Paru-paru (Pulmo)

Ketika mendengar kata "paru-paru," sebagian besar orang langsung mengaitkannya dengan pernapasan. Anggapan itu tidak salah, namun belum lengkap. Paru-paru sesungguhnya memiliki dua peran sekaligus: sebagai organ pernapasan *dan* sebagai organ ekskresi. Sebagai organ ekskresi, paru-paru bertugas mengeluarkan zat-zat sisa hasil metabolisme yang tidak lagi dibutuhkan oleh tubuh. Inilah mengapa paru-paru masuk ke dalam sistem ekskresi manusia, bersama ginjal, kulit, dan hati.

Zat sisa yang dikeluarkan paru-paru adalah **karbon dioksida (CO_2)** dan **uap air (H_2O)**. Keduanya bukan zat asing dari luar tubuh, melainkan produk yang dihasilkan oleh tubuh itu sendiri dari dalam sel. Jika dibiarkan menumpuk tanpa dibuang, zat-zat ini dapat mengganggu keseimbangan kimia tubuh dan membahayakan fungsi organ lainnya. Oleh karena itu, pengeluarannya melalui paru-paru bukan sekadar "sampingan" pernapasan, melainkan sebuah fungsi fisiologis yang penting.

Untuk memahami dari mana CO_2 dan uap air itu berasal, kita perlu melihat ke tingkat sel. Setiap sel tubuh kita menjalankan proses yang disebut **respirasi seluler** yaitu pemecahan glukosa dengan bantuan oksigen untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP. Proses inilah yang menghidupi semua aktivitas sel, mulai dari kontraksi otot hingga kerja saraf. Namun, respirasi seluler tidak menghasilkan energi saja; ia juga menghasilkan CO_2 dan H_2O sebagai produk sampingan yang harus segera dikeluarkan dari tubuh.

Paru-paru dapat menjalankan fungsi ekskresi ini karena didukung oleh strukturnya yang sangat khas. Di dalam paru-paru terdapat jutaan kantung udara kecil yang disebut **alveolus**. Dinding alveolus sangat tipis dan dikelilingi oleh jaringan kapiler darah yang rapat (Ramadhani, K., & Widyaningrum, R. 2022). Kondisi inilah yang memungkinkan pertukaran zat terjadi dengan cepat dan efisien antara darah dan udara. Tanpa struktur alveolus yang demikian, CO_2 dan uap air tidak akan bisa berpindah keluar dari tubuh dengan optimal.

Dengan demikian, paru-paru adalah organ yang berada di persimpangan dua sistem sekaligus: sistem pernapasan dan sistem ekskresi. Keduanya berjalan beriringan dalam satu organ yang sama. Memahami peran ganda paru-paru ini menjadi fondasi penting sebelum kita menyelami lebih dalam pertanyaan yang sesungguhnya: bagaimana tepatnya CO_2 dan uap air bisa sampai ke alveolus dan dilepaskan keluar? Pertanyaan itulah yang akan menjadi inti penyelidikanmu berikutnya.

LIVEWORKSHEETS

Fase 1	ORIENTASI MASALAH



BioJoy

Hembuskan napasmu ke punggung tanganmu. Apa yang kamu rasakan? Sekarang hembuskan ke kaca atau permukaan datar yang dingin di sekitarmu. Apa yang terjadi?. Guru biologimu mungkin pernah berkata: "Setiap hari, paru-paru kalian membuang sekitar 400 mL air dalam bentuk uap hampir setara dua gelas air minum". Apakah pernyataan itu mengejutkanmu?

Napas yang Berkabut

Zahra sedang mengikuti lomba menulis karya ilmiah di sebuah gedung dengan suhu ruangan yang sangat dingin karena penggunaan pendingin udara (AC). Saat menunggu giliran, ia tanpa sengaja menghembuskan napas ke kaca jendela di dekatnya. Ia terkejut ketika melihat permukaan kaca tersebut langsung menjadi berkabut. Beberapa saat kemudian, ketika Zahra keluar dari gedung pada pagi hari yang dingin, ia kembali mengamati bahwa napasnya tampak seperti "asap" yang keluar dari mulutnya.

Teman sebangkunya menganggap fenomena tersebut sebagai hal yang biasa dan menyatakan bahwa itu hanya uap air. Namun, Zahra merasa fenomena tersebut menarik untuk dipahami lebih dalam. Ia mulai mempertanyakan asal-usul uap yang terlihat tersebut. Apakah uap itu hanya kelembapan yang terbawa saat bernapas, ataukah merupakan zat tertentu yang dihasilkan oleh proses di dalam tubuh?

Dalam diskusi bersama teman-temannya, muncul berbagai pendapat yang berbeda. Ada yang beranggapan bahwa hal tersebut hanya dipengaruhi oleh suhu lingkungan yang dingin, sementara yang lain menduga bahwa paru-paru mungkin berperan dalam mengeluarkan zat tertentu selain karbon dioksida. Perbedaan pendapat ini membuat Zahra semakin bingung. Selama ini, Zahra memahami bahwa paru-paru berfungsi sebagai organ pertukaran gas, yaitu mengambil oksigen dan mengeluarkan karbon dioksida. Namun, fenomena yang ia amati membuatnya mulai mempertanyakan apakah paru-paru juga memiliki peran lain?.



Biomind Analisis Awal Kasus

Berdasarkan kasus "Napas yang Berkabut", diskusikan bersama kelompokmu lalu jawablah pertanyaan berikut berdasarkan pengetahuan awal yang kalian miliki.

Berdasarkan fenomena napas yang tampak seperti "asap" pada kondisi udara dingin, terdapat perbedaan pendapat mengenai asal dan maknanya dalam tubuh. Menurutmu, dari mana asal uap yang terlihat saat seseorang menghembuskan napas di udara dingin? Jelaskan berdasarkan pengetahuan yang kalian miliki.

LIVEWORKSHEETS

Apakah uap tersebut hanya dipengaruhi oleh suhu lingkungan, atau berkaitan dengan proses yang terjadi di dalam tubuh?

Perumusan Masalah

Setelah menganalisis fenomena tersebut, sekarang saatnya kamu menyusun masalah yang akan diselidiki. Diskusikan bersama kelompokmu, kemudian rumuskan satu pertanyaan utama yang akan kamu selidiki.

Ketentuan rumusan masala haru diawali dengan kata "Bagaimana" atau "Mengapa"

Rumusan Masalah:

Fase 2 MENGORGANISASI PESERTA DIDIK

Jejak Belajar

Sebelum memulai penyelidikan, diskusikan bersama kelompokmu tentang apa yang sudah kalian pahami dan hal-hal yang masih membuat kalian penasaran. Setelah seluruh penyelidikan selesai, refleksikan bagaimana pemahaman kalian berkembang.

Yang sudah kami Pahami	Yang Ingin Kami Selidiki	Pemahaman Baru Yang Kami Dapatkan
Tuliskan pengetahuan awal, pengalaman atau dugaan kelompokmu tentang materi yang dipelajari.	Tuliskan pertanyaan atau hal-hal yang ingin kalian cari tahu melalui penyelidikan	Tuliskan pemahaman baru yang kalian peroleh setelah penyelidikan selesai. Jelaskan juga jika ada pendapat awal yang berubah (diisi pada fase 5)

LIVEWORKSHEETS

Berdasarkan Rumusan masalah yang dibuat, diskusikan hipotesis apa yang tepat untuk menjawab rumusan masalah tersebut pada kolom berikut!.

Hipotesis Tim

Hipotesis Kami tentang Kasus Zahra	Alasan Ilmiah	Yang Akan Kami Selidiki

Pembagian Tugas Penyelidikan

Anggota	Fokus Penyelidikan

Fase 3 | MEMBIMBING PENYELIDIKAN INDIVIDUAL & KELOMPOK

Pada tahap ini, kamu akan melakukan penyelidikan untuk menguji hipotesis yang telah disusun. Gunakan berbagai sumber belajar seperti video, artikel ilmiah, atau buku untuk mengumpulkan informasi yang relevan. Diskusikan bersama kelompokmu, kemudian isilah tabel berikut secara sistematis dan berbasis bukti.

Penyelidikan 1: Asal dan Proses Terbentuknya Uap Napas

Sqan QR disamping lalu amati video yang tersedia. Kemudian catat informasi yang kamu temukan dalam kolom berikut berikut.

Berdasarkan video tersebut tuliskan proses ekskresi pada paru-paru pada kolom berikut.

LIVEWORKSHEETS

Isilah tabel berdasarkan hasil pengamatan video dan kajian sumber yang telah kamu lakukan. Jawaban harus berupa penjelasan yang logis dan didukung oleh sumber yang jelas.

Berdasarkan hasil analisismu, dari mana sebenarnya uap yang terlihat pada napas zahra berasal?

Apakah uap napas hanya terlihat pada saat berada di lingkungan dingin saja?

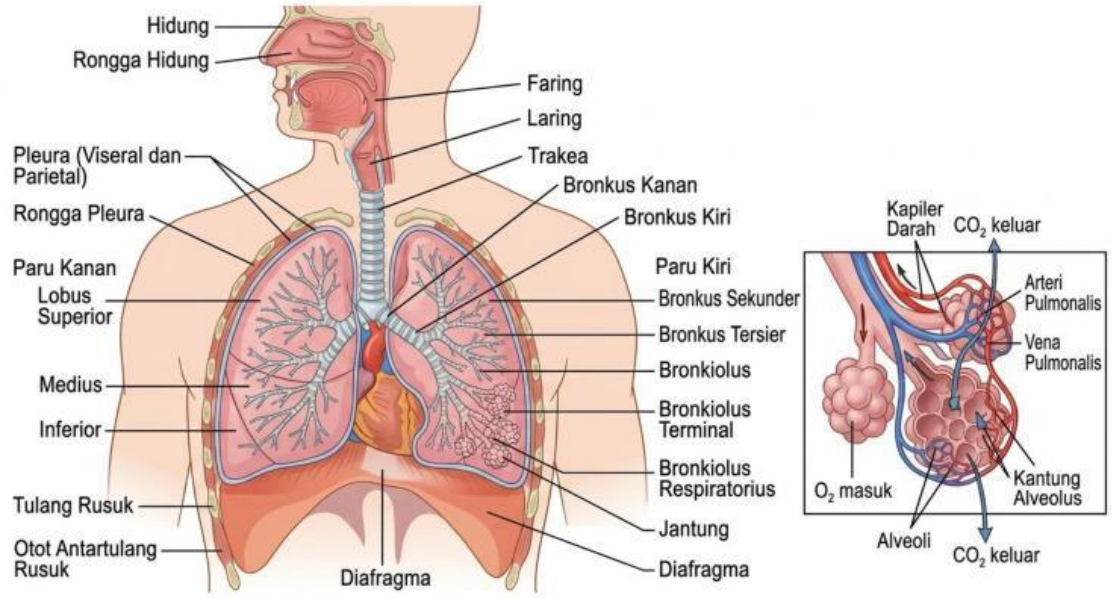
Bandingkan pemahaman awalmu dengan hasil penyelidikan yang telah dilakukan. Apakah terjadi perubahan pemahaman? Jelaskan

Penyelidikan 2: Peran Struktur Paru-Paru

Amati sumber belajar (video dan gambar) yang disediakan. Identifikasi bagain-bagian struktur paru-paru. Jelaskan peran struktur tersebut dalam proses pertukaran zat (CO_2 dan H_2O) pada tabel berikut.



LIVEWORKSHEETS



Tabel Analisis Struktur-Fungsi paru-paru dalam Ekskresi CO_2 dan H_2O.

Struktur Paru-Paru	Peran dalam Proses ekskresi CO_2 dan H_2O
Trakea	
Bronku dan Bronkiolus	
Bronkiolus terminal dan bronkiolus respiratorius	
alveolus	

Berdasarkan tabel yang telah kamu isi, pilihlah struktur paru-paru mana yang menurutmu paling berpengaruh pada proses pertukaran zat dan jelaskan!

Jika manusia hanya memiliki sedikit Alveolus tetapi ukurannya lebih besar, apakah proses pertukaran zat akan tetap optimal?

LIVEWORKSHEETS

Penyelidikan 3 ; Uap Napas sebagai Hasil Ekskresi



BioJoy

Saatnya kamu menjadi ilmuwan! Melalui dua eksperimen sederhana berikut, kamu akan mengumpulkan bukti langsung bahwa napas manusia mengandung uap air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2), yang merupakan hasil dari proses metabolisme dalam tubuh.

Eksperimen Mikro 1 — Membuktikan H_2O dalam Napas

Alat & Bahan:

1. Cermin / kaca bening / smartphone yang permukaannya dingin

Langkah Kerja:

1. Pastikan permukaan kaca/cermin dalam kondisi relative dingin
2. Hembuskan napas secara perlahan ke permukaan tersebut dari jarak ±5 cm.
3. Amati perubahan yang terjadi dalam 3-5 detik pertama
4. Diamkan selama ±30 detik, kemudian amati kembali.
5. Catat seluruh hasil pengamatan secara teliti.

Eksperimen Mikro 2 — Membuktikan CO_2 dalam Napas

Alat & Bahan:

1. Air putih dalam gelas bening
2. Sedotan
3. beberapa tetes indikator bromtimol biru / larutan air kapur (optional)

Langkah Kerja

1. tiupkan napas melalui sedotan ke dalam air selama 1-2 menit
2. amati perubahan yang terjadi pada air
3. jika menggunakan indicator :
    - bromtimol biru : amati perubahan warna
    - air kapur : amati terbentuknya kekeruhan
4. bandingkan dengan air yang tidak ditiup
5. catat hasil pengamatan secara teliti

Tabel Hasil dan analisis eksperimen

Eksperimen	Kondisi Awal (sebelum)	Perubahan yang Diamati	Interpretasi Ilmiah	Zat yang Terbukti Ada
Eksperimen 1 (H_2O)	Permukaan Kaca jernih	Permukaan kaca mnejadi berkabut lalu mengering	Uap air dari napas mengalami kondensasi saat mengenai permukaan dingin	H_2O
Eksperimen 2 (CO_2)	Air Jernih	Terjadi perubahan warna/kekeruhan	CO_2 bereaksi dengan air membentuk senyawa tertentu	CO_2

LIVEWORKSHEETS

Berdasarkan perubahan yang terjadi pada kedua eksperimen serta zat yang terbukti, apa Kesimpulan ilmiah yang dapat kamu Tarik tentang kandungan zat dalam udara yang dihembuskan manusia?

Misalkan kamu melakukan eksperimen ini setelah berlari sprint 400 meter. Prediksi dan jelaskan: apakah jumlah H_2O dan CO_2 yang kamu hembuskan akan lebih banyak atau lebih sedikit dibanding saat istirahat?

Fase 4 | MENGEMBANGKAN & MENYAJIKAN HASIL KARYA

Powerpoint/poster Paru-Paru Sebagai Organ Ekskresi

Berdasarkan seluruh hasil penyelidikan yang telah kamu lakukan, buatlah *powerpoint*/poster yang menjawab pertanyaan utama :" mengapa paru-paru termasuk organ ekskresi dan bagaimana paru-paru menghasilkan CO_2 dan H_2O

Poster wajib memuat informasi:

1. Gambar struktur organ paru-paru
2. Proses ekskresi pada paru-paru
3. Bukti eksperimen
4. Penyelesaian kasus "napas berkabut"
5. Kumpulkan poster pada tautan berikut : https://drive.google.com/drive/folders/1uesTanYV2eNF7xZGy6N2o84XCj47DuR8?usp=sharing

LIVEWORKSHEETS

Fase 5 ANALISIS, EVALUASI & REFLEKSI



BioMind

Jejak Belajar

Setelah seluruh penyelidikan selesai, refleksikan bagaimana pemahaman kalian berkembang

Yang sudah kami Pahami	Yang Ingin Kami Selidiki	Pemahaman Baru Yang Kami Dapatkan
Tuliskan pengetahuan awal, pengalaman atau dugaan kelompokmu tentang materi yang dipelajari.	Tuliskan pertanyaan atau hal-hal yang ingin kalian cari tahu melalui penyelidikan	Tuliskan pemahaman baru yang kalian peroleh setelah penyelidikan selesai. Jelaskan juga jika ada pendapat awal yang berubah

Kembali ke Kasus Zahra

Kembali ke pilihanmu sebelum penyelidikan: apakah kamu setuju bahwa uap napas Zahra hanya uap biasa, Setelah seluruh penyelidikan ? apa yang paling mengejutkan atau mengubah cara berpikirmu tentang paru-paru sebagai organ ekskresi?



BioMind

Refleksi Mendalam — Berpikir tentang Cara Berpikirmu Sendiri

Tidak ada jawaban yang salah. Yang dinilai adalah kejujuran dan kedalaman refleksimu. Tulis apa yang benar-benar kamu rasakan bukan yang kamu pikir ingin didengar guru.

Sebelum E-LKPD ini, bagaimana kamu memahami paru-paru? Konsep apa yang paling mengejutkan atau mengubah cara pandangmu? Kenapa konsep itu mengubahmu?

LIVEWORKSHEETS

Bagian mana dari penyelidikan ini yang paling menantang bagi kelompokmu? Strategi apa yang paling efektif membantu kalian memahaminya bukan strategi membaca, tapi strategi berpikir?

Aktivitas 4B : Evaluasi Klaim



BioJoy

Saatnya menguji seberapa kuat argumenmu! Evaluasi klaim-klaim berikut menggunakan bukti ilmiah dari penyelidikanmu.

Klaim	Benar/salah/Benar Sebagian	Argumen Ilmiah Kami
"Paru-paru bukan organ ekskresi ia hanya organ pernapasan yang mengeluarkan udara sisa."		
" Uap di napas dingin adalah uap dari air yang kita minum bukan dari metabolisme."		
"Semakin sering dan semakin dalam bernapas, semakin banyak CO_2 berbahaya yang dibuang sehingga semakin sehat."		
"Alveolus yang besar (sedikit tapi besar) lebih efisien daripada alveolus yang kecil dan banyak."		

LIVEWORKSHEETS

Tabel Refleksi Berpikir Kritis

Pertanyaan Refleksi	Jawaban Jujurku
Apa masalah inti dari kasus zahra yang berhasil kamu fokuskan hari ini? (1 kalimat, spesifik)	
Argumen ilmiah terkuat yang kamu gunakan dalam debat atau menjawab pertanyaan analisis?	
Kesimpulan paling mengejutkan yang kamu tarik dari seluruh penyelidikan?	
Faktor konteks apa yang paling penting kamu pertimbangkan dalam menganalisis kasus ini?	
Istilah ilmiah baru yang sudah kamu kuasai dengan baik? mana yang masih perlu diperkuat?	



Fakta Menakjubkan untuk Dibawa Pulang:

Setiap kali kamu menghembuskan napas, sekitar 200 mL CO_2 dan 16 mL H_2O verluar dari tubuhmu. Dalam satu hari, paru-parumu membuang hampir 400 LITER CO_2 seperti lebih dari 200 botol air mineral 2 liter! Dan ini dilakukan oleh sekitar 700 JUTA alveolus dengan total luas permukaan ±70 m^2 setara dengan lapangan bulu tangkis. Paru-Paru ia bekerja tanpa henti, setiap detik, selama kamu hidup.

LIVEWORKSHEETS