

A. Struktur dan Fungsi Sistem Ekskresi pada Manusia

Ayo, Kita Pelajari



- Ginjal
- Kulit
- Paru-paru
- Hati



Istilah Penting

- Ekskresi
- Defekasi
- Sekresi
- Ginjal
- Uretra
- Ureter
- Nefron
- Kulit
- Epidermis
- Dermis
- Hati
- Paru-paru
- Alveolus

Mengapa Penting?



Mempelajari materi ini akan membantumu memahami sistem ekskresi manusia, sehingga kamu lebih paham bagaimana proses pembuangan zat-zat yang tidak diperlukan tubuh

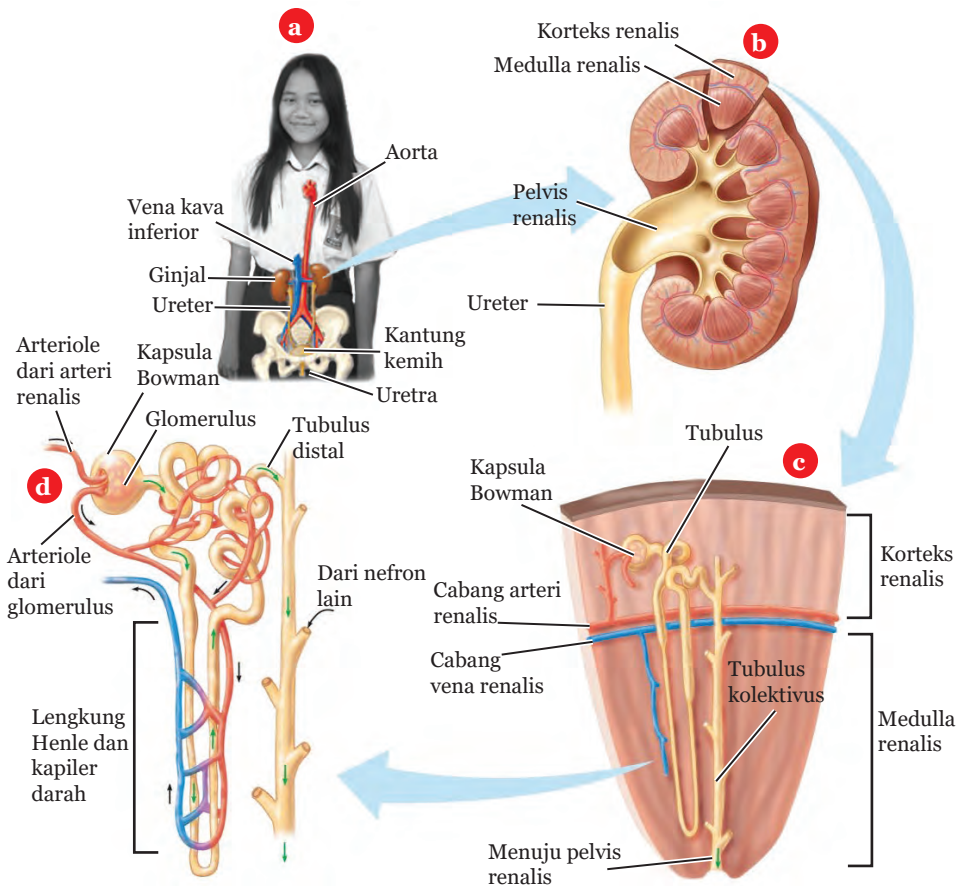
Setelah kita minum, bernapas, dan berlari ternyata banyak zat yang dikeluarkan tubuh. Proses pengeluaran zat-zat sisa metabolisme yang tidak diperlukan tubuh disebut **ekskresi**. Ekskresi diperlukan tubuh agar zat sisa tersebut tidak meracuni tubuh karena dapat merusak berbagai organ dalam tubuh bahkan dapat menyebabkan kematian. Sistem ekskresi pada manusia melibatkan beberapa organ ekskresi yaitu; ginjal, kulit, paru-paru, dan hati.

1. Ginjal

Apakah kamu mengetahui fungsi ginjal? Ginjal berfungsi untuk menyaring darah yang mengandung zat sisa metabolisme dari sel di seluruh tubuh. Ginjal terletak di kanan dan kiri tulang pinggang, yaitu di dalam rongga perut pada dinding tubuh bagian belakang (dorsal) (Gambar 9.2 **a**). Ginjal sebelah kiri letaknya lebih tinggi daripada ginjal sebelah kanan. Ginjal memiliki bentuk seperti biji kacang merah (Gambar 9.2 **b**). Ginjal berwarna merah karena banyak darah yang masuk ke dalam ginjal. Darah akan masuk ke dalam ginjal melalui pembuluh arteri besar dan akan keluar dari ginjal melalui pembuluh vena besar.

Apabila sebuah ginjal dipotong melintang, maka akan tampak tiga lapisan, seperti pada Gambar 9.2 **c**. Bagian luar disebut korteks renalis atau kulit ginjal, di bawahnya terdapat medula renalis, dan di

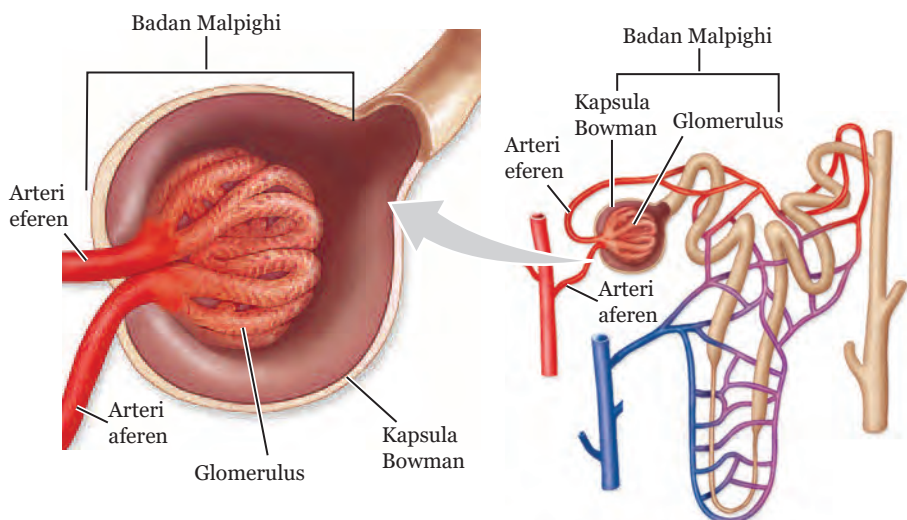
bagian dalam terdapat rongga yang disebut rongga ginjal atau pelvis renalis. Ginjal tersusun atas lebih kurang 1 juta alat penyaring yang disebut dengan nefron. Perhatikan Gambar 9.2 **d**!



Sumber: Reece *et al.* 2012

Gambar 9.2 Ginjal dan Struktur Penyusunnya

Nefron merupakan satuan struktural dan fungsional ginjal karena nefron merupakan unit penyusun utama ginjal dan unit yang berperan penting dalam proses penyaringan darah. Sebuah nefron terdiri atas sebuah komponen penyaring atau **badan Malpighi** yang dilanjutkan oleh saluran-saluran (tubulus). Setiap badan Malpighi mengandung gulungan kapiler darah yang disebut **glomerulus** yang berada dalam **kapsula Bowman**. Pada bagian inilah proses penyaringan darah dimulai. Perhatikan Gambar 9.3 agar kamu dapat melihat struktur badan Malpighi dengan lebih jelas.



Sumber: Longenbaker, 2011

Gambar 9.3. Struktur Badan Malpighi

Medula renalis (bagian tengah ginjal) tersusun atas saluran-saluran yang merupakan kelanjutan dari badan Malpighi dan saluran yang ada di bagian korteks renalis. Saluran-saluran itu adalah tubulus proksimal, lengkung Henle, tubulus distal, dan tubulus kolektifus (pengumpul) yang terdapat pada medula. **Lengkung Henle** adalah saluran ginjal yang melengkung pada daerah medula yang menghubungkan tubulus proksimal dengan tubulus distal. **Pelvis renalis** atau rongga ginjal berfungsi sebagai penampung urine sementara sebelum dikeluarkan melalui ureter. Untuk lebih memahami proses penyaringan yang terjadi di dalam ginjal, ayo kita lakukan aktivitas berikut ini.



Ayo, Kita Lakukan

Aktivitas 9.1 Model Penyaringan Darah dalam Ginjal

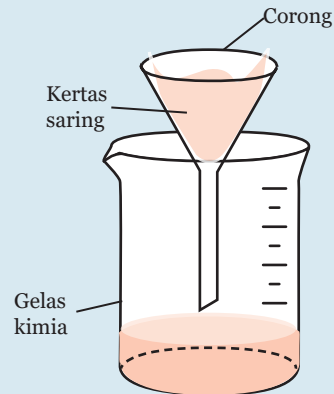
Apa yang kamu perlukan?

1. 500 mL air
2. 2 mL pewarna makanan warna merah
3. 1 sendok makan tepung terigu

4. 1 buah pengaduk
5. 2 buah gelas kimia ukuran 500 mL
6. 1 buah corong
7. 1 buah kertas saring

Apa yang harus kamu lakukan?

1. Sediakan 500 mL air lalu campurkan 5 tetes pewarna makanan ke dalam gelas kimia.
2. Sediakan 1 sendok tepung terigu.
3. Susunlah alat seperti pada Gambar 9.4.
4. Tuangkan secara hati-hati sebagian campuran yang telah dibuat, di atas kertas saring.
5. Amatilah hasil penyaringan yang terbentuk, bandingkan dengan larutan yang belum disaring.



Sumber: Dok. Kemdikbud

Gambar 9.4 Perangkat Model Penyaringan Darah

Apa yang perlu kamu diskusikan?

1. Bagaimana perbedaan air dari larutan hasil penyaringan dan bahan awal sebelum disaring?
2. Apa yang menyebabkan berbeda?
3. Bila rangkaian percobaan pada Gambar 9.4 diumpamakan sebagai badan Malpighi, maka:
 - a. corong dan kertas saring diumpamakan sebagai bagian apakah pada badan Malpighi?
 - b. gelas kimia diumpamakan sebagai bagian apakah pada badan Malpighi?

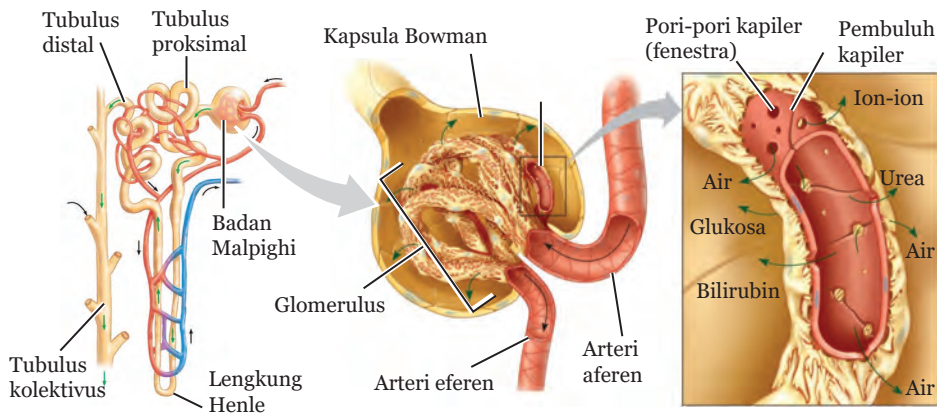
Apa yang dapat kamu simpulkan?

Berdasarkan percobaan dan diskusi yang telah kamu lakukan, apa yang dapat kamu simpulkan?

Setelah kamu melakukan Aktivitas 9.1 tentang model penyaringan darah di dalam ginjal, kamu telah mengetahui bagaimana mekanisme penyaringan zat secara sederhana sehingga memberikan sedikit gambaran tentang bagaimana proses penyaringan dalam ginjal. Tahukah kamu, bahwa proses pembentukan urine di dalam ginjal melalui tiga tahapan? Ketiga tahapan tersebut adalah tahap filtrasi, tahap reabsorpsi, dan tahap augmentasi.

a. Tahap Filtrasi

Pembentukan urine dimulai dari darah mengalir melalui arteri aferen ginjal masuk ke dalam glomerulus yang tersusun atas kapiler-kapiler darah. Ketika darah masuk ke glomerulus, tekanan darah menjadi tinggi sehingga mendorong air dan zat-zat yang memiliki ukuran kecil keluar melalui pori-pori kapiler, dan menghasilkan filtrat. Cairan hasil penyaringan tersebut (filtrat), tersusun atas urobilin, urea, glukosa, air, asam amino, dan ion-ion seperti natrium, kalium, kalsium, dan klor. Filtrat selanjutnya disimpan sementara di dalam kapsula Bowman (Gambar 9.5). Darah dan protein tetap tinggal di dalam kapiler darah karena tidak dapat menembus pori-pori glomerulus. Filtrat yang tertampung di kapsula Bowman disebut **urine primer**. Tahapan pembentukan urine primer ini disebut tahap **filtrasi**.



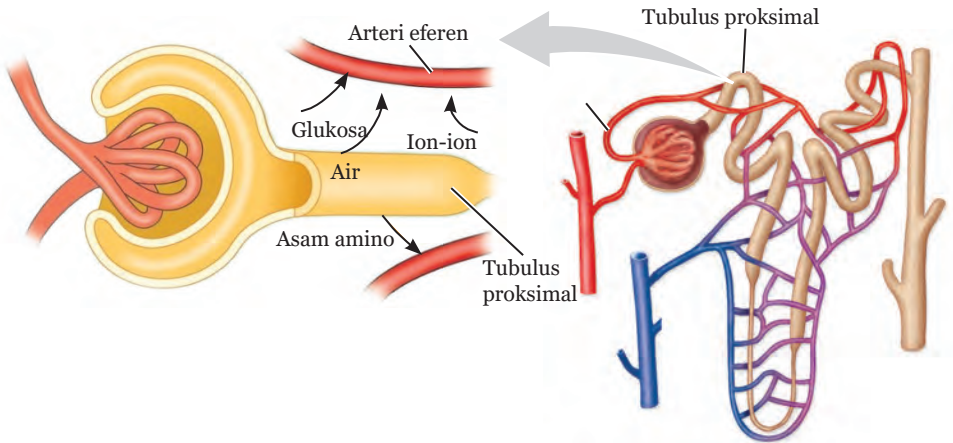
Sumber: Shier *et al.* 2012

Gambar 9.5 Struktur Badan Malpighi dan Proses Filtrasi

b. Tahap Reabsorpsi

Urine primer yang terbentuk pada tahap filtrasi masuk ke tubulus proksimal. Di dalam tubulus proksimal terjadi proses penyerapan kembali zat-zat yang masih diperlukan oleh tubuh

yang disebut dengan tahap **reabsorpsi**. Glukosa, asam amino, ion kalium, dan zat-zat yang masih diperlukan oleh tubuh juga diangkut ke dalam sel dan kemudian ke dalam kapiler darah di dalam ginjal. Sedangkan urea hanya sedikit yang diserap kembali (Gambar 9.6).



Sumber: Longenbaker, 2011

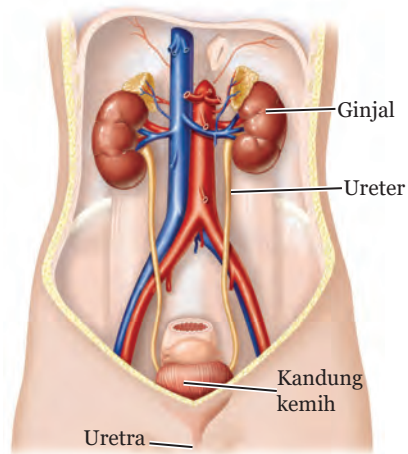
Gambar 9.6 Proses Reabsorpsi

Cairan yang dihasilkan dari proses reabsorpsi disebut **urine sekunder**. Urine sekunder mengandung air, garam, urea, dan urobilin. Urobilin inilah yang memberikan warna kuning pada urine, sedangkan urea yang menimbulkan bau pada urine. Urine sekunder yang terbentuk dari proses reabsorpsi selanjutnya mengalir ke lengkung Henle kemudian menuju tubulus distal. Selama mengalir dalam lengkung Henle air dalam urine sekunder juga terus direabsorpsi.

c. Tahap Augmentasi

Setelah melalui lengkung Henle, urine sekunder sampai pada tubulus distal. Pada bagian tubulus distal masih ada proses penyerapan air, ion natrium, klor, dan urea. Pada tubulus distal terjadi proses augmentasi, yaitu pengeluaran zat-zat yang tidak diperlukan tubuh ke dalam urine sekunder. Urine sekunder yang telah bercampur dengan zat-zat sisa yang tidak diperlukan tubuh inilah yang merupakan **urine sesungguhnya**. Urine tersebut kemudian disalurkan ke pelvis renalis (rongga ginjal). Urine yang terbentuk selanjutnya keluar dari ginjal melalui ureter, kemudian menuju kandung kemih yang merupakan tempat menyimpan urine sementara (Gambar 9.7). Kandung kemih memiliki dinding yang elastis. Kandung kemih mampu meregang untuk dapat menampung sekitar 0,5 L urine. Proses pengeluaran urine

dari dalam kandung kemih disebabkan oleh adanya tekanan di dalam kandung kemih. Tekanan pada kandung kemih disebabkan oleh adanya sinyal yang menunjukkan bahwa kandung kemih sudah penuh. Sinyal penuhnya kandung kemih memicu adanya kontraksi otot perut dan otot-otot kandung kemih. Akibat kontraksi ini urine dapat keluar dari tubuh melalui uretra. Agar kamu lebih mudah memahami dan mengingat bagaimana proses pembentukan urine pada ginjal, ayo lakukan aktivitas berikut ini!



Sumber: Marieb et al. 2013

Gambar 9.7 Sistem dalam Pembentukan Urine

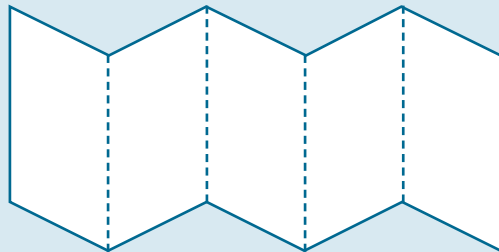


Ayo, Kita Diskusikan

Proses pembentukan urine, terlihat begitu panjang dan rumit. Oleh karena itu, untuk mempermudah kamu merangkumnya, coba siapkan kertas HVS kosong dan lipat menjadi 5 bagian seperti Gambar 9.8. Pada masing-masing lipatan tuliskan setiap bagian-bagian nefron ginjal, seperti badan Malpighi, tubulus proksimal, lengkung Henle, tubulus distal, dan tubulus pengumpul. Kemudian tuliskan pertanyaan berikut pada setiap lipatan.

1. Peristiwa apa yang terjadi di sini?
2. Apa saja zat yang dihasilkan?
3. Disebut apakah hasil yang terbentuk?

Tuliskan juga jawabanmu, kemudian warnailah lipatan yang termasuk bagian medula ginjal dan bagian korteks ginjal dengan warna yang berbeda!



Sumber: Dok. Kemdikbud

Gambar 9.8 Lipatan Kertas untuk Merangkum

2. Kulit

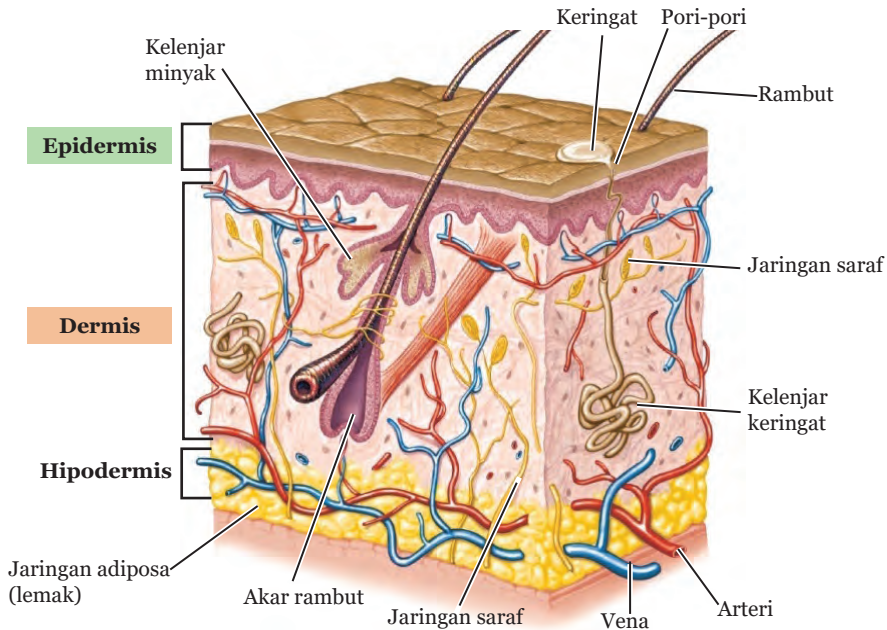
Ketika berolahraga kamu akan mengeluarkan keringat bukan? Perhatikan Gambar 9.9! Selain menjaga suhu tubuh, berkeringat ternyata juga berfungsi untuk mengeluarkan zat sisa metabolisme. Organ tubuh manakah yang memiliki peran dalam pembentukan keringat dan bagaimana tubuh membuat keringat? Sebagai organ ekskresi, kulit berperan dalam pembentukan dan pengeluaran keringat.



Sumber: www.aboutkidshealth.ca

Gambar 9.9 Seseorang sedang Berkeringat

Selain fungsi tersebut, kulit juga berfungsi untuk melindungi jaringan di bawahnya dari kerusakan-kerusakan fisik karena gesekan, penyinaran, berbagai jenis kuman, dan zat kimia berbahaya. Selain itu, kulit juga berfungsi untuk mengurangi kehilangan air dalam tubuh, mengatur suhu tubuh, dan menerima rangsangan dari luar. Perhatikan Gambar 9.10! Kulit terdiri atas dua lapisan utama yaitu lapisan **epidermis** (kulit ari) dan lapisan **dermis** (kulit jangat).



Sumber: Campbell *et al.* 2008

Gambar 9.10 Struktur Anatomi Kulit

a. Lapisan Epidermis (Kulit Ari)

Epidermis merupakan lapisan kulit paling luar yang tersusun atas sel-sel epitel yang mengalami keratinisasi. Pada lapisan epidermis tidak terdapat pembuluh darah maupun serabut saraf. Pada lapisan epidermis, masih terdapat beberapa lapisan kulit, antara lain stratum korneum yang merupakan lapisan kulit mati dan selalu mengelupas dan lapisan stratum granulosum yang mengandung pigmen melanin. Di bawah stratum granulosum terdapat lapisan stratum germinativum yang terus menerus membentuk sel-sel baru ke arah luar menggantikan sel-sel kulit yang terkelupas.

b. Lapisan Dermis (Kulit Jangat)

Lapisan dermis terdapat dibawah lapisan epidermis. Pada lapisan dermis terdapat otot penggerak rambut, pembuluh darah, pembuluh limfa, saraf, kelenjar minyak (*glandula sebacea*), dan kelenjar keringat (*glandula sudorifera*). Kelenjar keringat berbentuk seperti pembuluh panjang. Pangkal kelenjar keringat menggulung dan berhubungan dengan kapiler darah dan serabut saraf. Serabut saraf akan meningkatkan kerja kelenjar keringat, sehingga merangsang produksi keringat. Kelenjar keringat akan menyerap air, ion-ion, NaCl, dan urea dari dalam darah yang kemudian dikeluarkan melalui pori-pori kulit.

Di bawah lapisan dermis, terdapat lapisan **hipodermis** atau lapisan **subkutaneum**. Lapisan hipodermis bukan merupakan bagian dari kulit, namun merupakan kumpulan jaringan ikat yang berfungsi melekatkan kulit pada otot. Lapisan hipodermis banyak tersusun atas jaringan lemak sehingga juga berfungsi menjaga suhu tubuh.



Tahukah Kamu?

Tubuh memiliki kemampuan untuk mengatur berapa banyak jumlah air yang harus dikeluarkan oleh tubuh agar jumlah air di dalam darah tetap seimbang, baik dikeluarkan dalam bentuk keringat atau dalam bentuk urine. Fungsi ini diatur oleh bagian otak yang disebut hipotalamus. Ketika hipotalamus mendeteksi bahwa di dalam darah terlalu banyak air, hipotalamus akan melepaskan sejumlah hormon yang mendorong ginjal untuk meningkatkan jumlah urine yang dikeluarkan. Begitu pula ketika suhu udara panas, hipotalamus akan mengeluarkan hormon tertentu dan memberikan sinyal pada kelenjar keringat yang terdapat di dalam kulit untuk memproduksi keringat yang lebih banyak.



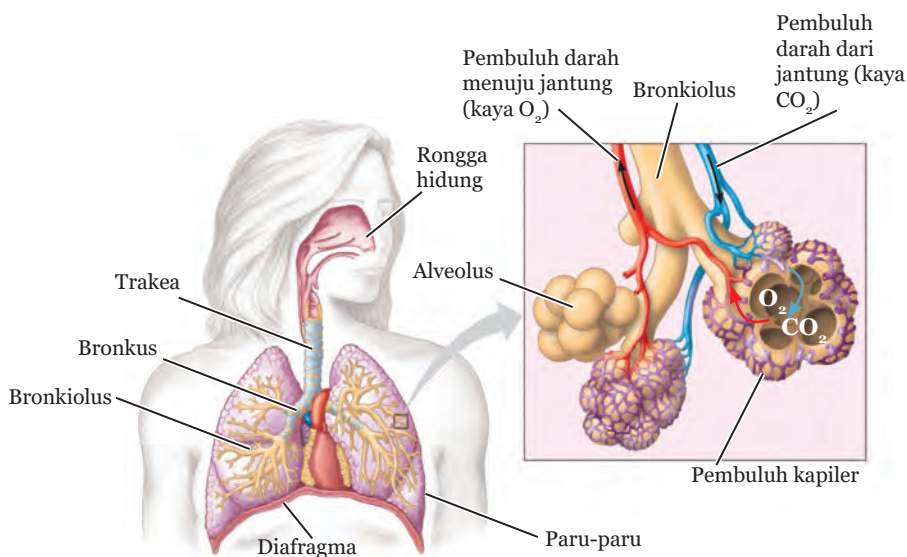


Ayo, Kita Cari Tahu

Kulit memiliki kelenjar keringat yang berfungsi mengeluarkan keringat ketika suhu udara meningkat. Menurutmu mengapa kita harus berkeringat ketika suhu udara meningkat? Pada kulit juga terdapat jaringan adiposa, apakah fungsi dari jaringan tersebut? Bagaimanakah jika dalam kulitmu tidak ada jaringan adiposa? Coba cari tahu fungsi kulit yang lainnya! Kamu dapat berdiskusi dengan teman sebangkumu atau mencari informasi di buku dan internet.

3. Paru-Paru

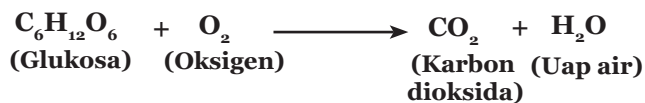
Pembahasan tentang organ paru-paru sudah banyak dibahas pada materi sistem pernapasan. Selain berfungsi sebagai alat pernapasan, paru-paru juga berfungsi sebagai alat ekskresi. Masih ingatkah kamu apa yang dikeluarkan paru-paru selama kita bernapas? Bagaimana pertukaran gas yang terjadi di dalam alveolus? Coba perhatikan Gambar 9.11!



Sumber: Reece *et al.* 2012

Gambar 9.11 Struktur Paru-paru pada Manusia

Oksigen yang memasuki alveolus akan berdifusi dengan cepat memasuki kapiler darah yang mengelilingi alveolus, sedangkan karbon dioksida akan berdifusi dengan arah yang sebaliknya. Darah pada alveolus akan mengikat oksigen dan mengangkutnya ke jaringan tubuh. Di dalam pembuluh kapiler jaringan tubuh, darah mengikat karbon dioksida (CO_2) untuk dikeluarkan bersama uap air. Reaksi kimia tersebut secara ringkas dapat kita tuliskan sebagai berikut.



Ayo, Kita Lakukan

Aktivitas 9.2 Sisa Metabolisme yang Diekskresikan melalui Paru-Paru

Apa yang kamu perlukan?

1. 200 mL air kapur (dapat dibuat dari gamping atau dari kapur papan tulis)
2. 1 buah sedotan
3. 1 buah cermin
4. 1 buah gelas kaca

Apa yang harus kamu lakukan?

1. Embuskan napasmu pada cermin, lalu amatilah apa yang terjadi pada cermin tersebut.
2. Siapkan 200 mL air kapur, lalu masukkan ke dalam gelas.
3. Siapkan sedotan, lalu tiup air kapur secara perlahan. Hati-hati jangan sampai air kapur tersedot atau terminum.
4. Amati perubahan yang terjadi pada air kapur tersebut.

Apa yang perlu kamu diskusikan?

1. Ketika kamu mengembuskan napas pada cermin, apakah yang terjadi? Berdasarkan peristiwa tersebut, menurutmu apakah zat yang dikeluarkan pada saat kamu mengembuskan napas?



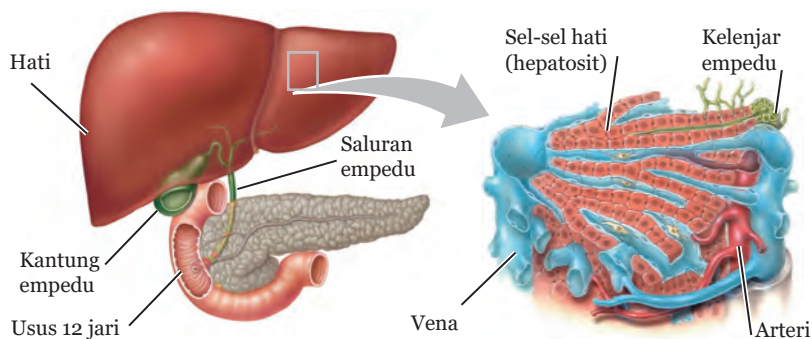
2. Ketika kamu mengembuskan napas pada air kapur, perubahan apakah yang terjadi pada air kapur? Menurutmu mengapa hal tersebut dapat terjadi?
3. Zat apakah yang diperlukan oleh tubuh pada saat bernapas dan zat apa yang dikeluarkan?
4. Tulislah reaksi kimia yang terjadi pada saat kita bernapas dan zat yang diekskresikan oleh paru-paru!

Apa yang dapat kamu simpulkan?

Berdasarkan percobaan dan diskusi yang telah kamu lakukan, apa yang dapat kamu simpulkan?

4. Hati

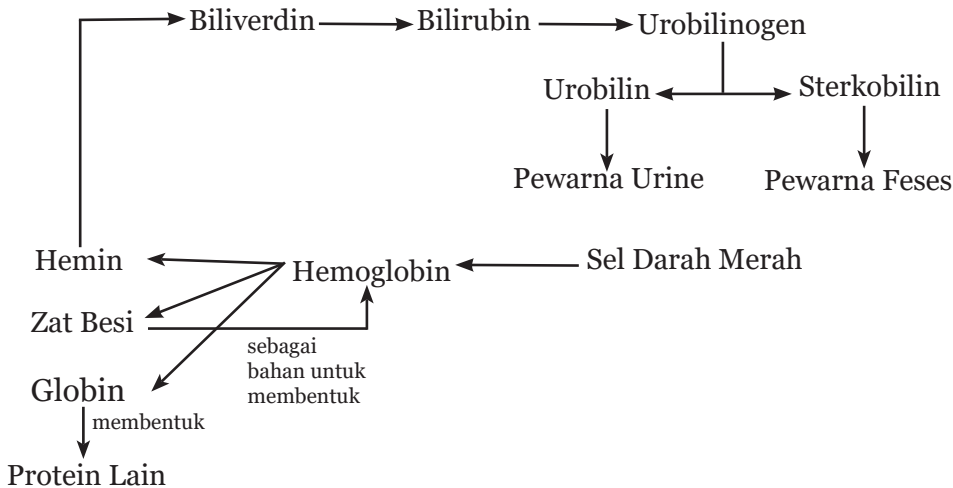
Selain berperan dalam sistem pencernaan, hati juga berperan dalam sistem ekskresi, yaitu mengekskresikan zat warna empedu yang disebut dengan bilirubin. Masih ingatkah kamu dari mana bilirubin ini dihasilkan? Bilirubin dihasilkan dari pemecahan hemoglobin yang terdapat pada sel darah merah. Sel darah merah hanya memiliki rentang waktu hidup antara 100 - 120 hari karena sel darah merah tidak memiliki inti sel dan membran selnya selalu bergesekan dengan pembuluh kapiler darah. Karena tidak memiliki inti sel, sel darah merah tidak dapat membentuk komponen baru untuk menggantikan komponen sel yang rusak. Perhatikan Gambar 9.12!



Sumber: Dok. Kemdikbud

Gambar 9.12 Struktur Anatomi Hati

Sel darah merah yang rusak akan dihancurkan oleh makrofag di dalam hati dan limpa. Hemoglobin yang terkandung dalam sel darah merah dipecah menjadi zat besi, globin, dan hemin. Zat besi selanjutnya dibawa menuju sumsum merah tulang untuk digunakan membentuk hemoglobin baru. Globin dipecah menjadi asam amino untuk digunakan dalam pembentukan protein lain. Sedangkan hemin diubah menjadi zat warna hijau yang disebut biliverdin. Biliverdin kemudian diubah menjadi bilirubin yang merupakan zat warna kuning oranye. Bilirubin selanjutnya dikeluarkan bersama getah empedu. Getah empedu dikeluarkan ke usus dua belas jari, kemudian menuju usus besar. Di dalam usus besar bilirubin diubah menjadi urobilinogen. Urobilinogen diubah menjadi urobilin sebagai pewarna kuning pada urine dan sterkobilin sebagai pigmen coklat pada feses. Perhatikan Gambar 9.13!



Sumber: Dok. Kemdikbud

Gambar 9.13 Bagan Proses Pemecahan Sel Darah Merah



Tahukah Kamu?

Setiap hari, sel-sel hati menghasilkan 800-1.000 mL getah empedu. Getah empedu tersusun atas air, garam empedu (garam natrium dan garam kalium), lesitin, kolesterol, pigmen empedu, dan beberapa ion. Apabila getah empedu kekurangan lesitin, garam empedu, atau terlalu banyak kolesterol, maka kolesterol tersebut

akan membentuk kristal menjadi batu empedu. Jika batu empedu terus terbentuk akan menyumbat saluran empedu, sehingga getah empedu tidak dapat dikeluarkan menuju usus halus. Penanganan yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan meminum obat pelarut batu empedu, terapi dengan gelombang ultrasonik maupun sinar laser, dan melalui operasi.

Organ hati juga berfungsi mengubah amonia (NH_3) yang berbahaya jika berada dalam tubuh, menjadi zat yang lebih aman, yaitu urea. Amonia tersebut dihasilkan dari proses metabolisme asam amino. Urea dari dalam hati akan dikeluarkan dan diangkut oleh darah menuju ginjal untuk dikeluarkan bersama urine.



Ayo, Kita Pahami

Ginjal mengeluarkan zat sisa di dalam tubuh. Zat sisa tersebut dikeluarkan dalam bentuk urine yang mengandung air, NaCl (garam), asam urat, urea, dan kreatinin. Empedu diekskresikan dari dalam hati. Keringat diekskresikan dari kulit. Keringat mengandung air, NaCl , sisa metabolisme sel, urea, dan asam. Paru-paru mengekskresikan CO_2 dan H_2O .



Ayo, Kita Pikirkan!

Tubuh manusia mensekresikan air melalui organ-organ ekskresi. Tubuh memiliki mekanisme pengaturan tersendiri untuk mengeluarkan air melalui ginjal, kulit atau paru-paru tergantung kondisi lingkungan dan aktivitas yang dilakukan. Perhatikan data tentang keluarnya air dari tubuh pada Gambar 9.14!