siklus sel ujung akar bawang berlangsung ± 24 jam. Jika 2% sel ditemukan di metafase, perkirakan lama metafase dalam menit dan jelaskan asumsi yang kamu pakai.

6. Kolkisin (Bab 10.5) mencegah tubulin menyusun mikrotubulus. Ramalkan apa yang akan kamu lihat di preparat bila akar bawang direndam kolkisin beberapa jam sebelum diamati, dan jelaskan alasannya.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang urutan fase mitosis, ciri setiap fase, dan mengapa interfase menjadi bagian terpanjang siklus sel.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari praktikum ini adalah ...

2. Fase yang paling sulit saya kenali di mikroskop adalah ... karena ...

3. Jika mengulang praktikum, cara saya membuat preparat yang lebih baik adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Interfase paling banyak. Cirinya: inti bulat utuh dengan benang kromatin yang tampak merata, dan kromosom belum terlihat jelas.
2. Contoh: 20 sel mitosis dari 200 sel $\rightarrow$ indeks mitosis = $20 \div 200 \times 100\% = 10\%$. Angka setiap kelompok berbeda; yang dinilai adalah rumus dan cara hitungnya.
3. Interfase (G1, S, G2) memakan sebagian besar waktu siklus sel, sedangkan fase M paling singkat. Karena sel membelah tidak serempak, peluang menemukan sel di suatu fase sebanding dengan lama fase itu.
4. Ujung akar mengandung jaringan meristem yang sel-selnya aktif membelah untuk memanjangkan akar. Sel daun dan umbi sebagian besar sudah berhenti membelah, mirip sel di G0, sehingga hampir tidak ada sel yang sedang mitosis.
5. Lama metafase $\approx 2\% \times 24 \text{ jam} = 0,48 \text{ jam} \approx 29 \text{ menit}$. Asumsinya: sel membelah tidak serempak, dan jumlah sel di suatu fase sebanding dengan lama fase tersebut.
6. Kolkisin mencegah pembentukan gelendong, sehingga kromosom tidak bisa dikait dari dua kutub. Pos pemeriksaan gelendong menahan sel sebelum anafase. Preparat akan menunjukkan banyak sel dengan kromosom yang sudah memadat tetapi tidak berbaris rapi di bidang tengah, dan hampir tidak ada anafase atau telofase.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pembuatan preparat dan keselamatan	Preparat tipis dan merata, kromosom terwarnai jelas, dan semua aturan keselamatan dipatuhi.	Preparat dapat diamati, tetapi sebagian jaringan bertumpuk; keselamatan dipatuhi.	Preparat terlalu tebal atau pucat sehingga fase sulit dikenali.	Preparat gagal dibuat atau aturan keselamatan dilanggar.
Identifikasi fase dan gambar	Minimal empat fase dikenali dengan benar, gambar jelas, dan keterangan lengkap.	Tiga fase dikenali dengan benar dan gambar cukup jelas.	Hanya interfase dan satu fase lain yang dikenali.	Fase tidak dapat dikenali atau gambar tidak sesuai pengamatan.
Pengolahan data	Jumlah sel dari tiga bidang pandang tercatat, persentase dan indeks mitosis dihitung benar, dan perkiraan lama fase disertai asumsi.	Perhitungan benar dengan satu kesalahan kecil.	Data kurang lengkap atau banyak kesalahan hitung.	Data tidak diolah.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Model plastisin dan penjelasan	Model menunjukkan fotokopi kromosom, perbedaan kromosom dan kromatid, serta urutan fase yang benar sampai sitokinesis.	Urutan fase benar, tetapi fotokopi kromosom di fase S tidak diperagakan.	Urutan fase sebagian keliru.	Model tidak dibuat atau tidak menggambarkan mitosis.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Kaus Kaki Ayah, Kaus Kaki Ibu

Bab 12: Warisan Dua Edisi • Simulasi model + LKPD digital (kalkulator Punnett) • SMP–SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat memodelkan tahap meiosis I dan II, termasuk pindah silang dan pemilahan bebas, memakai pasangan kaus kaki.
2. Peserta didik dapat membedakan pemisahan kromosom homolog pada meiosis I dengan pemisahan kromatid saudara pada meiosis II.
3. Peserta didik dapat membandingkan hasil lempar koin dengan peluang teoretis diagram Punnett golongan darah.

B Cerita pembuka

Bima dan kakak perempuannya lahir dari ayah dan ibu yang sama, tetapi golongan darah mereka berbeda: Bima bergolongan O, sedangkan kakaknya AB. “Kok bisa? Padahal Ayah A dan Ibu B!” seru Bima. Hari ini kamu akan memakai kaus kaki untuk memeragakan cara “perpustakaan saku” (sel telur dan sperma) dibuat, lalu melempar koin untuk menguji peluang golongan darah anak-anak di keluarga Bima.

C Alat dan bahan

- 4 pasang kaus kaki bersih: sepasang panjang biru, sepasang panjang merah, sepasang pendek biru, dan sepasang pendek merah (biru = edisi ayah, merah = edisi ibu)
- 4 jepit jemuran sebagai sentromer
- Stiker kecil atau potongan selotip kertas berwarna biru dan merah (penanda pindah silang)
- Tali rafia untuk bidang tengah dan kapur atau kertas untuk menggambar lingkaran sel di meja/lantai
- 2 koin logam, selotip kertas, dan spidol untuk menandai sisi koin
- Gawai untuk membuka Kalkulator Golongan Darah di Bab 12.4

D Langkah kegiatan

1. Buat sel induk ($2n = 4$) di atas meja: letakkan satu kaus kaki dari setiap jenis (panjang biru, panjang merah, pendek biru, pendek merah). Panjang dan pendek mewakili dua judul buku yang berbeda.
2. Fase S (fotokopi): pasangkan setiap kaus kaki dengan kembarannya, lalu jepit bagian tengahnya dengan jepit jemuran. Kini setiap kromosom terdiri atas dua kromatid saudara.

3. Profase I: dekatkan kromosom panjang biru dengan panjang merah, serta pendek biru dengan pendek merah (pasangan homolog). Peragakan pindah silang: tempel stiker merah di ujung salah satu kaus kaki biru dan stiker biru di ujung salah satu kaus kaki merah dalam pasangan yang sama.
4. Metafase I: jajarkan pasangan homolog berdua-dua di sepanjang tali bidang tengah. Lempar satu koin untuk setiap pasangan guna menentukan apakah edisi ayah berada di kiri atau kanan (pemilahan bebas).
5. Anafase I–telofase I: tarik setiap kromosom homolog, yang jepitnya masih utuh, ke kutub yang berlawanan. Kini terbentuk dua sel; catat isinya.
6. Meiosis II: di setiap sel, lepas jepit jemuran dan pisahkan kromatid saudara ke kutub berlawanan. Hasilnya empat sel haploid. Gambar dan catat isi setiap gamet (warna kaus kaki dan stiker).
7. Bandingkan keempat gamet kelompokmu dengan gamet kelompok lain. Hitung berapa kombinasi berbeda yang muncul di kelas.
8. Bagian 2 (lempar koin): beri tanda pada koin 1 sebagai ayah AO (sisi gambar = A, sisi angka = O) dan koin 2 sebagai ibu BO (sisi gambar = B, sisi angka = O). Lempar kedua koin bersamaan 40 kali, lalu catat golongan darah anak dari setiap lemparan dengan turus.
9. Buka Kalkulator Golongan Darah di Bab 12.4, pilih ayah A (genotipe AO) dan ibu B (genotipe BO), lalu bandingkan persentase teoretis dengan hasil lemparanmu. Gabungkan data seluruh kelas dan bandingkan lagi.

E Tabel hasil lempar dua koin (40 kali)

Golongan darah anak (genotipe)	Turus	Jumlah	Persentase hasil (%)	Peluang teoretis (%)	Data seluruh kelas (%)
AB (AB)					
A (AO)					
B (BO)					
O (OO)					

F Pertanyaan diskusi

1. Berapa jumlah kromosom (kaus kaki) di sel induk dan di setiap gamet pada model ini? Apa sebutan untuk kedua keadaan tersebut?

2. Apa yang dipisahkan pada meiosis I, dan apa yang dipisahkan pada meiosis II? Jelaskan berdasarkan model kaus kakimu.

3. Mengapa gamet kelompokmu berbeda dengan gamet kelompok lain? Sebutkan dua “mesin pengacak” yang sudah kamu peragakan.

4. Bandingkan persentase hasil lemparan kelompokmu dan data seluruh kelas dengan peluang teoretis. Mengapa data seluruh kelas biasanya lebih mendekati peluang teoretis?

5. Jelaskan dengan diagram Punnett bagaimana Bima (O) dan kakaknya (AB) bisa lahir dari ayah bergolongan A dan ibu bergolongan B.

6. Pada manusia $2n = 46$. Hitung jumlah kombinasi pemilahan bebas untuk satu gamet, lalu jelaskan mengapa jumlah kemungkinan anak yang berbeda dari satu pasangan orang tua sebenarnya jauh lebih besar lagi.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang perbedaan meiosis I dan meiosis II, sumber keunikan setiap anak, dan cara membaca peluang golongan darah dengan diagram Punnett.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari kegiatan ini adalah ...
2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...
3. Pertanyaan tentang pewarisan sifat di keluarga saya yang ingin saya selidiki adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Sel induk berisi 4 kromosom ($2n = 4$, diploid). Setiap gamet berisi 2 kromosom ($n = 2$, haploid), yaitu satu kromosom panjang dan satu kromosom pendek.
2. Meiosis I memisahkan pasangan kromosom homolog (edisi ayah dan edisi ibu) sementara jepit masih utuh. Meiosis II memisahkan kromatid saudara setelah jepit dilepas, mirip mitosis.
3. Karena pindah silang (stiker yang ditukar menghasilkan kromatid campuran ayah-ibu) dan pemilahan bebas (lemparan koin menentukan letak edisi ayah di kiri atau kanan). Kedua proses ini berlangsung acak sehingga hasil setiap kelompok berbeda.
4. Peluang teoretis setiap golongan adalah 25%. Hasil kelompok bisa menyimpang karena peristiwa acak dan jumlah lemparan sedikit. Makin banyak lemparan (data seluruh kelas), makin dekat hasilnya dengan peluang teoretis.
5. Ayah harus bergenotipe AO dan ibu BO. Kotak Punnett: AB, AO, BO, OO, masing-masing 25%. Bima mewarisi O dari ayah dan O dari ibu (OO), sedangkan kakaknya mewarisi A dari ayah dan B dari ibu (AB, kodominan).
6. Pemilahan bebas: $2^{23} \approx 8,4$ juta kombinasi per gamet. Satu pasangan orang tua: $\approx 8,4$ juta $\times$ 8,4 juta ≈ 70 triliun kombinasi anak. Jumlah sebenarnya jauh lebih besar karena pindah silang terjadi puluhan kali setiap meiosis dan menghasilkan kromosom campuran yang baru.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan peragaan model meiosis	Semua tahap diperagakan berurutan: fotokopi, pasangan homolog, pindah silang, pemilahan bebas, meiosis I, dan meiosis II, dengan empat gamet haploid yang benar.	Tahap berurutan, tetapi pindah silang atau pemilahan bebas tidak diperagakan.	Tertukar antara pemisahan homolog dan pemisahan kromatid saudara.	Model tidak menggambarkan meiosis.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pencatatan dan pengolahan data lemparan	40 lemparan tercatat, persentase dihitung benar, dan dibandingkan dengan peluang teoretis serta data kelas.	Data lengkap dengan satu kesalahan hitung kecil.	Lemparan kurang dari 40 kali atau persentase tidak dihitung.	Tabel hampir kosong.
Penjelasan konsep meiosis dan pewarisan	Menjelaskan haploid–diploid, perbedaan meiosis I dan II, sumber keunikan, serta diagram Punnett keluarga Bima dengan tepat.	Tiga dari empat konsep dijelaskan dengan tepat.	Hanya satu atau dua konsep yang benar.	Konsep keliru, misalnya menyebut gamet berisi 46 kromosom.
Kerja sama kelompok	Semua anggota berperan aktif, bergiliran memeragakan, dan saling menjelaskan.	Sebagian besar anggota aktif.	Kegiatan didominasi satu atau dua anggota.	Kelompok tidak bekerja sama.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Tiga Kementerian dari Satu Bola Plastisin

Bab 13: Membangun Negara Baru • Pembuatan model + LKPD digital (kalender kehamilan) • SMP-SMA • 2 x 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat memodelkan urutan perkembangan awal embrio, mulai dari zigot, pembelahan, morula, dan blastokista sampai tiga lapisan lembaga dan tabung saraf, memakai plastisin.
2. Peserta didik dapat mengelompokkan organ tubuh berdasarkan lapisan lembaga asalnya: ektoderm, mesoderm, dan endoderm.
3. Peserta didik dapat mengolah data Kalender kehamilan maya di Bab 13.5 untuk menjelaskan hubungan usia kehamilan, peristiwa perkembangan, dan masa peka terhadap teratogen.
4. Peserta didik dapat menyusun pesan pencegahan teratogen yang akurat dan santun dalam bentuk poster.

B Cerita pembuka

Bibi baru pulang dari Puskesmas membawa buku KIA dan sebungkus tablet tambah darah. “Kata bidan, usia kehamilan Bibi 8 minggu dan jantung adik sepupumu sudah berdetak,” katanya sambil tersenyum. Bima heran, “Padahal perut Bibi belum kelihatan besar, dan Bibi baru tahu hamil beberapa minggu yang lalu!” Hari ini kamu akan membangun perjalanan adik sepupu Bima dari satu sel memakai plastisin, lalu menelusurinya minggu demi minggu dengan Kalender kehamilan maya.

C Alat dan bahan

- Plastisin atau lilin mainan lima warna: krem atau putih (sel-sel awal), hijau (trofoblas), biru (ektoderm), merah (mesoderm), dan kuning (endoderm)
- Karton ukuran A3 sebagai alas, spidol, dan penggaris
- Pisau plastik atau seutas benang untuk memotong plastisin
- Tusuk gigi atau lidi (untuk notokord dan tiang bendera label) serta potongan kertas kecil untuk 16 kartu organ
- Gawai untuk membuka Kalender kehamilan maya di Bab 13.5
- Kertas HVS A4 dan pensil warna untuk poster

D Langkah kegiatan

1. Zigot: gambar lingkaran berdiameter ± 7 cm di karton sebagai zona pelusida. Buat satu bola plastisin krem berdiameter ± 4 cm, letakkan di tengah lingkaran, lalu beri label “hari 1 • zigot (46 kromosom)”.

2. Pembelahan: potong bola menjadi 2 bagian sama besar dan bulatkan lagi, lalu potong setiap bola hingga menjadi 4, kemudian 8 sel. Jangan menambah plastisin! Ukur diameter satu sel pada setiap tahap dan catat di buku kerjamu.
3. Morula: belah lagi hingga ± 16 sel kecil, lalu tempelkan satu sama lain menjadi bola padat mirip buah murbei. Beri label “hari 3–4 · morula”.
4. Blastokista (penampang): di bagian lain karton, susun butiran plastisin hijau membentuk cincin (trofoblas) dengan ruang kosong di tengahnya (rongga berisi cairan). Tempelkan gumpalan plastisin krem di satu sisi bagian dalam cincin (massa sel dalam). Beri label “hari 5 · blastokista” dan catatan “menetas dari zona pelusida, lalu tertanam di endometrium pada hari 6–10”.
5. Gastrulasi: pipihkan plastisin biru, merah, dan kuning menjadi lembaran berukuran $\pm 12 \times 5$ cm. Tumpuk dengan urutan biru di atas (ektoderm), merah di tengah (mesoderm), dan kuning di bawah (endoderm). Sisipkan sebatang tusuk gigi memanjang di tengah lapisan merah sebagai notokord.
6. Neurulasi: potong jalur selebar ± 2 cm dari lembar biru tepat di atas notokord (lempeng saraf), gulung menjadi tabung, lalu letakkan kembali di atas notokord, seperti daun pisang yang digulung membungkus pempek lenjer. Satukan kedua tepi lembar biru yang tersisa di atas tabung sebagai calon kulit. Iris model melintang dengan benang, gambar penampangnya, lalu bandingkan dengan animasi di Bab 13.3.
7. Tulis 16 kartu organ, tempelkan pada tusuk gigi sebagai bendera, lalu tancapkan pada lapisan asalnya: lapisan luar kulit (epidermis), rambut, otak, sumsum tulang belakang, lensa mata, email gigi, jantung, otot rangka, tulang, ginjal, sel darah, hati, pankreas, lapisan dalam usus, lapisan dalam saluran napas, dan kelenjar tiroid.
8. Kalender kehamilan maya: buka Bab 13.5 dan geser usia kehamilan ke setiap minggu yang ada di tabel. Catat usia setelah pembuahan, panjang, perbandingan ukuran, peristiwa penting, dan tingkat kepekaan terhadap teratogen.
9. Poster: bersama kelompokmu, buat poster A4 berjudul “Menjaga Calon Warga Negara” yang memuat minimal tiga ancaman teratogen yang dapat dicegah (Bab 13.7) beserta cara pencegahannya. Gunakan bahasa yang ramah, tidak menakut-nakuti, dan tidak menyalahkan siapa pun.
10. Pajang model dan poster, lalu lakukan kunjungan galeri: tuliskan satu pujian dan satu pertanyaan untuk karya kelompok lain.

E Tabel pengamatan Kalender kehamilan maya

Usia kehamilan dari HPHT	Usia setelah pembuahan	Panjang	Seukuran	Peristiwa penting	Kepekaan terhadap teratogen
Minggu 4					
Minggu 6					
Minggu 8					
Minggu 10					

Usia kehamilan dari HPHT	Usia setelah pembuahan	Panjang	Seukuran	Peristiwa penting	Kepekaan terhadap teratogen
Minggu 12					
Minggu 20					
Minggu 28					
Minggu 40					

F Pertanyaan diskusi

1. Bagaimana jumlah dan ukuran sel berubah dari zigot sampai morula pada modelmu? Mengapa embrio yang asli juga tidak bertambah besar pada tahap ini?

2. Sebutkan dua kelompok sel pada blastokista dan apa yang kelak dibentuk oleh masing-masing kelompok.

3. Tuliskan organ-organ yang kamu tancapkan pada ektoderm, mesoderm, dan endoderm. Organ mana yang paling sulit ditentukan asalnya, dan mengapa?

4. Berdasarkan tabelmu, usia kehamilan 8 minggu yang disebut bidan sama dengan berapa minggu setelah pembuahan? Mengapa ada selisih? Pada usia kehamilan (dari HPHT) berapa jantung mulai berdenyut dan tabung saraf menutup?

5. Menurut simulator, kapan kepekaan terhadap teratogen paling tinggi? Jelaskan alasannya dengan mengaitkannya pada model yang kamu buat, lalu jelaskan arti “semua atau tidak sama sekali” pada minggu-minggu sebelumnya.

6. Seorang tetangga berkata kepada Bibi, “Tidak perlu repot minum tablet tambah darah dan periksa ke bidan sekarang. Janin baru benar-benar terbentuk kalau perut sudah besar.” Bantahlah pendapat itu dengan data dari tabel dan modelmu, lalu jelaskan mengapa remaja putri pun dianjurkan minum tablet tambah darah.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang urutan perkembangan dari zigot sampai organogenesis, asal organ dari tiga lapisan lembaga, dan alasan kesehatan calon ibu perlu dijaga sejak sebelum hamil.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari kegiatan ini adalah ...
2. Bagian model yang paling sulit saya buat dan cara saya mengatasinya adalah ...
3. Satu pesan tentang kehamilan yang sehat yang ingin saya sampaikan kepada keluarga saya adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Jumlah sel berlipat ganda ($1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow \pm 16$), tetapi setiap sel makin kecil karena plastisin hanya dibagi-bagi tanpa ditambah. Pada embrio asli, zigot membelah dengan mitosis tanpa tumbuh di antara pembelahan, masih terbungkus zona pelusida, dan belum mendapat makanan dari ibu. Karena itu ukurannya tetap kira-kira sebesar zigot ($\pm 0,1$ mm), seperti kue lapis yang terus dipotong.
2. Trofoblas (lapisan luar) kelak membentuk bagian janin dari plasenta dan mengirim hormon hCG ke tubuh ibu. Massa sel dalam kelak membentuk seluruh tubuh bayi. Di antara keduanya terdapat rongga berisi cairan.

3. Ektoderm: lapisan luar kulit, rambut, otak, sumsum tulang belakang, lensa mata, dan email gigi. Mesoderm: jantung, otot rangka, tulang, ginjal, dan sel darah. Endoderm: hati, pankreas, lapisan dalam usus, lapisan dalam saluran napas, dan kelenjar tiroid. Organ yang sering membingungkan misalnya kulit (lapisan luarnya dari ektoderm, tetapi dermis di bawahnya dari mesoderm) dan usus (lapisan dalamnya dari endoderm, tetapi otot dindingnya dari mesoderm). Artinya, satu organ dapat dibangun oleh lebih dari satu kementerian.
4. Sekitar 6 minggu setelah pembuahan. Dokter dan bidan menghitung sejak hari pertama haid terakhir (HPHT), yang terjadi sekitar 2 minggu sebelum pembuahan, karena tanggal haid lebih mudah diketahui daripada tanggal pembuahan. Jantung mulai berdenyut sekitar hari ke-22 setelah pembuahan ($\pm$ minggu ke-5-6 dari HPHT), dan tabung saraf menutup sekitar hari ke-28 ($\pm$ minggu ke-6 dari HPHT). Simulator mencatat keduanya pada minggu ke-6.
5. Paling tinggi pada minggu ke-5 sampai ke-10 dari HPHT (minggu ke-3 sampai ke-8 setelah pembuahan), yang disebut simulator “sangat peka”. Pada masa ini tiga lapisan lembaga sedang membangun hampir semua organ, seperti saat modelmu melipat lempeng saraf menjadi tabung, sehingga gangguan kecil dapat menjadi cacat bentuk yang besar. Pada dua minggu pertama setelah pembuahan, embrio masih berupa sedikit sel yang belum terspesialisasi: kerusakan berat membuat embrio gugur, sedangkan kerusakan ringan dapat digantikan sel lain sehingga embrio pulih sepenuhnya. Setelah minggu ke-8 setelah pembuahan kepekaan menurun, tetapi otak tetap peka sampai lahir.
6. Pendapat itu keliru. Pada usia kehamilan 8 minggu ($\pm$ 6 minggu setelah pembuahan), jantung sudah berdenyut, tabung saraf sudah menutup, serta tunas lengan, tungkai, dan jari sedang terbentuk, padahal panjang embrio baru $\pm$ 1,6 cm dan perut belum tampak membesar. Hampir semua organ sudah mulai dibangun sebelum minggu ke-10 dari HPHT, sehingga gizi yang baik dan pemeriksaan kehamilan sejak awal (minimal 6 kali) sangat penting. Remaja putri dianjurkan minum tablet tambah darah (zat besi dan asam folat) karena tabung saraf menutup sekitar 4 minggu setelah pembuahan, sering sebelum seseorang tahu dirinya hamil. Cadangan asam folat dan zat besi perlu cukup sejak sebelum hamil, sekaligus untuk mencegah anemia.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan model perkembangan embrio	Semua tahap dibuat berurutan dan berlabel: zigot, pembelahan tanpa menambah plastisin, morula, blastokista (trofoblas, massa sel dalam, rongga), tiga lapisan dengan warna yang benar, notokord, dan tabung saraf.	Urutan tahap benar, tetapi satu bagian atau label kurang.	Ada tahap yang tertukar atau warna lapisan lembaga keliru.	Model tidak selesai atau tidak menggambarkan perkembangan embrio.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pencatatan data kalender kehamilan	Kedelapan baris terisi lengkap dan akurat, termasuk usia setelah pembuahan dan tingkat kepekaan terhadap teratogen.	Data lengkap, tetapi ada satu atau dua isian yang kurang tepat.	Beberapa baris atau kolom tidak terisi.	Tabel hampir kosong.
Penjelasan konsep embriologi	Menjelaskan pembelahan tanpa membesar, asal organ dari tiga lapisan lembaga, selisih HPHT dan pembuahan, serta masa peka dengan tepat.	Tiga dari empat konsep dijelaskan dengan tepat.	Hanya satu atau dua konsep yang tepat.	Konsep keliru, misalnya menyebut jantung baru terbentuk setelah perut ibu membesar.
Poster pencegahan teratogen	Memuat minimal tiga ancaman beserta cara pencegahan yang akurat, mengajak memeriksakan kehamilan ke tenaga kesehatan, dan memakai bahasa yang ramah serta tidak menyalahkan.	Isi akurat, tetapi hanya memuat dua ancaman atau belum mengajak ke tenaga kesehatan.	Ada informasi yang keliru atau bahasanya menakutkan.	Poster tidak dibuat atau isinya tidak berkaitan dengan teratogen.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Poster Buronan: 8 Pelanggaran Sel Pemberontak

Bab 14: Sel yang Memberontak • Proyek poster • SMP–SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengidentifikasi ciri-ciri sel kanker dan aturan sel normal yang dilanggarnya.
2. Peserta didik dapat membedakan onkogen dan gen penekan tumor dengan analogi pedal gas macet dan rem blong.
3. Peserta didik dapat menganalisis faktor risiko kanker dan menyusun pesan pencegahan yang benar secara ilmiah.

B Cerita pembuka

Bima melihat spanduk di puskesmas dekat rumahnya di Palembang: “Imunisasi HPV untuk anak sekolah dasar”. Malamnya, grup WhatsApp keluarga ramai oleh pesan berantai yang bilang kanker bisa menular lewat makan pempek sepiring berdua. Bima bingung mana yang benar. Tugas kelompokmu: menjadi tim penyidik Negara Sel yang membuat poster buronan sel pemberontak sekaligus kampanye pencegahan yang benar.

C Alat dan bahan

- Kertas karton atau manila (1 lembar per kelompok)
- Spidol warna, pensil warna, dan penggaris
- Gunting dan lem
- Kartu undian berisi nama 8 pelanggaran sel kanker (disiapkan guru)
- Buku Cellpedia Bab 14 atau gawai untuk membuka subbab 14.2, 14.3, dan 14.5
- Kertas catatan kecil (sticky note) untuk galeri berjalan

D Langkah kegiatan

1. Bentuk 4 kelompok (atau 8 kelompok kecil). Setiap kelompok mengambil kartu undian berisi 2 dari 8 pelanggaran sel kanker di subbab 14.3.
2. Baca subbab 14.2 dan 14.3. Untuk setiap pelanggaran, tuliskan nama pelanggaran, aturan sel normal yang dilanggar, dan molekul atau gen yang terlibat (misalnya p53, telomerase, VEGF, atau PD-L1).
3. Rancang poster “DICARI: Sel Pemberontak” pada karton. Gambarkan sel pemberontak, dua pelanggaran kelompokmu, dan “barang bukti” berupa molekul atau gen yang terlibat.
4. Tambahkan kotak “Jejak di bab lain” yang mengaitkan pelanggaranmu dengan bab sebelumnya, misalnya apoptosis (Bab 9), telomer (Bab 11), efek Warburg (Bab 8), atau sel T (Bab 16).

- Pilih satu faktor risiko dari tabel subbab 14.5 (asap rokok, HPV, hepatitis B, sinar UV, atau alkohol dan obesitas). Tulis tiga pesan pencegahan yang singkat, benar, dan mudah diingat di bagian bawah poster.
- Tambahkan satu kotak “LURUSKAN!” yang meluruskan satu mitos tentang kanker yang pernah kamu dengar.
- Tempel poster di dinding kelas. Lakukan galeri berjalan: setiap kelompok mengunjungi poster lain selama 3 menit, lalu menempelkan satu catatan kecil berisi pertanyaan atau saran.
- Lengkapi tabel rangkuman 8 pelanggaran berdasarkan poster kelompok lain.
- Perbaiki poster berdasarkan masukan, lalu jawab pertanyaan diskusi secara individu.

E Tabel rangkuman 8 pelanggaran

Pelanggaran	Aturan sel normal yang dilanggar	Molekul atau gen yang terlibat	Kaitan dengan bab lain
1. Menyalakan gas sendiri			
2. Menerobos rambu berhenti			
3. Menolak pensiun			
4. Membelah tanpa batas			
5. Membangun jalan liar			
6. Menyusup ke negeri lain			
7. Rakus glukosa			
8. Menyamar dari tentara			

F Pertanyaan diskusi

- Apa perbedaan tumor jinak dan tumor ganas?

2. Mengapa onkogen diibaratkan pedal gas macet, sedangkan gen penekan tumor diibaratkan rem blong? Berikan satu contoh untuk masing-masing.

3. Pelanggaran mana yang membuat sel kanker menjadi “abadi”? Jelaskan hubungannya dengan telomer.

4. Mengapa kanker lebih sering ditemukan pada orang lanjut usia?

5. Vaksin HPV tidak membunuh sel kanker. Mengapa vaksin itu tetap bisa mencegah kanker serviks?

6. Seorang teman berkata, “Kanker itu urusan keturunan, jadi percuma menjauhi rokok.” Susun tanggapan berdasarkan fakta di Bab 14.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang bagaimana sel normal berubah menjadi sel kanker dan apa yang bisa kamu lakukan untuk mencegahnya.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari kegiatan ini adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Satu kebiasaan sehat yang akan saya mulai atau ajak keluarga lakukan adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Tumor jinak tumbuh lambat, berbatas jelas, dan tetap di tempatnya. Tumor ganas menyerbu jaringan sekitarnya dan dapat menyebar ke organ jauh lewat darah atau getah bening (metastasis).
2. Onkogen berasal dari proto-onkogen yang bermutasi menjadi terlalu aktif sehingga terus memberi perintah tumbuh; satu salinan rusak sudah berbahaya (contoh: RAS macet ON, HER2 berlipat ganda). Gen penekan tumor biasanya menghentikan pembelahan atau memicu apoptosis; bila kedua salinannya rusak, rem hilang (contoh: p53, RB, BRCA1/2).
3. Pelanggaran 4, membelah tanpa batas. Sel normal berhenti membelah ketika telomernya sudah terlalu pendek. Sel kanker menyalakan telomerase sehingga telomer tidak pernah habis dan sel terus membelah.
4. Kanker biasanya membutuhkan beberapa mutasi yang menumpuk selama bertahun-tahun. Makin lama seseorang hidup dan terpapar faktor risiko, makin banyak mutasi yang terkumpul di selnya.
5. Hampir semua kanker serviks dipicu infeksi HPV yang menetap. Protein HPV melumpuhkan rem p53 dan RB. Vaksin mencegah infeksi HPV sehingga rem tetap bekerja; skrining berkala menemukan perubahan sel sejak dini.
6. Hanya sekitar 5–10% kanker yang terutama disebabkan mutasi bawaan. Sebagian besar dipicu mutasi yang didapat selama hidup, misalnya akibat puluhan zat karsinogen dalam asap rokok. Bahkan pembawa mutasi bawaan tetap memerlukan mutasi tambahan, sehingga menjauhi rokok dan deteksi dini tetap sangat bermanfaat.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan konsep	Kedua pelanggaran dijelaskan benar, lengkap dengan aturan yang dilanggar dan molekul yang terlibat.	Kedua pelanggaran benar, tetapi satu detail molekul atau aturan kurang tepat.	Hanya satu pelanggaran yang dijelaskan benar.	Penjelasan keliru atau tidak ada.
Pesan pencegahan	Tiga pesan benar secara ilmiah, jelas, dan sesuai faktor risiko yang dipilih; mitos diluruskan dengan tepat.	Pesan benar, tetapi kurang jelas atau hanya dua pesan.	Sebagian pesan keliru atau tidak sesuai faktor risiko.	Pesan tidak ada atau menyesatkan.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Tampilan poster	Poster menarik, rapi, mudah dibaca dari jauh, dan gambarnya mendukung isi.	Poster rapi dan terbaca, tetapi kurang menarik.	Poster kurang rapi atau sulit dibaca.	Poster tidak selesai.
Kerja sama dan umpan balik	Semua anggota aktif, memberi dan memakai masukan galeri untuk memperbaiki poster.	Sebagian besar anggota aktif dan ada perbaikan poster.	Hanya sebagian kecil anggota yang aktif; masukan tidak dipakai.	Kerja kelompok tidak berjalan.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Bukit Waddington dari Kardus dan Kelereng

Bab 15: Warga Serba Bisa • Model & diskusi • SMP–SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menjelaskan diferensiasi sel dengan memakai model bukit Waddington.
2. Peserta didik dapat membedakan sel punca pluripoten, multipoten, dan sel matang berdasarkan posisinya pada model.
3. Peserta didik dapat mengevaluasi klaim iklan “terapi sel punca” berdasarkan bukti ilmiah.

B Cerita pembuka

Sambil menunggu pempek di warung, Bima membaca spanduk sebuah klinik: “Suntik sel punca! Awet muda 10 tahun, sembuhkan diabetes, stroke, dan segala penyakit!” Bima teringat kata Dr. Sela: sel punca memang hebat, tetapi bukan sulap. Hari ini kelompokmu akan membangun bukit Waddington untuk memahami bagaimana sel “memilih profesi”, lalu menjadi detektif yang menguji klaim iklan itu.

C Alat dan bahan

- Karton bergelombang dari kardus bekas ($\pm 50 \times 70$ cm) dan potongan karton tambahan
- 5 butir kelereng
- Gunting atau cutter, selotip, dan spidol
- Tumpukan buku atau kotak untuk menyangga bagian atas bukit
- 3–4 tutup botol sebagai penghalang
- Kertas label kecil
- Contoh iklan “terapi sel punca” dari brosur, koran, atau tangkapan layar (disiapkan guru)

⚠ Keselamatan: Gunakan gunting atau cutter dengan hati-hati di bawah pengawasan guru, dan arahkan mata pisau menjauhi tubuh. Kelereng tidak boleh dimasukkan ke mulut dan segera dipungut bila jatuh agar tidak membuat orang terpeleset.

D Langkah kegiatan

1. Bentuk kelompok 4 orang. Tekuk karton bergelombang menjadi lereng: bagian atas lebar sebagai puncak, bagian bawah dibuat bercabang menjadi 3–4 alur lembah. Sangga bagian atas dengan tumpukan buku.
2. Buat dinding alur lembah dari lipatan atau potongan karton yang direkatkan dengan selotip. Beri label di dasar setiap lembah, misalnya “sel otot”, “neuron”, “sel darah”, dan “sel kulit”.

3. Beri label posisi di sepanjang lereng: puncak = pluripoten (massa sel dalam atau iPSC), tengah = progenitor atau multipoten, dasar lembah = sel matang.
4. Lepaskan kelereng dari puncak sebanyak 5 kali. Catat di lembah mana kelereng berhenti setiap kali.
5. Letakkan tutup botol sebagai “sinyal dari tetangga” di pintu masuk satu atau dua lembah, lalu ulangi 5 kali. Catat perubahan arah kelereng.
6. Coba dorong kelereng yang sudah berada di dasar lembah kembali ke puncak dengan tangan.
Diskusikan: apa padanan “tangan” ini dalam penemuan Yamanaka?
7. Baca iklan terapi sel punca yang dibagikan guru. Garis bawahi setiap klaim, lalu cocokkan dengan subbab 15.5: termasuk “sudah terbukti”, “uji klinis”, “riset”, atau “belum terbukti”.
8. Tuliskan tiga pertanyaan kritis yang sebaiknya diajukan kepada klinik tersebut.
9. Presentasikan model dan hasil analisis iklan kelompokmu dalam 3 menit.

E Tabel pengamatan kelereng

No	Kondisi lereng (tanpa/dengan penghalang)	Lembah tempat kelereng berhenti	Catatan
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

F Pertanyaan diskusi

1. Pada modelmu, posisi mana yang mewakili sel pluripoten dan mana yang mewakili sel matang? Jelaskan.

2. Apa yang diwakili oleh tutup botol penghalang pada langkah 5 dalam tubuh yang sebenarnya?

3. Mengapa kelereng yang sudah berada di dasar lembah tidak bisa naik sendiri ke puncak? Kaitkan dengan “gembok” epigenetik.

4. Di posisi mana sel punca darah di sumsum tulang seharusnya diletakkan pada bukitmu? Mengapa?

5. Nilailah iklan yang kamu baca: klaim mana yang didukung bukti dan mana yang menyesatkan? Apa risikonya bila masyarakat memercayainya?

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang bagaimana satu sel dapat menjadi ratusan jenis sel, dan bagaimana bersikap kritis terhadap tawaran terapi sel punca.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari kegiatan ini adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Jika keluarga saya ditawari terapi sel punca, pertanyaan pertama yang akan saya ajukan adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Puncak bukit mewakili sel pluripoten karena kelereng masih bisa masuk ke lembah mana saja. Dasar lembah mewakili sel matang (terdiferensiasi) karena pilihannya tinggal satu.
2. Penghalang mewakili sinyal dari sel tetangga dan posisi sel di embrio yang mendorong sel ke jalur tertentu. Sinyal ini membuat faktor transkripsi (pustakawan) membuka bab resep tertentu.
3. Makin dalam lembah, makin banyak bab resep lain yang digembok tanda epigenetik seperti metilasi DNA dan modifikasi histon. DNA-nya tetap lengkap, tetapi bab lain tidak bisa dibaca. Perlu dorongan khusus, seperti empat faktor Yamanaka, untuk mengembalikannya ke puncak (iPSC).
4. Di lereng tengah pada jalur besar “keluarga darah”. Sel punca darah bersifat multipoten: bisa menjadi sel darah merah, trombosit, neutrofil, makrofag, sel T, dan sel B, tetapi tidak bisa menjadi neuron atau sel otot.
5. Klaim yang didukung bukti terbatas, terutama transplantasi sel punca darah untuk leukemia, anemia aplastik, dan thalassemia mayor, serta cangkok kulit untuk luka bakar luas. Klaim awet muda atau menyembuhkan segala penyakit belum terbukti. Risikonya antara lain infeksi, tumor, bahkan kebutaan, kerugian biaya, dan tertundanya pengobatan yang terbukti. Masyarakat perlu menanyakan bukti uji klinis dan izin lembaga resmi.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan model	Model berfungsi, label pluripoten–progenitor–sel matang benar, dan penghalang dipakai sesuai konsep sinyal.	Model berfungsi dan sebagian besar label benar.	Model berfungsi tetapi labelnya banyak yang keliru.	Model tidak selesai atau tidak berfungsi.
Pencatatan data	Semua percobaan tercatat lengkap dan perubahan akibat penghalang dijelaskan.	Sebagian besar percobaan tercatat.	Data tidak lengkap atau tidak teratur.	Tidak ada data.
Analisis kritis iklan	Setiap klaim dinilai dengan tepat berdasarkan subbab 15.5 dan tiga pertanyaan kritis relevan.	Sebagian besar klaim dinilai tepat dan ada dua pertanyaan kritis.	Penilaian klaim tidak didukung alasan.	Tidak ada analisis.
Kerja sama dan presentasi	Semua anggota berperan dan presentasi jelas serta tepat waktu.	Sebagian besar anggota berperan dan presentasi cukup jelas.	Presentasi kurang jelas atau hanya satu anggota yang bekerja.	Tidak ada presentasi.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Operasi Penangkapan Virus dan Rahasia Buku KIA

Bab 16: Tentara Negara Sel • Bermain peran & analisis dokumen • SMP–SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menjelaskan urutan kerja dan peran sel-sel imun dalam respons imun adaptif melalui bermain peran.
2. Peserta didik dapat membandingkan respons imun pada pertemuan pertama dan kedua dengan antigen yang sama.
3. Peserta didik dapat menganalisis jadwal imunisasi di buku KIA dan menjelaskan alasan pemberian dosis berulang.

B Cerita pembuka

Adik Bima yang berumur 9 bulan baru saja mendapat imunisasi campak-rubela (MR) di posyandu. Beberapa hari kemudian adik sedikit demam, dan Nenek jadi khawatir. Bima membuka buku KIA berwarna merah muda milik ibunya dan melihat tabel imunisasi yang penuh cap dan tanggal. “Kenapa ada vaksin yang harus diberikan berkali-kali, ya?” tanyanya. Hari ini kelasmu akan memerankan tentara Negara Sel untuk menemukan jawabannya.

C Alat dan bahan

- Kartu peran: virus, sel inang, sel dendritik, makrofag, sel T helper, sel B, sel plasma, sel T sitotoksik, antibodi, sel memori T, dan sel memori B
- 10 kartu “reseptor sel T helper” dengan bentuk potongan berbeda; hanya satu yang pas dengan kartu antigen
- 2 kartu “foto buronan” (antigen) dengan bentuk berbeda
- Tali rafia atau kapur untuk menandai area kelas
- Stopwatch atau jam di gawai
- Buku KIA (Kesehatan Ibu dan Anak) milik keluarga atau fotokopi halaman jadwal imunisasinya

D Langkah kegiatan

1. Bagi kelas menjadi kelompok pemeran dan kelompok pengamat. Setiap pemeran mengambil satu kartu peran dan membaca tugasnya di subbab 16.2, sedangkan pengamat menyiapkan stopwatch dan tabel.
2. Tandai tiga area kelas dengan tali rafia atau kapur: “hidung” (tempat infeksi), “saluran getah bening”, dan “kelenjar getah bening” (markas).
3. Letakkan 10 kartu reseptor sel T helper secara terbalik dan acak di markas. Hanya satu kartu yang bentuknya pas dengan kartu foto buronan si virus.

4. Babak 1 (perjumpaan pertama): peragakan 7 langkah operasi penangkapan. Sel dendritik menelan virus, memajang foto buronan di papan MHC, berjalan ke markas, lalu membuka kartu satu per satu sampai menemukan sel T helper yang cocok. Pengamat mencatat waktu dari virus masuk sampai “antibodi” menempel pada virus.
5. Setelah menang, sebagian besar pemeran duduk (pensiun). Dua pemeran tetap berdiri dengan kartu “sel memori T” dan “sel memori B” yang sudah mengenal foto buronan.
6. Babak 2 (virus yang sama datang lagi): sel memori langsung mengenali foto buronan tanpa perlu mencari di antara kartu. Ukur waktunya.
7. Babak 3 (virus dengan foto buronan berbeda): ganti kartu antigen dengan bentuk lain. Sel memori tidak cocok, sehingga pencarian harus diulang dari awal. Ukur waktunya.
8. Bila waktu memungkinkan, tukar peran pemeran dan pengamat, lalu catat semua hasil di tabel.
9. Dalam kelompok kecil, buka halaman jadwal imunisasi di buku KIA dengan menutup nama dan data pribadi. Tuliskan nama vaksin, usia pemberian, dan jumlah dosisnya.
10. Diskusikan hubungan hasil babak 1 dan 2 dengan vaksin yang diberikan lebih dari satu kali, lalu jawab pertanyaan.

E Tabel pengamatan bermain peran

Babak	Waktu sampai antibodi menempel (detik)	Langkah yang paling lama	Peran yang paling menentukan
Babak 1: perjumpaan pertama			
Babak 2: virus yang sama datang lagi			
Babak 3: virus dengan foto buronan berbeda			

F Pertanyaan diskusi

1. Siapa yang berperan sebagai “intel” dalam operasi penangkapan, dan apa tugasnya?

2. Bandingkan waktu babak 1 dan babak 2. Mengapa babak 2 jauh lebih cepat?

3. Mengapa pada babak 3 sel memori hampir tidak membantu? Hubungkan dengan sifat spesifik imunitas adaptif.
4. Dari buku KIA, sebutkan dua vaksin yang diberikan lebih dari satu kali. Mengapa dosis berulang diperlukan?
-
-
-
5. Adik Bima demam ringan setelah imunisasi. Apakah itu berarti vaksin berbahaya? Jelaskan.
-
-
-
6. Jika banyak orang tua di satu desa menolak imunisasi campak, apa yang dapat terjadi pada bayi yang belum cukup umur untuk divaksin? Jelaskan dengan konsep kekebalan kelompok.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang cara tentara Negara Sel mengenali dan mengingat penyusup, serta mengapa imunisasi harus lengkap sesuai jadwal.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari kegiatan ini adalah ...
2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...
3. Setelah membaca buku KIA, hal yang ingin saya tanyakan kepada orang tua atau petugas kesehatan adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Sel dendritik. Ia menelan virus, mencacahnya, memajang potongannya (antigen) di papan buronan MHC, lalu berjalan ke kelenjar getah bening untuk melapor kepada sel T helper.
2. Pada babak 1, sel T helper yang cocok harus dicari di antara banyak kemungkinan, lalu diperbanyak dulu (seleksi klonal). Pada babak 2, sel memori T dan B sudah mengenal foto buronan sehingga langsung bekerja. Di tubuh, respons kedua lebih cepat, lebih kuat, dan lebih lama.
3. Imunitas adaptif sangat spesifik: setiap sel mengenali satu “wajah” penyusup. Sel memori hanya cocok dengan foto buronan lama, sehingga penyusup berwajah baru harus dikenali dari awal seperti perjumpaan pertama.
4. Contoh (jawaban menyesuaikan buku KIA yang dibaca): DPT-HB-Hib diberikan beberapa kali pada bayi ditambah dosis lanjutan di usia 18 bulan; polio beberapa dosis; campak-rubela (MR) pada usia 9 bulan dan 18 bulan. Dosis berulang membuat sel memori makin banyak dan kuat, sehingga kekebalan lebih tinggi dan tahan lama.
5. Tidak. Demam ringan atau nyeri di bekas suntikan adalah reaksi wajar: pasukan bawaan menyalakan alarm peradangan dan tentara sedang berlatih. Biasanya hilang dalam 1–2 hari. Bila demam tinggi atau ada keluhan berat, periksakan ke petugas kesehatan. Manfaat vaksin jauh lebih besar daripada reaksi ringan ini.
6. Virus campak sangat menular. Bila banyak warga tidak divaksin, rantai penularan tidak terputus, sehingga virus dapat sampai ke bayi yang belum cukup umur untuk divaksin dan antibodi pinjaman dari ibunya sudah menurun. Bila sebagian besar warga divaksin, virus sulit berpindah dan bayi ikut terlindungi (kekebalan kelompok).

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan urutan peran	Ketujuh langkah diperagakan berurutan dan setiap pemeran menjalankan tugasnya dengan benar.	Urutan benar, tetapi satu peran kurang tepat.	Ada langkah yang tertukar atau terlewat.	Peragaan tidak sesuai konsep.
Pencatatan dan analisis data	Waktu ketiga babak tercatat dan perbedaannya dijelaskan dengan konsep sel memori dan spesifisitas.	Data lengkap, penjelasan kurang rinci.	Data tidak lengkap atau tanpa penjelasan.	Tidak ada data.
Analisis buku KIA	Vaksin, usia, dan jumlah dosis tercatat benar, dan alasan dosis berulang dijelaskan tepat.	Catatan benar, alasan kurang lengkap.	Catatan sebagian keliru.	Tidak ada analisis.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Sikap dan kerja sama	Aktif, menghargai data pribadi di buku KIA, dan bekerja sama dengan baik.	Cukup aktif dan kooperatif.	Kurang aktif atau mengganggu kelompok.	Tidak berpartisipasi.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Kartu Nasib Sel dan Klinik Luka Maya

Bab 17: Terluka, Gugur, lalu Pulih • Sortir kartu + LKPD digital (simulasi penyembuhan luka) • SMP–SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat membedakan ciri apoptosis dan nekrosis melalui kegiatan sortir kartu.
2. Peserta didik dapat mengelompokkan jaringan ke dalam sel labil, stabil, dan permanen, lalu meramalkan apakah jaringan itu pulih lewat regenerasi atau parut.
3. Peserta didik dapat menganalisis pengaruh jenis luka dan keadaan pasien (gula darah tinggi, infeksi, kurang gizi, merokok, lanjut usia) terhadap lama penyembuhan luka memakai Klinik luka maya di Bab 17.8.

B Cerita pembuka

Minggu lalu Bima jatuh dari sepeda di jalan kampung dekat Sungai Musi, dan lecet di lututnya kini tinggal keropeng kecil. Sebaliknya, luka kecil di telapak kaki Kakek, yang menderita diabetes, sudah tiga minggu belum juga menutup. “Kenapa luka yang sama kecilnya bisa sembuh dengan kecepatan berbeda?” tanya Bima. Hari ini kamu akan menyelidiki nasib sel yang cedera dan kerja tim perbaikan tubuh memakai kartu dan Klinik luka maya.

C Alat dan bahan

- Gawai (ponsel, tablet, atau laptop) untuk membuka Klinik luka maya di Bab 17.8
- 22 potongan kertas kecil untuk kartu: 14 kartu ciri kematian sel dan 8 kartu jaringan (isinya ada di langkah kegiatan)
- 2 lembar karton atau kertas plano, spidol, dan selotip kertas atau lem
- Kalkulator (boleh memakai gawai)

⚠ Keselamatan: Kegiatan ini hanya memakai kartu dan simulasi. Jangan membuat, menekan, atau membuka luka sungguhan untuk percobaan. Simulator adalah model belajar, bukan alat medis: luka yang dalam, kotor, bernanah, atau terjadi pada penderita diabetes perlu diperiksa tenaga kesehatan.

D Langkah kegiatan

1. Bagian A (sortir kartu kematian sel): buat dua kolom berjudul “Apoptosis” dan “Nekrosis” di karton. Tulis 14 kartu berikut: sel mengecil; sel membengkak; membran tetap utuh lalu menggelembung menjadi paket-paket; membran robek; membutuhkan ATP; terjadi saat sel kehabisan ATP; tidak memicu radang; memicu radang; fosfatidilserin dipindahkan ke sisi luar sebagai bendera “makan aku”; enzim lisosom bocor dan isi sel tumpah; kaspase memotong protein secara berantai; troponin bocor ke darah setelah serangan jantung; selaput antarjari janin menghilang; gangren pada kaki diabetik.
2. Kocok kartu, lalu tempel setiap kartu ke kolom yang tepat. Tandai kartu yang membuat kelompokmu berdebat.
3. Cocokkan hasilmu dengan tabel perbandingan di Bab 17.4, lalu pindahkan kartu yang salah tempat dan catat alasannya.
4. Bagian B (sortir jaringan): buat tiga kolom “Sel labil”, “Sel stabil”, dan “Sel permanen”. Tempel 8 kartu jaringan: lapisan luar kulit, lapisan dalam usus, sumsum tulang, lapisan dalam rahim, hati, ginjal, neuron otak, dan otot jantung. Di bawah setiap kolom, tulis ramalanmu: bila rusak berat, apakah jaringan itu pulih lewat regenerasi atau ditambal parut?
5. Bagian C (Klinik luka maya): buka Bab 17.8. Tanpa memilih keadaan pasien apa pun, catat perkiraan hari luka menutup untuk ketiga jenis luka: sayatan bersih yang dijahit, lecet di lutut, dan luka dalam yang dibiarkan terbuka.
6. Pilih kembali “sayatan bersih yang dijahit”. Nyalakan satu keadaan pasien, catat perkiraan hari dan alasan yang muncul di kotak pesan, lalu matikan lagi sebelum mencoba keadaan berikutnya. Ulangi untuk kelima keadaan pasien.
7. Uji kombinasi: (a) sayatan dijahit + gula darah tinggi + infeksi, dan (b) luka dalam terbuka + gula darah tinggi + infeksi. Setelah itu, coba satu kombinasi pilihan kelompokmu sendiri.
8. Amati grafik untuk setiap percobaan: fase mana yang paling memanjang, inflamasi atau proliferasi? Hitung selisih hari dibandingkan kondisi yang sama tanpa faktor penghambat.
9. Presentasikan hasil sortir kartu dan data simulasi kelompokmu, lalu diskusikan jawaban pertanyaan bersama kelas.

E Tabel data Klinik luka maya

Jenis luka + keadaan pasien	Perkiraan luka menutup (hari)	Selisih dengan kondisi tanpa faktor (hari)	Fase yang paling memanjang	Alasan menurut simulator
Sayatan dijahit, tanpa faktor				
Lecet di lutut, tanpa faktor				

Jenis luka + keadaan pasien	Perkiraan luka menutup (hari)	Selisih dengan kondisi tanpa faktor (hari)	Fase yang paling memanjang	Alasan menurut simulator
Luka dalam terbuka, tanpa faktor				
Sayatan dijahit + gula darah tinggi				
Sayatan dijahit + infeksi				
Sayatan dijahit + kurang gizi				
Sayatan dijahit + merokok				
Sayatan dijahit + lanjut usia				
Sayatan dijahit + gula darah tinggi + infeksi				
Luka dalam terbuka + gula darah tinggi + infeksi				
Kombinasi pilihan kelompok: ...				

F Pertanyaan diskusi

1. Sebutkan tiga ciri yang paling mudah membedakan apoptosis dari nekrosis berdasarkan hasil sortir kartumu. Kartu mana yang paling diperdebatkan kelompokmu, dan bagaimana kalian menyelesaikannya?

2. Mengapa lecet di kulit dan kerusakan sebagian hati dapat pulih lewat regenerasi, sedangkan stroke dan serangan jantung meninggalkan parut?

3. Menurut datamu, jenis luka mana yang paling cepat menutup dan mana yang paling lama? Jelaskan mengapa sayatan bersih yang dijahit lebih cepat sembuh daripada luka dalam yang dibiarkan terbuka.

4. Keadaan pasien mana yang paling memperpanjang penyembuhan sayatan dijahit? Jelaskan mekanismenya pada tingkat sel, lalu sebutkan fase yang paling terpengaruh oleh kurang gizi dan merokok.

5. Bandingkan tambahan hari akibat gula darah tinggi saja dan infeksi saja dengan tambahan hari bila keduanya terjadi bersamaan. Apa artinya bagi penderita diabetes seperti Kakek?

6. Kakek bertanya, “Lukaku dibiarkan terbuka dan kering saja, ya, biar cepat sembuh?” Evaluasilah pendapat itu, lalu susun empat saran perawatan yang bertanggung jawab untuk Kakek berdasarkan konsep Bab 17 dan data simulasimu.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang perbedaan apoptosis dan nekrosis, hubungan kemampuan membelah sel dengan regenerasi atau parut, serta faktor-faktor yang memperlambat penyembuhan luka.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari kegiatan ini adalah ...

2. Kartu atau data yang paling membingungkan bagi saya adalah ...

3. Satu kebiasaan yang akan saya lakukan untuk merawat luka dan menjaga kesehatan keluarga saya adalah ...

✓ **Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi**

1. Apoptosis: sel mengecil, membran tetap utuh dan menggelembung menjadi paket (badan apoptotik), membutuhkan ATP, kaspase memotong protein, fosfatidilserin menjadi bendera “makan aku”, tidak memicu radang, contohnya selaput antarjari janin yang menghilang. Nekrosis: sel membengkak, membran robek, enzim lisosom bocor dan isi sel tumpah, terjadi saat sel kehabisan ATP, memicu radang, contohnya troponin yang bocor setelah serangan jantung dan gangren kaki diabetik. Kartu yang sering diperdebatkan misalnya “membutuhkan ATP” (apoptosis, karena dijalankan secara aktif) dan “troponin bocor ke darah” (nekrosis, karena membran sel otot jantung robek).
2. Kulit dan lapisan usus tersusun atas sel labil yang terus diganti sel punca, sedangkan hati dan ginjal tersusun atas sel stabil yang biasanya beristirahat di fase G_0 tetapi dapat membelah lagi saat ada kerusakan. Karena itu keduanya dapat beregenerasi. Neuron dan sel otot jantung adalah sel permanen yang hampir tidak dapat membelah. Sel yang mati tidak dapat diganti, sehingga lubangnya ditambal jaringan parut yang tidak memiliki fungsi asli.
3. Pada simulator, lecet di lutut paling cepat menutup (± 8 hari), sayatan bersih yang dijahit ± 10 hari, dan luka dalam yang dibiarkan terbuka paling lama (± 28 hari). Lecet dangkal cepat ditutup oleh sel kulit dari tepi luka dan dari sisa lapisan kulit di dasarnya, karena kulit adalah jaringan labil. Pada sayatan yang dijahit, kedua tepi luka didekatkan sehingga celah yang harus diisi jaringan granulasi dan dirayapi sel kulit sangat sempit. Luka dalam yang terbuka harus diisi jaringan granulasi dari dasarnya, tepinya ditarik perlahan, dan lebih lama terpapar kuman, sehingga penyembuhannya lama dan parutnya lebih besar.
4. Pada simulator, infeksi (± 19 hari) dan gula darah tinggi (± 17 hari) paling memperpanjang penyembuhan sayatan dijahit. Pada infeksi, kuman terus dilawan neutrofil dan makrofag sehingga fase inflamasi berkepanjangan dan tim bangunan terlambat bekerja. Pada gula darah tinggi, neutrofil melemah, pembuluh kecil rusak sehingga oksigen dan bahan bangunan ke luka berkurang, dan saraf dapat mati rasa; fase inflamasi dan proliferasi sama-sama memanjang. Kurang gizi dan merokok terutama memperpanjang fase proliferasi: kolagen membutuhkan protein, vitamin C, dan seng, sedangkan nikotin menyempitkan pembuluh darah dan karbon monoksida mengurangi oksigen bagi fibroblas dan sel kulit.

5. Pada sayatan dijahit, gula darah tinggi saja menambah ± 7 hari dan infeksi saja ± 9 hari (jumlahnya 16 hari), tetapi gabungan keduanya menambah ± 18 hari (luka menutup ± 28 hari). Pada luka dalam terbuka, gabungan keduanya membuat luka baru menutup setelah ± 70 hari, dan simulator memperingatkan risiko luka kronis. Artinya kedua faktor saling memperberat: gula darah tinggi melemahkan neutrofil sehingga infeksi sulit dibasmi, sedangkan infeksi memperpanjang peradangan pada jaringan yang sudah kekurangan aliran darah. Bagi Kakek, luka sekecil apa pun perlu dijaga bersih, gula darahnya dikendalikan, dan lukanya segera diperiksa ke tenaga kesehatan.
6. Pendapat itu keliru. Luka sembuh lebih baik bila bersih dan sedikit lembap, karena sel kulit lebih mudah merayap menutup luka dan parutnya lebih kecil. Saran untuk Kakek: (1) segera periksakan luka ke Puskesmas atau dokter, karena luka pada penderita diabetes mudah terinfeksi dan dapat berlanjut menjadi gangren; jangan mengoleskan ramuan atau bahan yang tidak steril; (2) ikuti petunjuk tenaga kesehatan untuk membersihkan luka dan menutupnya dengan kasa bersih yang diganti teratur, serta waspadai tanda infeksi seperti nanah, kemerahan dan nyeri yang makin luas, atau demam; (3) kendalikan gula darah dengan obat, pola makan, dan aktivitas sesuai anjuran dokter; (4) cukupi protein, vitamin C, dan seng, serta hindari rokok; (5) periksa telapak kaki setiap hari dan pakai alas kaki yang pas, karena saraf kaki penderita diabetes dapat mati rasa.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan sortir kartu	Keempat belas kartu kematian sel dan kedelapan kartu jaringan ditempatkan dengan tepat, disertai ramalan regenerasi atau parut yang benar.	Satu atau dua kartu salah tempat.	Tiga sampai lima kartu salah tempat.	Lebih dari lima kartu salah tempat atau sortir tidak diselesaikan.
Pencatatan dan pengolahan data simulasi	Kesebelas baris terisi, selisih hari dihitung dengan benar, dan fase yang memanjang dicatat untuk setiap percobaan.	Data lengkap, tetapi ada satu atau dua kesalahan hitung.	Beberapa baris kosong atau selisih hari tidak dihitung.	Tabel hampir kosong.
Penjelasan konsep cedera dan perbaikan	Menjelaskan perbedaan apoptosis dan nekrosis, sel labil–stabil–permanen, mekanisme setiap faktor penghambat, dan efek gabungan faktor dengan tepat.	Tiga dari empat konsep dijelaskan dengan tepat.	Hanya satu atau dua konsep yang tepat.	Konsep keliru, misalnya menyebut nekrosis sebagai kematian sel yang rapi tanpa radang.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Saran perawatan luka yang bertanggung jawab	Menyusun minimal empat saran yang tepat, termasuk merujuk ke tenaga kesehatan dan mengendalikan gula darah, tanpa menganjurkan cara yang berbahaya.	Saran tepat, tetapi hanya tiga atau belum menyebut rujukan ke tenaga kesehatan.	Hanya satu atau dua saran yang tepat.	Saran keliru atau berbahaya, misalnya membiarkan luka kotor terbuka atau mengoleskan bahan yang tidak steril.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Pabrik Yoghurt Mini: Bekerja Sama dengan Bakteri Asam Laktat

Bab 18: Desa Tanpa Perpustakaan • Praktikum • SMP–SMA • 2 × 45 menit (+ inkubasi 1 malam)

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menjelaskan peran bakteri asam laktat dalam fermentasi susu menjadi yoghurt.
2. Peserta didik dapat menganalisis pengaruh suhu dan keberadaan bakteri hidup terhadap pembentukan yoghurt melalui percobaan berkontrol.
3. Peserta didik dapat mengidentifikasi bentuk sel bakteri yoghurt dengan mikroskop dan mengaitkannya dengan ciri prokariota.
4. Peserta didik dapat mengaitkan pertumbuhan eksponensial bakteri dengan aturan minum antibiotik sesuai resep dokter.

B Cerita pembuka

Nenek Bima di Palembang membuat tempoyak: daging durian diberi sedikit garam, disimpan dalam toples tertutup, dan beberapa hari kemudian rasanya menjadi asam, padahal tidak ada cuka yang ditambahkan. “Siapa yang membuatnya asam?” tanya Bima. Dr. Sela menjawab: miliaran bakteri asam laktat! Hari ini kamu akan menjadi kepala desa yang memelihara bakteri sejenis di dalam susu untuk membuat yoghurt.

C Alat dan bahan

- Susu UHT plain tawar 1 liter
- Yoghurt plain tawar yang labelnya menyebut mengandung bakteri hidup, ± 4 sendok makan (starter)
- 4 gelas atau botol kaca bening bertutup yang sudah dicuci dan disiram air panas, diberi label A–D
- Panci kecil, kompor atau pemanas (dipakai guru), dan termometer dapur
- Sendok bersih dan spidol
- Termos nasi atau kotak styrofoam dengan handuk untuk inkubasi, serta kulkas
- Kertas indikator pH universal
- Mikroskop, kaca objek, kaca penutup, tusuk gigi, pipet tetes, dan (opsional) larutan metilen biru
- Gawai untuk membuka kalkulator pertumbuhan bakteri di subbab 18.4

⚠ Keselamatan: Pemanasan susu dan starter dilakukan atau diawasi guru; waspadai percikan susu panas dan gunakan lap saat memegang panci. Cuci tangan dengan sabun sebelum dan sesudah bekerja, dan pakai alat yang sudah disiram air panas. Wadah yang berbau busuk, berlendir aneh, atau berjamur, terutama wadah C, jangan dibuka lagi; buang dalam keadaan tertutup sesuai arahan guru. Jangan

mencicipi hasil percobaan di laboratorium. Metilen biru dapat menodai kulit dan pakaian, jadi gunakan sarung tangan. Kaca objek mudah pecah, tangani dengan hati-hati.

D Langkah kegiatan

1. Cuci tangan dengan sabun. Beri label gelas A, B, C, dan D.
2. Guru menghangatkan susu UHT sampai $\pm 40\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (terasa hangat, tidak panas). Periksa dengan termometer.
3. Isi setiap gelas dengan $\pm 200\text{ mL}$ susu hangat. Ukur pH susu dengan kertas indikator dan catat sebagai pH awal.
4. Gelas A dan B: tambahkan masing-masing 1 sendok makan starter, aduk, lalu tutup. Gelas C: tanpa starter (kontrol). Gelas D: tambahkan 1 sendok makan starter yang sudah dipanaskan guru sampai mendidih lalu didinginkan.
5. Simpan gelas A, C, dan D di tempat hangat (termos nasi atau kotak styrofoam yang dibalut handuk). Simpan gelas B di kulkas.
6. Setelah 8–12 jam (keesokan harinya), amati tanpa mencicipi: kekentalan (miringkan gelas perlahan), bau, dan warna. Ukur pH setiap gelas dan catat di tabel.
7. Ambil sedikit yoghurt dari gelas A dengan ujung tusuk gigi, oleskan tipis pada kaca objek bersama 1 tetes air, lalu biarkan kering. Bila tersedia, tetesi metilen biru selama 1 menit lalu bilas perlahan dengan air.
8. Amati dengan perbesaran terbesar yang tersedia di mikroskop. Gambar bentuk sel yang terlihat (batang, bulat, atau rantai).
9. Buka kalkulator pertumbuhan di subbab 18.4. Catat jumlah bakteri dari 1 sel setelah 8 jam bila membelah setiap 20 menit, lalu bandingkan bila membelah setiap 60 menit.
10. Diskusikan hasil percobaan dalam kelompok, lalu jawab pertanyaan.

E Tabel pengamatan pembuatan yoghurt

Gelas	Perlakuan	pH awal	pH akhir	Kekentalan	Bau dan warna
A					
B					
C					
D					

F Pertanyaan diskusi

1. Gelas mana yang berubah menjadi yoghurt paling kental dan paling asam? Apa buktinya?

2. Mengapa pH susu di gelas A turun? Zat apa yang dihasilkan bakteri, dan dari bahan apa?

3. Bandingkan gelas A dan B. Bagaimana pengaruh suhu terhadap kerja bakteri?

4. Apa fungsi gelas C dan gelas D dalam percobaan ini? Apa yang dibuktikan oleh gelas D?

5. Menurut kalkulator, berapa jumlah bakteri dari 1 sel setelah 8 jam bila membelah setiap 20 menit? Mengapa di dalam gelas jumlahnya tidak terus bertambah tanpa batas?

6. Dr. Sela berpesan, “Kalau dokter memberi antibiotik, minumlah sesuai aturan sampai habis.” Gunakan konsep pertumbuhan eksponensial dan seleksi untuk menjelaskan pesan itu.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang peran bakteri asam laktat dalam pembuatan yoghurt dan faktor-faktor yang memengaruhi kerjanya.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari percobaan ini adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Makanan fermentasi di daerah saya yang juga dibuat dengan bantuan mikroba adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Gelas A. Susunya mengental seperti puding, berbau asam segar, dan pH-nya turun paling banyak (dari sekitar 6,5 menjadi sekitar 4–4,5).
2. Bakteri asam laktat memfermentasi gula susu (laktosa) menjadi asam laktat. Asam ini menurunkan pH dan membuat protein susu menggumpal sehingga susu mengental.
3. Gelas B di kulkas hampir tidak berubah. Suhu dingin memperlambat kerja enzim dan pembelahan bakteri, sedangkan suhu hangat ($\pm 40\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$) paling cocok bagi bakteri yoghurt.
4. Gelas C adalah kontrol tanpa bakteri, untuk menunjukkan bahwa susu tidak berubah menjadi yoghurt dengan sendirinya. Gelas D membuktikan bahwa yang bekerja adalah bakteri hidup, bukan zat lain dalam starter, karena starter yang dipanaskan sampai mendidih (bakterinya mati) tidak menghasilkan yoghurt.
5. $8\text{ jam} = 480\text{ menit} = 24\text{ kali membelah}$, jadi $2^{24} = 16.777.216$ atau sekitar 16,8 juta bakteri (bila membelah setiap 60 menit hanya $2^8 = 256$). Di dalam gelas, pertumbuhan melambat karena makanan (laktosa) berkurang dan asam laktat (sampah) menumpuk sehingga pH menjadi terlalu rendah.
6. Bakteri berlipat ganda sangat cepat. Bila antibiotik dihentikan sebelum waktunya, bakteri yang tersisa, termasuk yang kebal, bisa kembali berkembang biak secara eksponensial, dan yang kebal menjadi dominan karena terseleksi. Karena itu antibiotik diminum hanya dengan resep dokter, sesuai dosis dan lamanya, tidak dibagi kepada orang lain, dan tidak dipakai untuk pilek atau flu karena virus.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Keterampilan melakukan percobaan	Semua perlakuan A–D disiapkan dengan benar, higienis, dan sesuai langkah.	Perlakuan benar, tetapi ada satu langkah kebersihan terlewat.	Satu perlakuan keliru sehingga perbandingan kurang valid.	Percobaan tidak dilakukan sesuai langkah.
Ketepatan pengamatan dan pencatatan	Tabel lengkap (pH, kekentalan, bau, warna) dan gambar mikroskop menunjukkan bentuk sel dengan jelas.	Tabel lengkap, tetapi gambar mikroskop kurang jelas.	Sebagian data tidak tercatat.	Tidak ada data.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Analisis dan kesimpulan	Peran kontrol, suhu, dan bakteri hidup dijelaskan tepat dan dikaitkan dengan pertumbuhan eksponensial serta antibiotik.	Analisis tepat, tetapi kaitan dengan antibiotik kurang jelas.	Analisis hanya mengulang data tanpa penjelasan.	Tidak ada analisis.
Keselamatan dan kebersihan kerja	Selalu mencuci tangan, tidak mencicipi, dan membuang wadah kontrol sesuai arahan.	Hampir selalu mengikuti aturan keselamatan.	Beberapa kali lalai terhadap aturan keselamatan.	Mengabaikan aturan keselamatan.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Flashdisk dari Kertas dan Jejak Glitter

Bab 19: Penyusup Pembawa Flashdisk • Model & simulasi • SMP-SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menjelaskan struktur virus (genom, kapsid, amplop, dan protein paku) melalui pembuatan model.
2. Peserta didik dapat membandingkan virus beramplop dan virus telanjang.
3. Peserta didik dapat menganalisis penularan lewat kontak tangan dan efektivitas cara membersihkan tangan melalui simulasi.
4. Peserta didik dapat mengevaluasi kelebihan dan keterbatasan model yang dibuat.

B Cerita pembuka

Minggu lalu tiga teman sekelas Bima tidak masuk karena flu, padahal awalnya hanya satu orang yang bersin-bersin. Di kantin mereka makan pempek bersama, bersalaman, dan saling pinjam pulpen. Bagaimana “flashdisk” yang ukurannya hanya sekitar 100 nm bisa berpindah secepat itu? Hari ini kamu akan membuat model virus dan menjadi detektif penularan.

C Alat dan bahan

- Pola jaring ikosahedron (20 segitiga sama sisi) yang dicetak pada kertas HVS atau karton tipis
- Gunting, lem, dan selotip
- Benang wol atau kawat bulu sebagai genom
- Plastik bening tipis sebagai amplop
- Tusuk gigi dan plastisin sebagai protein paku
- Tepung terigu dicampur sedikit glitter, serta sedikit losion tangan
- Kertas hitam untuk memeriksa cap tangan
- Sabun, air mengalir, tisu, dan stopwatch

⚠ Keselamatan: Gunakan gunting dengan hati-hati. Selama simulasi, jangan menyentuh mata, hidung, atau mulut, dan jangan meniup tepung atau glitter. Siswa yang alergi debu atau berasma cukup bertugas sebagai pencatat. Setelah kegiatan, cuci tangan dengan sabun dan bersihkan meja dengan lap basah.

D Langkah kegiatan

1. Gunting pola jaring ikosahedron, lipat pada garisnya, lalu rekatkan menjadi bola bersegi 20. Sebelum sisi terakhir ditutup, masukkan benang wol sebagai genom (DNA atau RNA).
2. Kelompok bernomor ganjil membuat virus telanjang (misalnya virus polio atau HPV): cukup kapsid dan genom. Kelompok bernomor genap membuat virus beramplop (misalnya virus flu atau dengue): bungkus kapsid dengan plastik bening sebagai amplop, lalu tancapkan 8–10 tusuk gigi berujung plastisin sebagai protein paku.

3. Beri label setiap bagian model dan tuliskan fungsinya pada kartu kecil. Pajang model kelompokmu di meja depan.
4. Simulasi penularan: guru diam-diam mengoleskan sedikit losion lalu tepung-glitter pada telapak tangan satu siswa sebagai “pasien pertama”.
5. Semua siswa berkeliling dan bersalaman dengan 3 teman yang berbeda. Setiap orang mencatat nama teman yang disalaminya.
6. Tempelkan telapak tangan setiap siswa pada kertas hitam. Hitung berapa siswa yang “tertular” (ada jejak tepung atau glitter), lalu gunakan catatan salaman untuk menelusuri siapa pasien pertama.
7. Uji cuci tangan: tiga siswa yang tertular membersihkan tangan dengan cara berbeda, yaitu (a) dilap tisu saja, (b) air mengalir tanpa sabun selama 20 detik, dan (c) sabun dan air mengalir selama 20 detik. Tempelkan lagi tangan mereka pada kertas hitam dan bandingkan sisa glitter.
8. Catat semua hasil di tabel, lalu diskusikan bagian virus mana yang tidak dapat digambarkan oleh model kertas dan tepung-glitter.

E Tabel pengamatan penularan dan cuci tangan

Kegiatan	Hasil pengamatan	Keterangan
Jumlah siswa tertular setelah bersalaman		
Dugaan pasien pertama		
Sisa glitter setelah dilap tisu		
Sisa glitter setelah air saja 20 detik		
Sisa glitter setelah sabun dan air 20 detik		

F Pertanyaan diskusi

1. Sebutkan bagian-bagian model virusmu dan fungsi masing-masing.
2. Apa perbedaan virus beramplop dan virus telanjang? Mana yang lebih mudah dihancurkan sabun, dan mengapa?

3. Dari satu pasien pertama, berapa siswa yang tertular? Apa artinya bagi penularan penyakit di sekolah?

4. Bandingkan ketiga cara membersihkan tangan. Cara mana yang paling efektif menurut datamu?

5. Pada virus sungguhan, sabun tidak hanya menghanyutkan virus. Apa yang dilakukan sabun terhadap virus beramplop yang tidak dapat ditunjukkan oleh tepung-glitter?

6. Usulkan tiga tindakan pencegahan flu untuk kelasmu selain mencuci tangan, sesuai subbab 19.7, beserta alasannya.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang struktur virus, cara virus berpindah dari satu orang ke orang lain, dan cara paling efektif memutus penularannya.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari kegiatan ini adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Kebiasaan saya yang akan saya ubah untuk mencegah penularan virus adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Genom (benang) berisi resep virus berupa DNA atau RNA; kapsid (bola kertas) adalah bungkus protein yang melindungi genom; amplop (plastik) adalah lapisan lemak dari membran sel inang; protein paku (tusuk gigi) adalah kunci yang menempel pada reseptor sel.
2. Virus beramplop dibungkus lapisan lemak dan dihiasi protein paku, sedangkan virus telanjang hanya punya kapsid. Virus beramplop lebih mudah dihancurkan sabun karena sabun melarutkan lemak amplopnya; virus telanjang lebih tahan sabun dan kering.
3. Jawaban sesuai data (biasanya lebih dari 3 siswa, karena yang tertular ikut menularkan). Artinya penularan lewat tangan dapat menyebar berantai dengan cepat di tempat yang ramai seperti sekolah.
4. Biasanya sabun dan air mengalir selama 20 detik meninggalkan sisa paling sedikit, disusul air saja, sedangkan dilap tisu paling banyak meninggalkan sisa.
5. Sabun melarutkan amplop lemak virus sehingga virus rusak dan protein pakunya tidak bisa lagi menempel pada reseptor. Tepung-glitter tidak punya amplop lemak, jadi model hanya menunjukkan efek membilas, bukan efek penghancuran amplop.
6. Contoh: vaksin flu, memakai masker saat sakit, menjaga ventilasi ruangan, menutup mulut saat bersin dengan lengan atas, tidak berbagi alat makan, dan beristirahat di rumah saat sakit. Semuanya mengurangi percikan dan kontak yang membawa virus dari satu orang ke orang lain.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan model virus	Model lengkap sesuai jenisnya (genom, kapsid, dan bila beramplop: amplop dan protein paku), berlabel, dan fungsi tiap bagian benar.	Model lengkap, tetapi satu fungsi kurang tepat.	Satu bagian penting tidak ada atau salah label.	Model tidak selesai.
Pelaksanaan simulasi dan pencatatan data	Simulasi mengikuti langkah dan semua data tercatat lengkap.	Simulasi sesuai langkah, satu data tidak tercatat.	Beberapa langkah atau data terlewat.	Simulasi tidak dilakukan dengan benar.
Analisis dan evaluasi model	Data dianalisis tepat dan keterbatasan model dijelaskan dengan konsep amplop lemak.	Analisis tepat, evaluasi model kurang lengkap.	Analisis hanya mengulang data.	Tidak ada analisis.
Kerja sama dan kebersihan	Aktif bekerja sama, mengikuti aturan keselamatan, dan ikut membersihkan kelas.	Cukup aktif dan tertib.	Kurang tertib atau jarang membantu kelompok.	Mengabaikan aturan dan tidak berpartisipasi.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Mengintip Waduk Sel: Plasmolisis pada Daun Rhoeo dan Bawang Merah

Bab 20: Negara Berbenteng · Praktikum · SMP-SMA · 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengidentifikasi dinding sel, membran sel, vakuola, dan nukleus pada preparat epidermis tumbuhan.
2. Peserta didik dapat menjelaskan peristiwa plasmolisis dan deplasmolisis berdasarkan konsep osmosis.
3. Peserta didik dapat menganalisis pengaruh konsentrasi larutan garam terhadap persentase sel yang mengalami plasmolisis.

B Cerita pembuka

Bima membantu Nenek membuat acar timun untuk teman makan pempek. Irisan timun yang ditaburi garam menjadi lemas dan berair, sedangkan kangkung layu di kebun bisa segar kembali setelah direndam air dingin. Mengapa garam membuat sayur lemas, padahal air tawar membuatnya segar? Hari ini kamu akan mengintip langsung “waduk” (vakuola) sel tumbuhan saat airnya ditarik keluar dan dimasukkan kembali.

C Alat dan bahan

- Daun *Rhoeo discolor* (nanas kerang) atau umbi bawang merah
- Mikroskop cahaya, kaca objek, dan kaca penutup
- Pinset, silet atau cutter, pipet tetes, dan tisu
- Garam dapur, air (akuades bila ada), sendok teh, sendok makan, dan 4 gelas kecil berlabel
- Timbangan dapur digital (bila ada) dan spidol
- Kamera HP untuk memotret lewat lensa okuler (opsional)

⚠ Keselamatan: Gunakan silet atau cutter hanya untuk menggores daun, arahkan mata pisau menjauhi jari, dan bekerja di bawah pengawasan guru. Kaca objek dan kaca penutup mudah pecah; laporkan bila ada yang pecah dan jangan memungut pecahannya dengan tangan kosong. Jauhkan tetesan air dari kabel dan lampu mikroskop. Jangan memakan bahan praktikum.

D Langkah kegiatan

1. Buat larutan stok garam 10%: larutkan ± 10 g garam (sekitar 2 sendok teh peres) dalam 100 mL air. Siapkan gelas A = air tawar, B = garam 1% (1 sendok makan stok + 9 sendok makan air), C = garam 3% (3 sendok makan stok + 7 sendok makan air), dan D = stok 10%.

- Gores permukaan bawah daun *Rhoeo* yang berwarna ungu dengan silet, lalu kelupas selapis tipis epidermis dengan pinset. Bila memakai bawang merah, kelupas selaput tipis berwarna ungu dari permukaan luar sisik umbinya.
- Letakkan epidermis di kaca objek, tetesi air tawar (A), lalu tutup dengan kaca penutup perlahan agar tidak ada gelembung udara.
- Amati dengan perbesaran lemah, lalu perbesaran kuat. Gambar satu sel dan beri label: dinding sel, membran sel, vakuola (ungu), dan nukleus bila terlihat.
- Hitung jumlah sel dalam satu bidang pandang dan jumlah sel yang terplasmolisis (membran dan isi sel terlepas dari dinding). Catat di tabel.
- Buat preparat baru untuk larutan B. Teteskan larutan di satu sisi kaca penutup dan serap cairan di sisi seberangnya dengan tisu (metode irigasi) sampai larutan terganti. Tunggu 5 menit, lalu amati, hitung, dan catat.
- Ulangi langkah 6 dengan preparat baru untuk larutan C dan larutan D.
- Deplasmolisis: pada preparat larutan D, alirkan air tawar dengan metode irigasi beberapa kali. Tunggu 5 menit, lalu amati apakah sel kembali seperti semula.
- Bila ada, potret setiap pengamatan dengan kamera HP melalui lensa okuler.
- Hitung persentase plasmolisis = $(\text{jumlah sel terplasmolisis} \div \text{jumlah sel yang diamati}) \times 100\%$, lalu bandingkan hasil antarkelompok.

E Tabel pengamatan plasmolisis

Larutan	Jumlah sel diamati	Jumlah sel terplasmolisis	% plasmolisis	Ukuran dan warna vakuola
A: air tawar				
B: garam 1%				
C: garam 3%				
D: garam 10%				
D lalu dibilas air tawar				

F Pertanyaan diskusi

- Sebutkan bagian sel yang terlihat pada preparatmu. Mengapa vakuola tampak berwarna ungu?

2. Apa yang terjadi pada vakuola dan membran sel ketika diberi larutan garam 10%? Apa nama peristiwa itu?

3. Bandingkan persentase plasmolisis pada larutan A, B, C, dan D. Bagaimana hubungan konsentrasi garam dengan plasmolisis?

4. Mengapa sel tumbuhan dalam air tawar tidak pecah, sedangkan sel darah merah bisa pecah?

5. Apakah semua sel kembali normal setelah dibilas air tawar? Apa artinya bagi sayuran yang terlalu lama direndam air garam?

6. Seorang petani cabai menaburkan pupuk terlalu banyak di dekat akar, dan beberapa hari kemudian tanamannya layu seperti terbakar. Jelaskan dengan konsep plasmolisis dan sarankan cara mencegahnya.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang pengaruh konsentrasi larutan di luar sel terhadap vakuola dan membran sel tumbuhan, serta peran dinding sel.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari praktikum ini adalah ...
2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...
3. Contoh plasmolisis atau turgor yang pernah saya lihat di rumah atau di kebun adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Dinding sel, membran sel (tepi sitoplasma), vakuola, dan kadang nukleus di pinggir sel. Vakuola tampak ungu karena menyimpan pigmen antosianin.
2. Air keluar dari vakuola sehingga vakuola mengecil dan warnanya makin pekat, lalu membran sel mengerut dan terlepas dari dinding sel. Peristiwa ini disebut plasmolisis.
3. Makin pekat larutan garam, makin banyak sel yang terplasmolisis dan makin parah (vakuola makin kecil, membran makin jauh dari dinding). Di air tawar hampir tidak ada plasmolisis, sedangkan di larutan 10% hampir semua sel terplasmolisis.
4. Sel tumbuhan dilindungi dinding selulosa yang kaku. Air yang masuk membuat vakuola membengkak dan menekan dinding (turgor), tetapi dinding menahannya sehingga sel tidak pecah. Sel darah merah tidak punya dinding, sehingga bisa pecah bila terlalu banyak air masuk.
5. Jawaban sesuai data; biasanya sebagian besar sel kembali turgid (deplasmolisis), tetapi sebagian mungkin tidak pulih. Sayuran yang terlalu lama direndam air garam bisa rusak permanen karena selnya mati, sehingga tidak bisa segar kembali.
6. Pupuk yang terlalu pekat membuat larutan tanah lebih pekat daripada cairan sel akar, sehingga air keluar dari sel akar (plasmolisis) dan akar tidak dapat menyerap air; tanaman layu seperti terbakar. Pencegahan: memakai pupuk sesuai dosis, tidak menaburnya menempel pada akar atau batang, dan menyiram secukupnya agar pupuk larut merata.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Keterampilan membuat preparat	Preparat tipis, satu lapis, tanpa gelembung udara, dan larutan diganti dengan metode irigasi yang benar.	Preparat cukup tipis, ada sedikit gelembung.	Preparat tebal atau berlapis sehingga sulit diamati.	Tidak berhasil membuat preparat.
Ketepatan pengamatan dan gambar	Gambar jelas dengan label dinding sel, membran, vakuola, dan nukleus yang benar untuk setiap larutan.	Gambar jelas, satu label kurang tepat.	Gambar kurang jelas atau banyak label keliru.	Tidak ada gambar.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pengolahan data	Jumlah sel dan persentase plasmolisis dihitung benar untuk semua larutan.	Perhitungan benar, satu data belum lengkap.	Beberapa perhitungan keliru.	Data tidak diolah.
Analisis dan kesimpulan	Hubungan konsentrasi dengan plasmolisis dijelaskan dengan konsep osmosis dan peran dinding sel.	Hubungan benar, penjelasan konsep kurang lengkap.	Kesimpulan tidak sesuai data.	Tidak ada kesimpulan.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Mencari Faktor Pembatas di Akuarium Hydrilla

Bab 21: PLTS & Dapur Gula • Eksperimen maya • SMP • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengidentifikasi pengaruh intensitas cahaya, kadar CO₂, dan suhu terhadap laju fotosintesis *Hydrilla*.
2. Peserta didik dapat menyajikan data jumlah gelembung O₂ dalam tabel dan grafik garis.
3. Peserta didik dapat menganalisis faktor pembatas fotosintesis berdasarkan data percobaan.

B Cerita pembuka

Bima memelihara ikan cupang di akuarium kecil berisi tanaman *Hydrilla* di teras rumahnya di Palembang. Saat sinar matahari pagi masuk, ia melihat butiran gelembung kecil naik dari daun *Hydrilla*. Saat langit mendung, gelembungnya hampir hilang. Dr. Sela menantang: “Gelembung apa itu, dan apa saja yang membuat jumlahnya berubah?”

C Alat dan bahan

- Gawai (HP, tablet, atau laptop) yang membuka Cellpedia Bab 21.8 (Percobaan maya: gelembung *Hydrilla*)
- Lembar kerja dan alat tulis
- Kertas grafik (milimeter blok) dan penggaris
- Pensil warna tiga macam

D Langkah kegiatan

1. Buka Cellpedia Bab 21.8. Baca petunjuknya dan kenali tiga pengatur: intensitas cahaya, kadar CO₂ dalam air, dan suhu air.
2. Atur kondisi awal: kadar CO₂ “sedang” dan suhu 28 °C. Kedua faktor ini menjadi variabel kontrol pada percobaan A.
3. Percobaan A (cahaya): geser intensitas cahaya ke 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Setiap kali, catat angka gelembung O₂ per menit dan pesan faktor pembatas yang muncul di bawah simulator.
4. Percobaan B (CO₂): atur cahaya 100% dan suhu 28 °C. Ubah kadar CO₂ menjadi “rendah”, lalu “tinggi (+ soda kue)”. Catat hasilnya.
5. Percobaan C (suhu): atur cahaya 100% dan CO₂ “tinggi”. Ubah suhu menjadi 15 °C, 30 °C, dan 45 °C. Catat hasilnya.
6. Gambarlah grafik garis percobaan A: sumbu mendatar = intensitas cahaya (%), sumbu tegak = gelembung O₂ per menit. Tandai titik saat grafik mulai mendatar.

7. Bandingkan tabel dan grafikmu dengan teman sebangku. Jika ada angka yang berbeda, atur ulang simulator dan periksa kembali.
8. Diskusikan pertanyaan analisis dalam kelompok, lalu tulis kesimpulanmu sendiri.

E Tabel pengamatan laju fotosintesis *Hydrilla*

Kondisi (cahaya • CO ₂ • suhu)	Gelembung O ₂ per menit	Faktor pembatas menurut simulator
A1: 0% • sedang • 28 °C		
A2: 20% • sedang • 28 °C		
A3: 40% • sedang • 28 °C		
A4: 60% • sedang • 28 °C		
A5: 80% • sedang • 28 °C		
A6: 100% • sedang • 28 °C		
B1: 100% • rendah • 28 °C		
B2: 100% • tinggi • 28 °C		
C1: 100% • tinggi • 15 °C		
C2: 100% • tinggi • 30 °C		
C3: 100% • tinggi • 45 °C		

F Pertanyaan diskusi

1. Gas apa yang membentuk gelembung pada daun *Hydrilla*, dan dari molekul apa gas itu berasal?

2. Pada percobaan A, bagaimana jumlah gelembung berubah dari cahaya 0% sampai 60%? Mengapa demikian?

3. Mengapa grafik percobaan A mendatar setelah cahaya 80%? Faktor apa yang kini membatasi, dan data mana dari percobaan B yang mendukung jawabanmu?

4. Pada percobaan C, laju fotosintesis pada suhu 15 °C dan 45 °C sama-sama rendah. Jelaskan penyebab yang berbeda untuk kedua suhu itu.

5. Seorang petani sayur di rumah kaca menambah lampu agar tanamannya cepat besar, tetapi pertumbuhannya hampir tidak berubah. Dengan konsep faktor pembatas (papan terpendek pada ember kayu), saran apa yang akan kamu berikan, dan mengapa?

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang pengaruh cahaya, CO₂, dan suhu terhadap laju fotosintesis, serta apa yang dimaksud dengan faktor pembatas.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami dari percobaan ini adalah ...

2. Bagian yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Jika punya akuarium atau kolam di rumah, faktor yang ingin saya uji sendiri adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Oksigen (O₂). Oksigen ini berasal dari molekul air (H₂O) yang dipecah di fotosistem II pada reaksi terang, bukan dari CO₂, seperti dibuktikan percobaan isotop Ruben dan Kamen (1941).
2. Jumlah gelembung naik hampir sebanding dengan cahaya (pada model: 0 → 12 → 24 → 36 per menit). Pada kisaran ini cahaya adalah faktor pembatas: makin banyak cahaya, makin banyak energi untuk reaksi terang, sehingga makin banyak air dipecah dan O₂ dilepaskan.

3. Setelah $\pm 80\%$ jumlah gelembung tetap (± 39 per menit) karena kadar CO_2 “sedang” kini menjadi faktor pembatas: siklus Calvin kekurangan CO_2 , sehingga tambahan cahaya tidak lagi menambah gula maupun O_2 . Buktinya, pada percobaan B, CO_2 tinggi (soda kue) menaikkan laju menjadi ± 59 per menit, sedangkan CO_2 rendah menurunkannya menjadi ± 21 per menit.
4. Pada 15°C , enzim fotosintesis (misalnya RuBisCO) bekerja lambat karena molekul bergerak lambat dan jarang bertumbukan. Pada 45°C , enzim mulai rusak (denaturasi) sehingga bentuknya berubah dan tidak dapat bekerja. Pada model, suhu optimum sekitar 30°C (± 60 gelembung per menit).
5. Cahaya sudah bukan faktor pembatas, jadi menambah lampu tidak menolong. Petani perlu mencari “papan terpendek” yang lain, misalnya menambah CO_2 di rumah kaca (dari tabung CO_2), menjaga suhu dekat optimum, serta memastikan air dan unsur hara cukup. Faktor yang paling kekurangan itulah yang harus diperbaiki lebih dulu, karena faktor itu yang menahan laju keseluruhan.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan pengamatan dan pencatatan data	Kesebelas kondisi tercatat lengkap dan tepat, termasuk pesan faktor pembatas.	Delapan sampai sepuluh kondisi tercatat tepat.	Hanya lima sampai tujuh kondisi tercatat, atau ada beberapa angka keliru.	Kurang dari lima kondisi tercatat atau sebagian besar angka keliru.
Penyajian grafik	Grafik lengkap: judul, label sumbu dengan satuan, skala tepat, dan titik saat grafik mendatar ditandai.	Grafik benar, tetapi satu unsur kurang (judul, label, atau satuan).	Grafik dibuat, tetapi skala atau banyak titik data salah.	Grafik tidak dibuat atau tidak sesuai data.
Analisis faktor pembatas	Menentukan faktor pembatas pada setiap percobaan dengan bukti data dan mengaitkannya dengan reaksi terang, siklus Calvin, atau kerja enzim.	Menentukan faktor pembatas dengan benar, tetapi bukti data kurang lengkap.	Menyebut faktor pembatas tanpa alasan yang jelas.	Belum dapat menentukan faktor pembatas.
Kesimpulan	Kesimpulan menjawab semua tujuan, didukung data, dan menjelaskan arti faktor pembatas.	Kesimpulan sesuai tujuan, tetapi kurang didukung data.	Kesimpulan hanya menjawab sebagian tujuan.	Tidak ada kesimpulan atau kesimpulan bertentangan dengan data.

Nilai akhir = jumlah skor $\div$ (jumlah aspek $\times$ 4) $\times$ 100.

Adu Cepat Kabel Kilat: Waktu Reaksi dan Gerak Refleks

Bab 22: Jaringan Kabel Kilat • Praktikum • SMP • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengukur waktu reaksi dengan uji penggaris jatuh dan menyajikan datanya dalam tabel.
2. Peserta didik dapat membandingkan jalur pesan saraf pada gerak sadar dan gerak refleks.
3. Peserta didik dapat mengidentifikasi bagian-bagian neuron melalui model kawat bulu dan plastisin.

B Cerita pembuka

Saat menggoreng pempek, jari Bima tak sengaja menyentuh wajan panas, dan tangannya sudah tertarik sebelum ia sempat berpikir. Namun ketika kakaknya tiba-tiba melempar kerupuk, Bima sering gagal menangkapnya. Mengapa menarik tangan dari wajan terasa jauh lebih cepat daripada menangkap kerupuk? Hari ini kamu akan mengukur kecepatan “kabel kilat” di tubuhmu sendiri.

C Alat dan bahan

- Penggaris 30 cm yang kaku (kayu atau plastik), 1 per pasangan
- Kawat bulu (pipe cleaner) berbagai warna
- Meja dan kursi yang cukup tinggi sehingga kaki bisa menggantung
- Plastisin dua warna
- Kertas label kecil, spidol, dan kalkulator

⚠ Keselamatan: Penggaris dijatuhkan, bukan dilempar, dan ujungnya dijauhkan dari mata. Pada uji refleks lutut, ketuk perlahan dengan sisi telapak tangan tepat di bawah tempurung lutut; jangan memakai benda keras dan jangan mengetuk berulang kali dengan kuat. Siswa yang sedang cedera lutut cukup menjadi pengamat.

D Langkah kegiatan

1. Bekerjalah berpasangan. Siswa A duduk dengan lengan bawah bertumpu di tepi meja, telapak tangan dominan menjulur keluar meja, ibu jari dan telunjuk terbuka selebar ± 3 cm.
2. Siswa B memegang ujung atas penggaris secara tegak, dengan angka 0 tepat di antara ibu jari dan telunjuk A. A menatap penggaris, bukan tangan B.
3. Tanpa aba-aba dan pada waktu yang acak, B melepaskan penggaris, lalu A menangkapnya secepat mungkin. Catat angka (cm) tepat di atas ibu jari A. Ulangi 5 kali (kondisi A).
4. Ulangi 5 kali memakai tangan yang tidak dominan (kondisi B), lalu 5 kali dengan tangan dominan sambil A menghitung mundur dari 100 dikurangi 3 (100, 97, 94, ...) dengan suara keras (kondisi C).

5. Hitung rata-rata jarak setiap kondisi, lalu ubah menjadi waktu reaksi dengan rumus $t = \sqrt{(2d/g)}$, d dalam meter dan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Bisa juga memakai tabel ini: 5 cm = 0,10 s; 10 cm = 0,14 s; 15 cm = 0,17 s; 20 cm = 0,20 s; 25 cm = 0,23 s; 30 cm = 0,25 s.
6. Uji refleks lutut: A duduk di kursi dengan kaki menggantung lemas. B mengetuk perlahan tepat di bawah tempurung lutut dengan sisi telapak tangan. Amati gerakan kaki dan tanyakan apakah A sengaja menggerakkannya.
7. Ulangi uji refleks lutut sekali lagi, kali ini A menutup mata. Catat apakah refleks tetap terjadi.
8. Buat model neuron: plastisin sebagai badan sel, kawat bulu bercabang pendek sebagai dendrit, satu kawat panjang sebagai akson, potongan plastisin warna lain yang dipasang berselang sebagai selubung mielin dengan celah nodus Ranvier, dan kawat bercabang di ujung sebagai terminal akson. Beri label setiap bagian.
9. Gabungkan model neuronmu dengan model kelompok lain menjadi busur refleks: reseptor → neuron sensorik → interneuron → neuron motorik → otot. Bandingkan dengan jalur saat menangkap penggaris.
10. Diskusikan pertanyaan analisis dalam kelompok, lalu tulis kesimpulan.

E Tabel jarak tangkap penggaris

Percobaan ke-	A. Tangan dominan (cm)	B. Tangan tidak dominan (cm)	C. Tangan dominan + berhitung mundur (cm)
1			
2			
3			
4			
5			
Rata-rata jarak (cm)			
Waktu reaksi rata-rata (s)			

F Pertanyaan diskusi

1. Berapa waktu reaksi rata-rata untuk kondisi A, B, dan C? Kondisi mana yang paling cepat dan mana yang paling lambat?

2. Tuliskan urutan jalur pesan saat kamu menangkap penggaris, mulai dari mata sampai otot jari. Bagian mana yang membuatnya berbeda dari gerak refleks?

3. Mengapa waktu reaksi pada kondisi C (sambil berhitung mundur) biasanya lebih lambat?

4. Pada uji refleks lutut, kaki tetap terangkat walaupun mata ditutup dan tanpa niat. Jelaskan mengapa hal itu terjadi dan apa gunanya refleks bagi tubuh.

5. Pesan pada serabut saraf bermielin dapat merambat hingga ± 100 m/s. Jalur mata $\rightarrow$ otak $\rightarrow$ sumsum tulang belakang $\rightarrow$ jari panjangnya sekitar 1,5 m, sehingga waktu tempuh di “kabel” hanya $\pm 0,015$ s. Mengapa waktu reaksimu jauh lebih lama ($\pm 0,2$ s)? Kaitkan dengan sinaps dan kerja otak.

6. Seorang pengemudi ojek menelepon sambil berkendara. Berdasarkan data kondisi C, jelaskan risikonya dan berikan saran yang masuk akal.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang perbedaan jalur dan kecepatan gerak sadar (menangkap penggaris) dengan gerak refleks (refleks lutut).

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang jalur pesan di sistem saraf adalah ...
2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...
3. Kebiasaan sehari-hari yang ingin saya ubah setelah mengetahui waktu reaksi saya adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Jawaban sesuai data. Waktu reaksi siswa umumnya sekitar 0,15–0,25 s (jarak $\pm 11\text{--}30$ cm). Tangan dominan (A) sering sedikit lebih cepat daripada tangan tidak dominan (B), dan kondisi C biasanya paling lambat.
2. Reseptor cahaya di mata → saraf penglihatan (neuron sensorik) → otak: gerakan penggaris dikenali lalu diputuskan untuk menangkap → perintah turun ke sumsum tulang belakang → neuron motorik → otot jari berkontraksi. Bedanya, pada gerak sadar pesan harus diolah dan diputuskan di otak, sedangkan pada gerak refleks jalurnya dipersingkat lewat sumsum tulang belakang tanpa menunggu keputusan otak.
3. Otak sedang sibuk mengerjakan tugas lain (berhitung), sehingga perhatian terbagi. Pengenalan gerakan penggaris dan pengambilan keputusan untuk menangkap harus “mengantre” di jaringan neuron otak, sehingga perintah ke otot tertunda.
4. Refleks lutut tidak memerlukan keputusan otak. Ketukan meregangkan otot paha, reseptor regang di otot mengirim pesan lewat neuron sensorik ke sumsum tulang belakang, dan dari sana neuron motorik langsung memerintah otot paha berkontraksi. Karena jalurnya tidak melewati pusat keputusan di otak, refleks tetap terjadi walau mata tertutup. Refleks melindungi tubuh dengan respons yang sangat cepat, misalnya menarik tangan dari wajan panas, dan membantu menjaga sikap tubuh.
5. Sebagian besar waktu habis untuk pengolahan, bukan perjalanan di kabel. Pesan harus melewati banyak sinaps di mata, otak, dan sumsum tulang belakang; di setiap sinaps neurotransmiter harus dilepas, menyeberangi celah, dan membangkitkan sinyal baru. Otak juga memerlukan waktu untuk mengenali gerakan dan memutuskan tindakan, lalu otot memerlukan waktu untuk mulai berkontraksi.
6. Menelepon membagi perhatian seperti berhitung mundur, sehingga waktu reaksi bertambah. Pada kecepatan 36 km/jam (10 m/s), tambahan waktu reaksi 0,1 s saja berarti motor melaju 1 m lebih jauh sebelum pengemudi mulai mengerem. Saran: tidak memakai HP saat berkendara, dan menepi di tempat aman bila harus menelepon.



Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Keterampilan melakukan percobaan	Semua langkah dilakukan benar: penggaris dilepas tanpa aba-aba, 5 ulangan setiap kondisi, dan uji refleks dilakukan dengan aman.	Sebagian besar langkah benar, dengan satu kekeliruan kecil (misalnya ulangan kurang).	Beberapa langkah keliru sehingga data kurang dapat dipercaya.	Percobaan tidak dilakukan sesuai langkah.
Ketepatan data dan perhitungan	Semua data tercatat; rata-rata dan konversi ke waktu reaksi tepat.	Data lengkap, dengan satu kesalahan hitung.	Data kurang lengkap atau beberapa perhitungan salah.	Data tidak lengkap dan perhitungan tidak dilakukan.
Model neuron dan busur refleks	Model memuat dendrit, badan sel, akson, mielin, nodus Ranvier, dan terminal akson dengan label benar, serta busur refleks tersusunurut.	Model hampir lengkap; satu bagian kurang atau salah label.	Model hanya memuat sebagian bagian utama.	Model tidak dibuat atau tidak menyerupai neuron.
Analisis dan kesimpulan	Membandingkan gerak sadar dan refleks secara tepat dengan data serta konsep jalur saraf dan sinaps.	Perbandingan benar, tetapi kurang dikaitkan dengan data.	Penjelasan hanya sebagian benar.	Belum dapat menjelaskan perbedaan gerak sadar dan refleks.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Sisir Sarkomer dan Jepitan Jemuran: Merasakan Kerja Tim Tarik Tambang

Bab 23: Tim Tarik Tambang • Praktikum & pemodelan • SMP • 2 × 45 menit

Nama: _____

Kelas: _____

Tanggal: _____

Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat memodelkan mekanisme filamen geser dengan sisir dan mengidentifikasi bagian sarkomer yang berubah saat kontraksi.
2. Peserta didik dapat mengukur dan menyajikan data penurunan kinerja otot saat kelelahan.
3. Peserta didik dapat menjelaskan hubungan ATP, Ca^{2+} , dan jenis serat otot dengan kelelahan otot.

B Cerita pembuka

Setiap 17 Agustus, kampung Bima mengadakan lomba tarik tambang. Tim Bima menang mudah di babak pertama, tetapi di babak ketiga lengan mereka gemetar dan tarikannya melemah. Padahal di dalam setiap otot mereka ada jutaan “pemain” miosin yang menarik “tali” aktin. Bagaimana sebenarnya otot memendek, dan mengapa tim yang sama bisa kehabisan tenaga?

C Alat dan bahan

- 4 sisir plastik bergigi jarang yang sama ukurannya per kelompok, dan selotip
- Kertas HVS, penggaris, dan pensil
- Jepitan jemuran kayu atau plastik (1 per siswa)
- Stopwatch atau HP
- Potongan daging ayam rebus bagian paha dan dada dalam wadah tertutup (disiapkan guru)
- Kaca pembesar (lup), bila ada

⚠ Keselamatan: Jangan menjepitkan jepitan jemuran ke kulit atau jari teman. Hentikan uji jepitan bila tangan terasa nyeri, bukan sekadar pegal. Daging ayam hanya untuk diamati: jangan dicicipi, biarkan tetap di wadahnya, dan cuci tangan dengan sabun setelah praktikum.

D Langkah kegiatan

1. Susun model sarkomer di atas kertas: sisir 1 dan sisir 4 adalah dua garis Z (patok) dengan gigi sebagai filamen aktin (tali). Tempelkan punggung sisir 2 dan sisir 3 dengan selotip sehingga giginya mengarah ke kiri dan ke kanan; inilah filamen miosin (regu pemain) yang menarik ke dua arah.
2. Keadaan relaks: sisipkan sedikit ujung gigi sisir 1 ke sela gigi sisir 2, dan ujung gigi sisir 4 ke sela gigi sisir 3. Gambar garis tepinya di kertas.
3. Ukur dan catat di buku: panjang sarkomer (jarak punggung sisir 1 ke punggung sisir 4), pita A (panjang total gigi miosin dari ujung ke ujung), pita I (bagian gigi aktin yang tidak tumpang-tindih, kiri + kanan), dan zona H (bagian tengah miosin yang tidak dimasuki gigi aktin).

4. Keadaan kontraksi: geser sisir 1 dan sisir 4 mendekat ke tengah tanpa membengkokkan gigi. Ukur kembali keempat besaran itu dan bandingkan.
5. Uji kelelahan: pegang jepitan jemuran dengan ibu jari dan telunjuk tangan dominan. Saat teman memberi aba-aba, buka-tutup jepitan penuh sebanyak mungkin selama 30 detik, sementara teman menghitung.
6. Lakukan 5 babak berturut-turut dengan jeda hanya 10 detik untuk mencatat. Catat jumlah jepitan dan rasa di otot pada setiap babak.
7. Istirahatkan tangan selama 2 menit (goyangkan pelan dan rilekskan), lalu lakukan satu babak lagi dan catat hasilnya.
8. Amati potongan daging paha dan dada ayam di wadah tertutup, dengan lup bila ada. Catat perbedaan warnanya.
9. Buat grafik garis: sumbu mendatar = babak, sumbu tegak = jumlah jepitan per 30 detik.
10. Diskusikan pertanyaan analisis dalam kelompok, lalu tulis kesimpulan.

E Tabel uji kelelahan otot jari

Babak (30 detik)	Jumlah jepitan	Perubahan dibanding babak 1	Rasa di otot (biasa/pegal/gemetar/panas)
Babak 1			
Babak 2			
Babak 3			
Babak 4			
Babak 5			
Setelah istirahat 2 menit			

F Pertanyaan diskusi

1. Pada model sisir, besaran mana yang tetap dan mana yang memendek saat “kontraksi”? Apa artinya bagi teori filamen geser?

2. Dalam analogi tarik tambang, apa yang diwakili oleh punggung sisir 1 dan 4, gigi sisir 1 dan 4, serta pasangan sisir 2-3?

3. Bagaimana jumlah jepitan berubah dari babak 1 sampai babak 5, dan setelah istirahat? Jelaskan penyebabnya dengan konsep ATP dan pembangkit energi otot.
4. Mengapa daging paha ayam lebih gelap daripada daging dada? Hubungkan dengan jenis serat otot dan kebiasaan ayam yang lebih banyak berdiri dan berjalan daripada terbang.
-
-
-
5. Model sisir tidak dapat bergeser sendiri. Menurut Bab 23.3–23.4, dua “bahan” apa yang harus ada agar pemain miosin terus menarik, dan apa yang terjadi bila salah satunya habis?
-
-
-
6. Andi berlatih jepit jemuran setiap hari selama sebulan dengan istirahat yang cukup. Ramalkan perubahan hasil babak 5-nya dan jelaskan perubahan yang terjadi di dalam serabut ototnya.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang cara sarkomer memendek dan penyebab otot menjadi lelah.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang kerja otot adalah ...
2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...
-
-
3. Kebiasaan olahraga atau istirahat yang ingin saya perbaiki setelah praktikum ini adalah ...
-
-

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Panjang gigi sisir (filamen) dan pita A tetap sama. Yang memendek adalah panjang sarkomer (jarak garis Z ke garis Z), pita I, dan zona H. Artinya filamen tidak mengerut, melainkan saling bergeser sehingga tumpang-tindih aktin-miosin bertambah; inilah teori filamen geser.
2. Punggung sisir 1 dan 4 = garis Z (patok). Gigi sisir 1 dan 4 = filamen tipis aktin (tali). Sisir 2–3 yang ditempel punggung-ke-punggung = filamen tebal miosin (regu pemain) yang menarik tali dari dua arah menuju tengah sarkomer.
3. Jumlah jepitan umumnya menurun dari babak ke babak dan otot terasa pegal atau gemetar; setelah istirahat jumlahnya naik lagi. Di awal kerja, ATP cepat diisi ulang oleh fosfokreatin (± 10 detik), lalu otot makin mengandalkan glikolisis anaerob yang cepat tetapi boros. Pasokan ATP tidak lagi secepat kebutuhan dan zat sisa seperti fosfat dan ion H^+ menumpuk, sehingga tarikan melemah. Istirahat memberi waktu bagi mitokondria untuk mengisi ulang fosfokreatin dan ATP serta bagi aliran darah membersihkan zat sisa.
4. Paha ayam kaya serat merah (tipe I) yang banyak mengandung mitokondria dan mioglobin, protein penyimpan oksigen berwarna merah. Otot paha dipakai terus-menerus untuk berdiri dan berjalan, sehingga harus tahan lelah dan mengandalkan respirasi aerob. Otot dada ayam jarang dipakai terbang dan hanya untuk kepakkan singkat yang kuat, sehingga didominasi serat putih (tipe II) yang mengandalkan glikolisis anaerob.
5. Ca^{2+} dan ATP. Ca^{2+} menempel pada troponin sehingga tropomiosin bergeser dan tempat ikat pada aktin terbuka; ATP dipakai untuk melepas genggaman miosin dan mengokang kepalanya lagi. Tanpa Ca^{2+} , tempat ikat tertutup sehingga otot relaks. Tanpa ATP, kepala miosin terkunci pada aktin sehingga filamen macet di posisinya dan otot kaku, seperti pada rigor mortis.
6. Setelah berlatih, penurunan jumlah jepitan di babak 5 diperkirakan lebih kecil (lebih tahan lelah), dan jumlah awalnya mungkin sedikit naik. Latihan berulang merangsang serabut otot menambah mitokondria sehingga lebih banyak ATP dibuat secara aerob dan hemat, serta menambah miofibril (hipertrofi) dengan bantuan sel satelit sehingga otot lebih kuat. Hal ini memerlukan istirahat dan asupan protein yang cukup.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan model sarkomer	Model tersusun benar (garis Z, aktin, miosin dua arah) dan keempat besaran diukur tepat pada keadaan relaks dan kontraksi.	Model benar, tetapi satu besaran salah diukur.	Model kurang tepat atau dua besaran salah diukur.	Model tidak dibuat atau tidak menggambarkan filamen geser.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pengumpulan dan penyajian data kelelahan	Data enam babak lengkap, dicatat jujur, dan grafik berlabel benar.	Data lengkap, tetapi grafik kurang satu unsur (judul atau label).	Data tidak lengkap atau grafik tidak sesuai data.	Data dan grafik tidak dibuat.
Analisis konsep (ATP, Ca^{2+}, jenis serat)	Menjelaskan kelelahan, pemulihan, dan perbedaan warna daging dengan konsep ATP, pembangkit energi, dan jenis serat secara tepat.	Penjelasan benar, tetapi salah satu konsep kurang lengkap.	Penjelasan sebagian benar atau masih memuat miskonsepsi (misalnya pegal esok hari karena asam laktat).	Belum dapat menjelaskan hasil pengamatan.
Kerja sama dan keselamatan	Berbagi tugas, bergiliran dengan tertib, dan mematuhi semua aturan keselamatan.	Bekerja sama dengan baik, sesekali perlu diingatkan.	Kerja sama kurang dan beberapa aturan dilanggar.	Tidak bekerja sama dan mengabaikan keselamatan.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Membaca Nilai Ct: Detektif Resep Virus di Mesin qPCR

Bab 24: Mesin Fotokopi Resep • Eksperimen maya • SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menjelaskan hubungan jumlah putaran PCR dengan jumlah salinan resep target.
2. Peserta didik dapat menentukan nilai Ct empat sampel menggunakan simulator qPCR.
3. Peserta didik dapat menganalisis hubungan nilai Ct dengan jumlah virus awal serta fungsi kontrol negatif.
4. Peserta didik dapat menafsirkan hasil tes PCR secara hati-hati dan bertanggung jawab.

B Cerita pembuka

Setelah pulang dari perkemahan Pramuka, Bima dan tiga temannya demam. Dokter meminta tes RT-PCR, dan hasilnya keluar dengan angka yang membingungkan: Ct 14, Ct 23, Ct 30, dan satu “tidak terdeteksi”. Bima mengira angka Ct yang paling besar berarti virusnya paling banyak. Benarkah? Hari ini kamu menjadi analis laboratorium yang membaca mesin fotokopi resep.

C Alat dan bahan

- Gawai yang membuka Cellpedia Bab 24.3 (Percobaan maya: membaca nilai Ct)
- Kartu untai DNA dari kertas bertuliskan urutan huruf dan kartu primer (disiapkan guru)
- Spidol, kalkulator, kertas grafik, dan pensil warna

D Langkah kegiatan

1. Pemanasan: peragakan satu putaran PCR dengan kartu untai DNA dari guru. Pisahkan pasangan untai (denaturasi), tempelkan kartu primer di awal resep target (penempelan), lalu tulis untai pasangan barunya huruf demi huruf (pemanjangan). Hitung jumlah untai ganda setelah putaran 1, 2, dan 3.
2. Buka Cellpedia Bab 24.3. Kenali dua pengatur, yaitu pilihan sampel pasien dan jumlah putaran, serta garis ambang pada grafik.
3. Pilih sampel “kontrol negatif (tanpa virus)”. Geser jumlah putaran dari 0 sampai 40. Catat jumlah salinan dan apakah muncul nilai Ct.
4. Pilih sampel “sedikit virus (± 10 salinan)”. Geser putaran ke 20 dan catat jumlah salinannya, lalu geser ke 40 dan catat nilai Ct yang muncul pada grafik.

- Ulangi langkah 4 untuk sampel “sedang (± 1.000 salinan)” dan “banyak virus ($\pm 1.000.000$ salinan)”. Perhatikan juga jumlah salinan pada putaran ke-40.
- Lengkapi tabel pengamatan dan tuliskan hasil setiap sampel: positif atau negatif.
- Hitung selisih Ct antara sampel ± 1.000 salinan dan $\pm 1.000.000$ salinan, lalu bandingkan dengan $2^{10} = 1.024$.
- Buat grafik: sumbu mendatar = jumlah salinan awal (10; 1.000; 1.000.000) dengan skala logaritma (setiap jarak yang sama berarti 10 kali lipat), sumbu tegak = nilai Ct. Hubungkan titik-titiknya.
- Diskusikan pertanyaan analisis dalam kelompok, lalu presentasikan kesimpulan kelompokmu.

E Tabel pengamatan qPCR

Sampel	Salinan awal	Salinan pada putaran ke-20	Nilai Ct	Hasil (positif/negatif)
Kontrol negatif				
Sedikit virus				
Sedang				
Banyak virus				

F Pertanyaan diskusi

- Berapa jumlah untai ganda DNA target setelah 1, 2, dan 3 putaran bila dimulai dari 1 molekul? Tuliskan rumus umumnya setelah n putaran.

- Urutkan keempat sampel dari nilai Ct terkecil ke terbesar. Sampel mana yang jumlah virusnya paling banyak? Jelaskan mengapa Ct kecil berarti virusnya banyak.

- Apa fungsi kontrol negatif? Apa yang harus disimpulkan laboratorium bila kontrol negatif justru memberi nilai Ct?

4. Selisih Ct antara sampel ± 1.000 dan $\pm 1.000.000$ salinan sekitar 10 putaran. Jelaskan angka ini dengan konsep penggandaan.

5. Pada putaran ke-40, sampel sedang dan banyak virus menunjukkan jumlah salinan yang hampir sama (± 100 miliar). Mengapa laboratorium memakai nilai Ct, bukan jumlah salinan di akhir reaksi, untuk membandingkan sampel?

6. Teman Bima dengan Ct 30 berkata, “Ct-ku paling tinggi, berarti sakitku paling parah.” Evaluasi pernyataan itu dan jelaskan mengapa hasil tes harus ditafsirkan oleh tenaga kesehatan.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang hubungan nilai Ct dengan jumlah reseptor virus di dalam sampel, serta pentingnya kontrol dalam tes PCR.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang cara kerja PCR adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya tentang nilai Ct adalah ...

3. Jika keluarga saya menerima hasil tes PCR, saya akan menjelaskan kepada mereka bahwa ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Putaran 1: 2; putaran 2: 4; putaran 3: 8 untai ganda. Rumus umumnya: jumlah salinan = $N_0 \times 2^n$, dengan N_0 = jumlah salinan awal dan n = jumlah putaran, bila setiap putaran menggandakan semua salinan.
2. Urutannya: banyak virus ($Ct \pm 13,4$) → sedang ($Ct \pm 23,4$) → sedikit virus ($Ct \pm 30,0$); kontrol negatif tidak memiliki Ct. Sampel “banyak virus” paling banyak mengandung resep virus. Makin banyak salinan awal, makin sedikit putaran yang dibutuhkan agar pendar melewati garis ambang, seperti pedagang yang mulai dengan lebih banyak brosur lebih cepat memenuhi kota.
3. Kontrol negatif tidak berisi resep target, sehingga membuktikan bahwa tabung, pereaksi, dan alat tidak tercemar; kurvanya harus tetap datar. Bila kontrol negatif memberi Ct, kemungkinan telah terjadi pencemaran, sehingga semua hasil dalam proses itu tidak dapat dipercaya dan pemeriksaan harus diulang.
4. Setiap putaran menggandakan salinan. Sampel $\pm 1.000.000$ salinan berisi 1.000 kali lebih banyak resep daripada sampel ± 1.000 salinan. Karena $2^{10} = 1.024 \approx 1.000$, sampel yang lebih sedikit memerlukan sekitar 10 putaran tambahan untuk menyusul, sehingga selisih Ct-nya ± 10 ($23,4 - 13,4$).
5. Setelah banyak putaran, reaksi mencapai fase datar (plateau) karena primer, nukleotida, dan kemampuan enzim terbatas, sehingga semua sampel positif berakhir dengan jumlah yang mirip. Perbedaan jumlah awal hanya terlihat jelas selama fase eksponensial, yaitu saat pendar melewati ambang. Karena itu nilai Ct lebih mencerminkan jumlah resep awal di sampel.
6. Pernyataan itu keliru. Ct 30 justru berarti resep virus di sampel lebih sedikit daripada sampel dengan Ct 14 atau 23. Selain itu, jumlah virus di swab dipengaruhi cara pengambilan sampel dan waktu sejak terinfeksi, dan berat ringannya penyakit ditentukan banyak faktor lain seperti usia, penyakit penyerta, dan gejala. Batas Ct juga berbeda menurut jenis tes dan laboratorium. Karena itu hasil PCR harus dibaca bersama gejala dan pemeriksaan lain oleh dokter atau tenaga kesehatan.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan pengamatan simulator	Keempat sampel tercatat lengkap dan tepat: salinan pada putaran ke-20, nilai Ct, dan hasil.	Tiga sampel tercatat tepat.	Hanya dua sampel tercatat tepat, atau banyak angka keliru.	Tabel hampir kosong atau tidak sesuai simulator.
Perhitungan dan grafik	Rumus $N_0 \times 2^n$, selisih Ct, dan grafik Ct terhadap salinan awal (skala logaritma) benar dan berlabel.	Perhitungan benar, tetapi grafik kurang satu unsur.	Sebagian perhitungan salah atau grafik tidak sesuai data.	Perhitungan dan grafik tidak dikerjakan.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Analisis dan penalaran	Menjelaskan hubungan terbalik Ct dengan jumlah virus, fungsi kontrol negatif, dan fase plateau dengan tepat.	Dua dari tiga konsep dijelaskan dengan tepat.	Hanya satu konsep dijelaskan dengan tepat.	Belum dapat menjelaskan konsep-konsep tersebut.
Sikap ilmiah dan tanggung jawab	Menafsirkan hasil tes dengan hati-hati, menyebut keterbatasannya, dan merujuk kepada tenaga kesehatan.	Menafsirkan dengan hati-hati, tetapi kurang menyebut keterbatasan.	Menarik kesimpulan berlebihan dari satu angka Ct.	Menafsirkan secara keliru atau menyesatkan.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Pelat ELISA dari Gelas Plastik: Simulasi Uji Warna dan Membaca Rapid Test

Bab 25: Anjing Pelacak Protein • Praktikum simulasi • SMP/SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat memodelkan prinsip ELISA, yaitu substrat yang berubah warna bila target ada, dengan larutan kunyit dan soda kue.
2. Peserta didik dapat menjelaskan fungsi kontrol positif dan kontrol negatif dalam uji diagnostik.
3. Peserta didik dapat menafsirkan hasil rapid test (positif, negatif, atau tidak valid) dari garis C dan T.
4. Peserta didik dapat membandingkan model sederhana dengan ELISA sungguhan dan menyebutkan keterbatasan model.

B Cerita pembuka

Bibi Bima baru saja memakai tes kehamilan dan melihat garis dua. Minggu lalu, adik sepupu Bima diperiksa dengan tes NS1 demam berdarah di puskesmas, dan hasilnya keluar dalam 15 menit. Bima penasaran: bagaimana sepotong strip kertas dan pelat plastik di laboratorium bisa “melihat” protein yang begitu kecil? Hari ini kamu membuat versi dapur dari uji warna itu.

C Alat dan bahan

- Kunyit segar 1 ruas yang diparut dan diperas dengan 100 mL air, atau 1 sendok teh kunyit bubuk yang dilarutkan dalam 100 mL air lalu disaring
- Soda kue (natrium bikarbonat), cuka dapur, dan air matang
- 8 gelas plastik bening kecil berlabel, sendok teh, pipet tetes atau sedotan, dan pengaduk
- Kertas putih sebagai latar pengamatan dan kain lap
- Gawai untuk membuka Cellpedia Bab 25.4 (latihan membaca rapid test)

⚠ Keselamatan: Semua bahan adalah bahan dapur, tetapi jangan mencicipi atau meminum larutan praktikum. Kunyit meninggalkan noda kuning pada baju dan kulit, jadi pakailah celemek atau alasi meja dengan kain lap. Jangan sampai larutan soda kue atau cuka terkena mata; bila terkena, segera bilas dengan air mengalir. Cuci tangan dan semua gelas setelah praktikum.

D Langkah kegiatan

1. Siapkan larutan “substrat” kunyit sesuai daftar alat. Amati warnanya: kuning.

2. Beri label pada gelas: K+, K–, dan P1–P6. Guru sudah menyiapkan sampel “serum pasien” P1–P6 secara rahasia (berisi air matang, larutan soda kue, atau cuka encer), dan hanya guru yang memegang kuncinya.
3. Isi gelas K+ (kontrol positif) dengan 50 mL air dan ½ sendok teh soda kue, lalu aduk. Isi gelas K– (kontrol negatif) dengan 50 mL air matang. Tuangkan ±50 mL sampel P1–P6 ke gelas masing-masing.
4. Teteskan 10 tetes larutan kunyit ke setiap gelas, dimulai dari K–, lalu K+, kemudian P1–P6. Aduk dengan pengaduk yang dibilas dan dilap setiap kali berganti gelas agar sampel tidak tercampur.
5. Letakkan semua gelas di atas kertas putih. Setelah 1 menit, amati dan catat warnanya (kuning, jingga, atau merah kecokelatan) di tabel.
6. Bandingkan warna setiap sampel dengan K+ dan K–, lalu tentukan hasilnya: positif bila warnanya seperti K+, negatif bila seperti K–.
7. Minta guru membuka kunci isi sampel. Lengkapi kolom “isi sampel” dan periksa apakah tafsiranmu benar.
8. Buka Cellpedia Bab 25.4 dan kerjakan latihan membaca rapid test (lima gambar strip). Catat jawabanmu beserta alasannya di buku.
9. Diskusikan pertanyaan analisis dalam kelompok, lalu tulis kesimpulan.

E Tabel pengamatan “pelat ELISA” gelas plastik

Gelas	Warna setelah diberi kunyit	Tafsiran (positif/negatif)	Isi sampel (diisi setelah kunci dibuka)	Tafsiran benar? (✓/✗)
K+ (kontrol positif)				
K– (kontrol negatif)				
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				
P6				

F Pertanyaan diskusi

1. Warna apa yang muncul pada gelas K+ dan K-? Mengapa kita memerlukan kedua kontrol itu sebelum membaca hasil P1-P6?

2. Pada model ini, apa yang diwakili oleh larutan kunyit dan oleh soda kue bila dibandingkan dengan ELISA sungguhan?

3. Sampel yang berisi cuka tetap berwarna kuning. Pada ELISA sungguhan, hal ini mirip serum yang berisi banyak protein lain tetapi tidak berisi target. Bagian ELISA mana yang mencegah protein lain ikut menghasilkan warna?

4. Pada latihan rapid test, mengapa strip yang hanya memunculkan garis T tanpa garis C dinyatakan tidak valid, padahal garis T-nya jelas?

5. Seandainya gelas K+ di praktikummu tetap kuning, apa yang harus kamu simpulkan tentang hasil P1-P6? Sebutkan dua kemungkinan penyebabnya.

6. Sebutkan dua perbedaan penting antara model gelas kunyit ini dan ELISA sungguhan. Mengapa ELISA sungguhan dapat mengukur “berapa banyak” protein, bukan hanya “ada atau tidak”?

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang prinsip ELISA dan rapid test, serta pentingnya kontrol dalam setiap uji laboratorium.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang cara antibodi dipakai sebagai alat deteksi adalah ...
2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...
3. Jika keluarga saya memakai rapid test di rumah, hal yang akan saya ingatkan adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. K+ berwarna jingga sampai merah kecokelatan, sedangkan K– tetap kuning. Kontrol positif membuktikan bahwa substrat dan cara kerja kita mampu menghasilkan warna bila target ada, sedangkan kontrol negatif menunjukkan warna dasar bila target tidak ada. Tanpa keduanya, kita tidak tahu warna mana yang berarti positif atau negatif, dan tidak tahu apakah uji berjalan benar.
2. Larutan kunyit mewakili substrat yang dapat berubah warna. Soda kue mewakili protein target yang sudah “terjepit” bersama antibodi pendeteksi berenzim: bila ada, warna berubah; bila tidak ada, substrat tetap kuning. Bedanya, pada ELISA sungguhan warna muncul karena enzim (misalnya HRP) mengubah substrat, sedangkan pada model kita warna kunyit berubah karena larutan soda kue bersifat basa.
3. Kekhususan antibodi penangkap dan antibodi pendeteksi, yang hanya pas dengan protein target seperti kunci dan gembok, serta langkah pencucian yang membuang protein lain yang tidak tertangkap. Karena itu hanya target yang terjepit di antara dua antibodi yang membawa enzim penghasil warna.
4. Garis C adalah bukti bahwa cairan sudah mengalir sampai ujung strip dan antibodi berlabel bekerja. Tanpa garis C, kita tidak dapat memastikan tes berjalan dengan benar, sehingga garis T pun tidak dapat dipercaya. Tes harus diulang dengan alat yang baru.
5. Karena kontrol positif gagal, seluruh hasil P1–P6 tidak valid dan tidak boleh ditafsirkan; uji harus diulang. Kemungkinan penyebabnya antara lain larutan kunyit lupa diteteskan atau terlalu encer, bahan untuk K+ tertukar (misalnya dengan garam atau tepung), atau label gelas tertukar.

6. Perbedaan: (1) ELISA memakai antibodi yang sangat khusus untuk satu protein, sedangkan model kita bereaksi terhadap zat basa apa pun; (2) ELISA memiliki langkah pencucian dan dikerjakan di pelat 96 sumur dengan volume sangat kecil; (3) warna ELISA dihasilkan enzim yang mengubah banyak molekul substrat, sehingga sinyal diperkuat. ELISA dapat mengukur kadar karena makin banyak target tertangkap, makin banyak enzim yang bekerja dan makin pekat warnanya; alat pembaca pelat mengukur absorbansi, lalu angkanya dicocokkan dengan kurva standar dari larutan yang kadarnya sudah diketahui.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Keterampilan dan kebersihan kerja	Semua langkah dilakukan urut, pengaduk dibilas setiap berganti gelas, dan aturan keselamatan dipatuhi.	Hampir semua langkah benar, dengan satu kelalaian kecil.	Beberapa langkah keliru sehingga sampel mungkin tercampur.	Praktikum tidak mengikuti langkah dan aturan keselamatan.
Ketepatan pengamatan dan tafsiran	Warna semua gelas tercatat, dan semua tafsiran sesuai kunci serta dibandingkan dengan kontrol.	Satu tafsiran keliru.	Dua sampai tiga tafsiran keliru, atau kontrol tidak dipakai sebagai pembanding.	Sebagian besar tafsiran keliru.
Membaca rapid test	Kelima strip ditafsirkan benar disertai alasan tentang garis C dan T.	Empat strip ditafsirkan benar.	Dua sampai tiga strip ditafsirkan benar.	Kurang dari dua strip ditafsirkan benar.
Analisis model dan kesimpulan	Memetakan model ke ELISA sungguhan dengan tepat, menyebut keterbatasan model, dan kesimpulan didukung data.	Pemetaan tepat, tetapi keterbatasan model kurang lengkap.	Pemetaan model ke ELISA sebagian keliru.	Belum dapat mengaitkan model dengan ELISA.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Perjalanan Resep Latihan: Bermain Peran Vaksin mRNA dan Cek Fakta Hoaks

Bab 26: Resep Latihan untuk Tentara • Bermain peran & literasi sains • SMP/SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengurutkan perjalanan vaksin mRNA di dalam tubuh, dari suntikan sampai terbentuknya sel memori.
2. Peserta didik dapat menjelaskan mengapa vaksin mRNA tidak mengubah DNA manusia.
3. Peserta didik dapat mengevaluasi kebenaran informasi tentang vaksin dengan membandingkannya dengan sumber terpercaya (Kemenkes, BPOM, WHO).

B Cerita pembuka

Di grup WhatsApp keluarga, Om Bima membagikan pesan berantai: “Vaksin mRNA akan mengubah DNA kita dan tinggal di tubuh selamanya!” Nenek jadi ragu untuk diimunisasi. Bima ingat Dr. Sela pernah menjelaskan bahwa resep latihan dikirim ke dapur sel, bukan ke perpustakaan. Hari ini kamu akan memeragakan perjalanan vaksin mRNA, lalu menjadi pemeriksa fakta untuk keluargamu.

C Alat dan bahan

- Kartu peran berkalung: nanopartikel lipid, mRNA, sel otot, ribosom (Mas Ribo), protein paku, sel dendritik, sel T helper, sel B, antibodi, sel T sitotoksik, enzim penghancur RNA, sel memori, dan inti sel (perpustakaan)
- Tali rafia atau lakban kertas untuk membuat batas membran sel, inti sel, dan kelenjar getah bening di lantai kelas
- Selembar kertas bertuliskan “resep protein paku” sebagai mRNA
- Gawai dengan akses internet (1 per kelompok)
- Lembar berisi 4 klaim tentang vaksin yang disiapkan guru

D Langkah kegiatan

1. Bersama guru, buat denah di lantai kelas: lingkaran tali besar sebagai membran sel otot, lingkaran kecil di dalamnya sebagai inti (perpustakaan), dan satu sudut kelas sebagai kelenjar getah bening.
2. Bagikan kartu peran dalam kelompok berisi ±13 siswa. Setiap pemeran membaca tugas di kartunya dan mencari pasangan kerjanya, misalnya mRNA dengan nanopartikel lipid.

3. Peragakan tahap 1–4: nanopartikel lipid membawa mRNA ke sel otot → gelembung masuk lewat endositosis dan mRNA lepas ke sitoplasma → ribosom membaca resep dan “memasak” protein paku → potongan protein paku dipajang sebagai foto buronan dan dibawa sel dendritik ke kelenjar getah bening.
4. Peragakan tahap 5–7: sel T helper membangunkan sel B untuk membuat antibodi dan melatih sel T sitotoksik → enzim penghancur RNA memotong mRNA dalam beberapa hari → sel memori berjaga.
5. Pengamat di setiap kelompok mencatat: apakah pemeran mRNA pernah masuk ke lingkaran inti? Di mana setiap tokoh bekerja?
6. Guru mengacak urutan satu tahap. Kelompok lain menebak tahap mana yang salah urut dan menjelaskan alasannya.
7. Cek fakta: setiap kelompok menerima 4 klaim dari guru, misalnya “vaksin mRNA mengubah DNA”, “demam ringan setelah vaksin berarti vaksin gagal”, “vaksin dibuat terburu-buru tanpa uji klinis”, dan “mRNA vaksin tertinggal di tubuh selamanya”.
8. Cari informasi tentang setiap klaim di situs resmi Kementerian Kesehatan (kemkes.go.id), BPOM (pom.go.id), atau WHO (who.int). Catat nama situs dan tanggal terbit halaman yang kamu baca.
9. Bandingkan setiap klaim dengan isi sumber tepercaya dan Bab 26, lalu tentukan: hoaks, fakta, atau fakta yang dipelintir. Tulis di tabel.
10. Susun satu pesan balasan yang sopan untuk grup keluarga (paling banyak 3 kalimat) berisi fakta dan sumbernya, lalu presentasikan hasil kelompokmu.

E Tabel cek fakta vaksin

No	Klaim yang beredar	Sumber tepercaya yang dibaca (nama situs dan tanggal)	Fakta menurut sumber dan Bab 26	Kesimpulan (hoaks/fakta/dipelintir)
1				
2				
3				
4				

F Pertanyaan diskusi

1. Urutkan tokoh-tokoh berikut sesuai perjalanan vaksin mRNA: sel memori, ribosom, nanopartikel lipid, sel dendritik, enzim penghancur RNA, sel B.

2. Selama peragaan, apakah pemeran mRNA masuk ke lingkaran inti? Jelaskan alasan ilmiah mengapa vaksin mRNA tidak dapat mengubah DNA.
3. Mengapa mRNA perlu dibungkus nanopartikel lipid? Apa yang terjadi bila mRNA disuntikkan tanpa pembungkus?
4. Pegal di lengan, demam ringan 1–2 hari, dan kelenjar ketiak yang sedikit bengkak sering terjadi setelah vaksinasi. Jelaskan hubungan reaksi ini dengan “latihan tentara” dalam peragaanmu.
5. Evaluasi klaim ini dengan data di Bab 26.5: “Vaksin mRNA COVID-19 dibuat hanya dalam 11 bulan, jadi pasti tidak diuji dengan benar.”
6. Menurutmu, mengapa pesan hoaks sering lebih cepat menyebar daripada fakta? Bagaimana cara menyampaikan fakta kepada orang tua atau kakek-nenek agar diterima tanpa menyinggung?

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang perjalanan vaksin mRNA di dalam tubuh, alasan vaksin ini tidak mengubah DNA, dan cara memeriksa kebenaran informasi kesehatan.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang cara kerja vaksin mRNA adalah ...
2. Hal yang masih ingin saya tanyakan kepada guru atau tenaga kesehatan adalah ...
3. Sebelum meneruskan pesan kesehatan, mulai sekarang saya akan ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Nanopartikel lipid → ribosom → sel dendritik → sel B → enzim penghancur RNA → sel memori. Nanopartikel membawa mRNA masuk ke sel, ribosom memasak protein paku, sel dendritik membawa foto buronan ke kelenjar getah bening, sel B dibangunkan sel T helper untuk membuat antibodi, mRNA dihancurkan dalam beberapa hari, dan sel memori berjaga berbulan-bulan sampai bertahun-tahun.
2. Tidak. mRNA bekerja di sitoplasma (dapur) dan tidak pernah masuk ke inti (perpustakaan) tempat DNA disimpan. Vaksin juga tidak membawa transkriptase balik dan integrase seperti HIV, sehingga reseptornya tidak disalin menjadi DNA dan tidak disisipkan ke kromosom. Selain itu, mRNA adalah molekul rapuh yang dihancurkan enzim dalam hitungan hari. Ibarat fotokopi resep yang dibaca di dapur lalu dibuang, fotokopi itu tidak dapat menulis ulang buku aslinya.
3. mRNA adalah molekul rapuh yang cepat dipotong enzim penghancur RNA, dan molekulnya bermuatan negatif sehingga sulit menembus membran sel. Nanopartikel lipid melindungi mRNA, membantunya masuk ke sel lewat endositosis, lalu melepaskannya dari endosom ke sitoplasma. Tanpa pembungkus, sebagian besar mRNA akan hancur sebelum masuk ke sel sehingga hampir tidak ada protein paku yang dibuat.
4. Reaksi itu menandakan tentara imun sedang berlatih. Sel imun berdatangan ke tempat suntikan dan melepaskan sinyal peradangan, sehingga lengan pegal dan badan sedikit demam. Sel dendritik membawa foto buronan ke kelenjar getah bening di ketiak, tempat sel T dan sel B berkumpul dan memperbanyak diri, sehingga kelenjar bisa sedikit bengkak. Reaksi ini umumnya hilang dalam 1–2 hari.
5. Klaim itu keliru. Teknologi mRNA sudah diteliti puluhan tahun sebelumnya, dan kecepatannya berasal dari tahapan uji klinis yang dijalankan secara paralel, bukan dilewati. Uji fase 3 melibatkan ±43.000 relawan yang dibandingkan dengan plasebo dan menunjukkan perlindungan 95% terhadap COVID-19 bergejala. Datanya lalu dinilai badan pengawas seperti BPOM, dan keamanannya terus dipantau setelah dipakai jutaan orang (fase 4 dan pencatatan KIPI).

6. Jawaban terbuka. Poin yang diharapkan: hoaks sering memakai bahasa yang menakutkan dan emosional, singkat, dan mudah diteruskan, sedangkan penjelasan ilmiah lebih rumit. Cara menyampaikan fakta: sopan dan berempati, mengakui kekhawatiran mereka, memberi penjelasan sederhana (misalnya analogi resep di dapur, bukan di perpustakaan), menyertakan tautan sumber resmi, dan menyarankan bertanya langsung kepada tenaga kesehatan.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan peragaan perjalanan vaksin	Semua tokoh diperagakan dengan urutan dan tempat kerja yang benar, dan mRNA tidak pernah masuk inti.	Satu tahap salah urut atau salah tempat.	Dua sampai tiga tahap keliru.	Peragaan tidak menggambarkan perjalanan vaksin.
Pemeriksaan fakta	Keempat klaim diperiksa dengan sumber resmi yang jelas (nama situs dan tanggal) dan kesimpulannya tepat.	Tiga klaim diperiksa dengan tepat.	Hanya satu atau dua klaim diperiksa, atau sumbernya tidak jelas.	Tidak memakai sumber tepercaya.
Penjelasan ilmiah	Menjelaskan dengan tepat mengapa mRNA tidak mengubah DNA, peran nanopartikel lipid, dan arti reaksi ringan setelah vaksinasi.	Dua dari tiga konsep dijelaskan dengan tepat.	Hanya satu konsep dijelaskan dengan tepat.	Penjelasan keliru atau tidak ada.
Komunikasi dan sikap	Pesan balasan sopan, ringkas, akurat, menyertakan sumber, dan berempati.	Pesan akurat, tetapi kurang ringkas atau kurang berempati.	Pesan kurang akurat atau tanpa sumber.	Pesan tidak dibuat atau menyesatkan.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Dari Tabung Darah ke Surat Penyembuh: Model PRP–AGF dan Pemeriksa Klaim Iklan

Bab 27: Surat-Surat Penyembuh • Model sederhana, kartu urutan, dan literasi sains (pemeriksa klaim) • SMP–SMA • 2 × 45 menit (ditambah tugas mengumpulkan iklan sebelum pertemuan)

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat memodelkan pemisahan komponen darah dengan “tabung darah tiruan” dan menjelaskan mengapa sel darah merah mengendap lebih dulu daripada keping darah.
2. Peserta didik dapat mengurutkan langkah pembuatan PRP dan AGF serta menjelaskan perbedaan keduanya dalam isi, pelepasan faktor pertumbuhan, takaran, dan penyaringan.
3. Peserta didik dapat menilai 3–5 iklan atau klaim terapi sel punca, sekretom, atau PRP memakai daftar periksa, lalu menggolongkannya menurut tingkat bukti.
4. Peserta didik dapat menyusun saran yang bertanggung jawab bagi anggota keluarga yang mempertimbangkan terapi regeneratif.

B Cerita pembuka

Lutut Kakek terasa nyeri setiap kali ia berjalan ke Pasar 16 Ilir, dan dokter di Palembang menjelaskan bahwa tulang rawannya menipis karena osteoarthritis. Suatu malam, Kakek melihat iklan di media sosial: “Suntik sekretom dan PRP, lutut baru dalam sekali suntik, 100% alami tanpa efek samping!” Bima ingat bahwa para peneliti di Palembang memang sedang mengembangkan AGF, tetapi hasilnya baru diuji pada tikus. Hari ini kamu akan memodelkan cara “surat penyembuh” dipanen dari darah, lalu menjadi pemeriksa klaim agar Kakek dapat mengambil keputusan yang aman.

C Alat dan bahan

- 2 botol plastik bening 600 mL bertutup, gelas ukur atau botol takar bergaris, sendok makan, dan sendok teh
- Air ±250 mL yang diberi beberapa tetes air teh pekat atau air kunyit agar berwarna kuning seperti plasma
- 2 sendok makan pasir halus yang sudah dicuci (mewakili sel darah merah) dan 1 sendok teh tepung maizena (mewakili keping darah)
- Stopwatch (boleh memakai gawai), kain lap, dan ember kecil untuk menampung air bekas
- 8 kartu kertas untuk urutan pembuatan PRP–AGF (isinya ada di langkah kegiatan), spidol, dan selotip kertas
- 3–5 tangkapan layar, brosur, atau potongan berita berisi iklan atau klaim terapi sel punca, sekretom, eksosom, atau PRP yang dikumpulkan sebelum pertemuan

- Gawai untuk membuka animasi pembuatan PRP dan AGF di Bab 27.4 serta Pemeriksa klaim di Bab 27.8

⚠ Keselamatan: Kegiatan ini sama sekali tidak memakai darah sungguhan, jarum, atau alat suntik. Jangan mengambil darah dirimu sendiri atau orang lain, dan jangan mencoba membuat PRP atau AGF sendiri: pembuatan sungguhan hanya dilakukan tenaga terlatih di laboratorium yang steril. Bahan model adalah bahan dapur, tetapi jangan dicicipi; lap tumpahan agar lantai tidak licin, dan buang air berpasir ke ember atau tanah, bukan ke wastafel. Saat mencari iklan, jangan mengisi data pribadi, jangan menghubungi penjual, dan jangan menyebarkan ulang iklannya; samarkan nama klinik, merek, dan wajah orang saat presentasi. Keputusan pengobatan siapa pun tetap dibicarakan dengan dokter.

D Langkah kegiatan

1. Sebelum pertemuan: setiap anggota kelompok mengumpulkan 1–2 iklan atau klaim tentang terapi sel punca, sekretom, eksosom, atau PRP dari media sosial, brosur, spanduk, atau berita. Catat sumber dan tanggalnya, lalu samarkan nama klinik, merek, dan wajah orang di dalamnya.
2. Bagian A (tabung darah tiruan): masukkan ± 200 mL air kuning (“plasma”), 2 sendok makan pasir (“sel darah merah”), dan 1 sendok teh maizena (“keping darah”) ke botol pertama. Tutup rapat, lalu kocok sampai rata. Inilah “darah utuh” yang sudah diberi antikoagulan: semua komponennya tercampur.
3. Model “putaran pelan”: letakkan botol tegak dan diamkan 30 detik. Catat bagian yang sudah mengendap dan bagian yang masih melayang. Tuang perlahan cairan keruh di atasnya ke gelas ukur tanpa mengikutkan endapan pasir, catat volumenya sebagai V_1 , lalu pindahkan ke botol kedua.
4. Model “putaran cepat”: diamkan botol kedua 20–30 menit sampai bagian atasnya tampak jernih (sambil menunggu, kerjakan Bagian B). Buang perlahan cairan jernih di atas (“plasma miskin trombosit”) sampai tersisa kira-kira seperempatnya. Goyangkan botol agar endapan tercampur kembali, tuang ke gelas ukur, dan catat volumenya sebagai V_2 : inilah “PRP tiruan”. Hitung kelipatan pemekatan = $V_1 \div V_2$.
5. Bagian B (kartu urutan): tulis delapan kartu berikut. (a) Ambil darah vena pasien sendiri ke tabung berisi antikoagulan. (b) Putar $200 \times g$ selama 10 menit. (c) Putar $1000 \times g$ selama 15 menit, lalu buang sebagian plasma di atasnya. (d) Tambahkan CaCl_2 dan trombin, lalu inkubasi pada 37°C sekitar 1 jam. (e) Putar $3000 \times g$ selama 20 menit pada 4°C , lalu saring cairannya dengan saringan $0,22 \mu\text{m}$. (f) Ukur kadar TGF- $\beta 1$ dengan ELISA, lalu encerkan ke takaran 0,1; 1; atau 10 ng/mL. (g) Rebus PRP pada 100°C agar steril. (h) Campurkan sel punca hidup ke dalam PRP.
6. Kocok kartu, susun kartu yang benar menurut urutan, dan singkirkan dua kartu pengecoh beserta alasannya. Beri tanda “PRP terbentuk di sini” dan “AGF terbentuk di sini”, lalu cocokkan susunanmu dengan animasi pembuatan PRP dan AGF di Bab 27.4.

7. Bagian C (pemeriksa klaim): pilih 3–5 klaim kelompokmu. Periksa setiap klaim dengan empat pertanyaan. (1) Apakah penyediannya fasilitas kesehatan berizin dengan tenaga kesehatan yang jelas? (2) Apakah ada bukti uji klinis pada manusia yang sudah terbit, bukan hanya testimoni, foto sebelum–sesudah, atau penelitian hewan? (3) Apakah isi produk dan takarannya jelas? (4) Apakah ada tanda bahaya, misalnya kata-kata “menyembuhkan semua penyakit”, “100% aman”, atau “tanpa efek samping”, risiko yang tidak disebut, atau desakan untuk segera membayar? Isi tabel dengan ✓ (ya), ✕ (tidak), atau ? (tidak dapat dipastikan).
8. Golongkan setiap klaim ke dalam salah satu kategori: “didukung bukti uji klinis dan sudah disetujui”, “menjanjikan, masih tahap penelitian”, atau “klaim berlebihan atau tidak berdasar”. Latih caramu menilai dengan Pemeriksa klaim di Bab 27.8, lalu perbaiki penilaian kelompokmu bila perlu.
9. Presentasikan satu klaim yang paling meragukan dan satu klaim yang paling jujur, dengan nama klinik dan merek tetap disamarkan. Diskusikan pertanyaan analisis bersama kelas, lalu tulis kesimpulan.

E Tabel pemeriksa klaim terapi regeneratif

No.	Isi klaim (sumber dan tanggal; nama disamarkan)	Fasilitas berizin? (✓/✕/?)	Bukti uji klinis pada manusia? (✓/✕/?)	Isi dan takaran jelas? (✓/✕/?)	Tanda bahaya (kutip kalimatnya)	Kategori tingkat bukti
1						
2						
3						
4						
5						

F Pertanyaan diskusi

1. Pada tabung darah tiruan, bagian apa yang sudah mengendap setelah 30 detik dan bagian apa yang masih melayang? Komponen darah apa yang diwakili masing-masing, dan mengapa pasir mengendap lebih dulu?

2. Berapa kelipatan pemekatan “PRP tiruan” kelompokmu ($V_1 \div V_2$)? Bandingkan dengan PRP sungguhan, lalu jelaskan mengapa pembuatan PRP memakai sentrifus ($200 \times g$ dan $1000 \times g$), bukan cukup mendinginkan darah seperti pada model.
-
-
-
3. Kartu pengecoh mana yang kamu singkirkan, dan apa alasannya? Mengapa cairan AGF dibuat steril dengan saringan $0,22 \mu m$, bukan dengan direbus?
-
-
-
4. Jelaskan dua perbedaan utama PRP dan AGF. Mengapa takaran AGF dinyatakan dalam ng/mL TGF- $\beta 1$, sedangkan takaran PRP biasanya dinyatakan sebagai kelipatan jumlah keping darah?
-
-
-
5. Butir daftar periksa mana yang paling sering tidak terpenuhi pada klaim-klaim yang diperiksa kelompokmu? Jelaskan bahaya yang dapat dialami pasien bila mempercayai klaim seperti itu.
-
-
-
6. Kakek bertanya, “AGF dari Palembang sudah berhasil pada tikus. Berarti lututku bisa langsung disuntik AGF, kan?” Evaluasilah pendapat Kakek, lalu susun tiga sampai empat saran yang bertanggung jawab untuk Kakek.
-
-
-

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang prinsip pemisahan komponen darah, perbedaan PRP dan AGF, serta cara menilai klaim terapi regeneratif secara bertanggung jawab.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang cara “surat penyembuh” dipanen dari darah adalah ...
2. Hal yang masih membingungkan bagi saya adalah ...
3. Jika menemukan iklan terapi “ajaib” di grup keluarga, hal yang akan saya lakukan adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Pasir sudah mengendap di dasar botol dalam beberapa detik, sedangkan maizena masih melayang sehingga cairan kuning tetap keruh. Pasir mewakili sel darah merah, maizena mewakili keping darah, dan air kuning mewakili plasma. Butir pasir lebih besar dan lebih berat sehingga lebih cepat mengendap. Begitu pula pada darah: sel darah merah yang lebih besar dan lebih padat mengendap lebih dulu pada putaran pelan, sedangkan keping darah yang kecil dan ringan masih melayang di plasma, sebagian di lapisan putih (*buffy coat*). Karena itu plasma dan lapisan putih dipindahkan untuk diputar lagi.
2. Contoh: bila $V_1 = 180$ mL dan $V_2 = 45$ mL, kelipatan pemekatannya $180 \div 45 = 4$ kali, mirip PRP sungguhan yang keping darahnya sekitar 3–5 kali kadar normal darah. Bila darah hanya didiamkan, pemisahan berlangsung berjam-jam dan keping darah yang sangat kecil sulit mengendap sempurna, padahal keping darah dapat teraktivasi atau rusak bila terlalu lama berada di luar tubuh. Sentrifus memutar tabung sehingga gaya yang mendorong partikel ke dasar menjadi ratusan sampai ribuan kali gaya gravitasi ($200 \times g$ berarti 200 kali gravitasi bumi). Pemisahan selesai dalam hitungan menit dan dapat diatur: putaran pelan hanya mengendapkan sel darah merah, sedangkan putaran cepat ikut mengendapkan keping darah.
3. Kartu (g) “rebus PRP pada 100°C ” disingkirkan karena faktor pertumbuhan adalah protein. Panas tinggi merusak (mendenaturasi) bentuk protein sehingga surat-surat itu tidak dapat lagi dibaca oleh reseptornya. Kartu (h) “campurkan sel punca hidup” disingkirkan karena PRP dan AGF dibuat dari darah pasien sendiri dan tidak berisi sel punca; AGF justru dibuat bebas sel. Saringan $0,22\ \mu\text{m}$ menahan bakteri serta sisa sel dan keping darah, tetapi meloloskan protein faktor pertumbuhan yang jauh lebih kecil, sehingga cairan menjadi steril tanpa merusak isinya. Dengan alasan yang sama, putaran terakhir dilakukan pada suhu dingin (4°C) agar protein tetap stabil.

4. Perbedaan: (1) PRP adalah plasma berisi keping darah utuh yang dipekatkan, sedangkan AGF adalah cairan bebas sel berisi faktor pertumbuhan yang sudah dilepas; (2) pada PRP, keping darah baru “membuka gudangnya” setelah disuntikkan sehingga jumlah faktor yang dilepas sulit dipastikan, sedangkan pada AGF keping darah sudah diaktifkan dengan CaCl_2 dan trombin di laboratorium; (3) AGF disaring steril $0,22 \mu\text{m}$, sedangkan PRP tidak disaring karena berisi keping darah. Takaran AGF dinyatakan dalam $\text{ng/mL TGF-}\beta 1$ karena kadar faktor pertumbuhan yang sudah dilepas dapat diukur dengan ELISA, lalu diencerkan ke takaran yang sama, seperti obat. Pada PRP, faktor pertumbuhannya belum dilepas, sehingga yang dapat dihitung hanyalah jumlah keping darah, padahal jumlah itu berbeda antarpasien dan antaratat.
5. Jawaban bergantung pada iklan yang dikumpulkan. Butir yang paling sering tidak terpenuhi biasanya bukti uji klinis pada manusia (hanya testimoni, foto sebelum-sesudah, atau penelitian hewan), isi dan takaran produk yang tidak jelas, serta tanda bahaya seperti “menyembuhkan semua penyakit” atau “tanpa efek samping”. Bahayanya: pasien dapat tertular infeksi atau mengalami reaksi akibat produk yang tidak steril dan tidak terstandar, membayar mahal untuk manfaat yang belum terbukti, menunda pengobatan yang sudah terbukti sehingga penyakitnya memburuk, dan kehilangan kepercayaan pada penelitian yang jujur. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2018, yang juga mendefinisikan sekretom, mengatur bahwa pelayanan sel punca dan/atau sel hanya boleh dilakukan untuk pengobatan dan pemulihan kesehatan di fasilitas kesehatan yang memenuhi syarat.
6. Pendapat Kakek belum tepat. Hasil pada tikus adalah bukti praklinik yang menjanjikan, tetapi tubuh manusia berbeda; takaran, manfaat, dan keamanan AGF pada manusia harus dibuktikan bertahap lewat uji klinis fase 1 sampai 3 dan dinilai otoritas yang berwenang sebelum dipakai luas (Bab 26). Saran untuk Kakek: (1) tetap berobat ke dokter dan ikuti penanganan osteoarthritis yang sudah terbukti, misalnya latihan untuk menguatkan otot paha, menjaga berat badan ideal, dan obat sesuai resep; (2) jangan tergiur iklan “sekali suntik sembuh”, dan tanyakan izin fasilitas, isi dan takaran produk, serta bukti uji klinisnya; (3) bila ingin mencoba terapi baru, ikutlah hanya lewat uji klinis resmi yang disetujui komite etik, dengan penjelasan lengkap dan persetujuan tertulis; (4) bicarakan manfaat, risiko, dan biaya setiap pilihan bersama dokter dan keluarga.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pelaksanaan model dan perhitungan	Semua langkah model dikerjakan urut dan rapi, V_1 dan V_2 tercatat, kelipatan pemekatan dihitung benar, dan aturan keselamatan dipatuhi.	Model dan perhitungan benar, dengan satu kelalaian kecil.	Beberapa langkah keliru, volume tidak dicatat, atau perhitungan salah.	Model tidak diselesaikan atau aturan keselamatan dilanggar.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Urutan pembuatan PRP dan AGF	Keenam kartu tersusun benar, kedua pengecoh disingkirkan dengan alasan tepat, dan titik terbentuknya PRP serta AGF ditandai benar.	Urutan benar, tetapi alasan untuk satu pengecoh atau satu tanda PRP/AGF kurang tepat.	Dua sampai tiga kartu tertukar, atau satu kartu pengecoh masih dipakai.	Sebagian besar urutan keliru.
Ketepatan pemeriksaan klaim	Tiga sampai lima klaim diperiksa dengan keempat butir daftar periksa, kategori tingkat bukti tepat dan didukung kutipan dari iklan, serta nama klinik dan merek disamakan.	Kategori tepat, tetapi satu atau dua butir daftar periksa terlewat.	Hanya sebagian klaim yang diperiksa, atau beberapa kategori keliru.	Klaim diterima begitu saja tanpa diperiksa.
Analisis dan saran yang bertanggung jawab	Membedakan bukti pada hewan dan pada manusia, menjelaskan alasan standardisasi takaran AGF, dan menyusun minimal tiga saran yang merujuk ke dokter tanpa menganjurkan terapi yang belum terbukti.	Analisis tepat, tetapi saran kurang lengkap atau belum menyebut rujukan ke dokter.	Analisis sebagian keliru, misalnya menganggap hasil pada tikus sudah cukup untuk manusia.	Menganjurkan terapi yang belum terbukti seolah-olah obat yang pasti menyembuhkan.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Pabrik Obat Hidup dan Lab Maya Eksosom: Dari Donor ke Pasien, dari Sel ke Paket

Bab 28: Mengirim Tukang, Mengirim Paket • Kartu urutan dan diagram alir, LKPD digital (simulasi pemisahan eksosom), dan sortir peta bukti • SMA (SMP dengan bimbingan guru) • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengurutkan enam langkah pembuatan produk sel punca mesenkimal (MSC) dari donor sampai pasien, lalu memasang setiap uji mutu dengan langkah dan bahaya yang dicegahnya.
2. Peserta didik dapat membandingkan enam metode pemisahan eksosom memakai Lab maya di Bab 28.8 dan memilih metode yang paling sesuai untuk tujuan tertentu beserta alasannya.
3. Peserta didik dapat menggolongkan terapi sel punca dan eksosom ke dalam status bukti: baku, disetujui terbatas, dicabut, uji klinis menjanjikan, atau belum terbukti.
4. Peserta didik dapat menyusun saran yang bertanggung jawab bagi keluarga yang mempertimbangkan terapi sel punca atau eksosom.

B Cerita pembuka

Sepupu Bima, Kak Nadia, sedang menjalani pengobatan leukemia dan dijadwalkan menerima transplantasi sel punca darah dari adiknya yang cocok. Ketika Bima bertanya bagaimana sel bisa menjadi obat, Dr. Sela mengajaknya melihat ruang bersih tempat produk sel punca mesenkimal dibuat dengan pemeriksaan ketat di setiap langkah. Sepulangnya, di ruang tunggu rumah sakit, Bima melihat brosur sebuah klinik: “Infus eksosom, bebas sel, menyembuhkan semua penyakit!” Hari ini kamu akan menelusuri jalur pembuatan “obat hidup”, membandingkan cara memisahkan paket eksosom, dan memilah terapi yang sudah terbukti dari yang masih harapan.

C Alat dan bahan

- Gawai (ponsel, tablet, atau laptop) untuk membuka animasi pembuatan produk sel punca mesenkimal di Bab 28.3, Lab maya pemisahan eksosom di Bab 28.8, peta bukti di Bab 28.5, dan daftar periksa di Bab 28.9
- 26 potongan kertas kecil untuk kartu: 6 kartu langkah, 10 kartu uji dan tindakan mutu, serta 10 kartu kasus terapi (isinya ada di langkah kegiatan)
- 1–2 lembar kertas plano atau karton, spidol berwarna, dan selotip kertas atau lem
- Kalkulator (boleh memakai gawai)

⚠ Keselamatan: Kegiatan ini hanya memakai kartu, kertas, dan simulasi. Tidak ada sel, darah, jaringan, jarum, atau bahan kimia sungguhan. Jangan mencoba membiakkan sel, mengambil darah, atau membuat

“eksosom” sendiri: produk sungguhan hanya dibuat tenaga terlatih di ruang bersih yang memenuhi CPOB. Skor di Lab maya adalah gambaran umum untuk belajar, bukan panduan laboratorium. Saat membahas pengalaman keluarga yang sakit, hormati privasi dan jangan menyebut nama atau penyakit orang tertentu tanpa izin. Keputusan pengobatan siapa pun tetap dibicarakan dengan dokter.

D Langkah kegiatan

1. Bagian A (pabrik obat hidup): tulis 6 kartu langkah, yaitu (1) donor dan persetujuan; (2) mengambil jaringan sumber; (3) isolasi dan perbanyak; (4) uji identitas dan mutu; (5) simpan beku; (6) pemberian dan pemantauan. Kocok kartu, lalu susun urut dari kiri ke kanan di kertas plano tanpa melihat buku.
2. Tulis 10 kartu uji dan tindakan mutu: skrining HIV, hepatitis B dan C, serta sifilis; tanda tangan persetujuan tertulis; pengambilan sumsum tulang, lemak, atau tali pusat secara steril; inkubator 37 °C dan jumlah passage yang dibatasi; melekat pada plastik dengan penanda CD73, CD90, CD105 positif serta CD34, CD45, HLA-DR negatif; kemampuan menjadi sel tulang, lemak, dan tulang rawan; uji sterilitas, mikoplasma, dan endotoksin; persentase sel hidup dan kestabilan kromosom; DMSO dan nitrogen cair -196 °C; pemantauan efek samping jangka pendek dan panjang. Tempel setiap kartu di bawah langkah yang tepat, lalu tarik panah sehingga terbentuk diagram alir.
3. Di samping setiap kartu uji, tulis satu bahaya yang dicegahnya, misalnya “kuman dari donor ikut terkirim” atau “sel menua karena terlalu sering dipindahkan”. Cocokkan diagram alirmu dengan animasi pembuatan produk sel punca mesenkimal di Bab 28.3, lalu perbaiki kartu yang salah tempat.
4. Bagian B (Lab maya eksosom): buka Bab 28.8. Pilih keenam metode pemisahan satu per satu, lalu catat skor 1–5 untuk hasil (jumlah), kemurnian, kecepatan, biaya murah, dan skala produksi di tabel. Catat juga satu kelebihan dan satu kekurangan setiap metode dari kotak pesan.
5. Hitung jumlah skor setiap metode. Diskusikan dalam kelompok: apakah metode dengan jumlah skor tertinggi selalu yang terbaik?
6. Pilih metode terbaik untuk tiga skenario dan tulis alasannya: (1) penelitian mekanisme yang membutuhkan vesikel semurni mungkin walaupun jumlahnya sedikit; (2) produksi skala besar dari ratusan liter medium biakan sesuai CPOB; (3) tes diagnosis cepat yang hanya ingin menangkap vesikel pembawa penanda tertentu dari sedikit plasma darah. Lingkari skor yang paling menentukan pilihanmu, lalu usulkan satu gabungan dua metode, misalnya TFF lalu SEC, beserta keuntungannya.
7. Bagian C (peta bukti): tulis 10 kartu kasus: transplantasi sel punca darah untuk leukemia; lembaran sel kulit untuk luka bakar luas; sel punca limbus (Holoclar) untuk kornea yang rusak akibat luka bakar mata; Temcell di Jepang untuk penyakit graft-versus-host; Ryoncil di Amerika Serikat untuk penyakit graft-versus-host pada anak; Alofisel untuk fistula pada penyakit Crohn; sel pulau pankreas dari sel punca untuk diabetes tipe 1; neuron dopamin dari iPSC atau sel punca embrionik untuk Parkinson; suntik sel punca untuk awet muda; infus eksosom untuk “semua penyakit”.
8. Buat lima kolom: “Baku”, “Disetujui terbatas”, “Dicabut”, “Uji klinis menjanjikan”, dan “Belum terbukti”. Tempel setiap kartu kasus di kolom yang menurutmu tepat beserta alasan singkat. Setelah itu, cocokkan dengan peta bukti di Bab 28.5 dan catat kartu yang berpindah tempat.

9. Periksa brosur dalam stimulus memakai lima butir daftar periksa di Bab 28.9. Presentasikan diagram alir, pilihan metode, dan papan peta bukti kelompokmu, lalu diskusikan pertanyaan bersama kelas.

E Tabel data Lab maya pemisahan eksosom (skor 1–5)

Metode pemisahan	Hasil (jumlah)	Kemurnian	Kecepatan	Biaya murah	Skala produksi	Jumlah skor	Satu kelebihan dan satu kekurangan
Ultrasentrifugasi diferensial							
Gradien densitas							
Kromatografi eksklusi ukuran (SEC)							
Presipitasi polimer							
Imunoafinitas (manik anti-CD63)							
Filtrasi aliran tangensial (TFF)							

F Pertanyaan diskusi

1. Tuliskan urutan enam langkah pembuatan produk MSC. Mengapa uji mutu dilakukan sebelum produk dilepas, dan mengapa sel masih diperiksa lagi setelah dicairkan?
2. Pasangkan uji sterilitas, mikoplasma, endotoksin, persentase sel hidup, kestabilan kromosom, dan kriteria ISCT dengan bahaya atau masalah yang dicegahnya. Mengapa satu kelompok produksi (lot) yang gagal pada satu uji saja tidak boleh diberikan kepada pasien?

3. Menurut tabelmu, metode mana yang kemurniannya tertinggi dan mana yang paling cocok untuk skala produksi? Apakah metode dengan jumlah skor tertinggi selalu yang terbaik? Jelaskan.

4. Metode apa yang kamu pilih untuk skenario (1) penelitian mekanisme, (2) produksi skala besar, dan (3) tes diagnosis cepat? Jelaskan alasanmu, lalu sebutkan pemeriksaan yang tetap diperlukan untuk memastikan hasil pemisahan benar-benar vesikel ekstraseluler.

5. Kartu kasus mana yang berpindah tempat setelah kamu mencocokkan dengan peta bukti? Mengapa Alofisel dapat berpindah dari “disetujui” menjadi “dicabut”, dan apa artinya bagi cara ilmu kedokteran bekerja?

6. Ayah Bima berkata, “Transplantasi sel punca darah sudah menjadi pengobatan baku untuk leukemia seperti yang dialami Kak Nadia. Berarti infus eksosom di brosur itu juga pasti ampuh, kan? Apalagi bebas sel, pasti aman.” Evaluasilah pendapat itu memakai hasil kegiatanmu dan daftar periksa Bab 28.9, lalu susun tiga sampai empat saran yang bertanggung jawab.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang perbedaan terapi sel (mengirim tukang) dan terapi eksosom (mengirim paket), pentingnya uji mutu di setiap langkah pembuatan produk sel, alasan tidak ada satu metode pemisahan eksosom yang sempurna, serta cara menilai status bukti sebuah terapi.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling saya pahami tentang cara sel dibuat menjadi “obat hidup” adalah ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya tentang eksosom adalah ...

3. Jika keluarga saya ditawari terapi sel punca atau eksosom, pertanyaan pertama yang akan saya ajukan adalah ...

✓ **Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi**

1. Urutannya: (1) donor diberi penjelasan lengkap, menandatangani persetujuan tertulis, dan darahnya diskruining terhadap HIV, hepatitis B dan C, serta sifilis; (2) jaringan sumber (sumsum tulang, lemak, atau tali pusat) diambil secara steril; (3) sel diisolasi dan diperbanyak di inkubator 37 °C dengan jumlah passage yang dibatasi; (4) sel diuji identitasnya menurut kriteria ISCT dan diuji mutunya (uji pelepasan); (5) sel dibekukan perlahan bersama DMSO dan disimpan dalam nitrogen cair –196 °C; (6) sel dicairkan, diperiksa lagi, diberikan lewat infus atau suntikan, lalu pasien dipantau. Uji mutu dilakukan sebelum produk dilepas karena produk sel adalah obat yang disuntikkan: hanya lot yang terbukti benar, bersih, dan aman yang boleh sampai ke pasien. Pembekuan dan pencairan dapat membunuh sebagian sel, sehingga setelah dicairkan jumlah dan persentase sel hidup diperiksa lagi agar takaran dihitung dari sel yang benar-benar hidup.
2. Sterilitas mencegah bakteri dan jamur yang dapat menyebabkan infeksi berat. Uji mikoplasma mencari bakteri sangat kecil tanpa dinding sel yang sering lolos dari uji sterilitas biasa dan dapat mengubah perilaku sel. Uji endotoksin mencegah racun dari dinding bakteri yang memicu demam tinggi atau syok. Persentase sel hidup memastikan takaran tepat, karena sel yang mati tidak bekerja dan dapat memicu reaksi. Kestabilan kromosom memeriksa perubahan kromosom setelah sel berkali-kali dipindahkan, yang dapat mengarah ke pertumbuhan tak terkendali. Kriteria ISCT memastikan sel benar-benar MSC, bukan tercampur sel lain, misalnya sel darah yang membawa CD45. Setiap uji menjaga bahaya yang berbeda, sehingga lulus di uji lain tidak dapat menutupi satu kegagalan. Lot yang gagal tidak boleh diberikan karena taruhannya adalah keselamatan pasien.
3. Dari Lab maya, kemurnian tertinggi (skor 5) dimiliki gradien densitas dan imunoafinitas, sedangkan skala produksi tertinggi (skor 5) dimiliki filtrasi aliran tangensial (TFF). Jumlah skor: ultrasentrifugasi 12, gradien densitas 11, SEC 17, presipitasi polimer 19, imunoafinitas 11, dan TFF 20. Metode dengan jumlah skor tinggi belum tentu terbaik. Contohnya, presipitasi polimer berjumlah 19 karena hasilnya banyak, cepat, dan murah, tetapi kemurniannya hanya 1, sehingga tidak cocok untuk penelitian yang menuntut sampel murni. Metode dipilih berdasarkan skor yang paling penting untuk tujuan tertentu. Skor ini juga hanya gambaran umum dari literatur, bukan angka mutlak.

4. (1) Penelitian mekanisme: gradien densitas, karena kemurniannya tertinggi; jumlah yang sedikit dan waktu yang lama masih dapat diterima. (2) Produksi skala besar: TFF, karena dapat mengolah cairan berliter-liter (skala 5) dengan hasil banyak, sehingga cocok untuk CPOB; sering dilanjutkan dengan SEC agar lebih murni. (3) Tes diagnosis cepat: imunoafinitas dengan manik berlapis antibodi, karena hanya menangkap vesikel pembawa penanda yang dicari dari sampel kecil dengan sangat spesifik, walaupun mahal dan hanya menangkap sebagian vesikel. Gabungan TFF lalu SEC memadukan kemampuan memekatkan cairan dalam jumlah besar dengan pemisahan vesikel dari protein bebas. Apa pun metodenya, hasil harus diperiksa dengan beberapa cara: ukuran dan jumlah partikel (misalnya NTA), bentuk dengan mikroskop elektron, penanda positif seperti CD9, CD63, CD81, TSG101, dan Alix, serta penanda negatif seperti kalneksin.
5. Penggolongan yang tepat: Baku: transplantasi sel punca darah, lembaran sel kulit, dan sel punca limbus (Holoclar, disetujui bersyarat di Eropa 2015). Disetujui terbatas: Temcell (Jepang, 2015) dan Ryoncil (FDA, Desember 2024, untuk anak). Dicabut: Alofisel. Uji klinis menjanjikan: sel pulau pankreas dari sel punca dan neuron dopamin untuk Parkinson. Belum terbukti: suntik awet muda dan eksosom untuk “semua penyakit”. Kartu yang sering berpindah adalah Holoclar (karena persetujuannya bersyarat), Ryoncil (yang dianggap sudah baku), dan sel pulau pankreas (yang dianggap sudah menyembuhkan). Alofisel disetujui di Eropa pada 2018, tetapi uji klinis yang lebih besar (ADMIRE-CD II, 568 pasien) tidak menunjukkan manfaat, sehingga izinnya dicabut pada Desember 2024. Artinya status sebuah terapi mengikuti bukti terbaru: ilmu kedokteran mengoreksi diri, dan hasil uji kecil perlu dipastikan oleh uji yang lebih besar.
6. Pendapat itu keliru. Transplantasi sel punca darah berhasil karena sel punca menetap dan mengganti seluruh sistem darah dan imun, didukung bukti puluhan tahun. Eksosom adalah produk lain dengan cara kerja lain, dan hingga kini belum ada produk terapi eksosom yang disetujui FDA. “Bebas sel” juga tidak berarti aman: produk dapat tercemar kuman atau endotoksin, membawa infeksi dari donor yang tidak diskriminasi, dan takarannya tidak seragam. Pada Desember 2019, FDA mengeluarkan pemberitahuan keselamatan publik setelah beberapa pasien di Nebraska mengalami efek samping serius akibat produk “eksosom” yang tidak disetujui. Janji “menyembuhkan semua penyakit” adalah tanda bahaya pada daftar periksa. Saran: (1) dukung Kak Nadia agar tetap mengikuti pengobatan dari tim dokternya; (2) jangan membeli terapi dari brosur seperti itu dan periksa setiap tawaran dengan lima butir daftar periksa Bab 28.9; (3) bila tertarik pada terapi baru, tanyakan kepada dokter tentang uji klinis yang terdaftar dan disetujui komite etik; Permenkes 32/2018 mengatur bahwa pelayanan sel punca hanya di fasilitas yang memenuhi syarat dan terapi yang belum baku dijalankan sebagai penelitian; (4) jangan menyebarkan brosur itu di grup keluarga, dan laporkan iklan yang mencurigakan ke dinas kesehatan setempat.



Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Diagram alir pembuatan produk sel	Keenam langkah tersusunurut, kesepuluh kartu uji ditempatkan tepat, dan setiap kartu dilengkapi bahaya yang dicegahnya dengan benar.	Urutan benar, tetapi satu atau dua kartu uji salah tempat atau bahayanya kurang tepat.	Dua atau lebih langkah tertukar, atau tiga sampai lima kartu uji salah tempat.	Sebagian besar urutan keliru atau diagram tidak diselesaikan.
Pencatatan data dan pemilihan metode pemisahan	Keenam baris tabel terisi benar, jumlah skor dihitung tepat, metode untuk ketiga skenario dipilih dengan alasan yang merujuk pada skor terpenting, dan pemeriksaan karakterisasi vesikel disebutkan.	Tabel lengkap, tetapi alasan untuk satu skenario kurang tepat atau karakterisasi tidak disebutkan.	Beberapa baris kosong, atau metode dipilih hanya berdasarkan jumlah skor tanpa alasan.	Tabel hampir kosong atau pilihan metode tidak ada.
Ketepatan sortir peta bukti	Kesepuluh kartu kasus ditempatkan tepat dengan alasan, dan kasus Alofisel dijelaskan sebagai contoh ilmu yang mengoreksi diri.	Satu atau dua kartu salah tempat.	Tiga atau empat kartu salah tempat.	Lebih dari empat kartu salah tempat, atau terapi yang belum terbukti dianggap sudah terbukti.
Evaluasi klaim dan saran yang bertanggung jawab	Membedakan terapi baku dan terapi yang belum terbukti, menjelaskan mengapa “bebas sel” tidak sama dengan aman, dan menyusun minimal tiga saran yang merujuk ke dokter dan uji klinis resmi.	Evaluasi tepat, tetapi saran kurang lengkap atau belum menyebut rujukan ke dokter.	Evaluasi sebagian keliru, misalnya menganggap semua terapi sel punca sama ampuhnya.	Menganjurkan terapi yang belum terbukti seolah-olah pasti menyembuhkan.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Detektif Hasil Lab: Membaca Darah Lengkap, Mencocokkan Golongan Darah, dan Melacak Muatan Oksigen

Bab 29: Armada Sungai Merah • LKPD digital (tiga lab maya), tabel data, dan studi kasus • SMP-SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat membandingkan hasil pemeriksaan darah lengkap enam kasus rekaan dengan nilai rujukannya, menandai hasil yang tinggi ($\uparrow$) dan rendah ($\downarrow$), lalu mengaitkan polanya dengan anemia defisiensi besi, pembawa sifat talasemia, demam berdarah dengue, infeksi bakteri, dan leukemia.
2. Peserta didik dapat menentukan kecocokan golongan darah ABO dan Rhesus untuk transfusi sel darah merah serta menjelaskan aglutinasi berdasarkan antigen di eritrosit donor dan antibodi di plasma penerima.
3. Peserta didik dapat mengukur persentase O_2 yang dilepas hemoglobin di jaringan pada berbagai keadaan memakai Lab maya kurva hemoglobin, lalu menjelaskan efek Bohr dan bahaya keracunan karbon monoksida (CO).
4. Peserta didik dapat menyusun saran yang bertanggung jawab tentang tanda bahaya DBD, pencegahan anemia, dan pencegahan keracunan CO dengan menghormati kerahasiaan data kesehatan orang lain.

B Cerita pembuka

Minggu ini dua kabar membuat Bima penasaran. Sepupunya, Kak Dimas, dirawat di rumah sakit karena demam berdarah dengue. Kata dokter, “hematokritnya naik dan trombositnya turun.” Di sekolah, seorang teman sekelas Bima sering lemas, pucat, dan sulit berkonsentrasi, sehingga petugas UKS menyarankannya memeriksakan diri ke puskesmas. Bima ingin memotret lembar hasil lab Kak Dimas untuk dibahas di grup kelas, tetapi Dr. Sela mengingatkan, “Hasil lab adalah data pribadi. Kita belajar memakai kasus rekaan saja.” Di lorong rumah sakit, Bima melihat poster PMI: “Stok darah golongan O menipis!” Mengapa golongan O begitu dicari, dan mengapa darah tidak boleh asal ditukar? Malamnya, berita televisi melaporkan satu keluarga ditemukan pingsan di kamar karena genset dinyalakan di ruang tertutup. Hari ini kamu menjadi detektif hasil lab: membaca pola angka darah lengkap, mencocokkan golongan darah untuk transfusi, dan melacak berapa banyak O_2 yang benar-benar diturunkan hemoglobin di jaringan.

C Alat dan bahan

- Gawai (ponsel, tablet, atau laptop) untuk membuka Lab maya hasil darah lengkap di Bab 29.10, uji kecocokan golongan darah di Bab 29.8, dan Lab maya kurva muatan hemoglobin di Bab 29.5
- Lembar LKPD ini, buku tulis, pensil, serta pensil warna merah dan hijau untuk menandai ↑/↓ dan ✓/✕
- Kalkulator (boleh memakai gawai)
- Kertas plano dan spidol untuk presentasi kelompok

⚠ Keselamatan: Kegiatan ini hanya memakai lab maya dan data rekaan. Tidak ada pengambilan darah sungguhan: jangan menusuk jari dengan lanset, jarum, atau benda tajam lain, dan jangan mencoba menentukan golongan darah sendiri. Pengambilan dan pemeriksaan darah hanya dilakukan tenaga kesehatan terlatih. Hasil lab adalah data pribadi: jangan memotret, menyebarkan, atau membahas hasil lab teman maupun keluarga tanpa izin, dan jangan menyebut nama orang sungguhan saat diskusi. Lab maya melatih membaca pola, bukan untuk mendiagnosis diri sendiri; keluhan kesehatan tetap dibicarakan dengan dokter.

D Langkah kegiatan

1. Bagian A (detektif darah lengkap): buka Lab maya di Bab 29.10 dan pilih kasus 1 (Rani). Bandingkan setiap hasil dengan nilai rujukannya. Perhatikan bahwa rujukan hemoglobin, hematokrit, dan eritrosit berbeda untuk laki-laki dan perempuan, dan bahwa tanda ↑ atau ↓ muncul di samping hasil yang keluar dari rentang.
2. Kerjakan kasus 2 sampai 6 satu per satu. Di tabel, tulis nama dan angka setiap hasil yang tinggi (↑) dan yang rendah (↓). Sebelum menekan tombol “Lihat tafsiran”, diskusikan keluhan pasien dan pola angkanya, lalu tulis tebakan kelompokmu.
3. Tekan “Lihat tafsiran”, tulis inti tafsirannya dalam satu kalimat, lalu beri tanda ✓ bila tebakanmu tepat atau ✕ bila belum. Ingat, tafsiran ini latihan membaca pola, bukan diagnosis.
4. Bandingkan kasus 2 (Siti) dan kasus 3 (Pak Hasan) yang sama-sama memiliki MCV rendah. Hitung hasil bagi MCV dengan jumlah eritrosit (dalam juta/ μ L) untuk keduanya, lalu tulis perbedaan pola kedua kasus itu.
5. Bagian B (detektif golongan darah): sebelum membuka simulator, gambar matriks 4×4 di buku tulis dengan baris = donor O, A, B, AB dan kolom = penerima O, A, B, AB. Isi setiap kotak dengan ✓ (cocok) atau ✕ (menggumpal) berdasarkan antigen di eritrosit donor dan antibodi di plasma penerima.
6. Buka uji kecocokan golongan darah di Bab 29.8. Periksa matriksmu dengan memilih pasangan donor dan penerima dengan Rhesus yang sama, misalnya $A+ \rightarrow B+$, atau dengan mengetuk sel tabel di simulator. Perbaiki kotak yang salah, lalu untuk setiap kotak ✕ tulis antigen donor yang bertemu antibodi penerima.
7. Tambahkan Rhesus: coba pasangan $O+ \rightarrow O-$, $O- \rightarrow O+$, $B- \rightarrow AB+$, dan $A+ \rightarrow AB-$. Catat hasil dan alasannya dari kotak pesan, lalu tentukan golongan donor universal dan penerima universal untuk sel darah merah.

8. Bagian C (detektif muatan O_2): buka Lab maya kurva muatan hemoglobin di Bab 29.5. Salin tabel kecil di buku tulis dengan baris “HbA normal”, “HbA + CO_2 & asam tinggi”, dan “keracunan CO”, serta kolom “terisi di paru”, “tersisa di jaringan”, dan “dilepas ke sel” untuk PO_2 40 mmHg dan 20 mmHg.
9. Pilih hemoglobin dewasa (HbA) tanpa keadaan tambahan. Geser PO_2 jaringan ke 40 mmHg (istirahat), lalu ke 20 mmHg (otot bekerja keras), dan catat angkanya dari kotak pesan. Ulangi dengan tombol “ CO_2 & asam tinggi” menyala. Terakhir, matikan tombol itu dan pilih “keracunan CO (30% Hb terikat CO)”. Bandingkan setiap kurva dengan garis putus-putus (keadaan normal).
10. Presentasikan hasil kelompok: satu kasus darah lengkap pilihan, matriks golongan darah, dan grafik batang persentase O_2 yang dilepas pada ketiga keadaan. Diskusikan pertanyaan bersama kelas tanpa menyebut nama atau hasil lab orang sungguhan.

E Tabel data Lab maya hasil darah lengkap (Bagian A)

Kasus	Hasil yang tinggi ↑ (nama dan angka)	Hasil yang rendah ↓ (nama dan angka)	Tebakan kelompok sebelum membuka tafsiran	Inti tafsiran lab maya	Tebakan tepat? (✓/×)
1 · Rani, P, 16 tahun					
2 · Siti, P, 15 tahun					
3 · Pak Hasan, L, 30 tahun					
4 · Dodi, L, 18 tahun					
5 · Bu Ana, P, 40 tahun					
6 · Pak Joko, L, 55 tahun					

F Pertanyaan diskusi

1. Kasus mana yang hasilnya normal semua, dan mengapa hasil seperti itu tetap berguna? Kasus Siti dan Pak Hasan sama-sama memiliki MCV rendah. Apa perbedaan pola kedua kasus itu (gunakan hasil bagi MCV dengan eritrosit), dan pemeriksaan apa yang diperlukan untuk memastikannya?

2. Pada kasus Dodi, hemoglobin dan hematokritnya justru tinggi padahal ia sakit. Jelaskan penyebabnya, mengapa hematokrit yang naik menjadi tanda bahaya DBD, dan sebutkan tanda bahaya lain yang harus membuat keluarga segera membawa pasien ke fasilitas kesehatan.

3. Bu Ana dan Pak Joko sama-sama memiliki leukosit tinggi. Apa yang membedakan kedua pola itu, dan mengapa pada Pak Joko eritrosit dan trombosit justru turun?

4. Tuliskan matriks 4×4 milikmu. Jelaskan mengapa donor A ke penerima B menggumpal, mengapa O⁻ disebut donor universal dan AB⁺ penerima universal untuk sel darah merah, serta mengapa pasangan O⁺ → O⁻ dihindari walaupun ABO-nya cocok.

5. Berapa persen muatan O₂ yang dilepas hemoglobin dewasa pada PO₂ 40 dan 20 mmHg, tanpa dan dengan “CO₂ & asam tinggi”? Jelaskan arti perbedaan ini bagi otot yang sedang bekerja keras.

6. Anemia defisiensi besi dan keracunan CO sama-sama mengurangi O₂ yang sampai ke jaringan walaupun paru bekerja normal. Jelaskan perbedaan cara keduanya memakai data Bagian A dan C. Lalu susun saran yang bertanggung jawab untuk (a) keluarga yang memakai genset dan (b) teman sekelas Bima yang sering lemas dan pucat, tanpa melanggar privasinya.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang cara membaca hasil darah lengkap (membandingkan dengan nilai rujukan dan melihat pola, bukan satu angka saja), aturan kecocokan golongan darah ABO dan Rhesus untuk transfusi sel darah merah, cara hemoglobin menyesuaikan pelepasan O₂ dengan kebutuhan jaringan, serta alasan hasil lab adalah data pribadi yang selalu ditafsirkan dokter.

H Refleksi diri

1. Hal paling mengejutkan yang saya temukan saat menjadi detektif hasil lab adalah ...

2. Bagian yang masih membingungkan bagi saya adalah ...

3. Satu kebiasaan yang akan saya mulai untuk menjaga kesehatan darah saya dan keluarga adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Kasus 1 (Rani) normal semua: Hb 13,1 g/dL, hematokrit 39%, eritrosit 4,6 juta/ μ L, MCV 85 fL, leukosit 7.200/ μ L, neutrofil 58%, limfosit 32%, dan trombosit 260.000/ μ L berada di dalam rentang rujukan perempuan. Hasil normal tetap berguna sebagai data dasar untuk dibandingkan dengan pemeriksaan berikutnya. Siti (perempuan, 15 tahun): Hb 9,4 g/dL ↓, hematokrit 30% ↓, dan MCV 68 fL ↓, sedangkan jumlah eritrosit 4,1 juta/ μ L masih normal di batas bawah. Pak Hasan (laki-laki, 30 tahun): Hb 12,2 g/dL ↓ dan hematokrit 38% ↓ hanya sedikit rendah, MCV 62 fL ↓ sangat kecil, tetapi eritrosit 6,1 juta/ μ L ↑. Siti mengalami anemia dengan eritrosit kecil (mikrositik) yang paling sering disebabkan kurang besi, cocok dengan keluhan lemas, pucat, dan haid banyak. Pola “banyak tetapi kecil” pada Pak Hasan khas pembawa sifat talasemia. Hasil bagi MCV dengan eritrosit: Siti $68 \div 4,1 \approx 16,6$, sedangkan Pak Hasan $62 \div 6,1 \approx 10,2$. Angka di bawah sekitar 13 lebih mengarah ke pembawa sifat talasemia dan di atas 13 lebih mengarah ke kurang besi (indeks Mentzer), tetapi angka ini hanya petunjuk awal. Pemastiananya: cadangan besi (feritin) dan penyebab kurang besi, misalnya cacingan atau haid berlebihan, untuk Siti; analisis hemoglobin, misalnya kadar HbA₂, untuk Pak Hasan, dan calon pasangannya juga perlu diperiksa. Pembawa sifat tidak memerlukan tablet besi bila cadangan besinya normal.

2. Dodi (laki-laki, 18 tahun, demam hari ke-5): Hb 18,2 g/dL ↑, hematokrit 54% ↑, eritrosit 6,0 juta/ μ L ↑, leukosit 3.100/ μ L ↓, neutrofil 45% ↓, limfosit 45% ↑, dan trombosit 45.000/ μ L ↓, sedangkan MCV 88 fL normal. Hb dan hematokrit tinggi bukan karena sel darah merahnya bertambah, melainkan karena plasma bocor keluar dari pembuluh sehingga darah mengental (hemokonsentrasi): jumlah selnya tetap, tetapi cairannya berkurang. Kebocoran plasma adalah bahaya utama DBD karena dapat berujung syok, biasanya sekitar saat demam mulai turun; karena itu hematokrit yang naik merupakan tanda bahaya, dan trombosit yang rendah juga harus dipantau. Tanda bahaya lainnya adalah nyeri perut hebat, muntah terus-menerus, perdarahan, lemas atau gelisah, serta tangan dan kaki dingin. Bila ada tanda tersebut, pasien segera dibawa ke fasilitas kesehatan untuk mendapat cairan yang terukur serta pemantauan hematokrit dan trombosit. Jus jambu boleh diminum sebagai asupan cairan, tetapi tidak menggantikan pemeriksaan dokter.
3. Bu Ana: leukosit 16.500/ μ L ↑ dengan neutrofil 84% ↑ dan limfosit 10% ↓, sedangkan Hb, hematokrit, eritrosit, MCV, dan trombosit normal. Ini leukositosis dengan neutrofilia: pasukan reaksi cepat yang matang dikerahkan besar-besaran, pola yang sering menyertai infeksi bakteri akut seperti radang paru (pneumonia). Persentase limfosit tampak turun karena porsi neutrofil membesar. Pak Joko: leukosit 68.000/ μ L ↑, tetapi 85% berupa sel muda (blast) yang seharusnya tidak beredar di darah; neutrofil hanya 2% ↓ (sekitar 1.400/ μ L, benar-benar rendah) dan limfosit 8% ↓; Hb 8,1 g/dL ↓, hematokrit 24% ↓, eritrosit 2,7 juta/ μ L ↓, dan trombosit 32.000/ μ L ↓. Blast yang tidak matang menyekaki sumsum tulang, sehingga galangan tidak sempat membuat eritrosit, trombosit, dan neutrofil normal. Akibatnya Pak Joko lemas karena anemia, mudah memar karena trombosit rendah, dan sering demam karena pasukan patroli yang matang terdesak. Pola ini mengarah ke leukemia akut (Bab 14), sehingga ia perlu segera dirujuk ke dokter spesialis hematologi-onkologi untuk pemeriksaan sumsum tulang. Jadi, leukosit yang tinggi tidak selalu berarti pasukan yang kuat: yang menentukan adalah jenis dan kematangan sel yang beredar.
4. Matriks (baris = donor; kolom = penerima O, A, B, AB): donor O: ✓ ✓ ✓ ✓; donor A: ✗ ✓ ✗ ✓; donor B: ✗ ✗ ✓ ✓; donor AB: ✗ ✗ ✗ ✓. Donor A ke penerima B menggumpal karena eritrosit donor membawa antigen A, sedangkan plasma penerima B mengandung anti-A. Antibodi menempel pada antigen sehingga eritrosit donor menggumpal (aglutinasi) lalu pecah (hemolisis), yang dapat menimbulkan demam, syok, dan gagal ginjal. O– disebut donor universal sel darah merah karena eritrositnya tidak membawa antigen A, B, maupun D. AB+ disebut penerima universal karena plasmanya tidak mengandung anti-A maupun anti-B, dan ia sudah membawa protein D. Hasil uji Rhesus: O+ → O– dihindari; O– → O+ cocok; B– → AB+ cocok; A+ → AB– dihindari. Pasangan O+ → O– cocok ABO-nya, tetapi penerima Rh– dapat membentuk anti-D setelah terpapar eritrosit Rh+, sehingga transfusi berikutnya atau kehamilan dengan janin Rh+ menjadi berbahaya; pasangan ini hanya dipakai dalam keadaan darurat atas keputusan dokter. Aturan ini berlaku untuk transfusi sel darah merah; untuk plasma aturannya terbalik. Sebelum transfusi, darah donor selalu diuji silang (crossmatch) dengan darah penerima.

5. HbA tanpa keadaan tambahan: terisi 97% di paru; pada PO_2 40 mmHg tersisa 75%, sehingga dilepas sekitar 22%; pada PO_2 20 mmHg tersisa 31%, sehingga dilepas 66%. Dengan “ CO_2 & asam tinggi”: terisi 95%; pada PO_2 40 mmHg tersisa 62% dan dilepas 33%; pada PO_2 20 mmHg tersisa 20% dan dilepas 75%. Artinya, otot yang bekerja keras mendapat O_2 jauh lebih banyak lewat dua cara yang saling menguatkan. Pertama, PO_2 di otot turun ke bagian kurva yang curam, sehingga penurunan PO_2 yang kecil saja melepas banyak O_2 (dari sekitar seperempat menjadi dua pertiga muatan). Kedua, CO_2 dan asam yang dihasilkan otot menggeser kurva ke kanan (efek Bohr), sehingga hemoglobin lebih mudah melepas O_2 (menjadi tiga perempat muatan, lebih dari tiga kali lipat keadaan istirahat). Pengisian di paru hampir tidak berubah (97% → 95%) karena bagian atas kurva datar. Saat istirahat, sekitar tiga perempat muatan tetap tersimpan sebagai cadangan di darah vena.
6. Pada anemia defisiensi besi (Siti, Hb 9,4 g/dL), hemoglobin yang ada tetap terisi penuh di paru, tetapi jumlah kapalnya sedikit, sehingga setiap liter darah membawa lebih sedikit O_2 . Pada keracunan CO, jumlah hemoglobin normal, tetapi sekitar 30% tempat O_2 diduduki CO yang menempel 200–250 kali lebih kuat daripada O_2 . Data Bagian C menunjukkan muatan maksimal hanya 69% dan sisa O_2 sulit dilepas: pada PO_2 40 mmHg hanya sekitar 7% yang dilepas (normal 22%), dan pada PO_2 20 mmHg 31% (normal 66%). Jadi CO memberi pukulan ganda, sehingga sel kekurangan O_2 walaupun paru bekerja dan udara di paru normal. CO juga tidak berwarna dan tidak berbau, sehingga korban sering tidak menyadarinya. Saran (a) untuk keluarga: nyalakan genset hanya di luar ruangan, jauh dari pintu dan jendela; jangan pernah menyalakan genset atau mesin mobil di ruang tertutup, dan jangan tidur di mobil yang mesinnya menyala dengan jendela tertutup; pastikan kompor menyala sempurna dan dapur berventilasi; bila ada yang pusing, mual, lemas, atau pingsan, segera matikan sumbernya bila aman, buka pintu dan jendela, bawa korban ke udara segar, dan cari pertolongan medis. Saran (b) untuk teman sekelas Bima: ajak bicara secara pribadi dan dengan empati, bukan di depan kelas atau di grup; dorong ia bercerita kepada orang tua atau guru UKS dan memeriksakan diri ke puskesmas atau dokter, karena penyebab lemas dan pucat harus dipastikan lewat pemeriksaan; bila ia remaja putri, minum tablet tambah darah satu tablet setiap minggu sesuai program; makan sumber besi seperti hati, daging, ikan, dan sayur hijau bersama buah kaya vitamin C, dan jangan minum tablet besi bersama teh atau kopi. Jangan menebak penyakitnya atau menyebarkan dugaan itu kepada orang lain.



Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketelitian membaca hasil darah lengkap	Semua hasil ↑/↓ pada keenam kasus tercatat benar dengan rujukan yang sesuai jenis kelamin, inti tafsiran setiap kasus tepat, dan perbedaan Siti dan Pak Hasan dijelaskan dengan hasil bagi MCV dengan eritrosit.	Satu atau dua tanda ↑/↓ keliru, atau satu tafsiran kurang tepat.	Tiga sampai lima tanda keliru, atau kasus Siti dan Pak Hasan tidak dibedakan.	Tabel sebagian besar kosong atau tafsiran sebagian besar keliru.
Penalaran kecocokan golongan darah	Keenam belas kotak matriks benar, setiap × dijelaskan dengan pasangan antigen dan antibodi, serta donor universal, penerima universal, dan aturan Rhesus dijelaskan tepat.	Matriks benar, tetapi penjelasan Rhesus atau salah satu alasan kurang lengkap.	Dua sampai empat kotak salah, atau jawaban hanya berupa hafalan tanpa alasan antigen dan antibodi.	Lebih dari empat kotak salah atau matriks tidak diselesaikan.
Pengukuran dan penjelasan muatan O₂	Angka terisi, tersisa, dan dilepas untuk ketiga keadaan pada PO ₂ 40 dan 20 mmHg tercatat tepat, dan efek Bohr serta bahaya CO dijelaskan memakai data tersebut.	Data lengkap, tetapi salah satu penjelasan kurang lengkap atau tidak memakai angka.	Sebagian data tidak dicatat, atau penjelasan tidak sesuai dengan data.	Data hampir kosong dan penjelasan tidak ada.
Saran yang bertanggung jawab dan etika data kesehatan	Saran tentang tanda bahaya DBD, pencegahan keracunan CO, dan anemia tepat dan merujuk ke tenaga kesehatan; privasi dijaga sepenuhnya tanpa menyebut nama atau hasil lab orang sungguhan.	Saran tepat, tetapi salah satu bidang belum dibahas.	Sebagian saran keliru, misalnya mengandalkan jus jambu atau mengobati sendiri, atau privasi pernah diabaikan.	Saran membahayakan atau menyebarkan data kesehatan orang lain.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Detektif Termostat Tiroid: Membaca Pola Hormon dan Melindungi Generasi dari GAKY

Bab 30: Siaran dari Istana • LKPD digital (simulator termostat tiroid), analisis kartu kasus, dan survei label garam di rumah • SMA (SMP dengan bimbingan guru) • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menjelaskan alur poros hipotalamus–hipofisis–tiroid (TRH → TSH → T4/T3) dan cara kerja umpan balik negatif memakai animasi di Bab 30.4.
2. Peserta didik dapat mencatat dan menafsirkan pola TRH, TSH, dan T4 pada tujuh keadaan di simulator termostat tiroid (Bab 30.6) untuk menentukan letak masalahnya.
3. Peserta didik dapat menerapkan aturan membaca pola (TSH dan T4 searah atau berlawanan arah) pada kartu kasus berdata rekaan.
4. Peserta didik dapat menghubungkan hasil kegiatan dengan pencegahan GAKY lewat garam beryodium dan pentingnya Skrining Hipotiroid Kongenital (SHK).

B Cerita pembuka

Bima berlibur ke kampung neneknya di daerah pegunungan. Ia melihat leher depan Bibi Ratna tampak membesar, dan tetangganya bercerita bahwa bayinya yang baru berumur tiga hari dipanggil bidan untuk pemeriksaan ulang setelah tes darah tumit. Di dapur nenek, Bima menemukan garam krosok dalam kantong plastik tanpa label. Dr. Sela lewat pesan singkat berkata, “Tubuh punya termostat hormon. Kalau kamu bisa membaca polanya, kamu akan tahu di mana masalahnya.” Hari ini kamu menjadi detektif termostat tiroid.

C Alat dan bahan

- Gawai (ponsel, tablet, atau laptop) untuk membuka animasi poros tiroid di Bab 30.4 dan simulator termostat tiroid di Bab 30.6
- 6 kartu kasus berdata rekaan yang ditulis dari langkah kegiatan
- Kemasan garam dapur dari rumah masing-masing, atau foto label kemasannya
- Kertas plano, spidol berwarna, dan selotip kertas

⚠ Keselamatan: Kegiatan ini hanya memakai simulasi, kartu, dan kemasan garam. Jangan mencicipi atau memakan garam dalam jumlah banyak saat survei. Kartu kasus memakai data rekaan untuk belajar: jangan memakainya untuk menebak penyakit diri sendiri atau orang lain, dan jangan memulai, mengubah, atau menghentikan obat hormon tanpa petunjuk dokter. Saat bercerita tentang anggota keluarga yang sakit, hormati privasinya dan jangan menyebut nama tanpa izin.

D Langkah kegiatan

1. Bagian A (alur poros): buka animasi poros hipotalamus–hipofisis–tiroid di Bab 30.4. Gambarlah diagram alir di kertas plano: hipotalamus → TRH → hipofisis → TSH → tiroid → T4 → sel sasaran (T4 diubah menjadi T3). Tambahkan dua panah putus-putus merah bertanda “–” dari T4 ke hipotalamus dan ke hipofisis sebagai umpan balik negatif.
2. Bagian B (simulator): buka simulator termostat tiroid di Bab 30.6. Sebelum memilih setiap keadaan, tulis tebakanmu tentang arah TRH, TSH, dan T4. Lalu pilih ketujuh keadaan satu per satu dan catat di tabel: kadar TRH, TSH, dan T4 (tinggi, normal, atau rendah), ukuran tiroid (membesar, normal, atau mengecil), letak masalah, dan satu tanda khas dari kotak penjelasan.
3. Lingkari baris yang TSH dan T4-nya bergerak berlawanan arah dengan warna hijau, dan yang bergerak searah dengan warna merah. Rumuskan aturan membaca pola dengan kata-katamu sendiri, lalu cocokkan dengan kotak “Kunci membaca pola” di Bab 30.6.
4. Bagian C (kartu kasus, data rekaan): tulis enam kartu berikut. K1: perempuan 35 tahun, mudah lelah dan kedinginan, berat badan naik; TSH tinggi, FT4 rendah, antibodi terhadap tiroid positif. K2: remaja 16 tahun di desa pegunungan, leher depan membesar; keluarganya memakai garam tanpa label; TSH tinggi, FT4 agak rendah. K3: perempuan 28 tahun, berdebar, gemetar, berat badan turun, mata menonjol; TSH sangat rendah, FT4 tinggi, antibodi perangsang reseptor TSH positif. K4: laki-laki 50 tahun yang sedang memakai tablet levotiroksin dan beberapa minggu terakhir meminumnya dua kali sehari karena lupa; berdebar dan sulit tidur; TSH sangat rendah, FT4 tinggi, tiroid tidak membesar. K5: perempuan 45 tahun yang pernah dioperasi karena tumor hipofisis; lelah dan kedinginan; TSH rendah, FT4 rendah. K6: bayi berusia 3 hari tampak sehat, tetapi kadar TSH dari darah tumitnya tinggi.
5. Untuk setiap kartu, tentukan keadaan yang paling cocok dari simulator, letak masalahnya, dan alasannya berdasarkan aturan pola. Tempel kartu di samping diagram alir dan tunjukkan dengan panah bagian poros yang terganggu.
6. Bagian D (survei garam): periksa kemasan garam di rumahmu atau fotonya. Catat apakah ada tulisan “beryodium”, tanda SNI, kemasan tertutup rapat, dan di mana garam disimpan di dapur. Kumpulkan data seluruh kelas dan hitung berapa rumah yang memakai garam berlabel beryodium.
7. Buatlah satu pesan singkat (poster atau pesan untuk grup keluarga) tentang garam beryodium dan SHK yang benar secara ilmiah, tidak menakut-nakuti, dan menyarankan pemeriksaan ke tenaga kesehatan bila ada keluhan. Presentasikan diagram, kartu kasus, dan pesanmu di depan kelas.

E Tabel data simulator termostat tiroid

Keadaan	TRH	TSH	T4	Ukuran tiroid	Letak masalah	Satu tanda khas
Sehat (normal)						
Asupan yodium rendah						
Tiroid rusak (Hashimoto)						

Keadaan	TRH	TSH	T4	Ukuran tiroid	Letak masalah	Satu tanda khas
Hipofisis rusak						
Tumor hipofisis penghasil TSH						
Minum tablet hormon tiroid berlebihan						
Penyakit Graves						

F Pertanyaan diskusi

1. Jelaskan urutan poros hipotalamus–hipofisis–tiroid dan cara umpan balik negatif menjaga kadar T4. Mengapa poros ini dapat diibaratkan termostat AC?
2. Berdasarkan tabelmu, keadaan mana saja yang TSH dan T4-nya bergerak berlawanan arah, dan mana yang searah? Rumuskan aturan untuk menentukan letak masalah dari pola itu.
3. Pasangkan kartu K1 sampai K6 dengan keadaan di simulator dan letak masalahnya. Jelaskan alasanmu untuk K4 dan K5, yang sama-sama memiliki TSH rendah.
4. Mengapa kekurangan yodium dapat menyebabkan gondok, padahal hipofisis dan termostatnya bekerja normal? Bagaimana hasil survei garam kelasmu, dan apa saran untuk dapur nenek Bima?
5. Tetangga Bima bertanya, “Bayi saya tampak sehat, kenapa harus diperiksa ulang? Tidak usah saja, ya?” Susun jawaban yang ramah dan ilmiah berdasarkan Bab 30.5.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang cara kerja poros hipotalamus–hipofisis–tiroid sebagai termostat hormon, cara membaca pola TSH dan T4 untuk menemukan letak masalah, serta peran garam beryodium dan SHK dalam melindungi perkembangan otak anak Indonesia.

H Refleksi diri

1. Pola hormon yang paling mudah saya pahami adalah ... karena ...

2. Hal yang masih membingungkan bagi saya tentang umpan balik hormon adalah ...

3. Satu kebiasaan di rumah yang akan saya ubah atau sarankan setelah kegiatan ini adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Hipotalamus (istana) memantau kadar hormon tiroid; bila kurang, ia melepas TRH ke pembuluh darah pendek menuju hipofisis. Hipofisis (sekretariat) menjawab dengan melepas TSH ke darah. TSH menyuruh tiroid menyerap yodium dan membuat T4 serta sedikit T3. T4 beredar menumpang protein pembawa, lalu di sel sasaran diubah menjadi T3 yang menyalakan gen metabolisme. Bila T4 dan T3 sudah cukup, keduanya mengerem hipotalamus dan hipofisis sehingga TRH dan TSH turun dan produksi T4 melambat; bila T4 turun, rem terlepas dan TRH serta TSH naik lagi. Ini mirip termostat AC: suhu ruangan dibandingkan dengan angka setelan, kompresor bekerja bila ruangan terlalu panas dan berhenti bila sudah sejuk. Hasil kerja sistem justru menghentikan sistem itu sendiri, sehingga kadar hormon tetap dalam rentang sempit (homeostasis).
2. Berlawanan arah: asupan yodium rendah (TSH naik, T4 turun), Hashimoto (TSH naik, T4 turun), tablet berlebihan (TSH turun, T4 naik), dan Graves (TSH turun, T4 naik). Searah: hipofisis rusak (TSH dan T4 sama-sama rendah) dan tumor hipofisis penghasil TSH (TSH dan T4 sama-sama tinggi). Pada keadaan sehat keduanya normal. Aturannya: bila TSH dan T4 bergerak berlawanan arah, termostat bekerja normal dan masalahnya ada di tiroid atau di luar poros (kekurangan yodium, kerusakan autoimun, obat, atau antibodi); bila keduanya bergerak searah, curigai masalah di hipofisis atau hipotalamus. Karena itu TSH dan FT4 dibaca bersama.

3. K1: Hashimoto, masalah di tiroid (TSH tinggi, FT4 rendah, ada antibodi terhadap tiroid). K2: asupan yodium rendah, tiroid kekurangan bahan sehingga TSH tinggi dan tiroid membesar. K3: penyakit Graves, antibodi menyalakan reseptor TSH sehingga FT4 tinggi dan TSH ditekan. K4: tablet hormon tiroid berlebihan, T4 dari luar tubuh menekan TRH dan TSH sehingga tiroid sendiri diliburkan dan tidak membesar. K5: hipofisis rusak (hipotiroid sentral), TSH dan FT4 sama-sama rendah. K6: kemungkinan hipotiroid kongenital, masalah di tiroid bayi, sehingga perlu pemeriksaan ulang TSH dan FT4 untuk memastikannya. K4 dan K5 sama-sama memiliki TSH rendah, tetapi polanya berbeda: pada K4 TSH rendah dan T4 tinggi (berlawanan arah), artinya termostat bekerja benar karena T4 berlebih; pada K5 TSH rendah dan T4 juga rendah (searah), artinya hipofisis tidak mampu membuat TSH walaupun T4 kurang.
4. Setiap molekul T4 membutuhkan 4 atom yodium. Tanpa cukup yodium, tiroid tidak dapat membuat T4, sehingga T4 turun dan rem umpan balik terlepas. Hipotalamus dan hipofisis bekerja benar dan terus menaikkan TRH dan TSH; TSH yang tinggi terus-menerus merangsang sel tiroid tumbuh sehingga kelenjar membesar menjadi gondok. Termostatnya normal, tetapi bahan bakunya tidak ada. Hasil survei kelas berbeda-beda; jawaban dinilai dari ketepatan pencatatan (label beryodium, tanda SNI, kemasan tertutup, tempat penyimpanan) dan perhitungan jumlah rumah. Saran untuk dapur nenek: mengganti garam tanpa label dengan garam konsumsi berlabel beryodium dan bertanda SNI sesuai Keputusan Presiden Nomor 69 Tahun 1994, menyimpannya dalam wadah tertutup jauh dari panas dan lembap, menambahkannya menjelang masakan matang, dan tetap memakai garam secukupnya (kurang dari 5 gram per hari untuk orang dewasa). Bibi Ratna sebaiknya memeriksakan lehernya ke tenaga kesehatan, karena pembesaran tiroid juga dapat disebabkan hal lain.
5. Contoh jawaban: "Ibu, hampir semua bayi dengan hipotiroid kongenital tampak sehat saat lahir, jadi kelainannya hanya bisa ditemukan lewat pemeriksaan darah. TSH yang tinggi berarti hipofisis sedang 'berteriak' karena tiroid bayi mungkin belum membuat cukup hormon. Hormon tiroid sangat penting untuk perkembangan otak pada bulan-bulan pertama. Bila memang kurang dan tidak diobati, kerusakan otaknya permanen. Kabar baiknya, obatnya murah dan mudah, yaitu tablet levotiroksin setiap hari, dan paling baik dimulai sedini mungkin, idealnya dalam dua minggu pertama. Pemeriksaan ulang diperlukan untuk memastikan, karena hasil skrining belum tentu berarti sakit. Mari segera datang sesuai jadwal dari bidan." Jawaban perlu menyebut bahwa bayi tampak sehat bukan jaminan, arti TSH tinggi, akibat bila terlambat, dan bahwa pemeriksaan ulang adalah konfirmasi.



Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Diagram alir poros dan umpan balik	Diagram lengkap danurut (TRH, TSH, T4, perubahan menjadi T3 di sel sasaran) dengan dua panah umpan balik negatif yang tepat, serta analogi termostat dijelaskan dengan benar.	Diagram urut, tetapi satu bagian (misalnya perubahan T4 menjadi T3 atau salah satu panah umpan balik) tidak ada.	Urutan sebagian tertukar atau umpan balik digambarkan sebagai perangsang.	Diagram tidak selesai atau sebagian besar keliru.
Pencatatan data simulator dan aturan pola	Ketujuh baris tabel terisi benar, tebakan awal dicatat, dan aturan searah atau berlawanan arah dirumuskan dengan tepat.	Tabel lengkap, tetapi satu atau dua sel keliru atau aturan pola kurang jelas.	Beberapa baris kosong atau aturan pola tidak dirumuskan.	Tabel hampir kosong.
Analisis kartu kasus	Keenam kartu dipasang dengan alasan tepat dengan alasan berbasis pola, termasuk perbedaan K4 dan K5.	Lima kartu tepat, atau semua tepat tetapi alasan untuk K4 dan K5 kurang jelas.	Tiga atau empat kartu tepat.	Kurang dari tiga kartu tepat.
Survei garam dan pesan kesehatan	Data survei dicatat lengkap, saran dapur tepat, dan pesan tentang garam beryodium dan SHK akurat, ramah, serta merujuk ke tenaga kesehatan.	Data dan pesan tepat, tetapi salah satunya kurang lengkap.	Pesan mengandung kekeliruan kecil atau bernada menakut-nakuti.	Pesan keliru atau mendorong mengobati diri sendiri.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Detektif Sinar UV: Menghitung Waktu Terbakar dan Membaca Label Tabir Surya

Bab 31: Tembok Bata Hidup • LKPD digital (lab maya UV dan tabir surya), pengamatan bayangan tongkat, dan survei label tabir surya di rumah • SMA (SMP dengan bimbingan guru) • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menjelaskan hubungan indeks UV, dosis UV (SED), dan kepekaan kulit (MED) memakai model sederhana di lab maya Bab 31.6.
2. Peserta didik dapat mencatat dan membandingkan perkiraan waktu sampai kulit memerah pada enam tipe kulit, dengan dan tanpa tabir surya, lalu menghitung ulang secara manual.
3. Peserta didik dapat menjelaskan mengapa tebal olesan tabir surya sangat menentukan perlindungan nyata, dan mengapa angka waktu bukan “jatah aman” berjemur.
4. Peserta didik dapat menghubungkan panjang bayangan dengan kekuatan UV, membaca label tabir surya (SPF, PA, izin edar BPOM, Cek KLIK), dan menyusun pesan perlindungan kulit yang benar dan tidak menakut-nakuti.

B Cerita pembuka

Sepulang liburan di pantai, pundak Bima merah, perih, lalu mengelupas. Minggu depan sekolahnya mengadakan lomba gerak jalan pukul 10.00 sampai 13.00, dan prakiraan BMKG menunjukkan indeks UV 11 pada siang hari. Di grup kelas, Rafi menulis, “Santai, oles tipis saja tabir surya SPF 50, pasti aman seharian.” Nadia menambahkan, “Kulitku sawo matang, jadi tidak mungkin terbakar.” Dr. Sela membalas singkat, “Coba hitung dulu dengan lab maya, lalu periksa label tabir surya di rumahmu.” Hari ini kamu menjadi detektif sinar UV.

C Alat dan bahan

- Gawai (ponsel, tablet, atau laptop) untuk membuka animasi melanin di Bab 31.4 dan lab maya UV di Bab 31.6
- Tongkat atau penggaris kayu sepanjang 100 cm, meteran, dan kapur atau batu kecil untuk menandai ujung bayangan
- Kemasan tabir surya atau kosmetik dari rumah, atau foto labelnya
- Kalkulator, kertas plano, dan spidol berwarna

⚠ Keselamatan: Kegiatan ini tidak menjemur kulit siapa pun. Pengukuran bayangan dilakukan dengan cepat (kurang dari 2 menit setiap kali), memakai topi, dan bila memungkinkan pada pagi atau sore hari; selebihnya tunggu di tempat teduh. Jangan pernah menatap matahari secara langsung. Kemasan tabir surya dan kosmetik hanya dibaca labelnya: jangan dioleskan, dicicipi, atau dibagikan kepada teman. Lab

maya adalah model sederhana untuk belajar, bukan alat untuk menentukan berapa lama boleh berjemur. Saat membahas warna kulit, hormati setiap teman dan jangan mengejek warna kulit siapa pun.

D Langkah kegiatan

1. Bagian A (memahami UV): buka animasi pembentukan melanin di Bab 31.4. Tulis dengan kata-katamu sendiri urutan kejadian dari UV mengenai keratinosit sampai terbentuk payung melanin di atas inti, lalu jelaskan mengapa kulit yang menjadi cokelat adalah tanda DNA yang rusak.
2. Bagian B (lab maya): buka lab maya UV di Bab 31.6. Atur indeks UV ke 11. Untuk setiap tipe kulit I sampai VI, catat di tabel perkiraan waktu sampai kulit memerah dalam tiga keadaan: tanpa tabir surya, SPF 30 dioles setengah takaran, dan SPF 30 dioles seperempat takaran. Sebelum mencatat, tulis dulu tebakanmu untuk tipe IV.
3. Bagian C (hitung manual): gunakan rumus waktu $\approx \text{MED} \times \text{faktor tabir surya} \div (0,015 \times \text{indeks UV})$. Hitung secara manual waktu untuk kulit tipe III (MED 3,5 SED) pada indeks UV 8 tanpa pelindung, lalu dengan SPF 50 yang dioles seperempat takaran (faktor ≈ 50 pangkat $\frac{1}{4} \approx 2,66$). Bandingkan hasilmu dengan angka di lab maya.
4. Bagian D (bayangan tongkat): tegakkan tongkat 100 cm di tanah datar, lalu ukur panjang bayangannya pada dua atau tiga waktu yang berbeda selama jam sekolah, misalnya pukul 07.30, 10.00, dan 12.00, dengan memperhatikan aturan keselamatan. Bila tidak memungkinkan, pakai data rekaan berikut: pukul 07.30 bayangan 180 cm; pukul 09.30 bayangan 60 cm; pukul 12.00 bayangan 15 cm; pukul 14.30 bayangan 70 cm. Tandai waktu-waktu saat bayangan lebih pendek daripada tongkat.
5. Bagian E (survei label): periksa kemasan tabir surya atau kosmetik dari rumah atau fotonya. Catat angka SPF, tanda PA (PA+ sampai PA++++) atau tulisan spektrum luas, nomor izin edar BPOM, tanggal kedaluwarsa, dan keadaan kemasan (Cek KLIK: Kemasan, Label, Izin edar, Kedaluwarsa). Kumpulkan data seluruh kelas.
6. Bagian F (pesan): buatlah satu poster atau pesan singkat untuk grup kelas yang menjawab tulisan Rafi dan Nadia memakai data dari lab maya. Pesan harus benar secara ilmiah, menghargai semua warna kulit, menyebut perlindungan selain tabir surya (teduhan, topi, baju, kacamata), dan tidak menakut-nakuti.
7. Presentasikan tabel, hasil hitungan manual, data bayangan, hasil survei label, dan pesanmu di depan kelas, lalu tanggapi pertanyaan kelompok lain.

E Tabel data lab maya UV (indeks UV 11)

Tipe kulit	MED (SED)	Tanpa tabir surya (menit)	SPF 30, setengah takaran (menit)	SPF 30, seperempat takaran (menit)	Catatan
Tipe I					
Tipe II					
Tipe III					

Tipe kulit	MED (SED)	Tanpa tabir surya (menit)	SPF 30, setengah takaran (menit)	SPF 30, seperempat takaran (menit)	Catatan
Tipe IV					
Tipe V					
Tipe VI					

F Pertanyaan diskusi

1. Berdasarkan tabelmu, bagaimana warna kulit memengaruhi waktu sampai kulit memerah? Apakah kulit tipe V dan VI aman tanpa perlindungan sama sekali? Jelaskan dengan menghubungkan jumlah dan jenis melanosom.
2. Tuliskan hitungan manualmu untuk kulit tipe III pada indeks UV 8, tanpa pelindung dan dengan SPF 50 yang dioles seperempat takaran. Apakah hasilnya sesuai dengan lab maya?
3. Tanggapi tulisan Rafi: mengapa SPF 50 yang dioles tipis bisa melindungi lebih lemah daripada SPF 30 yang dioles setengah takaran? Gunakan angka dari lab maya.
4. Dari data bayangan, kapan bayangan paling pendek dan apa artinya bagi kekuatan UV? Rumuskan aturan sederhana untuk memutuskan kapan harus mencari teduhan saat lomba gerak jalan.
5. Apa saja yang kamu temukan pada survei label? Jelaskan arti SPF dan PA, pentingnya nomor izin edar BPOM, dan bahaya krim pemutih tanpa izin edar.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang cara sinar UV merusak DNA dan memicu pembentukan melanin, faktor yang menentukan seberapa cepat kulit terbakar, arti angka SPF dan pentingnya takaran olesan, serta cara melindungi kulit yang paling tepat untuk kegiatan di luar ruangan di Indonesia.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling mengejutkan bagi saya dari lab maya UV adalah ... karena ...
2. Kebiasaan melindungi kulit yang akan saya mulai atau ubah adalah ...
3. Hal yang masih membingungkan bagi saya tentang UV, melanin, atau tabir surya adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Pada indeks UV 11 tanpa pelindung, perkiraan waktu sampai memerah adalah tipe I sekitar 12 menit, tipe II 15 menit, tipe III 21 menit, tipe IV 30 menit, tipe V 48 menit, dan tipe VI 73 menit. Makin gelap kulit, makin lama waktunya, karena melanosomnya lebih banyak, lebih besar, kaya eumelanin, tersebar satu-satu, dan pigmennya terbawa sampai lapisan atas, sehingga lebih banyak UV diserap sebelum mencapai DNA. Jumlah melanositnya sendiri hampir sama. Kulit tipe V dan VI tidak sepenuhnya aman: pada indeks UV ekstrem kulit tipe V dapat memerah dalam waktu kurang dari satu jam, kerusakan DNA sudah terjadi sebelum kulit memerah, mata tetap dapat rusak oleh UV, dan paparan berlebihan tetap mempercepat penuaan kulit. Jadi tulisan Nadia keliru.
2. Dosis UV per menit = $0,015 \times 8 = 0,12$ SED. Tanpa pelindung: waktu $\approx 3,5 \div 0,12 \approx 29$ menit. Dengan SPF 50 dioles seperempat takaran: faktor perlindungan ≈ 50 pangkat $\frac{1}{4} \approx 2,66$, sehingga waktu $\approx 3,5 \times 2,66 \div 0,12 \approx 78$ menit, bukan 50×29 menit (sekitar 24 jam) seperti yang mungkin dibayangkan. Hasil ini sesuai dengan lab maya bila indeks UV, tipe kulit, SPF, dan cara mengoles diatur sama; selisih satu menit dapat terjadi karena pembulatan.

3. Menurut temuan yang dipakai lab maya (Faurschou dan Wulf, 2007), perlindungan nyata turun tajam bila tabir surya dioles lebih tipis daripada takaran uji 2 mg/cm^2 : setengah takaran memberi perlindungan sekitar akar kuadrat SPF, sedangkan seperempat takaran sekitar akar pangkat empat SPF. SPF 50 dioles seperempat takaran hanya memberi faktor sekitar 2,7, sedangkan SPF 30 dioles setengah takaran memberi sekitar 5,5. Pada indeks UV 11, kulit tipe IV dengan SPF 50 tipis memerah sekitar 81 menit, sedangkan dengan SPF 30 setengah takaran sekitar 166 menit. Selain itu tabir surya luntur oleh keringat dan gesekan, sehingga perlu dioles ulang setiap 2 jam, dan tidak ada tabir surya yang membuat aman “seharian”.
Tulisan Rafi keliru: takaran olesan lebih menentukan daripada sekadar angka SPF yang besar.
4. Bayangan paling pendek terjadi sekitar tengah hari (pada data rekaan, pukul 12.00 dengan bayangan 15 cm), saat matahari paling tinggi. Makin tinggi matahari, makin pendek jalur sinar melewati atmosfer, sehingga UV yang sampai ke permukaan makin kuat dan indeks UV makin tinggi. Aturan sederhananya: bila bayangan lebih pendek daripada tinggi benda (atau tinggi badan), UV sedang kuat, jadi carilah teduhan dan pakai perlindungan. Untuk lomba gerak jalan pukul 10.00–13.00, peserta sebaiknya memakai topi lebar, baju berlengan, tabir surya yang dioles cukup tebal dan diulang, minum cukup air, serta beristirahat di tempat teduh; panitia dapat menyediakan tenda dan air minum.
5. Jawaban survei sesuai temuan kelompok. SPF terutama menunjukkan perlindungan terhadap UVB dalam kondisi uji: SPF 15 menahan sekitar 93% UVB, SPF 30 sekitar 97%, dan SPF 50 sekitar 98%. Tanda PA+ sampai PA++++ atau tulisan spektrum luas menunjukkan perlindungan terhadap UVA. Nomor izin edar BPOM menandakan produk telah dinilai keamanan, manfaat, dan mutunya sebelum beredar; Cek KLIK membantu konsumen memeriksa kemasan, label, izin edar, dan kedaluwarsa. Krim pemutih tanpa izin edar berisiko mengandung bahan yang dilarang dalam kosmetik, misalnya merkuri yang dapat merusak ginjal dan saraf, atau obat keras seperti hidrokuinon dan asam retinoat yang hanya boleh dipakai dengan resep dokter.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pemahaman UV dan melanin	Urutan UV → kerusakan DNA → p53 → α-MSH → MC1R → tirosinase → melanin → payung di atas inti dijelaskan lengkap, termasuk alasan kulit cokelat menandakan DNA rusak.	Urutan benar, tetapi satu tahap tidak ada atau alasan kulit cokelat sebagai tanda kerusakan kurang jelas.	Beberapa tahap tertukar atau kulit cokelat dianggap tanda kulit sehat.	Penjelasan tidak selesai atau sebagian besar keliru.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Data lab maya dan hitungan manual	Ke-18 sel tabel terisi benar, tebakan awal dicatat, dan kedua hitungan manual benar beserta satuannya.	Tabel lengkap dengan satu atau dua kekeliruan kecil, atau salah satu hitungan manual kurang tepat.	Sebagian tabel kosong atau hitungan manual keliru konsep (misalnya mengalikan SPF penuh).	Tabel dan hitungan hampir kosong.
Analisis bayangan dan label	Hubungan panjang bayangan dengan kekuatan UV dijelaskan tepat, aturan teduhan dirumuskan, dan arti SPF, PA, izin edar BPOM, serta Cek KLIK dijelaskan dengan benar.	Analisis bayangan dan label tepat, tetapi salah satunya kurang lengkap.	Analisis mengandung kekeliruan, misalnya SPF dianggap berlipat ganda bila angkanya dua kali lebih besar.	Analisis tidak dibuat atau keliru.
Pesan perlindungan kulit	Pesan menjawab tulisan Rafi dan Nadia dengan data, menghargai semua warna kulit, menyebut perlindungan selain tabir surya, dan tidak menakut-nakuti.	Pesan tepat, tetapi kurang memakai data atau kurang lengkap.	Pesan mengandung kekeliruan kecil atau bernada menakut-nakuti.	Pesan keliru, mengejek warna kulit, atau mendorong berjemur.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Detektif Kampung Usus: Lab Maya Mikrobiota, Detektif Label Produk, dan Catatan Serat Tiga Hari

Bab 32: Tamu yang Membayar Sewa • LKPD digital (lab maya kebun warga usus), kartu klasifikasi label produk, dan catatan makanan di rumah • SMP–SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mencatat keragaman warga, produksi butirat, dan kerentanan terhadap *Clostridioides difficile* dari lab maya kebun warga usus di Bab 32.6 pada dua pola makan, dengan dan tanpa antibiotik serta probiotik.
2. Peserta didik dapat menafsirkan pola data itu untuk menjelaskan hubungan serat → fermentasi → butirat dan arti resistensi kolonisasi, serta menyebutkan batas sebuah model sederhana.
3. Peserta didik dapat membedakan probiotik, prebiotik, pangan fermentasi, dan postbiotik berdasarkan keterangan pada label produk, lalu mengkritisi klaim kesehatan yang berlebihan.
4. Peserta didik dapat mendata sumber serat yang dimakannya selama tiga hari, menghitung jumlah jenis tumbuhan yang berbeda, dan menyusun satu rencana perbaikan yang masuk akal serta aman.

B Cerita pembuka

Telinga Bima infeksi, dan dokter meresepkan antibiotik selama 7 hari. Hari ketiga, perutnya mulas dan ia diare. Kata Dr. Sela, “Antibiotik memang membasmi kuman penyebab infeksi, tetapi juga mengguncang kampung bakteri baik di ususmu.” Di rumah, kakak Bima membuka ponsel dan menemukan iklan suplemen: “Detoks usus total! Menyembuhkan semua penyakit pencernaan, mengeluarkan racun bertahun-tahun!” Di meja makan ada tempoyak buatan nenek, tempe goreng, dan sebotol minuman susu fermentasi. Mana yang benar-benar “membayar sewa” untuk warga usus, dan mana yang hanya menjual janji? Hari ini kamu menjadi detektif kampung usus: membaca data lab maya, memeriksa label, dan menghitung serat di piringmu sendiri.

C Alat dan bahan

- Gawai (ponsel, tablet, atau laptop) untuk membuka lab maya kebun warga usus di Bab 32.6 dan tabel istilah di Bab 32.8
- Lembar LKPD ini, buku tulis, pensil, serta pensil warna untuk menandai baris data
- 8 kartu label produk yang ditulis atau difotokopi dari langkah Bagian B (boleh ditambah foto label kemasan asli dari rumah, tanpa merek yang disebut saat presentasi)
- Kalkulator (boleh memakai gawai) dan kertas plano serta spidol untuk presentasi kelompok

⚠ Keselamatan: Seluruh kegiatan ini hanya memakai lab maya, kartu label, dan catatan makanan. Jangan membuat percobaan fermentasi dengan daging atau ikan mentah, telur, maupun susu mentah di

kelas, karena berisiko menumbuhkan kuman berbahaya; mengamati pangan fermentasi cukup dari produk yang sudah jadi dan masih layak makan. Tidak ada pengambilan sampel tinja dalam bentuk apa pun, dan tidak ada pemeriksaan laboratorium pada diri sendiri. Jangan membeli atau meminum antibiotik untuk kegiatan ini: antibiotik hanya diminum bila diresepkan dokter dan harus dihabiskan sesuai petunjuk. Jangan pula mulai meminum probiotik, prebiotik, atau suplemen apa pun demi kegiatan ini; pada bayi prematur dan orang dengan sistem imun sangat lemah, probiotik hanya boleh atas petunjuk dokter. Saat mencicipi pangan fermentasi di rumah, hormati alergi dan pantangan makanan teman serta keluarga (misalnya alergi susu, kacang, ikan, atau durian) dan tanyakan dulu sebelum menawarkan makanan. Angka lab maya adalah angka model untuk belajar, bukan hasil pemeriksaan; keluhan pencernaan tetap dibicarakan dengan tenaga kesehatan.

D Langkah kegiatan

1. Bagian A (lab maya, ± 35 menit): buka lab maya kebun warga usus di Bab 32.6. Kenali dulu ketiga batangnya: keragaman warga, produksi butirat, dan kerentanan terhadap *C. difficile*. Catat bahwa angkanya relatif (0–100) dan berasal dari model sederhana, bukan pengukuran pada manusia.
2. Pilih pola makan “tinggi serat”, pastikan kedua tombol peristiwa mati, dan geser hari ke 0. Catat ketiga angka pada baris 1 tabel. Lakukan hal yang sama untuk pola makan “rendah serat, banyak makanan olahan” dan catat pada baris 6. Sebelum melanjutkan, tulis dugaan kelompokmu: mana yang akan turun lebih tajam saat antibiotik dipakai?
3. Nyalakan tombol “antibiotik 7 hari” pada pola makan tinggi serat, lalu geser hari ke 7, 14, 30, dan 90. Catat ketiga angka pada baris 2 sampai 5, dan salin satu kalimat penting dari kotak pesan di kolom terakhir.
4. Ulangi langkah itu untuk pola makan rendah serat dan isi baris 7 sampai 10. Bandingkan hari ke-7 kedua pola makan, lalu bandingkan hari ke-30 dan ke-90.
5. Pada hari ke-7, nyalakan juga tombol “minum probiotik” untuk kedua pola makan dan catat hasilnya pada baris 11 dan 12. Perhatikan dengan teliti batang mana yang berubah dan batang mana yang tidak berubah sama sekali, lalu baca kotak pesannya.
6. Buat grafik garis sederhana di kertas plano: sumbu datar hari (0, 7, 14, 30, 90) dan sumbu tegak keragaman warga, dengan dua garis berbeda warna untuk pola makan tinggi serat dan rendah serat. Tandai hari ke-7 sebagai titik terendah.
7. Bagian B (detektif label, ± 30 menit): tulis delapan kartu berikut, satu kartu satu produk. L1 tempoyak buatan sendiri yang masih asam dan belum dimasak. L2 tempe goreng. L3 yoghurt berlabel “mengandung kultur bakteri hidup”, tanpa nama galur dan tanpa jumlah bakteri. L4 minuman susu fermentasi yang mencantumkan nama galur lengkap, jumlah bakteri hidup sampai akhir masa simpan, dan rujukan uji klinis pada galur itu. L5 sirop serat berisi inulin dan fruktooligosakarida. L6 suplemen “detoks usus” berklaim “menyembuhkan semua penyakit pencernaan dan mengeluarkan racun bertahun-tahun”. L7 keripik kentang rasa keju. L8 serbuk bakteri asam laktat yang sudah dipanaskan sehingga selnya mati.
8. Untuk setiap kartu, tentukan golongannya memakai tabel istilah di Bab 32.8: probiotik, prebiotik, pangan fermentasi, postbiotik, atau bukan salah satu pun. Tulis alasanmu dalam satu kalimat, dan beri tanda tanya bila keterangan pada label belum cukup untuk memutuskan.

9. Khusus kartu L6, tulis kritik terhadap klaimnya: bagian mana yang tidak mungkin dibuktikan, kata mana yang berlebihan, dan informasi apa yang seharusnya ada pada label produk yang jujur. Tulis juga satu kalimat yang akan kamu kirimkan kepada kakak Bima, dengan bahasa yang sopan dan tidak menuduh.
10. Bagian C (pilihan, catatan serat 3 hari, dikerjakan di rumah): selama tiga hari, catat setiap sumber serat yang kamu makan (sayur, buah, kacang-kacangan, umbi, biji-bijian utuh, serta nasi atau kentang yang sudah dimasak lalu didinginkan). Hitung berapa jenis tumbuhan berbeda yang kamu makan tiap hari, lalu hitung reratanya untuk tiga hari.
11. Kumpulkan rerata seluruh kelas, hitung rerata kelas, dan bandingkan dengan catatan Riskesdas 2018 bahwa 95,5% penduduk Indonesia usia 5 tahun ke atas kurang makan sayur dan buah. Tutup dengan satu rencana perbaikan yang masuk akal, murah, dan aman (tanpa suplemen), lalu presentasikan grafik, kartu label, dan rencanamu di depan kelas.

E **Tabel data lab maya kebun warga usus (Bagian A). Semua angka relatif 0–100 dari model sederhana di Bab 32.6**

Keadaan (pola makan · peristiwa · hari)	Keragaman warga	Produksi butir	Kerentanan terhadap <i>C. difficile</i>	Satu kalimat penting dari kotak pesan
1 · tinggi serat · tanpa antibiotik · hari 0				
2 · tinggi serat · antibiotik · hari 7				
3 · tinggi serat · antibiotik · hari 14				
4 · tinggi serat · antibiotik · hari 30				
5 · tinggi serat · antibiotik · hari 90				
6 · rendah serat · tanpa antibiotik · hari 0				
7 · rendah serat · antibiotik · hari 7				
8 · rendah serat · antibiotik · hari 14				
9 · rendah serat · antibiotik · hari 30				

Keadaan (pola makan · peristiwa · hari)	Keragaman warga	Produksi butir	Kerentanan terhadap <i>C. difficile</i>	Satu kalimat penting dari kotak pesan
10 · rendah serat · antibiotik · hari 90				
11 · tinggi serat · antibiotik + probiotik · hari 7				
12 · rendah serat · antibiotik + probiotik · hari 7				

F Pertanyaan diskusi

1. Bandingkan baris 1 dan baris 6 (hari 0, tanpa antibiotik). Keragaman warga turun dari 100 menjadi 62, tetapi produksi butir turun jauh lebih tajam. Tunjukkan angkanya dan jelaskan mengapa butir terpuak lebih berat daripada keragaman.

2. Bandingkan hari ke-7 pada kedua pola makan (baris 2 dan 7). Berapa keragaman dan kerentanan masing-masing, dan berapa persen keragaman yang tersisa dibanding keadaan awalnya? Jelaskan mengapa kerentanan terhadap *C. difficile* justru paling tinggi di akhir masa minum antibiotik, dan hubungkan dengan resistensi kolonisasi.

3. Gunakan baris 3, 4, 5 dan baris 8, 9, 10 untuk membandingkan pemulihan kedua pola makan. Hitung persentase keragaman dibanding keadaan awal masing-masing pada hari ke-14, ke-30, dan ke-90. Pola makan mana yang pulih lebih cepat, dan apa yang tetap tidak dijelaskan oleh model ini?

4. Pada baris 11 dan 12, batang mana yang berubah ketika probiotik dinyalakan, dan batang mana yang sama sekali tidak berubah? Tulis angkanya. Mengapa pembuat model memilih aturan seperti itu, dan apa yang boleh serta tidak boleh disimpulkan tentang probiotik setelah antibiotik?

5. Tuliskan golongan kedelapan kartu label (L1–L8) beserta alasan singkatnya. Lalu kritisi klaim pada kartu L6: bagian mana yang tidak mungkin dibuktikan, dan mengapa istilah “detoks usus” tidak sejalan dengan isi Bab 32.7?

6. Laporkan rerata jumlah jenis tumbuhan per hari dari catatan tiga harimu dan rerata kelas. Mengapa anjuran utama Bab 32.8 adalah “serat yang beragam”, bukan satu jenis suplemen? Tulis satu rencana perbaikan yang masuk akal untuk satu minggu ke depan, dan jelaskan apa yang harus dilakukan bila ada anggota keluarga yang diare.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang mikrobiota usus sebagai “tamu yang membayar sewa”: bagaimana serat yang beragam menentukan jumlah warga dan produksi butir, bagaimana kampung terguncang dan pulih setelah antibiotik, apa arti resistensi kolonisasi bagi infeksi *C. difficile*, serta bagaimana membedakan probiotik, prebiotik, pangan fermentasi, dan postbiotik dari klaim iklan yang berlebihan.

H Refleksi diri

1. Angka dari lab maya yang paling mengejutkan saya adalah ... karena ...

2. Bagian yang masih membingungkan bagi saya tentang mikrobiota usus adalah ...

3. Satu kebiasaan makan di rumah yang akan saya ubah atau sarankan setelah kegiatan ini adalah ... dan cara saya memastikannya berjalan adalah ...

✓ **Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi**

1. Baris 1 (tinggi serat, hari 0): keragaman 100, butirat 100, kerentanan 0. Baris 6 (rendah serat, hari 0): keragaman 62, butirat 26, kerentanan 11. Jadi keragaman turun sekitar 38%, sedangkan butirat turun sekitar 74%. Penyebabnya, butirat bergantung pada dua hal sekaligus: jumlah dan jenis warga yang mampu memfermentasi, dan jumlah bahan bakunya, yaitu serat. Pada pola makan rendah serat, warganya lebih sedikit dan bahan bakunya juga sedikit, sehingga dua kekurangan itu berlipat. Dalam model, butirat $\approx$ keragaman $\times$ faktor serat (1 untuk tinggi serat, 0,72 untuk sedang, 0,42 untuk rendah), sehingga $62 \times 0,42 \approx 26$. Secara biologis, serat adalah satu-satunya bahan utama fermentasi; tanpa serat, sebagian warga bahkan mulai memakan lendir pagar usus, seperti yang terlihat pada percobaan tikus di Bab 32.3.
2. Baris 2 (tinggi serat, hari 7): keragaman 40, butirat 40, kerentanan 84. Baris 7 (rendah serat, hari 7): keragaman 25, butirat 10, kerentanan 95. Keduanya tinggal 40% dari keadaan awalnya (40 dari 100 dan 25 dari 62), karena dalam model antibiotik memukul kampung dengan proporsi yang sama; yang berbeda adalah titik awalnya. Kerentanan tertinggi pada hari ke-7 karena itulah saat warga baik paling sedikit: tempat menempel dan makanan menjadi kosong, zat penghambat berkurang, dan pengubahan asam empedu melemah, sehingga spora *C. difficile* yang tahan lama dapat berkecambah dan melepas racun. Keadaan sebaliknya, yaitu kampung ramai yang menghabiskan tempat dan makanan serta membuat zat penghambat sehingga kuman jahat sulit menetap, disebut resistensi kolonisasi (Bab 32.4). Pola makan rendah serat memberi angka kerentanan lebih tinggi (95 berbanding 84) karena kampungnya sudah lebih miskin sejak awal. Walaupun begitu, antibiotik yang sudah diresepkan dokter tetap harus dihabiskan sesuai petunjuk; yang salah adalah memakai antibiotik tanpa indikasi, misalnya untuk flu biasa.
3. Tinggi serat: hari ke-14 keragaman 63 (63% dari 100), hari ke-30 84 (84%), hari ke-90 92 (92%), dengan butirat 63, 84, dan 92. Rendah serat: hari ke-14 keragaman 32 (32 dibagi 62 $\approx$ 52%), hari ke-30 43 ($\approx$ 69%), hari ke-90 55 ($\approx$ 89%), dengan butirat hanya 13, 18, dan 23. Pola makan tinggi serat pulih lebih cepat, baik dalam angka mutlak maupun relatif, karena dalam model tetapan waktu pemulihannya 12 hari, dibanding 18 hari untuk serat sedang dan 28 hari untuk rendah serat; serat yang cukup membantu warga yang tersisa berkembang biak lagi. Kerentanannya pun turun lebih cepat (84 $\rightarrow$ 52 $\rightarrow$ 22 $\rightarrow$ 11 berbanding 95 $\rightarrow$ 79 $\rightarrow$ 55 $\rightarrow$ 26). Yang tidak dijelaskan model: identitas warga yang hilang. Model hanya memberi satu angka keragaman, padahal pada kenyataannya sebagian spesies dapat hilang jauh lebih lama atau tidak kembali, dan pemulihan setiap orang berbeda. Model juga tidak memasukkan gejala, jenis antibiotik, lama pemakaian, usia, dan penyakit lain, serta berhenti di hari ke-90. Angka 0–100 di sini relatif, bukan satuan pengukuran.

4. Yang berubah hanya batang kerentanan: pada tinggi serat hari ke-7 turun dari 84 menjadi 63, dan pada rendah serat dari 95 menjadi 72 (dikalikan 0,75 dalam model). Keragaman dan butirat sama sekali tidak berubah: tetap 40 dan 40 pada tinggi serat, serta 25 dan 10 pada rendah serat. Aturan itu dipilih agar sesuai dengan bukti yang ada: pada sebagian orang, probiotik galur tertentu dapat sedikit mengurangi risiko diare akibat antibiotik, tetapi probiotik tidak terbukti mempercepat pulihnya keragaman mikrobiota, dan satu penelitian (Suez dkk. 2018) justru menemukan pemulihan mukosa yang lebih lambat setelah probiotik multi-galur. Jadi yang boleh disimpulkan: probiotik bukan tombol pemulihan kampung, dan manfaatnya bergantung pada galur, dosis, serta keadaan orangnya. Yang tidak boleh disimpulkan: bahwa probiotik mencegah infeksi *C. difficile* pada siapa pun, menggantikan antibiotik, atau membuat antibiotik aman dipakai sembarangan. Angka 0,75 adalah pilihan model untuk menunjukkan arah, bukan besar manfaat yang terukur pada manusia. Pada bayi prematur dan orang dengan sistem imun sangat lemah, probiotik hanya boleh diberikan atas petunjuk dokter.
5. L1 tempoyak yang masih asam dan belum dimasak: pangan fermentasi (durian difermentasi bakteri asam laktat); mikrobanya mungkin masih hidup, tetapi tanpa bukti manfaat pada galur tertentu ia belum pantas disebut probiotik. L2 tempe goreng: pangan fermentasi; jamur *Rhizopus* sudah mati karena panas, jadi bukan probiotik, namun tempe tetap kaya protein dan serat. L3 yoghurt “mengandung kultur bakteri hidup” tanpa nama galur dan jumlah bakteri: pangan fermentasi, dan keterangannya belum cukup untuk disebut probiotik, jadi diberi tanda tanya. L4 minuman susu fermentasi dengan nama galur lengkap, jumlah bakteri hidup sampai akhir masa simpan, dan rujukan uji klinis pada galur itu: paling pantas disebut probiotik, sebab probiotik adalah mikroba hidup dalam jumlah cukup yang manfaatnya terbukti, dan manfaatnya terikat pada galur. L5 sirop berisi inulin dan fruktooligosakarida: prebiotik, yaitu zat yang dimanfaatkan secara khusus oleh mikroba penghuni tubuh dan memberi manfaat kesehatan. L6 suplemen “detoks usus”: bukan salah satu pun berdasarkan label, karena tidak jelas apakah berisi mikroba hidup, zat prebiotik, atau sel mati, dan klaimnya berlebihan. L7 keripik kentang rasa keju: bukan salah satu pun; tidak difermentasi dan seratnya sedikit. L8 serbuk bakteri asam laktat yang sudah dipanaskan sehingga selnya mati: postbiotik, yaitu sediaan mikroba mati atau bagiannya yang memberi manfaat kesehatan. Kritik untuk L6: klaim “menyembuhkan semua penyakit pencernaan” tidak mungkin dibuktikan, karena penyakit pencernaan sangat beragam penyebabnya dan tidak ada satu produk yang diuji untuk semuanya; kata “semua”, “total”, dan “racun bertahun-tahun” adalah tanda bahaya iklan. “Detoks usus” tidak sejalan dengan Bab 32.7: usus memperbaiki dindingnya sendiri setiap 3–5 hari, racun diolah hati dan dibuang ginjal, sedangkan “cuci usus” tanpa alasan medis tidak terbukti bermanfaat dan bisa berbahaya (kehilangan cairan dan garam, gangguan irama jantung, luka usus, serta mengusir warga baik). Label yang jujur mencantumkan nama galur atau zat, jumlahnya, cara simpan, peringatan, dan tidak menjanjikan kesembuhan. Contoh kalimat untuk kakak Bima: “Kak, aku baru belajar soal ini. Produk yang serius biasanya menulis nama galur dan jumlah bakterinya, bukan janji menyembuhkan semua penyakit. Kalau perutmu sering bermasalah, lebih aman tanya dokter dulu, ya.”

6. Jawaban bergantung pada data masing-masing; yang dinilai adalah kelengkapan catatan tiga hari, ketepatan menghitung jumlah jenis tumbuhan yang berbeda per hari dan reratanya, serta kejujuran membandingkannya dengan rerata kelas. Anjuran utamanya “serat yang beragam” karena setiap jenis serat dipecah oleh kelompok warga yang berbeda: selulosa, pektin, inulin, dan pati resisten masing-masing memberi makan warga yang tidak sama, dan sisa olahan satu spesies menjadi makanan spesies lain. Memberi banyak jenis serat berarti memberi makan banyak jenis warga sekaligus, sehingga kampung lebih beragam dan butirat lebih banyak; satu suplemen hanya menyediakan satu atau dua jenis zat, harganya lebih mahal, dan tidak membawa vitamin, mineral, serta zat gizi lain yang ada pada sayur, buah, kacang, umbi, dan biji utuh. Riskesdas 2018 mencatat 95,5% penduduk usia 5 tahun ke atas kurang makan sayur dan buah, jadi sasaran yang realistis lebih baik daripada sasaran yang mustahil. Contoh rencana satu minggu: menambah satu jenis sayur atau buah baru setiap hari, membawa buah potong ke sekolah, memilih tempe atau kacang sebagai lauk tiga kali seminggu, dan memakai nasi yang sudah didinginkan satu kali agar mendapat pati resisten; keberhasilannya ditandai dengan ceklis harian. Bila ada anggota keluarga yang diare, yang utama adalah mengganti cairan dan garam dengan oralit, memberi tablet zink selama 10 hari pada anak, tetap memberi ASI dan makan, serta tidak membeli antibiotik sendiri; segera ke fasilitas kesehatan bila ada tanda bahaya seperti lemas, tidak mau minum, muntah terus, atau tinja berdarah.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pencatatan data lab maya	Kedua belas baris tabel terisi lengkap dan tepat (keragaman, butirat, kerentanan, serta kutipan kotak pesan), dugaan awal kelompok dicatat sebelum menggeser hari, dan grafik dua garis dibuat dengan sumbu serta satuan relatif yang diberi keterangan.	Tabel lengkap, tetapi satu atau dua sel keliru, atau grafik tidak diberi keterangan sumbu.	Tiga sampai lima sel keliru atau kosong, atau grafik tidak dibuat.	Tabel hampir kosong dan grafik tidak ada.
Penafsiran data dan kesadaran akan batas model	Perbandingan antarbaris dihitung dengan benar (termasuk persentase terhadap keadaan awal), hubungan serat → fermentasi → butirat dan arti resistensi kolonisasi dijelaskan dengan data, dan setidaknya dua batas model disebutkan.	Penafsiran tepat dan memakai angka, tetapi batas model belum disebutkan atau satu perhitungan keliru.	Penafsiran hanya bersifat umum tanpa angka, atau angka model diperlakukan sebagai hasil pengukuran pada manusia.	Penafsiran tidak sesuai dengan data yang dicatat.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Klasifikasi label dan ketepatan istilah	Kedelapan kartu digolongkan tepat dengan alasan yang benar, perbedaan probiotik, prebiotik, pangan fermentasi, dan postbiotik dipakai dengan cermat, dan kartu yang keterangannya kurang diberi tanda tanya beserta alasannya.	Enam atau tujuh kartu tepat, atau semua tepat tetapi satu alasan keliru.	Empat atau lima kartu tepat, atau istilah probiotik dipakai untuk semua pangan fermentasi.	Kurang dari empat kartu tepat.
Sikap kritis, keamanan, dan rencana tindak lanjut	Klaim L6 dikritisi dengan alasan ilmiah dan bahasa yang sopan, catatan serat tiga hari lengkap dengan rerata diri dan kelas, rencana perbaikannya masuk akal dan tanpa suplemen, serta saran tentang diare dan antibiotik tepat dan merujuk ke tenaga kesehatan.	Kritik dan rencana tepat, tetapi salah satu bagian (catatan serat, rerata kelas, atau saran diare) kurang lengkap.	Kritik bernada menuduh atau hanya mengulang iklan, rencana tidak masuk akal, atau catatan serat tidak selesai.	Menganjurkan tindakan yang tidak aman, misalnya meminum antibiotik atau suplemen sendiri, mencoba cuci usus, atau membuat fermentasi dengan bahan mentah berisiko.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Mengapa Puding Gelatin Tidak Membeku? Praktikum Bromelain dan Papain serta Lab Maya Juru Masak Kilat

Bab 33: Juru Masak Kilat • Praktikum nyata dengan bahan dapur (uji puding gelatin) dan LKPD digital (lab maya enzim di Bab 33.5) • SMP-SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menguji pengaruh nanas segar, nanas rebus, nanas kaleng, dan pepaya segar terhadap pembekuan puding gelatin melalui percobaan yang memiliki kontrol dan variabel terkendali.
2. Peserta didik dapat menjelaskan hasil percobaan dengan konsep enzim pemotong protein (bromelain dan papain), kekhasan enzim terhadap substratnya, dan denaturasi oleh panas.
3. Peserta didik dapat mencatat dan menafsirkan laju reaksi dari lab maya Bab 33.5 pada berbagai suhu, pH, konsentrasi substrat, dan jenis inhibitor.
4. Peserta didik dapat menghubungkan hasil praktikum dengan kehidupan sehari-hari, seperti melunakkan daging, pengalengan buah, dan kerja enzim pencernaan.

B Cerita pembuka

Untuk ulang tahun Nenek, Bima membuat puding gelatin berisi potongan nanas segar. Setelah semalam di kulkas, pudingnya tetap cair seperti sup. Sepupunya, Rina, tertawa: “Aku membuat puding agar-agar dengan nanas segar, dan pudingnya membeku sempurna. Pasti nanasmu terlalu asam!” Enzo si Enzim menggeleng: “Bukan asamnya. Itu ulah temanku, bromelain.” Siapa yang benar? Apakah semua nanas sama saja, termasuk nanas kaleng dan nanas yang sudah direbus? Bagaimana dengan pepaya, yang daunnya sering dipakai melunakkan daging? Hari ini kamu menjadi detektif dapur: menguji sendiri penyebab puding yang tak mau membeku, lalu menguji para juru masak kilat di lab maya.

C Alat dan bahan

- Bubuk gelatin tawar (tanpa rasa dan warna) berlabel halal ± 10 g, cukup untuk 500 mL larutan 2%; periksa takaran pada kemasan karena kekuatan gelatin berbeda menurut merek
- Nanas segar $\pm \frac{1}{4}$ buah, nanas kaleng 1 kaleng kecil (tiriskan sirupnya), dan pepaya segar ± 100 g, sebaiknya yang mengkal atau setengah matang
- Agar-agar bubuk tawar 1 bungkus kecil untuk gelas pilihan G9 (kontrol jenis substrat)
- Air matang, panci kecil, kompor listrik atau kompor portabel, dan termos berisi air panas (semuanya dipegang guru)
- Pisau dan talenan (dipakai guru atau dengan pendampingan langsung guru), parutan, kain bersih untuk memeras sari nanas, dan sarung tangan plastik

- 9 gelas plastik bening berukuran sama (± 150 mL), gelas ukur 100 mL, sendok makan dan sendok teh takar, beberapa sendok pengaduk, spidol, label, dan plastik penutup
- Kulkas sekolah (boleh ditambah nampan berisi es batu), jam atau pengatur waktu, dan piring kecil untuk uji balik
- Gawai untuk membuka lab maya Bab 33.5, lembar LKPD ini, dan alat tulis

⚠ Keselamatan: Pisau, kompor, dan air mendidih hanya dipegang guru atau dipakai dengan pendampingan langsung guru. Larutan gelatin panas dituang guru, dan kamu baru mengaduk setelah wadah diletakkan stabil di atas meja. Pakai gelas plastik, bukan gelas kaca, dan segera lap tumpahan agar lantai tidak licin. Cuci tangan dengan sabun sebelum dan sesudah praktikum, dan pakai alat yang bersih. Tanyakan dulu apakah ada anggota kelompok yang alergi nanas, pepaya, atau lateks (orang yang alergi lateks bisa juga bereaksi terhadap pepaya); mereka cukup mencatat dan mengamati tanpa menyentuh buah. Sari nanas dan getah pepaya segar dapat membuat kulit atau bibir terasa perih karena enzimnya ikut memotong protein kulit, jadi pakai sarung tangan plastik saat memeras sari dan jangan mengusap mata. Semua bahan praktikum, walaupun berasal dari dapur, tidak boleh dimakan atau dicicipi karena sudah tersentuh banyak tangan dan alat serta dibiarkan terbuka. Beri tulisan “BAHAN PRAKTIKUM, JANGAN DIMAKAN” pada nampan di kulkas, tutup setiap gelas, dan pisahkan dari makanan lain. Setelah selesai, buang puding ke kantong sampah, bukan ke wastafel, karena gelatin dapat membeku dan menyumbat saluran.

D Langkah kegiatan

1. Persiapan (guru, sebelum pelajaran): potong nanas segar, nanas kaleng yang sudah ditiriskan, dan pepaya menjadi dadu kecil berukuran sama, kira-kira 0,5 cm. Rebus ± 4 sendok makan potongan nanas segar dalam sedikit air selama 5 menit sejak air mendidih, tiriskan, lalu dinginkan sampai suhu ruang. Untuk gelas pilihan G6–G8, parut $\pm \frac{1}{4}$ buah nanas segar lalu peras dengan kain bersih untuk mendapatkan sarinya.
2. Bagian A (praktikum puding, ± 30 menit): baca stimulus, lalu tulis dugaan kelompokmu untuk setiap gelas pada kolom “Dugaan” beserta alasannya. Dugaan ditulis sebelum percobaan dan tidak diubah setelah hasil terlihat.
3. Buat larutan gelatin 2% bersama guru: taburkan ± 10 g bubuk gelatin ke atas 100 mL air matang dingin dan diamkan 5 menit sampai mengembang. Guru lalu menuangkan 400 mL air panas dari termos sambil kamu mengaduk perlahan sampai tidak ada butiran tersisa. Biarkan larutan turun suhunya sampai hangat-hangat kuku, kira-kira 35–40 °C (dinding wadah terasa hangat, tidak panas).
4. Beri label gelas G1–G8, lalu tuangkan tepat 50 mL larutan gelatin ke setiap gelas dengan gelas ukur yang sama. Masukkan bahan sesuai daftar tabel: G1 diberi 2 sendok makan air matang sebagai kontrol; G2–G5 masing-masing diberi 2 sendok makan potongan buah; G6–G8 diberi sari nanas segar yang dicukupkan dengan air matang sampai tepat 2 sendok makan (1 sendok makan = 3 sendok teh). Dengan begitu setiap gelas mendapat bahan tambahan yang sama banyak.
5. Aduk setiap gelas dengan sendok bersih yang berbeda, atau cuci sendok di antara dua gelas, supaya enzim dari satu gelas tidak terbawa ke gelas lain. Tulis di buku: mengapa larutan harus sudah hangat-hangat kuku, bukan panas, saat buah dimasukkan?

6. Gelas G9 (pilihan, kontrol jenis substrat): guru memasak agar-agar bubuk tawar sesuai petunjuk kemasan. Saat agar-agar masih cair tetapi sudah turun menjadi hangat (sekitar 45–50 °C), tuangkan 50 mL ke gelas G9, segera tambahkan 2 sendok makan potongan nanas segar, lalu aduk. Ingat: agar-agar adalah polisakarida dari rumput laut, bukan protein seperti gelatin.
7. Tutup semua gelas dengan plastik, letakkan bersama-sama di rak kulkas yang sama (lebih cepat membeku bila nampannya diberi es batu), dan catat jam masuknya. Semua gelas harus mendapat suhu dan lama penyimpanan yang sama.
8. Bagian B (lab maya, ±40 menit, dikerjakan sambil menunggu puding): buka lab maya di Bab 33.5 dan salin tiga tabel kecil ke buku. Tabel B1 (suhu): pilih amilase ludah, pH 7, konsentrasi substrat 6, tanpa inhibitor. Geser suhu dan catat angka batang “laju” pada 0, 10, 20, 30, 37, 45, 50, dan 55 °C.
9. Lanjutkan Tabel B1: geser suhu ke 65 °C dan catat lajunya, lalu kembalikan ke 37 °C dan catat lagi. Tekan “Ganti dengan enzim baru” dan catat laju pada 37 °C. Setelah itu pilih polimerase Taq, catat laju pada 37, 75, dan 95 °C, lalu kembalikan ke 75 °C dan catat sekali lagi.
10. Tabel B2 (pH): pada suhu 37 °C dan konsentrasi substrat 6, catat laju amilase ludah, pepsin lambung, dan tripsin usus pada pH 2, 4, 7, dan 8. Setiap kali enzim diganti, lab maya mengembalikan suhu dan pH ke nilai terbaik enzim itu, jadi atur ulang pH-nya sebelum mencatat.
11. Tabel B3 (inhibitor): pilih amilase ludah (37 °C, pH 7). Catat laju pada konsentrasi substrat 2, 6, dan 20 untuk tiga keadaan: tanpa inhibitor, dengan inhibitor kompetitif saja, dan dengan inhibitor nonkompetitif saja. Hitung juga laju dengan inhibitor sebagai persen dari laju tanpa inhibitor pada substrat yang sama.
12. Pengamatan puding (±1 jam setelah masuk kulkas): keluarkan semua gelas bersamaan dan periksa G1 lebih dulu. Hasil baru boleh dibaca bila kontrol G1 sudah membeku; bila belum, kembalikan semua gelas dan tunggu 15–30 menit lagi. Beri skor setiap gelas: 3 = padat dan tidak bergeser walau gelas dibalik di atas piring; 2 = membeku tetapi bergoyang atau bergeser saat dimiringkan; 1 = lembek seperti bubur atau ada lapisan cair; 0 = tetap cair. Catat juga pengamatan lain, misalnya cairan di sekitar potongan buah.
13. Bila pelajaran dibagi menjadi dua pertemuan atau gelas boleh disimpan di kulkas sampai esok hari, beri skor sekali lagi setelah 2 jam atau keesokan harinya. Kumpulkan skor semua kelompok di papan tulis dan hitung berapa kelompok yang mendapat hasil sama untuk setiap gelas.
14. Bereskan meja: buang semua puding ke kantong sampah, bukan ke wastafel, cuci gelas dan alat, lap meja, dan cuci tangan dengan sabun. Lalu jawab pertanyaan dan tulis kesimpulan.

Tabel pengamatan puding (Bagian A). G1–G8: 50 mL larutan

E

gelatin 2% + 2 sdm bahan tambahan (sdm = sendok makan,

sdt = sendok teh). Skor: 3 padat · 2 bergoyang · 1 lembek · 0 cair

Gelas · bahan yang ditambahkan	Dugaan (membeku/tidak) dan alasannya	Skor ±1 jam (0–3)	Skor 2 jam atau esok hari (0– 3)	Pengamatan lain (lapisan cair, potongan buah, bau)	Dugaan terbukti? (✓/×)
G1 · kontrol: 2 sdm air matang					
G2 · 2 sdm nanas segar					
G3 · 2 sdm nanas segar yang direbus 5 menit lalu didinginkan					
G4 · 2 sdm nanas kaleng					
G5 · 2 sdm pepaya segar					
G6 · 1 sdt sari nanas segar + 5 sdt air matang (pilihan)					
G7 · 1 sdm sari nanas segar + 1 sdm air matang (pilihan)					
G8 · 2 sdm sari nanas segar (pilihan)					
G9 · agar-agar + 2 sdm nanas segar (pilihan)					

F **Pertanyaan diskusi**

1. Bandingkan skor G1 dan G2. Apa fungsi gelas G1, dan mengapa hasil baru boleh dibaca setelah G1 membeku? Sebutkan variabel bebas, variabel terikat, dan sedikitnya tiga variabel kendali dalam Bagian A.

2. G2, G3, dan G4 sama-sama berisi nanas, tetapi hasilnya berbeda. Jelaskan perbedaan itu dengan konsep enzim pemotong protein, sisi aktif, dan denaturasi. Mengapa larutan gelatin harus sudah hangat-hangat kuku, bukan panas, ketika buah segar dimasukkan?

3. Bagaimana hasil G5? Enzim apa yang berperan, dan apa hubungannya dengan kebiasaan membalut daging dengan daun pepaya? Bila G6–G8 dibuat, bagaimana pengaruh jumlah sari nanas, dan apa beda hasil potongan nanas (G2) dengan sari nanas dalam jumlah yang sama (G8)?

4. Mengapa percobaan ini harus memakai gelatin, bukan agar-agar? Gunakan hasil G9 (bila dibuat) dan cerita Rina di stimulus untuk menjelaskan sifat khas (spesifik) enzim. Apa yang akan salah disimpulkan seandainya semua gelas memakai agar-agar?

5. Gunakan Tabel B1. Pada suhu berapa laju amilase ludah tertinggi, dan bagaimana pola lajunya di bawah serta di atas suhu itu? Bandingkan 0 °C dengan 55 °C: keduanya lambat, tetapi apa bedanya? Apa yang terjadi setelah suhu dinaikkan ke 65 °C lalu dikembalikan ke 37 °C, apa hubungannya dengan G3, dan apa yang berbeda pada polimerase Taq?

6. Gunakan Tabel B2 dan B3. Tentukan pH terbaik setiap enzim dan hubungkan dengan tempat kerjanya di saluran cerna. Lalu bandingkan pengaruh kedua inhibitor ketika substrat ditambah dari 2 ke 20: inhibitor mana yang hambatannya dapat “dikalahkan” oleh substrat, dan mengapa?

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang enzim sebagai juru masak kilat: mengapa nanas dan pepaya segar membuat puding gelatin tidak membeku, sedangkan nanas rebus, nanas kaleng, dan puding agar-agar tidak terganggu; bagaimana suhu, pH, banyaknya substrat, dan inhibitor memengaruhi laju reaksi enzim; serta mengapa kerusakan oleh panas bersifat permanen, sedangkan suhu dingin hanya memperlambat.

H Refleksi diri

1. Hasil puding yang paling berbeda dari dugaan saya adalah ... karena ...
2. Bagian yang masih membingungkan bagi saya tentang cara kerja enzim adalah ...
3. Satu kebiasaan di dapur rumah yang sekarang bisa saya jelaskan dengan konsep enzim adalah ... dan penjelasannya adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Hasil yang biasa didapat: G1 membeku padat (skor 3), sedangkan G2 tetap cair atau sangat lembek (skor 0–1) dengan cairan di sekitar potongan nanas. G1 adalah kontrol: gelas ini membuktikan bahwa kadar gelatin, suhu kulkas, dan lama penyimpanan sudah cukup untuk membuat puding membeku. Bila G1 belum membeku, gelas lain yang masih cair tidak boleh disimpulkan sebagai akibat buah, karena bisa saja waktunya belum cukup; karena itu G1 menjadi penanda kapan hasil boleh dibaca. Variabel bebas: jenis atau perlakuan bahan yang ditambahkan (nanas segar, nanas rebus, nanas kaleng, pepaya segar, dan jumlah sari nanas). Variabel terikat: kekerasan puding, diukur dengan skor 0–3. Variabel kendali: volume dan kadar larutan gelatin (50 mL, 2%), jumlah bahan tambahan (2 sendok makan), ukuran potongan buah, suhu larutan saat buah dimasukkan, jenis dan ukuran gelas, suhu serta letak di kulkas, lama penyimpanan, dan sendok yang terpisah untuk setiap gelas.
2. Biasanya G2 tidak membeku, sedangkan G3 dan G4 membeku hampir sama padat dengan G1 (skor 2–3). Gelatin adalah protein; saat dingin, rantai-rantai proteinnya saling menjalin menjadi jaring yang menahan air sehingga puding membeku. Nanas segar mengandung bromelain, enzim pemotong protein. Sisi aktifnya menangkap rantai gelatin dan memotongnya menjadi potongan pendek, berulang-ulang karena enzim tidak ikut habis, sehingga jaring tidak bisa terbentuk. Pada G3, perebusan 5 menit merusak lipatan bromelain sehingga bentuk sisi aktifnya hilang (denaturasi). Kerusakan ini permanen, jadi bromelain tetap tidak bekerja walaupun nanasnya sudah didinginkan. Nanas kaleng (G4) juga sudah dipanaskan dalam proses pengalengan, sehingga bromelainnya rusak. Nanas rebus masih hampir sama asamnya dengan nanas segar, tetapi hasilnya berbeda, jadi perbedaan itu lebih tepat dijelaskan oleh enzim daripada oleh rasa asam. Larutan gelatin harus sudah hangat-hangat kuku karena larutan yang masih panas dapat merusak bromelain pada nanas segar di G2. Akibatnya G2 bisa ikut membeku dan kita keliru menyimpulkan bahwa nanas segar tidak berpengaruh; suhu larutan menjadi variabel pengganggu.
3. G5 biasanya lebih lembek daripada G1 atau tidak membeku (skor 0–2), karena pepaya mengandung papain, enzim pemotong protein yang banyak terdapat pada getahnya. Seperti diuraikan di Bab 33.8, papain dan bromelain memotong protein, sehingga daging yang dibalut daun pepaya atau dicampur nanas menjadi lebih empuk karena sebagian protein ototnya terpotong. Hasil G5 antarkelompok dapat berbeda karena kadar papain bergantung pada kematangan buah (pepaya mengkal lebih banyak getahnya daripada pepaya yang sangat matang), ukuran potongan, dan lama penyimpanan; karena itu hasil beberapa kelompok perlu dibandingkan. Pada G6–G8, makin banyak sari nanas, makin banyak enzim yang bekerja, sehingga puding makin lembek: G6 (1 sendok teh) mungkin masih membeku tetapi lebih lunak, G7 lebih lembek, dan G8 biasanya tetap cair. G6 juga dapat melunak bila disimpan sampai esok hari, karena enzim terus bekerja walaupun lambat pada suhu kulkas. Sari nanas (G8) biasanya membuat seluruh puding cair secara merata karena enzimnya tersebar ke seluruh larutan, sedangkan pada potongan nanas (G2) pencairan paling jelas di sekitar setiap potongan, tempat enzim keluar dari buah.

4. Gelatin adalah protein yang dibuat dari kolagen kulit atau tulang hewan, sedangkan agar-agar adalah polisakarida (karbohidrat) dari rumput laut merah. Enzim bersifat khas (spesifik): sisi aktif bromelain dan papain hanya cocok dengan rantai protein, seperti kunci yang hanya cocok dengan gembok tertentu, sehingga keduanya tidak dapat memotong agar-agar. Karena itu G9 tetap membeku (skor 3) walaupun berisi nanas segar yang sama asamnya dengan G2. Inilah sebabnya puding agar-agar Rina membeku: bukan karena nanasnya berbeda, melainkan karena substratnya bukan protein. Bersama G3 (nanas rebus yang tetap asam tetapi pudingnya membeku), hasil G9 melemahkan dugaan Rina bahwa penyebabnya keasaman; penjelasan yang tersisa adalah enzim pemotong protein, sesuai pendapat Enzo. Seandainya semua gelas memakai agar-agar, semuanya akan membeku dan kita keliru menyimpulkan bahwa nanas segar dan pepaya tidak mengandung enzim aktif. Percobaan seperti itu tidak mampu mendeteksi enzim karena substrat yang tepat tidak ada. Catatan: G9 dicampur pada suhu sekitar 45–50 °C, lebih hangat daripada G2, jadi uji yang lebih kuat adalah meneteskan sari nanas segar ke atas gelatin dan agar-agar yang sudah membeku, lalu membandingkan permukaannya setelah 20–30 menit.
5. Data lab maya (model sederhana, angka relatif): 0 °C → 5, 10 °C → 10, 20 °C → 20, 30 °C → 40, 37 °C → 66, 45 °C → 30, 50 °C → 8, 55 °C → 1. Laju tertinggi pada 37 °C, suhu optimum amilase ludah. Di bawahnya laju kira-kira berlipat dua setiap kenaikan 10 °C (5 → 10 → 20 → 40) karena molekul bergerak lebih cepat dan lebih sering bertumbukan. Di atasnya laju turun tajam karena lipatan enzim mulai goyah. Pada 0 °C dan 55 °C laju sama-sama hampir nol, tetapi sebabnya berbeda: pada 0 °C enzimnya utuh dan hanya lambat, sehingga lajunya kembali 66 bila suhu dinaikkan ke 37 °C; pada 55 °C enzim belum rusak permanen dalam model, tetapi lipatannya sudah sangat goyah sehingga sisi aktifnya hampir tidak berfungsi. Setelah suhu dinaikkan ke 65 °C, lab maya menulis “terdenaturasi” dan laju menjadi 0; ketika dikembalikan ke 37 °C laju tetap 0, karena kerusakan lipatan dan sisi aktif bersifat permanen (dalam model, 60 °C ke atas). Laju baru kembali 66 setelah enzim diganti dengan yang baru. Hal yang sama terjadi pada bromelain di G3: nanas yang sudah direbus tidak pulih walaupun didinginkan. Polimerase Taq berbeda: 37 °C → 5, 75 °C → 67, 95 °C → 9, dan setelah dikembalikan ke 75 °C lajunya pulih menjadi 67. Enzim dari bakteri sumber air panas ini tahan panas dan bekerja paling baik sekitar 75 °C, sehingga cocok untuk PCR (Bab 24).

6. Tabel B2 (37 °C, substrat 6): amilase ludah pH 2 → 0, pH 4 → 3, pH 7 → 66, pH 8 → 38; pepsin pH 2 → 67, pH 4 → 14, pH 7 → 0, pH 8 → 0; tripsin pH 2 → 0, pH 4 → 0, pH 7 → 45, pH 8 → 67. Jadi pH terbaik amilase ludah sekitar 7 (mulut), pepsin sekitar 2 (lambung yang sangat asam), dan tripsin sekitar 8 (usus halus setelah bikarbonat dari getah pankreas menetralkan asam). Itulah sebabnya amilase ludah berhenti bekerja di lambung, sedangkan pepsin justru paling giat di sana. pH yang jauh dari optimum mengubah muatan di sisi aktif sehingga substrat sulit menempel. Tabel B3 (substrat 2, 6, 20): tanpa inhibitor 39, 66, 86; dengan inhibitor kompetitif 18, 39, 68; dengan inhibitor nonkompetitif 16, 26, 34. Dengan inhibitor kompetitif, laju naik dari sekitar 46% menjadi 59% lalu 79% dari laju normal ketika substrat ditambah, karena substrat yang berlimpah lebih sering memenangkan perebutan sisi aktif; hambatannya dapat dikalahkan. Dengan inhibitor nonkompetitif, laju tetap sekitar 40% dari normal pada ketiga konsentrasi, karena inhibitor menempel di tempat lain dan mengubah bentuk enzim, sehingga laju tertinggi turun dan menambah substrat tidak menolong. Pengetahuan ini dipakai untuk merancang obat “kunci palsu” yang berebut sisi aktif enzim kuman atau enzim tubuh tertentu (Bab 33.6).

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Perancangan dan pelaksanaan percobaan	Dugaan ditulis sebelum percobaan; gelas wajib G1–G5 dibuat dengan volume, jumlah bahan, ukuran potongan, dan suhu larutan yang sama; sendok dipisahkan; kontrol G1 dipakai sebagai penanda waktu membaca hasil; dan seluruh aturan keselamatan dipatuhi.	Gelas wajib dibuat lengkap dan aman, tetapi satu variabel kendali kurang dijaga, misalnya jumlah bahan atau suhu larutan tidak sama.	Satu gelas wajib tidak dibuat, dua variabel kendali tidak dijaga, atau dugaan ditulis setelah hasil terlihat.	Percobaan tidak selesai, dibuat tanpa kontrol, atau aturan keselamatan dilanggar, misalnya mencicipi bahan atau memegang air mendidih tanpa guru.
Pengamatan dan pencatatan data	Tabel puding terisi lengkap dengan skor sesuai kriteria dan pengamatan tambahan, Tabel B1–B3 lab maya lengkap dan tepat, persen terhadap laju tanpa inhibitor dihitung, dan data antarkelompok dikumpulkan.	Tabel lengkap, tetapi satu atau dua isian keliru atau pengamatan tambahan tidak dicatat.	Sebagian tabel kosong, atau skor diberikan tanpa mengikuti kriteria 0–3.	Data hampir tidak dicatat atau tidak sesuai dengan pengamatan.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Penafsiran data dan pemahaman konsep enzim	Hasil dijelaskan dengan konsep enzim pemotong protein, sisi aktif, kekhasan terhadap substrat, dan denaturasi permanen; data lab maya ditafsirkan dengan angka, termasuk beda pengaruh dingin dan panas, pH optimum, dan jenis inhibitor; perbedaan hasil antarkelompok dibahas.	Penjelasan tepat dan memakai data, tetapi satu konsep, misalnya kekhasan substrat atau jenis inhibitor, belum dijelaskan.	Penjelasan umum tanpa angka, atau ada salah konsep, misalnya menganggap enzim “mati” lalu “hidup” lagi.	Penjelasan tidak sesuai dengan data maupun konsep.
Kesimpulan, komunikasi, dan sikap ilmiah	Kesimpulan menjawab pertanyaan “mengapa puding tidak membeku” dengan bukti dari Bagian A dan B, data yang berbeda dari dugaan dilaporkan dengan jujur, keterbatasan percobaan disebutkan, serta kerja sama dan kebersihan terjaga.	Kesimpulan tepat dan jujur, tetapi keterbatasan percobaan belum disebutkan.	Kesimpulan hanya mengulang hasil tanpa penjelasan, atau data diubah agar cocok dengan dugaan.	Kesimpulan tidak ada atau bertentangan dengan data.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Penjelajah Negara Sel: Praktikum Mikroskop Sel Bawang Merah dan Daun Hydrilla

Bab 34: Mata untuk yang Tak Kasatmata • Praktikum laboratorium dengan mikroskop cahaya sekolah, dengan lab maya mikroskop di Bab 34.7 sebagai cadangan bila mikroskop tidak tersedia • SMP-SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat menyebutkan bagian-bagian mikroskop cahaya beserta fungsinya, lalu memakainya dengan urutan yang aman dari objektif 4× ke 10× dan 40×.
2. Peserta didik dapat membuat preparat basah epidermis bawang merah dan daun Hydrilla tanpa gelembung udara, serta mewarnai preparat bawang dengan lugol memakai teknik irigasi.
3. Peserta didik dapat menggambar hasil pengamatan lengkap dengan judul, perbesaran total, dan keterangan, lalu membandingkan sel bawang dengan sel daun Hydrilla.
4. Peserta didik dapat menghitung perbesaran total dan diameter bidang pandang, lalu memperkirakan ukuran sel dari jumlah sel yang berjajar di garis tengah bidang pandang.

B Cerita pembuka

Bima mendapat tugas menggambar sel bawang merah. Ia sudah mencoba kaca pembesar dan zoom kamera ponsel, tetapi yang terlihat hanya lembaran bening. Dr. Sela membawa mikroskop sekolah dan berkata, “Mikroskop bukan sekadar alat pembesar. Kalau caranya salah, yang kamu lihat bisa jadi gelembung udara atau lipatan selaput, bahkan lensanya bisa retak karena menabrak kaca preparat.” Hari ini kamu menjadi penjelajah Negara Sel: membuat preparat sendiri, mengamati “kamar-kamar” sel bawang dan kloroplas yang beredar di daun Hydrilla, lalu memperkirakan ukuran kamar-kamar itu tanpa penggaris mikro.

C Alat dan bahan

- Mikroskop cahaya sekolah dengan okuler 10× dan objektif 4×, 10×, dan 40× (satu mikroskop untuk 2–3 siswa); catat angka pada okuler, misalnya 10×/18
- Kaca preparat dan kaca penutup yang bersih, pipet tetes, pinset, tisu, kertas lensa, dan gelas kecil berisi air bersih
- Satu umbi bawang merah yang dibelah guru, serta beberapa batang Hydrilla segar dari akuarium atau kolam yang direndam air
- Larutan lugol encer atau metilen biru dalam botol tetes, satu botol untuk satu meja
- Lembar LKPD, pensil runcing, penghapus, dan penggaris; gawai untuk membuka lab maya mikroskop di Bab 34.7 bila mikroskop tidak tersedia

⚠ Keselamatan: Pisau, silet, dan cutter hanya dipegang guru; siswa tidak membawa benda tajam sendiri. Kaca preparat dan kaca penutup mudah pecah: pegang pada tepinya, dan bila pecah jangan dipungut dengan jari, tetapi laporkan ke guru agar pecahannya dikumpulkan ke wadah khusus. Lampu mikroskop, terutama lampu halogen, bisa panas: jangan disentuh dan matikan setelah dipakai. Bila mikroskop memakai cermin, jangan pernah mengarahkannya ke matahari karena dapat merusak mata. Lugol dan metilen biru menodai kulit dan baju serta tidak boleh tertelan atau terkena mata: pakai setetes saja, tutup botol setelah dipakai, dan bila terkena mata segera bilas dengan air mengalir lalu lapor guru. Jangan memasukkan pipet, preparat, atau jari ke mulut, dan jangan makan atau minum di laboratorium. Kegiatan ini tidak memakai sel pipi atau darah; sel-sel itu cukup diamati lewat lab maya. Bawa mikroskop dengan dua tangan, kembalikan sisa *Hydrilla* ke akuarium atau kubur di tanah (jangan dibuang ke saluran air), dan cuci tangan dengan sabun setelah praktikum.

D Langkah kegiatan

1. Persiapan (± 10 menit): bawalah mikroskop dengan dua tangan ke meja dan letakkan sekitar 10 cm dari tepi meja. Tunjuk dan sebutkan sepuluh bagiannya kepada teman sekelompok. Catat angka pada okuler (misalnya $10\times/18$) dan angka perbesaran pada setiap objektif.
2. Preparat bawang (± 15 menit): teteskan satu tetes air di tengah kaca preparat. Ambil selaput tipis bening dari sisi dalam satu sisik umbi dengan pinset, ambil potongan kira-kira $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ (guru membantu memotong), lalu bentangkan di atas tetesan tanpa terlipat.
3. Sentuhkan tepi kaca penutup ke tetesan dengan sudut sekitar 45° , turunkan perlahan, dan serap air yang meluap dengan tisu. Bila terjebak gelembung udara besar, angkat kaca penutup dan ulangi pemasangannya.
4. Amati dulu tanpa pewarna. Pasang objektif $4\times$: sambil melihat dari samping, dekatkan objektif ke kaca penutup tanpa menyentuhnya, lalu sambil mengintip okuler jauhkan perlahan dengan makrometer sampai bayangan tampak. Atur diafragma, lalu isi Tabel baris 1.
5. Warnai dengan teknik irigasi: teteskan satu tetes lugol di satu sisi kaca penutup dan tempelkan tisu di sisi seberangnya sampai pewarna menyebar. Amati lagi pada $4\times$, geser daerah yang rapi ke tengah, lalu naikan ke $10\times$ dan $40\times$; pada $10\times$ dan $40\times$ tajamkan hanya dengan mikrometer. Isi Tabel baris 2–4.
6. Pada objektif $40\times$, hitung berapa sel bawang yang berjajar memanjang di sepanjang garis tengah bidang pandang, dan berapa sel yang berjajar ke arah lebar. Lakukan di tiga tempat berbeda, lalu catat reratanya di kolom terakhir.
7. Gambarlah 3–4 sel bawang yang terlihat pada $400\times$ dengan pensil: garis tegas tanpa arsiran, beri judul, perbesaran total, dan keterangan dinding sel, sitoplasma, inti, serta vakuola bila tampak.
8. Preparat *Hydrilla* (± 15 menit): petik satu daun muda dari dekat pucuk, letakkan dalam setetes air pada kaca preparat baru, lalu tutup tanpa pewarna. Amati dari $4\times$, kemudian $10\times$ dan $40\times$, dan isi Tabel baris 5–7. Pada $40\times$, amati satu sel selama 30 detik: catat arah gerak kloroplas dan perkirakan lama satu kloroplas menempuh satu sisi panjang sel.
9. Gambarlah 2–3 sel *Hydrilla* pada $400\times$, lalu hitung sel yang berjajar memanjang di garis tengah bidang pandang seperti pada langkah 6.

10. Cadangan lab maya: bila mikroskop tidak tersedia atau rusak, kerjakan langkah 4–9 dengan lab maya mikroskop di Bab 34.7 (pilih “Epidermis bawang merah tanpa pewarna”, “+ lugol”, dan “Daun Hydrilla”). Semua kelompok juga mengamati “Bakteri yoghurt” di lab maya pada 40×, lalu 100× tanpa dan dengan minyak imersi, dan mengisi Tabel baris 8–9.
11. Penutup (± 5 menit): bersihkan kaca preparat, keringkan meja, seka lensa yang terkena cairan dengan kertas lensa, kembalikan objektif 4× ke jalur cahaya, turunkan meja, matikan lampu, lalu cuci tangan dengan sabun.

E Tabel pengamatan. Hitung sendiri perbesaran total dan diameter bidang pandang (pakai nomor bidang 18 bila tidak tertulis lain)

Preparat • objektif	Perbesaran total	Diameter bidang pandang	Yang terlihat (bagian sel, warna, gerak)	Jumlah sel di garis tengah dan perkiraan ukuran
1 • bawang tanpa pewarna • 4×				
2 • bawang + lugol • 4×				
3 • bawang + lugol • 10×				
4 • bawang + lugol • 40×				
5 • Hydrilla • 4×				
6 • Hydrilla • 10×				
7 • Hydrilla • 40×				
8 • lab maya: bakteri yoghurt • 40×				
9 • lab maya: bakteri yoghurt • 100× + minyak imersi				

F Pertanyaan diskusi

1. Hitung perbesaran total dan diameter bidang pandang untuk objektif 4×, 10×, dan 40× pada mikroskopmu. Apa yang terjadi pada luas daerah yang terlihat setiap kali perbesaran dinaikkan, dan mengapa pengamatan harus dimulai dari objektif 4×?

2. Gunakan data langkah 6 dan 9. Perkirakan panjang dan lebar satu sel bawang, serta panjang satu sel Hydrilla, dalam mikrometer. Tunjukkan perhitungannya dan sebutkan dua sumber ketidaktelitian cara ini.

3. Bandingkan preparat bawang sebelum dan sesudah diberi lugol (baris 1, 2, dan 4). Bagian mana yang menjadi lebih jelas, dan mengapa sebagian besar sel perlu diwarnai sebelum diamati dengan mikroskop medan terang?

4. Sebutkan tiga persamaan dan tiga perbedaan sel epidermis bawang dan sel daun Hydrilla berdasarkan gambarmu. Mengapa sel bawang yang kamu amati tidak berwarna hijau, padahal bawang juga tumbuhan?

5. Jelaskan gerakan kloroplas yang kamu lihat di sel Hydrilla. Apa nama gerakan itu, apa yang menggerakkannya, dan apa kemungkinan gunanya bagi sel? Mengapa gerakan ini menjadi petunjuk bahwa sel yang diamati masih hidup?

6. Berdasarkan baris 8 dan 9, mengapa bakteri yoghurt hanya tampak sebagai titik pada 400x, tetapi bentuknya jelas pada 1.000x dengan minyak imersi? Hubungkan jawabanmu dengan batas pisah, bukaan numerik, dan perbesaran kosong.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang cara memakai mikroskop cahaya dengan benar (urutan objektif, pemakaian makrometer dan mikrometer, pengaturan diafragma), cara membuat preparat basah tanpa gelembung udara, alasan pewarnaan, perbedaan perbesaran dan resolusi, perkiraan ukuran sel bawang dan Hydrilla yang kamu peroleh, serta bagaimana pengamatanmu hari ini mendukung teori sel.

H Refleksi diri

1. Kesalahan apa yang paling sering kamu atau kelompokmu lakukan saat memakai mikroskop hari ini, dan bagaimana kalian memperbaikinya?
2. Robert Hooke hanya melihat dinding sel mati pada gabus. Apa saja yang kamu lihat hari ini yang tidak dilihat Hooke, dan alat atau cara apa yang membuatnya mungkin?
3. Bila kamu menjadi ilmuwan, bagian sel apa yang ingin kamu amati berikutnya, dan mikroskop jenis apa yang kamu perlukan untuk itu?

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Dengan okuler 10×/18: objektif 4× menghasilkan 40× dengan diameter bidang $18 \div 4 = 4,5$ mm; objektif 10× menghasilkan 100× dengan 1,8 mm; objektif 40× menghasilkan 400× dengan 0,45 mm (450 μm). Setiap kali perbesaran objektif naik, diameter bidang pandang mengecil sebanding, sehingga luas daerah yang terlihat mengecil jauh lebih banyak (sebanding kuadratnya), bayangan makin redup, dan bagian yang tajam makin tipis. Pengamatan dimulai dari 4× karena bidang pandangnya paling luas sehingga preparat dan daerah yang bagus mudah ditemukan, dan jarak lensanya ke preparat paling jauh sehingga paling kecil kemungkinan menabrak kaca.
2. Contoh (angka dapat berbeda): pada 40× bidang pandang 450 μm memuat sekitar 2 sel bawang memanjang, jadi panjang satu sel $\approx 450 \div 2 = 225$ μm; ke arah lebar sekitar 7 sel, jadi lebarnya $\approx 450 \div 7 \approx 64$ μm. Pada Hydrilla sekitar 5 sel memanjang, jadi panjangnya ≈ 90 μm. Rentang jawaban yang wajar: sel bawang 150–350 μm × 40–90 μm dan sel Hydrilla 50–150 μm. Sumber ketidaktelitian: ukuran sel beragam, sel tidak berjajar tepat di garis tengah, sel terpotong di tepi bidang pandang sehingga pecahannya ditaksir, dan nomor bidang okuler mungkin bukan 18. Cara yang lebih teliti memakai mikrometer okuler yang ditera dengan mikrometer objektif.
3. Tanpa pewarna sel hampir bening: dinding sel tampak samar dan inti hampir tidak terlihat, karena isi sel menyerap sangat sedikit cahaya sehingga kontrasnya rendah. Setelah lugol, dinding sel, sitoplasma, dan terutama inti berwarna kuning-cokelat sehingga jelas, dan butir nukleolus kadang tampak pada 400×. Mikroskop medan terang membentuk bayangan dari perbedaan penyerapan cahaya; karena sebagian besar isi sel bening, pewarna diperlukan untuk menambah kontras. Mengecilkan diafragma sedikit membantu, tetapi menurunkan ketajaman detail.

4. Persamaan: keduanya sel tumbuhan (eukariota) yang ber dinding sel; keduanya punya inti, sitoplasma, dan vakuola besar; keduanya tersusun rapat berderet seperti bata. Perbedaan: sel *Hydrilla* berisi banyak kloroplas hijau, sedangkan sel bawang tidak; sel bawang lebih panjang dan ramping ($\pm 250 \mu\text{m}$) dibanding sel *Hydrilla* ($\pm 90 \mu\text{m}$); pada *Hydrilla* tampak kloroplas beredar, sedangkan pada sel bawang tidak ada butir hijau yang bergerak; inti sel bawang mudah dilihat setelah diwarnai, sedangkan inti sel *Hydrilla* sering tertutup kloroplas. Umbi bawang berada di dalam tanah dan berfungsi menyimpan cadangan makanan, bukan berfotosintesis, sehingga plastidnya tidak berkembang menjadi kloroplas (Bab 20 dan 21).
5. Kloroplas bergerak berkeliling menyusuri tepi sel dengan arah yang tetap. Gerakan ini disebut aliran sitoplasma atau siklosis, digerakkan protein motor miosin yang berjalan di atas benang aktin dengan tenaga dari ATP (Bab 8, 10, dan 23). Gunanya diduga untuk mengedarkan zat di dalam sel yang besar dan membantu kloroplas memperoleh cahaya. Karena gerakan ini membutuhkan ATP dan sitoskeleton yang bekerja, aliran berhenti bila sel mati; jadi kloroplas yang beredar menunjukkan bahwa sel masih hidup. Lampu yang menghangatkan preparat biasanya mempercepat aliran.
6. Bakteri yoghurt berukuran sekitar $1 \mu\text{m}$ (bentuk bulat) sampai beberapa mikrometer (bentuk batang). Objektif $40\times$ ($\text{NA} \pm 0,65$) memiliki batas pisah sekitar $0,42 \mu\text{m}$, sehingga bakteri terdeteksi sebagai titik atau garis kecil, tetapi bentuk dan susunannya belum bisa dibedakan. Objektif $100\times$ dengan minyak imersi memiliki $\text{NA} \pm 1,25$ dan batas pisah $\pm 0,22 \mu\text{m}$, sehingga bentuk batang dan rantai bulatan terlihat. Minyak imersi menyamakan indeks bias dengan kaca sehingga sinar miring ikut tertangkap lensa; tanpa minyak bayangan redup dan kabur. Bila hanya perbesaran yang dinaikkan, misalnya okuler $20\times$ pada objektif $40\times$, bayangan membesar tanpa detail baru: inilah perbesaran kosong.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Keterampilan memakai mikroskop dan keselamatan	Membawa dan meletakkan mikroskop dengan benar, mulai dari objektif $4\times$, mendekatkan lensa sambil melihat dari samping, hanya memakai mikrometer pada $10\times$ dan $40\times$, mengatur diafragma, serta merapikan alat dan bahan sesuai aturan keselamatan tanpa diingatkan.	Urutan pemakaian benar, tetapi satu kali perlu diingatkan, misalnya memakai makrometer pada $40\times$ atau lupa mengatur diafragma.	Beberapa kali melanggar urutan pemakaian atau aturan keselamatan sehingga perlu terus dibimbing.	Tidak mampu menemukan bayangan, atau tindakannya membahayakan alat maupun teman.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Kualitas preparat	Preparat bawang dan Hydrilla tipis, rata, tanpa gelembung udara dan tanpa lipatan; lugol menyebar merata dengan teknik irigasi.	Preparat baik, tetapi ada sedikit gelembung atau lipatan yang tidak mengganggu pengamatan.	Banyak gelembung, lipatan, atau pewarna berlebihan sehingga sel sulit diamati.	Preparat gagal dibuat atau tidak dapat diamati.
Gambar dan data pengamatan	Tabel terisi lengkap dan benar; gambar dibuat dengan pensil, bergaris tegas, berjudul, mencantumkan perbesaran total dan keterangan lengkap; jumlah sel di garis tengah dicatat di tiga tempat.	Tabel dan gambar hampir lengkap; satu unsur seperti judul, perbesaran, atau keterangan kurang.	Banyak bagian tabel atau gambar yang kosong, atau gambar tidak sesuai dengan yang terlihat.	Tidak ada gambar atau data yang dapat dinilai.
Perhitungan dan penalaran	Perbesaran total, diameter bidang pandang, dan ukuran sel dihitung benar dengan satuan yang tepat; jawaban menghubungkan pengamatan dengan resolusi, pewarnaan, dan teori sel serta menyebut keterbatasan cara yang dipakai.	Perhitungan benar, tetapi penjelasan konsep kurang lengkap atau satuan sesekali keliru.	Sebagian besar perhitungan keliru atau penjelasan tidak didukung data.	Perhitungan dan penjelasan tidak dikerjakan.

Nilai akhir = $\text{jumlah skor} \div (\text{jumlah aspek} \times 4) \times 100$.

Membedah Paha Ayam dan Menguji Nefron Maya

Bab 35: Dari Warga ke Kota • Praktikum pengamatan jaringan pada bahan makanan matang, percobaan tulang dalam cuka, dan LKPD digital (lab maya nefron) • SMP–SMA • 2 × 45 menit (ditambah perendaman tulang 3–5 hari yang dimulai sebelumnya)

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat mengamati dan menunjukkan jaringan epitel (kulit), otot rangka, jaringan ikat padat (tendon), tulang rawan, tulang, sumsum, dan lemak pada paha ayam yang sudah dimasak, lalu menghubungkan ciri setiap jaringan dengan tugasnya.
2. Peserta didik dapat membuktikan peran mineral kalsium fosfat dan kolagen dalam kekuatan tulang melalui percobaan perendaman tulang ayam matang dalam cuka dengan air sebagai pembanding.
3. Peserta didik dapat mencatat data lab maya nefron di Bab 35.7, lalu menjelaskan ambang ginjal, glukosuria, peran ADH, kebocoran glomerulus, dan pengaruh obat penghambat SGLT2.
4. Peserta didik dapat menyimpulkan hubungan sel, jaringan, organ, dan sistem organ dari hasil pengamatan dan data model sederhana.

B Cerita pembuka

Saat makan malam, Bima menggigit paha ayam goreng sampai bersih. Ujung tulangnya putih dan licin, dagingnya berserat, dan ada tali alot yang sulit digigit. “Kok beda-beda, ya?” tanyanya. Di ruang tamu, Kakek baru pulang dari puskesmas membawa hasil pemeriksaan: gula darahnya tinggi dan dokter meminta urinyanya diperiksa karena diabetes yang lama dapat merusak saringan ginjal. Hari ini kamu menjadi penyelidik kota-kota tubuh: membedah paha ayam untuk melihat kampung-kampung jaringan, membuktikan rahasia beton bertulang di dalam tulang, lalu menjalankan nefron maya untuk memahami mengapa urin penderita diabetes bisa mengandung gula.

C Alat dan bahan

- Satu potong paha ayam rebus atau goreng yang sudah dingin untuk setiap kelompok, nampan atau piring, tisu, dan sarung tangan plastik
- Pisau dapur dan gunting tulang yang hanya dipegang guru, serta tusuk gigi atau pinset untuk memisahkan jaringan
- Kaca pembesar (lup); bila sekolah memilikinya, mikroskop dan preparat jadi jaringan (epitel, tulang rawan, tulang, otot)
- Dua tulang paha ayam matang yang sudah dibersihkan dari daging, dua gelas bening bertutup, cuka dapur, air, label, dan timbangan dapur
- Gawai untuk membuka lab maya nefron di Bab 35.7, lembar LKPD ini, alat tulis, dan pensil warna

⚠ Keselamatan: Hanya memakai bahan makanan yang sudah dimasak matang; jangan memakai daging, tulang, atau jeroan mentah. Cuci tangan dengan sabun sebelum dan sesudah kegiatan, pakai sarung tangan plastik, dan bersihkan meja dengan sabun. Pisau dan gunting tulang hanya dipakai oleh guru; peserta didik memakai tusuk gigi atau pinset. Bahan praktikum tidak boleh dimakan, termasuk sisa paha ayam, dan dibuang dalam kantong tertutup ke tempat sampah. Cuka adalah asam lemah: jangan sampai terkena mata, dan bila terciprat, bilas dengan air mengalir. Tanyakan alergi atau pantangan makanan teman sebelum kegiatan. Angka lab maya adalah angka model untuk belajar, bukan hasil pemeriksaan; jangan memakainya untuk menilai kesehatan diri sendiri atau keluarga, dan jangan mencoba obat apa pun demi kegiatan ini.

D Langkah kegiatan

1. Persiapan (3–5 hari sebelumnya): bersihkan dua tulang paha ayam matang dari daging, timbang, lalu rendam satu tulang dalam gelas berisi cuka dan satu lagi dalam gelas berisi air sebagai pembanding. Beri label, tutup gelas, dan ganti cuka setiap dua hari.
2. Bagian A (pengamatan, ± 30 menit): letakkan paha ayam di atas nampan. Amati kulitnya, lalu kupas sedikit dengan tusuk gigi. Catat warna, tekstur, dan lapisan yang terlihat. Kulit luar adalah epitel berlapis, dan di bawahnya ada jaringan ikat serta lemak.
3. Pisahkan serat daging dengan tusuk gigi searah panjangnya, lalu amati dengan lup. Catat bentuk dan arah seratnya. Cari juga tali putih mengilap yang menghubungkan daging dengan tulang (tendon).
4. Amati ujung tulang yang licin dan putih kebiruan (tulang rawan sendi). Tekan dengan tusuk gigi dan bandingkan kekerasannya dengan batang tulang. Guru memotong tulang melintang di depan kelompok; amati bagian luar yang padat, bagian ujung yang berongga seperti spons, dan sumsum di tengahnya.
5. Isi tabel pengamatan di buku tulismu dengan kolom: bagian, jenis jaringan, ciri yang terlihat, dan dugaan tugasnya. Bila ada mikroskop dan preparat jadi, bandingkan tampilan setiap jaringan dengan gambar di Bab 35.2 dan 35.3.
6. Bagian B (percobaan cuka, ± 10 menit): keluarkan kedua tulang, bilas dengan air, keringkan dengan tisu, lalu timbang. Coba lengkungkan setiap tulang perlahan. Catat massa sebelum dan sesudah serta seberapa lentur tulang itu.
7. Bagian C (lab maya, ± 35 menit): buka lab maya nefron di Bab 35.7. Untuk setiap baris tabel, atur keadaan glomerulus, kadar glukosa darah, banyaknya minum, dan obat sesuai keterangan baris, lalu catat glukosa disaring, glukosa terbuang ke urin, volume urin, serta hasil uji strip glukosa dan protein.
8. Bandingkan baris 1 sampai 5 untuk menentukan kira-kira kapan glukosa mulai muncul di urin, lalu bandingkan baris 1, 6, 7, dan 8 untuk melihat pengaruh ADH, dan baris 9 sampai 12 untuk melihat kerusakan ginjal dan obat.
9. Bagian D (diskusi, ± 15 menit): jawab pertanyaan, susun kesimpulan kelompok, dan presentasikan satu temuan dari setiap bagian. Bersihkan meja dan buang bahan sesuai petunjuk keselamatan.

E Tabel data lab maya nefron (Bagian C). Semua angka dari model sederhana di Bab 35.7

Keadaan (glomerulus • glukosa darah • minum • obat)	Glukosa disaring (mg/menit)	Glukosa terbuang (g/hari)	Volume urin (L/hari)	Uji strip glukosa / protein
1 • sehat • 100 mg/dL • cukup • tanpa obat				
2 • sehat • 180 mg/dL • cukup • tanpa obat				
3 • sehat • 250 mg/dL • cukup • tanpa obat				
4 • sehat • 300 mg/dL • cukup • tanpa obat				
5 • sehat • 400 mg/dL • cukup • tanpa obat				
6 • sehat • 100 mg/dL • sedikit • tanpa obat				
7 • sehat • 100 mg/dL • banyak • tanpa obat				
8 • sehat • 300 mg/dL • sedikit • tanpa obat				
9 • bocor protein • 100 mg/dL • cukup • tanpa obat				
10 • LFG turun • 100 mg/dL • sedikit • tanpa obat				
11 • LFG turun • 100 mg/dL • banyak • tanpa obat				
12 • sehat • 100 mg/dL • cukup • penghambat SGLT2				

F Pertanyaan diskusi

1. Sebutkan jaringan-jaringan yang kamu temukan pada paha ayam (Bagian A), lalu jelaskan hubungan ciri setiap jaringan dengan tugasnya. Mengapa paha ayam bukan sekadar satu jaringan, melainkan bagian tubuh yang tersusun atas beberapa organ dan termasuk dalam beberapa sistem organ sekaligus?

2. Mengapa tulang rawan di ujung tulang tampak putih kebiruan, licin, dan lebih lunak daripada batang tulang? Hubungkan dengan isi matriksnya, ketiadaan pembuluh darah, dan sulitnya tulang rawan pulih pada orang dengan sendi aus.

3. Laporkan hasil percobaan cuka (Bagian B): perubahan massa dan kelenturan tulang dalam cuka dibanding tulang dalam air. Jelaskan apa yang larut dan apa yang tersisa, lalu ramalkan apa yang terjadi bila tulang dipanaskan lama di tungku.

4. Gunakan baris 1 sampai 5. Pada kadar glukosa darah berapa glukosa mulai terbuang ke urin? Hitung glukosa disaring pada baris 4 dengan rumus $LFG \times \text{kadar glukosa}$, lalu jelaskan mengapa glukosa terbuang bertambah makin cepat pada kadar yang makin tinggi.

5. Bandingkan baris 1, 6, 7, dan 8. Jelaskan peran ADH pada volume dan warna urin, lalu jelaskan mengapa urin pada baris 8 lebih banyak daripada baris 6 walaupun sama-sama minum sedikit.

6. Bandingkan baris 9 sampai 12 dengan baris 1. Bagian nefron mana yang bermasalah pada baris 9, apa yang hilang dari ginjal pada baris 10 dan 11, dan bagaimana obat pada baris 12 bekerja? Tuliskan saran yang tepat untuk Kakek Bima.

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang tubuh sebagai negara besar yang tersusun dari sel, jaringan, organ, dan sistem organ: jaringan apa saja yang membangun satu organ seperti paha ayam, mengapa tulang kuat seperti beton bertulang, dan bagaimana nefron menyaring, menyerap kembali, serta mengatur air, sehingga glukosa baru muncul di urin bila gula darah melewati ambang ginjal.

H Refleksi diri

1. Jaringan yang paling mengejutkan saya saat membedah paha ayam adalah ... karena ...
2. Bagian kerja nefron yang masih membingungkan bagi saya adalah ...
3. Satu kebiasaan yang akan saya lakukan atau sarankan kepada keluarga untuk menjaga tulang dan ginjal adalah ... dan cara memastikannya berjalan adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Jaringan yang dapat ditemukan: kulit (epitel berlapis pipih di permukaan, dengan jaringan ikat dermis di bawahnya) yang melindungi; lemak di bawah kulit dan di sela otot sebagai cadangan energi dan bantalan; otot rangka berupa serat-serat panjang yang sejajar sehingga dapat menarik searah; tendon berupa jaringan ikat padat berserat kolagen sejajar yang putih mengilap dan alot karena harus menahan tarikan otot ke tulang; tulang rawan hialin yang licin di ujung tulang; tulang padat di batang dan tulang spons berisi sumsum di ujung; serta pembuluh darah dan saraf yang tampak sebagai benang halus. Paha ayam disebut organ, atau lebih tepatnya bagian tubuh yang tersusun atas beberapa organ (otot, tulang, kulit), karena berisi beberapa jenis jaringan yang bekerja sama untuk satu tugas: menopang dan menggerakkan tungkai. Ia menjadi bagian dari sistem gerak (otot dan rangka), sistem penutup tubuh (kulit), sistem peredaran darah, dan sistem saraf sekaligus.

2. Tulang rawan hialin berisi kondrosit yang tinggal di lakuna di dalam matriks kenyal dari kolagen dan agrekan yang mengikat banyak air, sehingga ia lunak, lentur, licin, dan meredam benturan di sendi. Warnanya putih kebiruan karena tidak berpembuluh darah dan tidak bermineral, berbeda dengan tulang yang keras karena kristal kalsium fosfat. Karena tidak punya pembuluh darah, makanan dan oksigen hanya merembes dari cairan sendi, dan sel kondrositnya jarang membelah, sehingga tulang rawan yang aus pada osteoarthritis sangat sulit pulih (Bab 27).
Bandingkan dengan tulang yang kaya pembuluh darah dan bisa sembuh dengan tulang baru.
3. Contoh hasil: tulang dalam cuka menjadi lentur seperti karet dan dapat dilengkungkan tanpa patah, massanya turun (misalnya dari sekitar 12 g menjadi 8 g), sedangkan tulang dalam air tetap keras dan massanya hampir tidak berubah. Asam cuka melarutkan mineral kalsium fosfat (hidroksiapatit), terlihat dari gelembung kecil di permukaan tulang pada hari pertama. Yang tersisa adalah kerangka kolagen tipe I yang lentur. Tulang dalam air menjadi pembanding untuk menunjukkan bahwa perubahan disebabkan asam, bukan karena direndam. Bila tulang dipanaskan lama di tungku, kolagen terbakar dan mineral tertinggal, sehingga tulang menjadi rapuh dan mudah hancur seperti kapur. Kesimpulannya, tulang kuat karena gabungan beton (mineral) dan besi tulangan (kolagen). Hasil berbeda antar kelompok bergantung pada lama perendaman, ukuran tulang, dan seberapa sering cuka diganti.
4. Baris 1 dan 2: glukosa disaring 125 dan 225 mg/menit, tidak ada glukosa terbuang, volume 1,5 L, strip glukosa negatif. Baris 3 (250 mg/dL): disaring sekitar 313 mg/menit, terbuang sekitar 18 g/hari, volume 1,6 L, strip ++++. Baris 4 (300 mg/dL): disaring 125 mL/menit $\times$ 3 mg/mL = 375 mg/menit, terbuang sekitar 54 g/hari, volume 2 L, strip ++++. Baris 5 (400 mg/dL): disaring 500 mg/menit, terbuang sekitar 182 g/hari, volume 3,3 L, strip ++++. Glukosa mulai terbuang sedikit di atas sekitar 180 mg/dL, yaitu ambang ginjal. Di bawah ambang, semua glukosa tersaring diserap kembali oleh pengangkut SGLT di tubulus proksimal. Di atas ambang, sebagian nefron sudah penuh lebih dulu, sehingga glukosa mulai lolos sedikit demi sedikit; makin tinggi kadarnya, makin banyak nefron yang penuh, sampai kemampuan angkut seluruh ginjal mencapai batas maksimum (T_m , sekitar 375 mg/menit dalam model). Setelah itu setiap kenaikan muatan glukosa langsung terbuang, sehingga glukosa urin bertambah makin cepat.
5. Baris 1: 1,5 L urin, kuning muda (± 550 mOsm/kg). Baris 6 (minum sedikit): 0,7 L, pekat dan kuning tua (± 1100 mOsm/kg). Baris 7 (minum banyak): 3,2 L, encer dan hampir bening (± 250 mOsm/kg). Saat kurang minum, darah menjadi lebih pekat, hipotalamus merasakannya, dan hipofisis belakang melepas banyak ADH (Bab 30). ADH menyuruh sel duktus pengumpul memasang akuaporin, sehingga air tersedot ke medula yang asin dan urin menjadi sedikit dan pekat. Saat banyak minum, ADH ditekan sehingga air dibuang. Baris 8 (300 mg/dL dan minum sedikit) menghasilkan sekitar 1 L, lebih banyak daripada 0,7 L di baris 6, karena sekitar 54 g glukosa yang terbuang ikut menarik air (diuresis osmotik): urin tidak bisa lebih pekat daripada batas kemampuan ginjal, sehingga makin banyak zat terlarut, makin banyak air yang ikut keluar. Inilah sebab penderita diabetes yang gula darahnya tinggi sering kencing, cepat haus, dan mudah kekurangan cairan.

6. Baris 9: glukosa disaring 110 mg/menit, tidak ada glukosa terbuang, volume 1,5 L, tetapi strip protein +++. Masalahnya ada di saringan glomerulus (podosit dan membran basal glomerulus) yang bocor sehingga albumin lolos; akibatnya urin berbusa, albumin darah turun, dan tubuh bengkak (sindrom nefrotik). Baris 10 dan 11: LFG 30 mL/menit, glukosa disaring hanya 30 mg/menit, volume 1,5 L saat minum sedikit dan 2,8 L saat minum banyak, strip protein +. Dibanding ginjal sehat (0,7 L dan 3,2 L), ginjal ini kehilangan kemampuan memekatkan dan mengencerkan urin, juga kemampuan membuang ureum dan kreatinin, sehingga zat sisa menumpuk dan pada tahap lanjut perlu cuci darah. Baris 12: obat penghambat SGLT2 menutup sebagian besar pintu penyerap glukosa di tubulus proksimal, sehingga sekitar 54 g glukosa per hari sengaja dibuang walaupun gula darah normal; strip glukosa ++++ dan volume urin naik menjadi 2 L. Saran untuk Kakek: mengendalikan gula darah dan tekanan darah sesuai anjuran dokter, rutin memeriksa albumin urin dan kreatinin darah, cukup minum, tidak sembarangan minum obat antinyeri dalam jangka lama, dan tidak menghentikan atau memulai obat tanpa petunjuk dokter. Angka-angka ini dari model sederhana, bukan alat untuk menilai kesehatan seseorang.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pengamatan dan identifikasi jaringan	Menemukan sedikitnya enam jaringan dengan ciri yang tepat dan menghubungkan setiap ciri dengan tugasnya	Menemukan empat sampai lima jaringan dengan ciri yang umumnya tepat	Menemukan dua sampai tiga jaringan, ciri kurang lengkap	Hanya menyebut bagian yang tampak tanpa mengenali jenis jaringannya
Pelaksanaan dan pelaporan percobaan cuka	Memakai pembanding air, menimbang sebelum dan sesudah, mencatat kelenturan, dan menjelaskan hasil dengan peran mineral dan kolagen	Percobaan dan data lengkap, penjelasan peran mineral dan kolagen kurang rinci	Data tidak lengkap atau tanpa pembanding, penjelasan sebagian benar	Tidak melakukan percobaan atau penjelasan keliru
Pengolahan data lab maya dan penalaran	Tabel terisi lengkap dan akurat, ambang ginjal, ADH, diuresis osmotik, kerusakan glomerulus, dan kerja SGLT2 dijelaskan dengan data	Tabel hampir lengkap, sebagian besar konsep dijelaskan dengan benar	Tabel sebagian terisi, penjelasan hanya menyebut pola tanpa alasan	Tabel tidak terisi atau penafsiran bertentangan dengan data
Keselamatan, kebersihan, dan kerja sama	Selalu mematuhi aturan keselamatan dan kebersihan, membagi tugas dengan adil, dan membersihkan tempat kerja	Mematuhi aturan dengan sedikit pengingat dan bekerja sama dengan baik	Beberapa kali perlu diingatkan tentang keselamatan atau kebersihan	Mengabaikan aturan keselamatan atau tidak ikut bekerja dalam kelompok

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.

Tali Waktu Kehidupan: Mesin Waktu Bumi, Bukti Endosimbiosis, dan Sidang Komisi Etik Mini

Bab 36: Silsilah Negara Sel • LKPD praktik model skala (tali waktu), lab maya mesin waktu, tabel bukti, dan diskusi kasus bermain peran • SMP–SMA • 2 × 45 menit

Nama: Kelas: Tanggal: Kelompok:

A Tujuan

1. Peserta didik dapat membuat tali waktu berskala (1 mm = 1 juta tahun) untuk sejarah Bumi 4,54 miliar tahun dan menempatkan sembilan peristiwa penting dengan tepat.
2. Peserta didik dapat menghitung pukul setiap peristiwa pada jam Bumi 24 jam, lalu memeriksanya dengan lab maya mesin waktu di Bab 36.6.
3. Peserta didik dapat menyusun tabel bukti endosimbiosis yang membandingkan mitokondria, kloroplas, bakteri, dan inti sel.
4. Peserta didik dapat menilai satu kasus penelitian memakai empat prinsip bioetika dalam sidang komisi etik mini yang santun dan berbasis alasan.

B Cerita pembuka

Di pesta ulang tahun ke-75 Nenek, Bima memandangi foto Nenek saat remaja dan bertanya, “Kenapa Nenek makin tua? Dan sel yang paling pertama itu dari mana?” Dr. Sela tersenyum, “Angka miliaran tahun memang sulit dibayangkan. Coba bentangkan tali sepanjang 4,54 meter. Setiap milimeter mewakili satu juta tahun. Kalian akan kaget di mana letak manusia.” Ia menambahkan, “Setelah itu, mari kita periksa bukti bahwa PLN di selmu dulunya bakteri, dan berlatih menjadi anggota komisi etik: bolehkah sebuah tim mengambil sampel ludah seluruh siswa untuk mencari ‘gen pintar’?”

C Alat dan bahan

- Tali rafia atau benang kasur sepanjang 4,6 m per kelompok, meteran gulung atau penggaris 1 m, gunting, dan selotip kertas
- Sepuluh kartu kecil (kertas 5 × 7 cm) dan spidol warna untuk label peristiwa
- Gawai (ponsel, tablet, atau laptop) untuk membuka lab maya mesin waktu di Bab 36.6 serta tabel bukti di Bab 36.4
- Kalkulator (boleh memakai gawai), lembar LKPD, dan lima kartu peran sidang etik: peneliti, dokter, wakil masyarakat awam, ahli hukum, dan calon peserta

⚠ Keselamatan: Bentangkan tali di lantai sepanjang dinding atau di halaman, rekatkan kedua ujungnya dengan selotip, dan jangan membentangkannya melintang di jalur orang berjalan agar tidak ada yang tersandung. Pakai gunting dengan hati-hati dan kembalikan ke tempatnya. Kegiatan ini tidak mengambil

sampel biologis apa pun: kasus sidang etik adalah cerita rekaan, jadi jangan mengumpulkan ludah, darah, rambut, atau data genetik siapa pun, termasuk data diri teman. Saat berdiskusi, kritiklah gagasan, bukan orangnya; dengarkan sampai selesai; dukung pendapat dengan alasan; dan hormati latar belakang serta keyakinan setiap teman. Pembahasan asal-usul kehidupan di kelas sains berpegang pada bukti, tanpa merendahkan keyakinan siapa pun.

D Langkah kegiatan

1. Bagian A (tali waktu, ± 30 menit): ukur dan potong tali sepanjang 4,54 m, lalu rekatkan di lantai. Beri label “Bumi terbentuk, 4,54 miliar tahun lalu” di ujung kiri dan “kini” di ujung kanan. Tulis skalanya di papan: 1 m = 1 miliar tahun, 1 cm = 10 juta tahun, 1 mm = 1 juta tahun.
2. Hitung jarak setiap peristiwa dari ujung “kini” dengan rumus: jarak (cm) = umur (juta tahun) $\div$ 10. Peristiwanya: kehidupan tertua (3.500), oksigen menumpuk di udara (2.400), eukariota pertama (1.800), hidup bersel banyak (1.050), ledakan Kambrium (540), tumbuhan darat (470), dinosaurus pertama (230), dinosaurus punah (66), dan manusia modern (0,3). Tulis hasilnya di kolom ketiga tabel.
3. Sebelum menempelkan kartu, tulis dugaan kelompok: di mana letak manusia modern? Lalu tempelkan kesepuluh kartu peristiwa pada tali memakai meteran. Perhatikan seberapa padat kartu-kartu di dekat ujung “kini”, dan coba tunjukkan letak manusia dengan ujung pensil.
4. Bagian B (jam Bumi, ± 15 menit): hitung pukul setiap peristiwa bila 4,54 miliar tahun dipadatkan menjadi 24 jam, dengan rumus detik = $(4.540 - \text{umur}) \div 4.540 \times 86.400$, lalu ubah menjadi jam.menit.detik. Periksa jawabanmu dengan lab maya mesin waktu di Bab 36.6, dan tulis di kolom keempat. Tulis kesan kelompok di kolom terakhir.
5. Bagian C (bukti endosimbiosis, ± 15 menit): buat tabel empat kolom (mitokondria, kloroplas, bakteri, inti sel) dengan lima baris: jumlah membran pembungkus, bentuk DNA, jenis ribosom, cara bertambah banyak, dan kerabat terdekat menurut perbandingan gen. Isi dengan bantuan tabel bukti di Bab 36.4, lalu lingkari ciri yang sama antara organela dan bakteri.
6. Bagian D (sidang komisi etik mini, ± 25 menit): bagikan lima kartu peran. Kasus rekaan: sebuah tim ingin mengambil sampel ludah seluruh siswa sekolah untuk mencari gen yang berkaitan dengan prestasi belajar, dan berencana mengumumkan hasilnya per kelas di papan pengumuman.
7. Setiap peran menyampaikan pendapat selama satu menit dengan memakai empat prinsip bioetika di Bab 36.8: menghormati otonomi, berbuat baik, tidak merugikan, dan keadilan. Notulis mencatat alasan, bukan nama orang.
8. Kelompok memutuskan: disetujui, disetujui dengan perbaikan, atau ditolak, lalu menuliskan paling sedikit tiga perbaikan yang wajib dilakukan peneliti bila protokol itu ingin diajukan ulang. Presentasikan tali waktu, tabel bukti, dan keputusan sidang di depan kelas.

E Tabel tali waktu dan jam Bumi (skala 1 mm = 1 juta tahun; 4,54 miliar tahun = 24 jam)

Peristiwa	Umur (juta tahun lalu)	Jarak dari ujung “kini” pada tali (cm)	Pukul di jam Bumi	Kesan kelompok
1 · Bumi terbentuk				

Peristiwa	Umur (juta tahun lalu)	Jarak dari ujung “kini” pada tali (cm)	Pukul di jam Bumi	Kesan kelompok
2 · kehidupan tertua				
3 · oksigen menumpuk di udara				
4 · eukariota pertama				
5 · hidup bersel banyak				
6 · ledakan Kambrium				
7 · tumbuhan darat				
8 · dinosaurus pertama				
9 · dinosaurus punah				
10 · manusia modern				

F Pertanyaan diskusi

1. Tuliskan jarak setiap peristiwa dari ujung “kini” pada tali. Peristiwa mana yang jaraknya kurang dari 1 cm, dan berapa milimeter letak manusia modern dari ujung tali? Apa yang kamu rasakan ketika menunjukkannya dengan ujung pensil?

2. Tuliskan pukul setiap peristiwa di jam Bumi. Berapa jam lamanya Bumi hanya dihuni makhluk bersel satu, dihitung dari kehidupan tertua sampai hidup bersel banyak? Mengapa sejarah tertulis manusia (± 5.000 tahun) hanya sekitar 0,1 detik terakhir?

3. Umur beberapa peristiwa dalam tabel masih diperdebatkan, misalnya kehidupan tertua dan eukariota pertama. Jelaskan bagaimana ilmuwan menentukan umur batuan dan fosil, mengapa ada rentang ketidakpastian, dan mengapa ketidakpastian itu tidak membatalkan urutan peristiwa.

4. Dari tabel bukti endosimbiosis, ciri apa saja yang sama antara mitokondria, kloroplas, dan bakteri, dan apa bedanya dengan inti sel? Mengapa mitokondria tidak bisa lagi hidup bebas di luar sel, dan mengapa sel hewan tidak memiliki kloroplas?

5. Tuliskan keputusan sidang komisi etik kelompokmu beserta alasan dari setiap prinsip bioetika. Tuliskan juga paling sedikit tiga perbaikan yang wajib dilakukan peneliti.

6. Hubungkan kegiatan hari ini dengan pertanyaan Bima tentang Nenek: mengapa sel menua, dan apa saja kebiasaan yang dikaitkan dengan penuaan yang lebih sehat menurut Bab 36.7? Mengapa ilmuwan memakai kata “dikaitkan dengan”, bukan “pasti mencegah”?

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang silsilah Negara Sel: umur Bumi dan kehidupan tertua, betapa singkatnya kehadiran manusia dibanding sejarah Bumi, bukti bahwa mitokondria dan kloroplas berasal dari bakteri, alasan sel menua, serta mengapa setiap penelitian pada sel dan data manusia harus menghormati persetujuan, manfaat, keamanan, dan keadilan.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling mengejutkan saya dari tali waktu adalah ... karena ...

2. Bagian yang masih membingungkan bagi saya tentang endosimbiosis atau penuaan sel adalah ...

3. Saat sidang etik, pendapat teman yang membuat saya berpikir ulang adalah ... dan saya belajar bahwa ...

✓ **Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi**

1. Jarak = umur ÷ 10 cm: Bumi terbentuk 454 cm, kehidupan tertua 350 cm, oksigen menumpuk 240 cm, eukariota pertama 180 cm, hidup bersel banyak 105 cm, ledakan Kambrium 54 cm, tumbuhan darat 47 cm, dinosaurus pertama 23 cm, dinosaurus punah 6,6 cm, dan manusia modern 0,03 cm atau 0,3 mm. Hanya manusia modern yang berjarak kurang dari 1 cm; letaknya kira-kira setebal tiga lembar kertas dari ujung tali. Hampir semua peristiwa yang kita kenal dari buku dinosaurus dan hewan berada pada sekitar 54 cm terakhir, yaitu kurang dari 12% panjang tali. Kesan yang diharapkan: manusia sangat baru dan sejarah Bumi didominasi mikroba. Jawaban kesan bersifat bebas selama sesuai data.
2. Dengan detik = $(4.540 - \text{umur}) \div 4.540 \times 86.400$: Bumi terbentuk 00.00.00, kehidupan tertua 05.29.52, oksigen menumpuk 11.18.45, eukariota pertama 14.29.04, hidup bersel banyak 18.26.57, ledakan Kambrium 21.08.43, tumbuhan darat 21.30.55, dinosaurus pertama 22.47.02, dinosaurus punah 23.39.03, dan manusia modern 23.59.54. Dari kehidupan tertua (05.29) sampai hidup bersel banyak (18.27) berselang hampir 13 jam, lebih dari separuh hari Bumi, yang hanya diisi makhluk bersel satu. Satu detik jam Bumi setara dengan $4.540.000.000 \div 86.400 \approx 52.500$ tahun, sehingga 5.000 tahun hanya sekitar $5.000 \div 52.500 \approx 0,1$ detik. Nilai di lab maya bisa berbeda satu detik karena pembulatan ke bawah.
3. Umur batuan diukur dengan penanggalan radiometrik: unsur radioaktif seperti uranium meluruh menjadi unsur lain dengan waktu paruh yang tetap, sehingga perbandingan unsur induk dan anak di mineral, misalnya zirkon, menunjukkan umur batuan. Fosil diberi umur dari lapisan batuan di atas dan di bawahnya, dan perkiraan dari perbandingan gen (jam molekuler) dikalibrasi dengan fosil. Ketidakpastian muncul karena batuan tua sering berubah oleh panas dan tekanan, fosil mikro mudah tertukar dengan bentukan tanpa kehidupan, jejak kimia bisa dibuat proses nonbiologis, dan jam molekuler bergantung pada laju mutasi yang diasumsikan. Namun banyak metode yang saling bebas memberi urutan yang sama: kehidupan mikroba jauh lebih dulu, oksigen menumpuk kemudian, eukariota sesudahnya, lalu hewan dan tumbuhan darat. Rentang ketidakpastian hanya menggeser titik di tali beberapa sentimeter, bukan membalik urutannya.
4. Ciri yang sama antara mitokondria, kloroplas, dan bakteri: dibungkus dua membran (seperti bakteri Gram-negatif), punya DNA kecil berbentuk lingkaran tanpa histon, punya ribosom bergaya bakteri (kloroplas 70S; mitokondria manusia 55S tetapi mirip bakteri), memperbanyak diri dengan membelah seperti pembelahan biner, dan gennya berkerabat dengan alfaproteobakteri (mitokondria) atau sianobakteri (kloroplas). Inti sel berbeda: DNA-nya panjang, linear, dan dibungkus histon, selubungnya berpori, dan tidak membelah sendiri seperti bakteri. Mitokondria tidak bisa hidup bebas karena sebagian besar gennya sudah pindah ke inti atau hilang; DNA mitokondria manusia hanya berisi 37 gen, sedangkan lebih dari seribu protein mitokondria dibuat dari resep di inti. Sel hewan tidak memiliki kloroplas karena penelanan sianobakteri hanya terjadi pada leluhur tumbuhan dan alga, setelah garis keturunan hewan dan jamur berpisah; sebaliknya, semua garis itu sudah memiliki mitokondria karena endosimbiosis mitokondria terjadi lebih dulu.

5. Keputusan yang paling dapat dipertanggungjawabkan adalah ditolak atau disetujui hanya dengan perbaikan besar. Menghormati otonomi: siswa adalah anak, sehingga dibutuhkan persetujuan orang tua dan persetujuan siswa itu sendiri setelah penjelasan, tanpa paksaan dari sekolah, dengan hak menolak dan mundur kapan saja tanpa sanksi. Berbuat baik: manfaatnya diragukan, karena prestasi belajar dipengaruhi sangat banyak faktor lingkungan dan gen, sehingga desainnya harus jelas dan bernilai ilmiah. Tidak merugikan: mengumumkan hasil per kelas dapat menimbulkan cap, diskriminasi, dan rasa malu, dan data genetik juga mengungkapkan informasi keluarga. Keadilan: siswa tidak boleh menanggung risiko demi kepentingan pihak lain tanpa manfaat yang adil. Perbaikan wajib: mengajukan protokol ke Komisi Etik Penelitian Kesehatan (KEPK) dan menunggu persetujuan; memakai lembar persetujuan setelah penjelasan untuk orang tua dan siswa; menyamarkan identitas dan tidak mengumumkan hasil per kelas atau per orang; menjelaskan penyimpanan, lama simpan, dan pemusnahan sampel; tidak memakai sampel untuk tujuan lain tanpa izin baru; serta melindungi data genetik yang menurut UU Nomor 27 Tahun 2022 termasuk data pribadi yang bersifat spesifik. Penilaian menekankan alasan, bukan pilihan keputusan semata.
6. Sel menua karena banyak hal yang saling terkait: telomer memendek setiap kali DNA disalin sampai sel mencapai batas Hayflick (sekitar 40–60 kali membelah pada fibroblas), kerusakan DNA akibat UV, radiasi, dan asap rokok membunyikan alarm yang sama, lalu jalur p53–p21 dan p16–Rb mengunci siklus sel sehingga sel menjadi senesens. Sel senesens melepas SASP yang, bila menumpuk, menimbulkan radang menahun; pada usia tua sel imun makin lambat membersihkannya. Telomer hanyalah salah satu dari dua belas tanda penuaan. Kebiasaan yang dikaitkan dengan penuaan lebih sehat: aktif bergerak (remaja rata-rata 60 menit sehari), tidur cukup (remaja sekitar 8–10 jam), tidak merokok, makan beragam sesuai Isi Piringku, dan melindungi kulit dari sinar UV. Ilmuwan memakai kata “dikaitkan dengan” karena sebagian besar buktinya berasal dari penelitian pengamatan yang tidak dapat membuktikan sebab-akibat sepenuhnya, ditambah percobaan pada hewan yang belum tentu berlaku sama pada manusia; tidak ada kebiasaan yang menghentikan penuaan.

★ Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Ketepatan skala dan pengukuran tali waktu	Kesepuluh jarak dihitung dan ditempel dengan tepat (selisih ≤ 1 cm), skala ditulis jelas, dan letak manusia modern (0,3 mm) ditunjukkan dengan benar.	Delapan atau sembilan jarak tepat, atau skala tidak ditulis.	Lima sampai tujuh jarak tepat, atau satuan tertukar (misalnya cm dan mm).	Kurang dari lima jarak tepat atau tali waktu tidak selesai.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Perhitungan jam Bumi dan penafsiran skala waktu	Semua pukul dihitung tepat (selisih ≤ 1 menit), diperiksa dengan lab maya, dan kelompok menjelaskan dominasi kehidupan bersel satu serta singkatnya kehadiran manusia memakai angka.	Pukul tepat, tetapi penafsiran tanpa angka atau satu atau dua perhitungan keliru.	Tiga sampai lima perhitungan keliru, atau tidak diperiksa dengan lab maya.	Perhitungan hampir seluruhnya keliru atau tidak dikerjakan.
Tabel bukti endosimbiosis	Kelima baris terisi benar untuk keempat kolom, kesamaan organela dengan bakteri dilingkari, dan perbedaan dengan inti serta alasan sel hewan tidak memiliki kloroplas dijelaskan tepat.	Tabel hampir lengkap dengan satu atau dua sel keliru, atau penjelasan alasan kurang lengkap.	Tiga sampai lima sel keliru atau satu kolom kosong.	Tabel hampir kosong atau isinya tertukar.
Penalaran bioetika dan sikap berdiskusi	Keempat prinsip dipakai dengan alasan yang tepat, paling sedikit tiga perbaikan yang wajib disebutkan (termasuk persetujuan setelah penjelasan dan izin KEPK), dan diskusi berlangsung santun dengan mengkritik gagasan, bukan orang.	Tiga prinsip dipakai dengan tepat dan dua perbaikan disebutkan, diskusi santun.	Hanya satu atau dua prinsip yang dipakai, alasan dangkal, atau ada sikap yang meremehkan pendapat teman.	Keputusan tanpa alasan, atau diskusi berisi ejekan terhadap orang, latar belakang, atau keyakinan.

Nilai akhir = jumlah skor $\div$ (jumlah aspek $\times$ 4) $\times$ 100.

Detektif Salah Ketik: Fotokopi Kilat, Tim Korektor, dan Lab Maya Resep Globin Beta

Bab 37: Salah Ketik di Perpustakaan • Kegiatan berpasangan tanpa alat elektronik (fotokopi kilat dengan dan tanpa korektor), LKPD digital (lab maya gen HBB di Bab 37.3), dan studi kasus tim korektor yang mogok • SMP-SMA • 2 × 45 menit

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____ Kelompok: _____

A Tujuan

1. Peserta didik dapat membandingkan banyaknya salah ketik saat menyalin “resep DNA” di bawah tekanan waktu tanpa korektor, dengan membaca ulang, dan setelah diperiksa pasangan, lalu menghubungkannya dengan pembacaan ulang oleh DNA polimerase dan perbaikan salah pasang.
2. Peserta didik dapat menyelidiki contoh mutasi nyata gen HBB di lab maya Bab 37.3 dan menggolongkannya menjadi mutasi senyap, salah arti, tanpa arti, pergeseran bingkai baca, atau hilangnya satu kodon berdasarkan akibatnya pada protein.
3. Peserta didik dapat menjelaskan mengapa letak dan jumlah huruf yang berubah menentukan panjang dan susunan protein globin beta, termasuk mengapa hilangnya tepat tiga huruf tidak menggeser bingkai baca.
4. Peserta didik dapat menghubungkan rusaknya tim perbaikan DNA tertentu dengan xeroderma pigmentosum, sindrom Lynch, dan mutasi BRCA, serta menyusun langkah sederhana untuk menjaga “perpustakaan” DNA.

B Cerita pembuka

Laras, kakak kelas Bima, sejak kecil harus menerima transfusi darah setiap bulan. Dokter menjelaskan bahwa Laras mewarisi dua salah ketik di gen globin beta: kodon 41/42 –TTCT dari ayahnya dan HbE (kodon 26 GAG→AAG) dari ibunya. Kedua orang tuanya sehat dan baru tahu bahwa mereka pembawa setelah Laras sakit. Bima heran: “Cuma empat huruf yang hilang dari ratusan huruf resep, kok akibatnya seberat itu? Terus, kalau setiap kali membelah sel kita menyalin miliaran huruf, kenapa DNA kita tidak penuh salah ketik?” Dr. Sela tersenyum: “Karena perpustakaan kita punya tim korektor. Tapi tidak semua salah ketik sama akibatnya.” Hari ini kamu menjadi detektif salah ketik: menjadi Polim yang menyalin resep dengan kilat, menjadi korektor, lalu menyelidiki salah ketik nyata di lab maya.

C Alat dan bahan

- Kartu resep A dan kartu resep B yang ditulis atau dicetak guru (isinya ada di langkah 1), satu set untuk setiap anak, disimpan dalam amplop tertutup sampai aba-aba mulai
- Lembar salinan berisi 20 kelompok kotak (3 kotak per kelompok, jadi 60 kotak), 2 lembar untuk setiap anak

- Pensil, pensil atau bolpoin merah untuk korektor, dan stopwatch atau jam dengan jarum detik (dipegang guru)
- Gawai (ponsel, tablet, atau laptop) untuk membuka lab maya di Bab 37.3, peta tim korektor di Bab 37.4, dan tabel kelainan di Bab 37.7
- Kertas plano dan spidol untuk rangkuman kelompok
- Pilihan: manik-manik peka UV yang berubah warna di bawah sinar matahari, dua kantong plastik bening berklip, dan tabir surya SPF 30 atau lebih

⚠ Keselamatan: Kegiatan ini tidak memakai lampu UV, zat kimia merusak DNA, atau sampel biologis apa pun; semua mutasi diselidiki lewat kartu kertas dan lab maya. Demo manik-manik UV bersifat pilihan dan hanya memakai sinar matahari biasa: lakukan di dekat jendela atau di halaman paling lama 2 menit, sebaiknya pada pagi hari, lalu kembali ke tempat teduh. Jangan pernah menatap matahari secara langsung. Tabir surya hanya dioleskan pada permukaan kantong plastik, bukan pada kulit teman, karena mungkin ada yang alergi; jangan sampai terkena mata, dan cuci tangan setelahnya. Manik-manik tidak boleh dimasukkan ke mulut. Kisah Laras dan ketiga kartu kasus adalah cerita rekaan: jangan menanyakan atau membahas riwayat penyakit, hasil tes genetik, atau status pembawa talasemia teman dan keluarganya di depan kelas, dan hormati teman yang mungkin hidup dengan talasemia atau penyakit keturunan lain. Lab maya adalah model untuk belajar, bukan alat diagnosis; hasil tes genetik yang sebenarnya hanya dibaca bersama dokter atau konselor genetik. Saat fotokopi kilat, tetap duduk di tempat dan jangan berebut kartu.

D Langkah kegiatan

1. Persiapan (guru, sebelum pelajaran): tulis atau cetak kartu resep A dan B. Resep A adalah huruf pengode kodon 1–20 gen HBB yang sebenarnya: GTG CAT CTG ACT CCT GAG GAG AAG TCT GCC GTT ACT GCC CTG TGG GGC AAG GTG AAC GTG. Resep B adalah kodon 21–40: GAT GAA GTT GGT GGT GAG GCC CTG GGC AGG CTG CTG GTG GTC TAC CCT TGG ACC CAG AGG. Siapkan juga lembar salinan berisi 20 kelompok kotak (3 kotak per kelompok); satu huruf ditulis di satu kotak.
2. Bagian A (fotokopi kilat, ±25 menit): duduklah berpasangan. Setiap anak menjadi Polim untuk salinannya sendiri dan nanti menjadi korektor bagi salinan pasangannya. Sebelum mulai, tulis dugaanmu: berapa salah ketik yang akan terjadi pada setiap putaran? Salin Tabel A ke buku dengan kolom: putaran, huruf tersalin, salah sebelum diperiksa korektor, salah setelah diperbaiki, jenis salah (ganti, hilang, atau sisip), dan salah per 100 huruf.
3. Putaran 1 (Polim tanpa korektor): saat guru memberi aba-aba, buka kartu resep A dan salin huruf demi huruf ke kotak selama 45 detik, secepat mungkin, tanpa menghapus dan tanpa melihat kembali hasilnya. Letakkan pensil begitu guru berkata “berhenti”. Bila hampir tidak ada yang salah di kelasmu, guru boleh memperpendek waktunya menjadi 30 detik untuk semua anak.
4. Putaran 2 (Polim membaca ulang): dengan batas waktu yang sama, salin kartu resep B ke lembar kedua. Kali ini, setiap selesai menulis satu kelompok tiga huruf, cocokkan kelompok itu dengan kartu dan perbaiki bila salah sebelum lanjut. Inilah lapis pertama, pembacaan ulang.

5. Lapis kedua (korektor): tukarkan lembar putaran 2 dengan pasanganmu. Dalam 60 detik, korektor mencocokkan salinan dengan kartu resep B dan melingkari setiap huruf yang salah dengan pensil merah, lalu mengembalikan lembarnya. Polim memperbaiki huruf yang dilingkari dengan menulis huruf yang benar di atasnya. Inilah perbaikan salah pasang: korektor percaya pada kartu asli, bukan pada salinan baru.
6. Hitung data tanpa batas waktu: cocokkan kedua lembarmu huruf demi huruf dengan kartunya. Catat banyak huruf tersalin, banyak salah pada putaran 1, banyak salah pada putaran 2 sebelum diperiksa korektor (semua huruf pensil yang salah, dilingkari atau tidak), dan banyak salah yang masih tersisa setelah diperbaiki. Bila satu huruf terlewat atau tersisip, semua huruf sesudahnya bergeser satu kotak: hitung sebagai satu salah jenis “hilang” atau “sisip”, lalu catat berapa kelompok tiga huruf sesudahnya yang ikut kacau. Hitung salah per 100 huruf = banyak salah ÷ huruf tersalin × 100, dan kumpulkan rata-rata kelas di papan tulis.
7. Bagian B (lab maya, ±35 menit): buka lab maya di Bab 37.3. Untuk baris 1–9 tabel, pilih contoh dari menu “Contoh dari pasien”. Sebelum membaca hasilnya, tulis dugaan jenis mutasinya. Lalu catat kodon dan perubahan hurufnya, perubahan asam amino pada keterangan, panjang protein pada batang “setelah mutasi”, dan akibat yang dijelaskan lab maya.
8. Untuk baris 10–12, pilih “buatanku sendiri”. Baris 10: kodon 6, huruf ke-3, ganti menjadi T. Baris 11: kodon 121, huruf ke-1, ganti menjadi T (geser penggeser kodon perlahan atau pakai tombol panah papan ketik). Baris 12: masukkan satu salah ketik dari salinanmu di Bagian A. Ingat, resep A adalah kodon 1–20 dan resep B kodon 21–40, jadi pilih nomor kodonnya, huruf seberapa, dan jenis perubahannya; bila huruf yang tersisip bukan A atau G, pilih salah satunya.
9. Bagian C (studi kasus, ±20 menit): baca tiga kartu kasus rekaan. Kasus 1: Adi (9 tahun) sangat mudah terbakar matahari, wajahnya penuh bercak, dan sudah dua kali dioperasi karena kanker kulit. Kasus 2: dalam keluarga Bu Wati, ayah, kakak, dan adiknya terkena kanker usus besar atau kanker rahim sebelum usia 50 tahun. Kasus 3: Bu Ratna terkena kanker ovarium, kakaknya terkena kanker payudara pada usia 36 tahun, dan pemeriksaan genetik menemukan salinan BRCA1 yang rusak. Gunakan peta tim korektor di Bab 37.4 dan tabel kelainan di Bab 37.7 untuk menentukan tim yang mogok, luka yang menumpuk, dan cara mencegah atau mengobatinya.
10. Pilihan (±5 menit, bersama guru): masukkan beberapa manik-manik UV ke dalam dua kantong plastik bening. Oleskan tabir surya merata di permukaan luar satu kantong, lalu letakkan kedua kantong di bawah sinar matahari di dekat jendela atau di halaman selama 1–2 menit. Bandingkan warnanya. Manik-manik hanya menunjukkan adanya sinar UV yang tidak terlihat; sinar yang sama dapat membuat dimer timin di DNA sel kulit.
11. Rangkum temuan kelompok di kertas plano: data kelas Bagian A, tiga temuan terpenting dari lab maya, dan pasangan kasus dengan tim korektornya. Jawab pertanyaan, tulis kesimpulan, lalu bereskan meja dan kembalikan kartu resep ke guru.

E

Tabel pengamatan lab maya gen HBB (Bab 37.3). Kodon 1 = kodon sesudah ATG; protein globin beta normal 146 asam amino

Mutasi yang diuji	Dugaan jenis mutasi	Kodon dan perubahan huruf	Perubahan asam amino	Panjang protein (asam amino)	Jenis mutasi dan akibat menurut lab maya
1 · kodon 6 GAG→GAA					
2 · HbS · kodon 6 GAG→GTG					
3 · HbE · kodon 26 GAG→AAG					
4 · Hb Leiden · hilang satu kodon					
5 · kodon 15 TGG→TAG					
6 · kodon 17 AAG→TAG					
7 · kodon 35 –C					
8 · kodon 41/42 –TTCT					
9 · kodon 8/9 +G					
10 · buatanku: kodon 6, huruf ke-3 → T					
11 · buatanku: kodon 121, huruf ke-1 → T					
12 · salah ketik dari salinanku					

F Pertanyaan diskusi

1. Gunakan Tabel A dan data kelas. Bandingkan salah per 100 huruf pada putaran 1, putaran 2 sebelum diperiksa korektor, dan putaran 2 setelah diperbaiki. Lapis mana yang paling banyak mengurangi salah ketik, dan apa “harga” yang dibayar Polim ketika membaca ulang (lihat banyak huruf tersalin)? Sebutkan dua keterbatasan percobaan ini dan cara memperbaikinya.

2. Dalam percobaan, korektor tahu huruf mana yang benar karena memegang kartu resep asli. Di dalam sel, apa yang berperan sebagai “kartu resep asli” bagi pembacaan ulang dan perbaikan salah pasang? Hubungkan dengan angka di Bab 37.1: polimerase salah sekitar 1 per 10.000–100.000 basa, tetapi kesalahan akhirnya hanya sekitar 1 per 1 miliar basa.

3. Gunakan baris 1–4 dan 10 tabel lab maya. Mengapa baris 1 tidak mengubah protein, sedangkan baris 2 dan 10 sama-sama mengganti satu huruf kodon 6 tetapi akibatnya diduga berbeda? Apa yang istimewa pada HbE (baris 3) dibandingkan mutasi salah arti biasa? Mengapa Hb Leiden, yang kehilangan tiga huruf, menghasilkan protein yang hampir normal?

4. Gunakan baris 5–9 dan 11. Urutkan panjang proteinnya dari yang terpendek. Mengapa kehilangan satu huruf (baris 7) atau empat huruf (baris 8) menghasilkan protein yang pendek dan kacau, padahal kehilangan tiga huruf (baris 4) tidak? Mengapa baris 11 menghasilkan protein yang jauh lebih panjang daripada baris 6, tetapi lab maya menyebutnya tetap berbahaya?

5. Bandingkan salah ketik di salinanmu (Bagian A) dengan hasil baris 12. Jenis salah ketik mana yang paling banyak membuat kelompok tiga huruf sesudahnya kacau, di kertas maupun di lab maya? Lalu jawab pertanyaan Bima di stimulus: mengapa Laras sakit berat, sedangkan kedua orang tuanya yang masing-masing membawa satu salah ketik tetap sehat? Apakah mutasi Laras termasuk mutasi germinal atau somatik?

6. Untuk ketiga kasus di Bagian C, tentukan tim korektor yang mogok, jenis luka yang menumpuk, dan satu langkah pencegahan atau pengobatan. Mengapa kanker pada kasus 2 dan 3 muncul pada usia muda, padahal setiap sel masih punya satu salinan gen yang normal? Bila demo manik-manik UV dilakukan, apa hubungannya dengan kasus 1?

G Kesimpulan

Tuliskan kesimpulanmu tentang salah ketik di perpustakaan sel: dari mana salah ketik datang, mengapa letak dan jumlah huruf yang berubah menentukan akibatnya pada protein (senyap, salah arti, tanpa arti, pergeseran bingkai baca, atau hilangnya satu kodon), bagaimana lapis-lapis tim korektor menekan kesalahan, apa yang terjadi bila salah satu tim mogok, dan langkah apa yang dapat kamu lakukan untuk menjaga perpustakaanmu sendiri.

H Refleksi diri

1. Hal yang paling mengejutkan bagi saya dari lab maya globin beta adalah ... karena ...

2. Saat menjadi Polim atau korektor, saya merasakan bahwa ... dan itu mirip dengan kerja sel karena ...

3. Satu kebiasaan untuk mengurangi serangan dari luar terhadap DNA yang akan saya mulai atau pertahankan adalah ...

✓ Untuk guru: kunci jawaban pertanyaan diskusi

1. Data setiap kelas berbeda, tetapi polanya biasanya sama: putaran 1 paling banyak salah (misalnya beberapa salah per 100 huruf), putaran 2 sebelum diperiksa korektor lebih sedikit, dan putaran 2 setelah diperbaiki paling sedikit, sering 0–1 per 100 huruf. Pembacaan ulang mencegah sebagian besar salah sejak awal, dan korektor menangkap sebagian salah yang masih lolos; karena setiap lapis menyaring sisa salah dari lapis sebelumnya, pengaruhnya berlipat. Harganya adalah kecepatan: saat membaca ulang, huruf yang tersalin dalam 45 detik biasanya lebih sedikit. Di dalam sel pun perbaikan butuh waktu, sehingga p53 mengerem siklus sel sampai tim perbaikan selesai (Bab 37.7). Bila data kelasmu tidak menunjukkan pola ini, laporkan apa adanya dan bahas penyebabnya. Keterbatasan: urutan putaran selalu sama sehingga pada putaran 2 siswa sudah lebih terlatih; resep A dan B mungkin tidak sama sulitnya; korektor bisa terburu-buru; penghitungan salah oleh siswa sendiri bisa keliru; dan jumlah huruf serta ulangannya sedikit. Perbaikan: separuh kelas mengerjakan putaran dengan urutan terbalik, resep ditukar secara acak, percobaan diulang beberapa kali, dan salah dihitung oleh orang ketiga yang tidak tahu lembar itu berasal dari putaran mana.
2. Di dalam sel, “kartu resep asli” adalah untai cetakan, yaitu untai lama yang dipakai saat DNA difotokopi. Pada pembacaan ulang, Polim memeriksa apakah basa yang baru dipasangnya berpasangan benar dengan basa cetakan (A dengan T, G dengan C); bila salah, ia mundur satu langkah, memotong basa itu dengan “gunting” di tubuhnya sendiri, lalu memasang basa yang benar. Pada perbaikan salah pasang, MSH2 menjepit DNA di tempat yang tidak cocok, MLH1 memanggil gunting, lalu sepotong untai baru dibuang dan ditulis ulang memakai untai lama sebagai cetakan. Tim ini harus tahu untai mana yang baru, karena yang dibuang harus salinannya, sama seperti korektor yang memercayai kartu, bukan salinan temannya. Hitungannya: bila polimerase salah 1 per 10.000 basa, pembacaan ulang memperkecilnya sekitar 100 kali dan perbaikan salah pasang sekitar 1.000 kali lagi, sehingga kesalahan akhir sekitar $1 \text{ per } 10.000 \times 100 \times 1.000 = 1 \text{ miliar basa}$. Seperti di kelas, kerja berlapis mengalikan ketelitian.

3. Baris 1: kodon 6 GAG→GAA tetap asam glutamat, protein 146 asam amino; mutasi senyap, karena satu asam amino bisa punya beberapa kodon dan huruf ketiga kodon sering “longgar” (Bab 4). Baris 2 (HbS): GAG→GTG mengganti asam glutamat (bermuatan negatif) dengan valin (tidak suka air), protein tetap 146 asam amino; mutasi salah arti, dan lab maya menyebut sifat kedua asam amino berbeda sehingga lipatan atau kerja protein lebih mungkin terganggu. Valin membuat molekul hemoglobin saling menempel saat kekurangan oksigen sehingga eritrosit menjadi sabit. Baris 10: GAG→GAT mengganti asam glutamat dengan asam aspartat, keduanya bermuatan negatif, protein 146 asam amino; juga salah arti, tetapi lab maya menyebut sifatnya mirip sehingga akibatnya mungkin ringan. Jadi akibat mutasi salah arti bergantung pada seberapa berbeda sifat asam amino pengganti. Baris 3 (HbE): GAG→AAG mengganti asam glutamat dengan lisin (bermuatan positif), protein 146 asam amino; selain salah arti, perubahan ini membuka tanda sambungan palsu sehingga sebagian mRNA disunting keliru dan globin beta yang terbentuk berkurang. Baris 4 (Hb Leiden): tiga huruf hilang mulai kodon 6, sehingga satu asam glutamat hilang tetapi kodon sesudahnya tetap terbaca benar; protein 145 asam amino. Karena yang hilang tepat satu kodon, bingkai baca tidak bergeser; hemoglobinnya hanya sedikit kurang stabil.
4. Hasil lab maya: baris 5 (kodon 15 TGG→TAG) triptofan menjadi STOP, protein 14 asam amino; baris 6 (kodon 17 AAG→TAG) lisin menjadi STOP, protein 16 asam amino; baris 9 (kodon 8/9 +G) STOP palsu di kodon 22, protein 21 asam amino, 12 di antaranya keliru; baris 8 (kodon 41/42 –TTCT) STOP palsu di kodon 59, protein 58 asam amino, 18 di antaranya keliru; baris 7 (kodon 35 –C) STOP palsu di kodon 60, protein 59 asam amino, 23 di antaranya keliru; baris 11 (kodon 121 GAA→TAA) STOP, protein 120 asam amino. Urutan dari yang terpendek: 14, 16, 21, 58, 59, lalu 120 asam amino, dibandingkan 146 pada protein normal. Resep dibaca per tiga huruf: kehilangan satu atau empat huruf (bukan kelipatan tiga) atau sisipan satu huruf membuat semua kodon sesudahnya terbaca salah sampai bertemu STOP palsu, sedangkan kehilangan tepat tiga huruf hanya membuang satu kodon. Untuk baris 5–9, lab maya menjelaskan bahwa mRNA dengan STOP sedini itu biasanya dihancurkan sistem pemeriksa mutu sehingga globin beta hampir tidak terbentuk: talasemia beta-nol (β^0). STOP baris 11 terletak dekat ujung resep sehingga mRNA lolos dari penghancuran; globin pendek yang tidak stabil terbentuk dan justru merusak eritrosit. Jadi protein yang lebih panjang tidak selalu lebih aman.

5. Pada salinan kertas maupun di lab maya, huruf yang hilang atau tersisip membuat semua kelompok tiga huruf sesudahnya kacau, sedangkan huruf yang diganti hanya mengubah satu kelompok. Contoh: bila huruf ke-2 kodon 7 terlewat, lab maya menunjukkan STOP palsu di kodon 18 dan protein hanya 17 asam amino, 11 di antaranya keliru; bila huruf ke-2 kodon 7 tertulis C, bukan A, kodon GAG menjadi GCG dan asam glutamat diganti alanin, protein tetap 146 asam amino. Hasil siswa boleh berbeda menurut salah ketiknya, asalkan sesuai lab maya. Laras membawa salah ketik di kedua salinan gen HBB. Salinan dari ayah (–TTCT) tidak menghasilkan globin beta, karena bingkai bacanya bergeser sampai STOP palsu di kodon 59 dan mRNA-nya dihancurkan. Salinan dari ibu (HbE) menghasilkan globin beta yang asam aminonya berganti dan jumlahnya berkurang karena sebagian mRNA disunting keliru. Akibatnya globin beta yang berfungsi sangat sedikit dan Laras menderita talasemia HbE/beta yang berat. Kedua orang tuanya masing-masing masih punya satu salinan normal yang membuat cukup globin beta, sehingga mereka hanya pembawa sifat dan biasanya tanpa gejala. Mutasi Laras adalah mutasi germinal: diwariskan lewat sperma dan sel telur, ada di setiap sel tubuhnya, dan bukan akibat lingkungan atau tertular.
6. Kasus 1 (Adi): xeroderma pigmentosum; tim perbaikan eksisi nukleotida (gen XPA–XPG) mogok, sehingga dimer timin dan luka besar akibat UV menumpuk dan kanker kulit muncul sejak anak-anak. Pencegahan: perlindungan ketat dari matahari dengan baju, topi, kacamata, dan tabir surya, menghindari kegiatan di luar saat matahari terik, serta pemeriksaan kulit rutin. Kasus 2 (keluarga Bu Wati): sindrom Lynch; tim perbaikan salah pasang (MLH1, MSH2, MSH6, PMS2) mogok, sehingga salah pasang dan huruf yang tersisip atau terlewat setelah fotokopi menumpuk. Langkahnya: konseling genetik, skrining usus besar lebih awal dan lebih sering, dan bila tumornya dMMR, obat penghambat PD-1 dapat sangat efektif. Kasus 3 (Bu Ratna): mutasi BRCA1; rekombinasi homolog mogok, sehingga putus dua untai tidak dapat disalin dengan benar dari kromatid saudara dan lebih banyak disambung dengan cara yang rawan salah. Langkahnya: konseling genetik dan skrining payudara serta ovarium bagi keluarganya; obat penghambat PARP membunuh sel kanker yang sudah kehilangan jalan BRCA (letalitas sintetik). Usia muda dijelaskan oleh hipotesis dua pukulan: pukulan pertama sudah dibawa sejak lahir di setiap sel, sehingga cukup satu mutasi somatik lagi di salah satu sel untuk merusak salinan kedua. Demo manik-manik: manik-manik di kantong tanpa tabir surya biasanya berubah warna lebih kuat daripada di kantong bertabir surya, yang mungkin hanya sedikit berubah karena tabir surya tidak menahan seluruh UV. Ini menunjukkan bahwa sinar UV tidak terlihat tetapi ada, dan pelindung mengurangi jumlah yang sampai ke kulit; bagi Adi, setiap paparan UV menambah dimer timin yang tidak dapat dipotong selnya.



Rubrik penilaian

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Pelaksanaan fotokopi kilat dan pengumpulan data	Dugaan ditulis sebelum mulai; aturan setiap putaran dipatuhi (batas waktu sama, tanpa menghapus pada putaran 1, membaca ulang per kelompok pada putaran 2, korektor memakai kartu asli); salah ketik dihitung teliti beserta jenisnya, salah per 100 huruf dihitung benar, dan data dikumpulkan ke papan kelas.	Ketiga tahap dikerjakan dan data lengkap, tetapi ada satu kekeliruan kecil, misalnya jenis salah ketik tidak dibedakan atau satu hitungan per 100 huruf keliru.	Satu tahap tidak dikerjakan sesuai aturan, misalnya putaran 1 dikerjakan sambil menghapus, atau banyak salah hanya ditaksir tanpa dicocokkan dengan kartu.	Kegiatan tidak selesai atau data tidak dicatat.
Penggunaan lab maya dan pencatatan tabel	Kedua belas baris tabel terisi lengkap dan sesuai lab maya, termasuk kodon dan perubahan huruf, perubahan asam amino, panjang protein, serta akibatnya; dugaan ditulis sebelum membaca hasil; salah ketik dari salinan sendiri dimasukkan dengan benar.	Tabel hampir lengkap dan tepat, tetapi satu atau dua isian keliru, misalnya panjang protein dua mutasi pergeseran bingkai baca tertukar.	Separuh tabel kosong atau banyak isian tidak sesuai dengan lab maya.	Lab maya tidak dipakai atau tabel hampir kosong.
Penafsiran data dan pemahaman konsep mutasi serta perbaikan DNA	Hasil dijelaskan dengan data: beda mutasi senyap, salah arti, tanpa arti, dan pergeseran bingkai baca; aturan kelipatan tiga; pengaruh sifat asam amino; keistimewaan HbE; beda STOP dini yang mRNA-nya dihancurkan dengan STOP dekat ujung; untai cetakan sebagai dasar kerja korektor; serta pasangan ketiga kasus dengan NER, MMR, dan HR beserta hipotesis dua pukulan.	Penjelasan tepat dan memakai data, tetapi satu konsep, misalnya aturan kelipatan tiga atau hipotesis dua pukulan, belum dijelaskan.	Penjelasan umum tanpa data, atau ada salah konsep, misalnya menganggap makin banyak huruf hilang selalu makin parah, atau mutasi pada sel kulit dapat diturunkan kepada anak.	Penjelasan tidak sesuai dengan data maupun konsep.

Aspek	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1
Kesimpulan, komunikasi, dan sikap ilmiah	Kesimpulan menjawab pertanyaan Bima dengan bukti dari Bagian A, B, dan C; data yang berbeda dari dugaan dilaporkan dengan jujur; keterbatasan percobaan disebutkan; privasi dan perasaan teman dihormati saat membahas penyakit keturunan; dan aturan keselamatan dipatuhi.	Kesimpulan tepat dan jujur, tetapi keterbatasan percobaan belum disebutkan.	Kesimpulan hanya mengulang hasil tanpa penjelasan, atau data diubah agar cocok dengan dugaan.	Kesimpulan tidak ada, bertentangan dengan data, atau terjadi pelanggaran keselamatan atau privasi teman.

Nilai akhir = jumlah skor ÷ (jumlah aspek × 4) × 100.