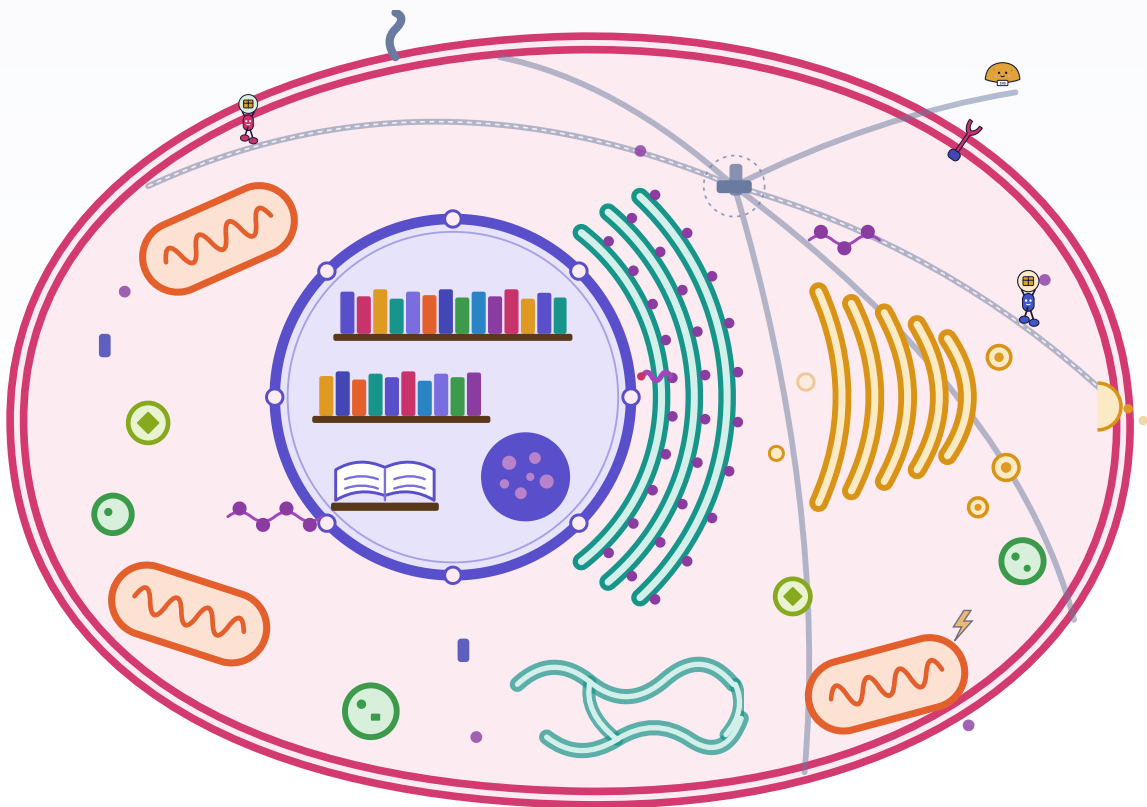


Negara Bernama Sel

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

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	9
BAB 3	Juru Salin Berpasangan Menyalin Resep Rahasia Pempek · Permainan peran berpasangan + LKPD digital · 45 menit	13
BAB 4	Lomba Dapur Ribo: Merangkai Protein PEMPEK Dapur Ribosom Memasak Pempek · Permainan kartu (simulasi translasi) + LKPD digital · 45 menit	16
BAB 5	Resi Paket Insulin: Simulasi Rantai Pengiriman Protein Packing, Ekspedisi & Pelabuhan · Simulasi bermain peran + studi kasus · 2 × 45 menit	19
BAB 6	Kunci dan Gembok: Surat Mencari Kotak Surat Surat-Menyurat Antarsel · Permainan simulasi · 2 × 45 menit	22
BAB 7	Gula Darah Naik-Turun Insulin, Pintu Glukosa & Diabetes · LKPD digital · eksperimen maya · 2 × 45 menit	26
BAB 8	Balon Ragi & Buku Kas ATP PLN Negara Sel · Eksperimen sederhana + permainan kelompok · 2 × 45 menit	30
BAB 9	Busa Ajaib dari Hati Ayam Dinas Kebersihan & Daur Ulang · Eksperimen laboratorium sederhana · 45 menit	34
BAB 10	Kentang Lembek, Kentang Kaku Perbatasan & Jalan Raya · Eksperimen sederhana · 45 menit + 1 malam	38
BAB 11	Berburu Mitosis di Ujung Akar Bawang Negara Membelah Diri · Praktikum mikroskop + model plastisin · 2 × 45 menit (akar ditumbuhkan 3–4 hari sebelumnya)	42
BAB 12	Kaus Kaki Ayah, Kaus Kaki Ibu Warisan Dua Edisi · Simulasi model + LKPD digital (kalkulator Punnett) · 2 × 45 menit	46
BAB 13	Tiga Kementerian dari Satu Bola Plastisin Membangun Negara Baru · Pembuatan model + LKPD digital (kalender kehamilan) · 2 × 45 menit	50
BAB 14	Poster Buronan: 8 Pelanggaran Sel Pemberontak Sel yang Memberontak · Proyek poster · 2 × 45 menit	54
BAB 15	Bukit Waddington dari Kardus dan Kelereng Warga Serba Bisa · Model & diskusi · 2 × 45 menit	58
BAB 16	Operasi Penangkapan Virus dan Rahasia Buku KIA Tentara Negara Sel · Bermain peran & analisis dokumen · 2 × 45 menit	62

BAB 17	Kartu Nasib Sel dan Klinik Luka Maya Terluka, Gugur, lalu Pulih · Sortir kartu + LKPD digital (simulasi penyembuhan luka) · 2 × 45 menit	66
BAB 18	Pabrik Yoghurt Mini: Bekerja Sama dengan Bakteri Asam Laktat Desa Tanpa Perpustakaan · Praktikum · 2 × 45 menit (+ inkubasi 1 malam)	71
BAB 19	Flashdisk dari Kertas dan Jejak Glitter Penyusup Pembawa Flashdisk · Model & simulasi · 2 × 45 menit	75
BAB 20	Mengintip Waduk Sel: Plasmolisis pada Daun Rhoeo dan Bawang Merah Negara Berbenteng · Praktikum · 2 × 45 menit	79
BAB 21	Mencari Faktor Pembatas di Akuarium Hydrilla PLTS & Dapur Gula · Eksperimen maya · 2 × 45 menit	83
BAB 22	Adu Cepat Kabel Kilat: Waktu Reaksi dan Gerak Refleks Jaringan Kabel Kilat · Praktikum · 2 × 45 menit	86
BAB 23	Sisir Sarkomer dan Jepitan Jemuran: Merasakan Kerja Tim Tarik Tambang Tim Tarik Tambang · Praktikum & pemodelan · 2 × 45 menit	90
BAB 24	Membaca Nilai Ct: Detektif Resep Virus di Mesin qPCR Mesin Fotokopi Resep · Eksperimen maya · 2 × 45 menit	94
BAB 25	Pelat ELISA dari Gelas Plastik: Simulasi Uji Warna dan Membaca Rapid Test Anjing Pelacak Protein · Praktikum simulasi · 2 × 45 menit	97
BAB 26	Perjalanan Resep Latihan: Bermain Peran Vaksin mRNA dan Cek Fakta Hoaks Resep Latihan untuk Tentara · Bermain peran & literasi sains · 2 × 45 menit	101
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)	105
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	110
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	115
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	120
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	124

BAB 32	Detektif Kampung Usus: Lab Maya Mikrobiota, Detektif Label Produk, dan Catatan Serat Tiga Hari	128
	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	134
	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	140
	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	145
	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	150
	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	155
	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 ...)

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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 2 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 ...

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 genetika 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 ...

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 ...

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 ...

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 × 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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 7 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 isian 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 ...

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 ...

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 ...

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 ...

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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 12 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 ...

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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 14 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 ...

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 ...
-
-

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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 17 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 18 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 ...

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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 20 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 ...

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
- Plastisin dua warna
- Meja dan kursi yang cukup tinggi sehingga kaki bisa menggantung
- 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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 22 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 ...
-
-

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 ...

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 praktikumu 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 ...

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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 26 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 27 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 ...

CELLPEDIA • LKPD BAB 28 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 O₂): buka Lab maya kurva muatan hemoglobin di Bab 29.5. Salin tabel kecil di buku tulis dengan baris “HbA normal”, “HbA + CO₂ & asam tinggi”, dan “keracunan CO”, serta kolom “terisi di paru”, “tersisa di jaringan”, dan “dilepas ke sel” untuk PO₂ 40 mmHg dan 20 mmHg.
9. Pilih hemoglobin dewasa (HbA) tanpa keadaan tambahan. Geser PO₂ jaringan ke 40 mmHg (istirahat), lalu ke 20 mmHg (otot bekerja keras), dan catat angkanya dari kotak pesan. Ulangi dengan tombol “CO₂ & 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 O₂ 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 ...

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 ...

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 ...

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 butir, 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 ...

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 ...

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?

CELLPEDIA • LKPD BAB 34 • © 2026 DR. RACHMAT HIDAYAT, M.SC, PHD • DIDUKUNG OLEH AURUMGEN ACADEMY.

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 ...

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 ...

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.

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 ...
