



BIOLOGI

SISTEM SIRKULASI PADA MANUSIA II

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, kamu diharapkan memiliki kemampuan berikut.

1. Memahami tentang pembuluh darah dan jenis-jenisnya.
2. Memahami tentang mekanisme peredaran darah pada manusia.
3. Memahami tentang sistem limfa.
4. Memahami tentang gangguan pada sistem sirkulasi.
5. Memahami tentang teknologi sistem sirkulasi.

A. Pembuluh Darah

Pembuluh darah merupakan serangkaian saluran tertutup dan bercabang yang berfungsi membawa darah dari jantung ke seluruh tubuh, kemudian kembali lagi ke jantung. Ada tiga macam pembuluh darah utama, yaitu arteri (pembuluh nadi), vena (pembuluh balik), dan kapiler.

1. Arteri (Pembuluh Nadi)

a. Fungsi Arteri

Arteri merupakan pembuluh darah yang berpangkal pada bilik jantung (ventrikel). Arteri berfungsi membawa darah keluar dari jantung.

b. Ciri-Ciri Arteri

Arteri memiliki ciri-ciri sebagai berikut.

- 1.) Memiliki dinding yang tebal dan elastis.
- 2.) Jika dipegang, denyutnya terasa.

- 3.) Letak arteri umumnya di dalam tubuh. Namun, terdapat beberapa yang terletak di dekat permukaan kulit.
 - 4.) Tekanan darah yang melewati arteri sifatnya kuat, sehingga bila arteri terpotong, darah akan memancar.
 - 5.) Memiliki sebuah katup yang berada tepat di luar bilik jantung, yaitu valvula semilunaris.
- c. Struktur Arteri
- Dinding arteri terdiri atas tiga lapisan, yaitu tunika eksterna, tunika media, dan tunika intima.
- 1.) **Tunika eksterna (adventisia)** adalah lapisan terluar dari dinding arteri. Tunika eksterna tersusun dari jaringan ikat fibrosa dan berfungsi menguatkan dinding arteri.
 - 2.) **Tunika media** adalah lapisan tengah dari dinding arteri. Tunika media tersusun dari jaringan otot polos dan serabut elastis.
 - 3.) **Tunika intima** adalah lapisan dalam dari dinding arteri. Tunika intima tersusun dari sel-sel endotelium.
- d. Macam-Macam Arteri
- Ada tiga macam arteri, yaitu aorta, arteri pulmonalis, dan arteri koroner.
- 1.) **Aorta** merupakan arteri terbesar yang berpangkal di bilik kiri. Aorta berfungsi membawa darah yang kaya oksigen ke seluruh tubuh. Pada bagian aorta yang berbatasan dengan bilik kiri, terdapat sebuah katup valvula semilunaris aorta.
 - 2.) **Arteri pulmonalis** merupakan arteri yang berpangkal di bilik kanan. Arteri pulmonalis berfungsi membawa darah yang kaya karbon dioksida dari bilik kanan ke paru-paru. Pada bagian arteri pulmonalis yang berbatasan dengan bilik kanan, terdapat sebuah katup valvula semilunaris arteri paru-paru.
 - 3.) **Arteri koroner** adalah arteri yang berfungsi membawa darah yang mengandung makanan dan oksigen untuk sel-sel jantung. Arteri koroner berpangkal pada aorta dan bercabang menjadi arteri koroner kanan dan arteri koroner kiri. Selanjutnya, arteri koroner membentuk percabangan mengelilingi jantung.
- Arteri akan bercabang-cabang ke seluruh tubuh membentuk arteriola. Arteri mendapatkan nutrisi dari pembuluh darah vasa vasorum.

2. Vena (Pembuluh Balik)

a. Fungsi Vena

Vena merupakan pembuluh darah yang berujung pada serambi jantung (atrium). Vena berfungsi membawa darah masuk ke jantung.

b. Ciri-Ciri Vena

Vena memiliki ciri-ciri sebagai berikut.

- 1.) Memiliki dinding yang tipis dan kurang elastis, serta dapat mengembang.
- 2.) Dapat menampung 75% total darah.
- 3.) Dapat mengembalikan darah ke jantung dengan tekanan yang sangat rendah.
- 4.) Jika dipegang, denyutnya kurang terasa.
- 5.) Terletak di dekat permukaan tubuh.
- 6.) Tekanan darah yang melewati vena sifatnya lemah, sehingga bila vena terpotong, darah hanya menetes.
- 7.) Memiliki banyak katup yang terdapat di sepanjang pembuluh. Katup ini berfungsi mencegah aliran darah balik lagi ke jaringan atau sel.

c. Struktur Vena

Dinding vena terdiri atas tiga lapisan, yaitu tunika eksterna, tunika media, dan tunika intima.

- 1.) **Tunika eksterna (adventisia)** adalah lapisan terluar dari dinding vena. Tunika eksterna tersusun dari jaringan ikat fibrosa dan berfungsi menguatkan dinding vena. Jumlah jaringan ikat fibrosa pada vena lebih banyak daripada arteri.
- 2.) **Tunika media** adalah lapisan tengah dari dinding vena. Tunika media tersusun dari jaringan otot polos dan serabut elastis. Jumlah otot polos dan serabut elastis pada vena lebih sedikit daripada arteri.
- 3.) **Tunika intima** adalah lapisan dalam dari dinding vena. Tunika intima tersusun dari sel-sel endotelium.

d. Macam-Macam Vena

Ada tiga macam vena, yaitu vena kava, vena pulmonalis, dan vena porta hepatika.

- 1.) **Vena kava** merupakan vena terbesar yang berujung di serambi kanan. Vena kava berfungsi membawa darah yang kaya dengan karbon dioksida dari seluruh tubuh masuk ke serambi kanan. Vena kava dibagi menjadi dua macam, yaitu vena kava superior dan vena kava inferior.

- **Vena kava superior** adalah vena kava yang membawa darah kaya CO₂ dari tubuh bagian atas, leher, dan kepala ke serambi kanan.
 - **Vena kava inferior** adalah vena kava yang membawa darah kaya O₂ dari tubuh bagian bawah ke serambi kanan.
- 2.) **Vena pulmonalis** merupakan vena yang berujung di serambi kiri. Vena pulmonalis berfungsi membawa darah yang kaya oksigen dari paru-paru masuk ke serambi kiri.
 - 3.) **Vena porta hepatica** merupakan vena yang berfungsi membawa darah dari organ-organ pencernaan, seperti lambung, usus, dan pankreas, serta dari organ limpa masuk ke hati.

● SUPER "Solusi Quipper" ●

Untuk mempermudah dalam mengingat macam-macam vena, gunakan cara berikut.

VIKA PULANG lewat PORTAL

Vena kava – vena pulmonalis – vena porta hepatica

Vena besar akan bercabang-cabang menjadi vena yang lebih kecil. Vena yang paling kecil disebut dengan **venula**. Venula berhubungan dengan kapiler. Vena juga mendapatkan nutrisi dari pembuluh darah vasa vasorum.

Berikut ini adalah tabel perbedaan antara pembuluh darah arteri dan vena.

No.	Pembeda	Arteri	Vena
1.	Arah aliran	Meninggalkan jantung	Menuju jantung
2.	Dinding pembuluh	Tebal, elastis	Tipis, kurang elastis
3.	Denyut	Terasa	Tidak terasa
4.	Letak pembuluh	Di dalam tubuh	Dekat permukaan tubuh
5.	Jumlah dan letak katup	Satu, di luar bilik jantung	Banyak, di sepanjang pembuluh
6.	Jika pembuluh terpotong	Darah memancar	Darah menetes

3. Kapiler

a. Fungsi Kapiler

Kapiler darah memiliki beberapa fungsi, yaitu sebagai berikut.

- 1.) Menghubungkan arteriola dan venula.
- 2.) Mengambil zat-zat dari kelenjar.
- 3.) Menjadi tempat terjadinya pertukaran zat-zat antara darah dan cairan jaringan.
- 4.) Menyaring darah di dalam ginjal.
- 5.) Menyerap zat-zat makanan dari usus.

b. Ciri-Ciri Kapiler

Kapiler darah memiliki ciri-ciri sebagai berikut.

- 1.) Merupakan pembuluh darah yang sangat halus.
- 2.) Memiliki dinding sel yang sangat tipis, yaitu hanya tersusun dari selapis endotelium. Hal ini memudahkan plasma darah dan zat makanan merembes ke cairan jaringan antarsel.
- 3.) Diameternya sekitar 0,008 mm.
- 4.) Area kapiler sangat luas, diperkirakan sekitar 7.000 m² pada orang dewasa.
- 5.) Bagian tubuh yang tidak memiliki kapiler adalah rambut, kuku, tulang rawan, dan kornea mata.

B. Mekanisme Peredaran Darah pada Manusia

Sistem peredaran darah pada manusia merupakan sistem peredaran darah tertutup ganda.

Sistem peredaran darah tertutup adalah sistem peredaran darah yang tidak pernah keluar dari pembuluh darah. Sementara itu, **sistem peredaran darah ganda** adalah sistem peredaran darah yang dalam satu kali peredaran, darah akan melewati jantung sebanyak dua kali. Mekanisme sistem peredaran darah pada manusia ada dua macam, yaitu sistem peredaran darah besar atau sistemik dan sistem peredaran darah kecil atau pulmonalis.

1. Sistem Peredaran Darah Besar atau Sistemik

Sistem peredaran darah besar adalah sistem peredaran darah dari jantung ke seluruh tubuh, kemudian kembali lagi ke jantung. Sistem peredaran darah ini berawal dari kontraksi bilik kiri yang memompa darah kaya O₂ ke seluruh tubuh, kemudian kembali lagi ke jantung melalui serambi kanan. Mekanisme sistem peredaran darah besar adalah sebagai berikut.

Bilik kiri → aorta → seluruh tubuh (kecuali paru-paru) → vena kava → serambi kanan.

• SUPER "Solusi Quipper" •

Untuk mempermudah dalam mengingat mekanisme sistem peredaran darah besar, gunakan cara berikut.

BI KIRUN ANTAR TURUN VIKA lewat SERAMBI KANAN

Bilik kiri – aorta – tubuh – vena kava – serambi kanan

2. Sistem Peredaran Darah Kecil atau Pulmonalis

Sistem peredaran darah kecil adalah sistem peredaran darah dari jantung ke paru-paru, kemudian kembali lagi ke jantung. Sistem peredaran darah ini berawal dari kontraksi bilik kanan yang memompa darah kaya CO₂ ke paru-paru, kemudian kembali lagi ke jantung melalui serambi kiri. Mekanisme sistem peredaran darah kecil adalah sebagai berikut.

Bilik kanan → arteri pulmonalis → paru-paru → vena pulmonalis → serambi kiri.

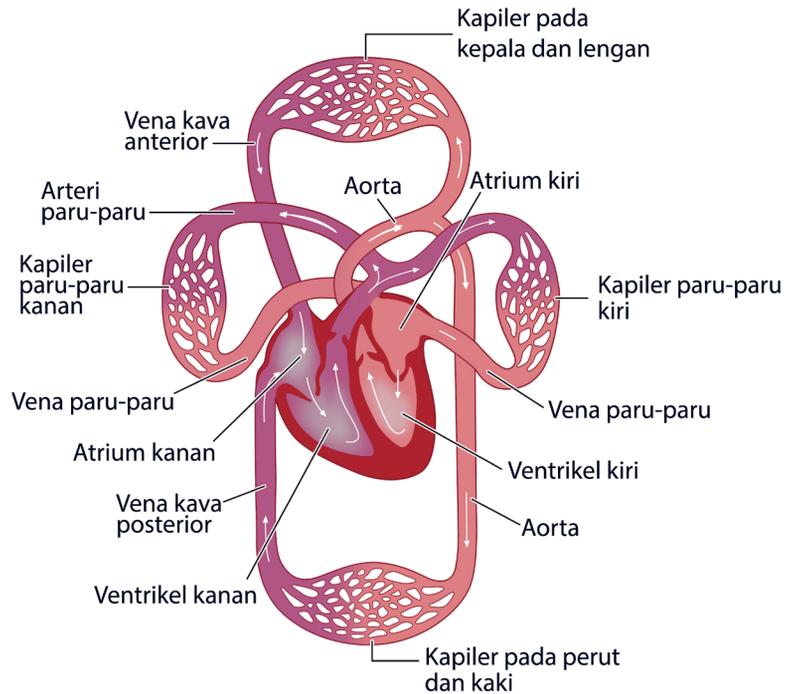
• SUPER "Solusi Quipper" •

Untuk mempermudah dalam mengingat mekanisme sistem peredaran darah kecil, gunakan cara berikut.

BILIK KAPAL PENUH, VINA lewat SERAMBI KIRI

Bilik kanan – arteri pulmonalis – paru-paru – vena pulmonalis – serambi kiri

Berikut ini adalah gambar sistem peredaran darah pada manusia.



Gambar 1. Sistem peredaran darah pada manusia

C. Mekanisme Sirkulasi Portal, Sirkulasi Koroner, dan Sirkulasi pada Janin

1. Sirkulasi Portal

Sirkulasi portal adalah peredaran darah balik (vena) yang berasal dari organ-organ pencernaan seperti lambung, usus, dan pankreas, serta dari organ limpa. Peredaran darah ini kemudian dikumpulkan melalui vena porta hepatica menuju hati dan membentuk sistem kapiler. Selanjutnya, sistem kapiler bersatu dengan kapiler-kapiler dari arteri hepatica di dalam hati. Darah keluar dari hati melalui vena hepatica, kemudian masuk ke vena kava inferior menuju jantung. Mekanisme sirkulasi portal adalah sebagai berikut.

Vena dari organ pencernaan dan limpa → vena porta hepatica → hati → sistem kapiler → bersatu dengan arteri hepatica → vena hepatica → vena kava inferior → jantung

2. Sirkulasi Koroner

Sirkulasi koroner adalah peredaran darah di dalam jantung yang berfungsi memenuhi nutrisi seluruh bagian jantung. Arteri koroner kanan dan kiri yang meninggalkan aorta, bercabang-cabang menjadi arteri-arteri kecil yang mengitari jantung. Arteri-arteri kecil

inilah yang membawa darah kaya oksigen dan zat makanan ke seluruh bagian dari jantung. Mekanisme sirkulasi koroner adalah sebagai berikut.

Aorta → arteri koroner kanan dan kiri → arteri koroner kanan bercabang-cabang dan memasok nutrisi serta O₂ untuk bagian kanan jantung → arteri koroner kiri bercabang-cabang dan memasok nutrisi serta O₂ untuk bagian kiri jantung

3. Sirkulasi pada Janin (Fetus)

a. Komponen-Komponen Peredaran Darah pada Janin

Komponen-komponen dalam peredaran darah janin adalah sebagai berikut.

- 1.) **Plasenta** merupakan jaringan yang menempel pada endometrium dan terikat kuat sampai bayi lahir. Plasenta berfungsi sebagai tempat pertukaran darah antara janin dan ibu.
- 2.) **Vena umbilikal** adalah vena yang terdapat di dalam tali pusar. Vena ini berfungsi membawa darah yang kaya nutrisi dan oksigen dari plasenta ke peredaran darah janin. Vena umbilikal hanya berjumlah satu buah.
- 3.) **Arteri umbilikal** adalah arteri yang terdapat di dalam tali pusar. Arteri ini berfungsi membawa darah yang kaya CO₂ dan zat sisa metabolisme dari tubuh janin ke plasenta, dan selanjutnya dikembalikan ke peredaran darah ibu. Arteri umbilikal berjumlah dua buah.
- 4.) **Foramen ovale** adalah lubang yang terdapat pada sekat antara serambi kanan dan kiri jantung janin. Lubang ini nantinya akan menutup setelah janin lahir.
- 5.) **Hati** yang berfungsi sebagai tempat percabangan antara vena porta dan duktus venosus Arantii.
 - **Duktus venosus Arantii** adalah pembuluh darah yang menghubungkan vena umbilikal dengan vena kava inferior.
 - **Duktus arteriosus Bothalli** adalah pembuluh darah yang menghubungkan arteri pulmonalis dengan aorta.

b. Mekanisme Peredaran Darah pada Janin

Mekanisme peredaran darah pada janin adalah sebagai berikut.

- 1.) Darah yang mengandung oksigen dan nutrisi dialirkan dari plasenta ke tubuh janin melalui vena umbilikal.
- 2.) Setelah menembus dinding perut janin, vena umbilikal akan bercabang menjadi dua, yaitu sebagai berikut.

- Cabang kecil yang bersatu dengan vena porta. Melalui cabang ini, darah yang dibawa beredar di dalam hati, kemudian dari hati akan diangkut ke vena kava inferior melalui vena hepatica.
 - Duktus venosus Arantii yang langsung membawa darah ke vena kava inferior.
- 3.) Darah dari vena kava inferior akan masuk ke serambi kanan. Selanjutnya, darah akan menuju bilik kanan dan sebagian lagi akan masuk ke serambi kiri melalui foramen ovale. Darah yang beredar ini kaya oksigen dan nutrisi.
 - 4.) Darah dari bilik kanan akan dialirkan ke paru-paru melalui arteri pulmonalis. Akan tetapi, karena paru-paru belum berkembang, darah dari arteri pulmonalis sebagian besar akan dialirkan ke aorta melalui duktus arteriosus Botalli dan sebagian kecil ke paru-paru. Darah yang dialirkan ke paru-paru ini bukan untuk pertukaran gas, melainkan untuk menyuplai oksigen dan nutrisi yang dibutuhkan dalam perkembangan paru-paru. Dari paru-paru, darah dibawa ke serambi kiri melalui vena pulmonalis.
 - 5.) Darah dari serambi kiri akan dialirkan ke bilik kiri. Selanjutnya, darah akan dialirkan ke seluruh tubuh melalui aorta untuk memberi nutrisi dan oksigen ke tubuh bagian bawah. Aorta bagian bawah bercabang menjadi dua buah arteri hipogastika interna yang selanjutnya menuju arteri umbilikal. Darah yang masuk ke arteri umbilikal adalah darah yang mengandung CO₂ dan miskin nutrisi. Darah ini selanjutnya akan dibawa oleh arteri umbilikal ke plasenta. Setelah itu, mekanisme peredaran darah akan terulang kembali.

D. Denyut Nadi

Denyut nadi terjadi karena adanya aliran darah akibat kontraksi jantung. Denyut ini dapat diraba dan diukur kecepatannya. Pengukuran kecepatan denyut nadi dapat dilakukan pada beberapa titik denyut, seperti denyut arteri radialis di pergelangan tangan, arteri karotis di leher, arteri brakialis di lengan atas, arteri popliteal di belakang lutut, serta arteri dorsalis pedis dan tibialis posterior di kaki. Pemeriksaan denyut nadi dapat dilakukan dengan stetoskop. Selain itu, denyut nadi juga dapat diukur dengan alat pengukur detak jantung berikut.

1. **Heart rate monitor** merupakan alat yang berfungsi memonitor denyut jantung seseorang secara *real time* dengan hasil yang akurat. Alat ini umumnya berbentuk seperti jam tangan atau dapat diaplikasikan dengan *smartphone* yang dililitkan pada lengan.
2. **Elektrokardiograf (EKG)** merupakan suatu alat yang dapat merekam aktivitas

elektrik di dalam jantung seseorang. Penggunaan EKG memerlukan bantuan tenaga medis. EKG dapat menunjukkan beberapa hal seperti laju atau kecepatan denyut jantung, ritme denyut jantung, serta kekuatan dan *timing* sinyal listrik saat melewati masing-masing bagian jantung.

3. **Fetal Doppler** merupakan sebuah alat yang didesain khusus untuk mendengarkan denyut jantung janin ketika masih berada dalam kandungan. Alat ini tidak dapat digunakan untuk mengukur denyut jantung orang dewasa seperti *heart rate monitor*, serta tidak dapat merekam aktivitas jantung seperti EKG.

Frekuensi denyut nadi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu sebagai berikut.

1. Usia
Semakin tua usia seseorang, frekuensi denyut nadinya akan semakin menurun.
2. Jenis kelamin
Frekuensi denyut nadi pada laki-laki lebih rendah daripada perempuan. Frekuensi denyut nadi perempuan lebih cepat 7 hingga 8 kali daripada denyut nadi laki-laki.
3. Irama sirkadian
Irama sirkadian adalah proses-proses yang saling berhubungan yang dialami tubuh untuk menyesuaikan dengan perubahan waktu selama 24 jam. Rata-rata frekuensi denyut nadi menurun pada pagi hari dan meningkat pada siang atau sore hari.
4. Aktivitas
Frekuensi denyut nadi akan menurun saat beristirahat dan akan naik saat beraktivitas.
5. Suhu tubuh
Jika suhu tubuh naik, frekuensi denyut nadi juga akan naik. Begitu juga sebaliknya. Setiap kali suhu tubuh naik 1°C, frekuensi denyut nadi akan naik 15 kali/menit.
6. Stres dan emosi
Rangsangan saraf simpatis dan emosi seperti gembira, takut, atau cemas dapat meningkatkan frekuensi denyut nadi.
7. Volume darah
Jika tubuh kehilangan banyak darah, frekuensi denyut nadi akan mengalami peningkatan.
8. Bentuk tubuh
Orang yang berbadan gemuk umumnya memiliki frekuensi denyut nadi yang lebih tinggi daripada orang yang berbadan kurus.

9. Obat-obatan

Beberapa jenis obat dapat menurunkan atau meningkatkan kontraksi jantung dan denyut nadi. Misalnya nikotin, kafein, hormon adrenalin, atau kokain yang dapat meningkatkan frekuensi denyut nadi.

E. Sistem Limfa

Sistem limfa atau **limfatik** adalah sistem sirkulasi sekunder yang berfungsi mengalirkan limfa atau getah bening di dalam tubuh. Limfa berasal dari plasma darah yang keluar dari sistem peredaran darah ke dalam jaringan sekitarnya. Cairan ini kemudian dikumpulkan oleh sistem limfa melalui proses difusi ke dalam kelenjar limfa dan dikembalikan ke dalam sistem sirkulasi. Sistem limfa merupakan sistem peredaran terbuka, karena cairan jaringan dapat keluar dari pembuluh limfa dan membasahi jaringan di sekitarnya.

1. Fungsi Sistem Limfa

Sistem limfa memiliki fungsi sebagai berikut.

- a. Mengembalikan kelebihan cairan jaringan. Jika cairan ini tidak dikeluarkan dan tetap mengumpul di dalam ruang antarsel, akan menyebabkan edema. **Edema** adalah pembengkakan di tubuh akibat penumpukan volume abnormal cairan interstisial pada ruangan di antara sel.
- b. Mengangkut lemak yang sudah berbentuk emulsi dari usus ke sistem peredaran darah. Saluran khusus untuk mengangkut lemak adalah **lakteal** (saluran limfa).
- c. Mengendalikan kualitas aliran cairan jaringan dengan cara menyaringnya melalui nodus-nodus limfa sebelum dikembalikan ke dalam sistem sirkulasi.
- d. Mengangkut limfosit dari kelenjar limfa ke sirkulasi darah.
- e. Menyaring dan menghancurkan mikroorganisme.
- f. Mengeluarkan zat-zat toksin dan debris sel (sel yang rusak) dari jaringan setelah terjadi infeksi atau kerusakan jaringan.
- g. Menghasilkan zat antibodi untuk melindungi tubuh terhadap infeksi.
- h. Mengembalikan protein plasma ke dalam sirkulasi darah. Hal ini bertujuan agar protein plasma tidak terakumulasi dan tidak mengganggu dinamika kapiler.

2. Komponen Penyusun Sistem Limfa

Sistem limfa terdiri atas beberapa komponen pendukung, yaitu sebagai berikut.

a. Organ Limfa

Organ limfa terdiri atas nodus limfa, tonsil, kelenjar timus, dan limpa.

- 1.) **Nodus limfa** adalah organ berbentuk oval yang tersusun dari sejumlah pembuluh limfa. Fungsi nodus limfa adalah menyaring dan menghancurkan benda-benda asing agar tidak menyebar ke dalam jaringan tubuh. Jika benda asing yang tersaring terlalu banyak, nodus limfa akan mengalami pembengkakan akibat pembelahan sel-sel limfosit dan sel-sel lainnya. Ada beberapa nodus limfa, yaitu sebagai berikut.
 - Nodus submaksila yang terletak di bagian dasar mulut.
 - Nodus serviks yang terletak di leher.
 - Nodus supratroklear yang terletak tepat di atas lekukan siku.
 - Nodus ketiak yang terletak di lengan atas bagian dalam dan dada atas atau ketiak.
 - Nodus inguen yang terletak di lipatan paha.
- 2.) **Tonsil** atau **amandel** adalah kumpulan jaringan limfoid yang terdapat di rongga mulut. Tonsil terdiri atas tonsila palatina, tonsila faringea, dan tonsila linguis.
 - **Tonsila palatina** atau disebut juga amandel adalah tonsil yang terletak di kiri dan kanan rongga mulut.
 - **Tonsila faringea** atau disebut juga adenoid adalah tonsil yang terletak di dinding belakang nasofaring.
 - **Tonsila lingulis** adalah tonsil yang terletak di pangkal lidah.

Ketiga tonsil tersebut membentuk cincin Waldeyer. Cincin ini mengelilingi daerah yang merupakan pintu masuk saluran pernapasan dan saluran pencernaan. Fungsi tonsil adalah melindungi tubuh terhadap infeksi, baik melalui udara maupun makanan secara imunologis.
- 3.) **Kelenjar timus** adalah kelenjar yang terletak di bagian posterior toraks di atas jantung. Kelenjar timus terdiri atas dua lobus berwarna kemerahan. Pada bayi yang baru lahir, berat kelenjar timus sekitar 10 gram dan saat pubertas akan berkembang menjadi sekitar 30–40 gram. Akan tetapi, beratnya akan menyusut secara perlahan-lahan pada saat dewasa. Fungsi kelenjar timus adalah membentuk antibodi pada bayi yang baru lahir, serta memproduksi timosin yang berperan merangsang perkembangan sel T atau limfosit T.
- 4.) **Limpa** atau **lien** adalah kelenjar berwarna ungu tua yang terletak di abdomen sebelah kiri, di bawah tulang rusuk ke-9, ke-10, dan ke-11. Fungsi limpa adalah menghasilkan antibodi dan limfosit, menghancurkan leukosit dan trombosit, serta membentuk eritrosit pada masa janin.

b. Pembuluh Limfa

Pembuluh limfa terdapat di seluruh tubuh dan organ tubuh (kecuali saraf pusat, telinga dalam, bola mata, tulang rawan, tulang keras, dan epidermis kulit). Ciri-ciri pembuluh limfa adalah sebagai berikut.

- 1.) Berupa vena kecil dengan banyak katup di permukaannya.
- 2.) Berdinding tipis, transparan, dan sangat permeabel, sehingga memungkinkan partikel besar dapat masuk ke dalam jaringan.
- 3.) Terbuka pada ujung-ujungnya, sehingga cairan limfa dapat keluar dan membasahi jaringan di sekitarnya.
- 4.) **Kapiler limfa** merupakan pembuluh limfa yang terkecil. Kapiler limfa terdiri atas selapis endotelium yang berukuran lebih besar daripada kapiler darah. Pembuluh limfa terkecil di vili usus disebut **lakteal**. Lakteal berfungsi mengangkut lemak ke peredaran darah.

c. Cairan limfa

Cairan limfa adalah cairan jaringan yang diserap ke dalam kapiler limfa. Cairan limfa berwarna kekuningan, serta mengandung protein plasma, limfosit, trombosit, fibrinogen, lemak, dan sedikit oksigen. Cairan limfa tidak mengandung sel darah merah dan karbon dioksida.

3. Aliran Limfa

Cairan limfa yang berasal dari cairan jaringan masuk secara difusi atau filtrasi ke dalam kapiler-kapiler limfa. Kemudian, cairan tersebut masuk ke dalam peredaran darah melalui vena. Faktor-faktor yang dapat menggerakkan cairan limfa adalah kontraksi otot, peristiwa inspirasi dan ekspirasi pada pernapasan dada, serta pemijatan. Mekanisme aliran limfa adalah sebagai berikut.

Cairan dari jaringan → kapiler limfa → saluran penampung → pembuluh limfa yang lebih besar → bergabung membentuk trunkus (batang saluran) limfa utama

Ada dua macam batang saluran limfa utama, yaitu duktus limfatikus sinistra dan duktus limfatikus dekstra.

- a. **Duktus limfatikus sinistra** atau **duktus torasikus** merupakan batang saluran limfa yang berfungsi mengumpulkan cairan dari seluruh tubuh, kecuali tubuh bagian kanan atas. Selain itu, saluran ini juga berfungsi menerima cairan limfa yang berasal

- dari kepala kiri, leher kiri, dada kiri, anggota gerak bawah, dan organ-organ di dalam rongga perut. Saluran ini bermuara pada vena yang terletak di bawah selangka kiri.
- b. **Duktus limfatikus dekstra** merupakan batang saluran limfa yang pendek. Saluran ini berfungsi menerima cairan limfa yang berasal dari kepala kanan, leher kanan, dada kanan, lengan kanan, dan trunkus bronkmediastinal kanan (saluran penampung limfa dari rongga di antara paru-paru). Saluran ini bermuara pada vena yang terletak di bawah selangka kanan.

F. Gangguan pada Sistem Sirkulasi

Kelainan atau penyakit yang menyerang sistem sirkulasi darah dan sistem limfa antara lain adalah sebagai berikut.

1. **Anemia** adalah keadaan saat jumlah eritrosit atau jumlah hemoglobin di dalam eritrosit berada di bawah normal. Anemia ditandai dengan hematokrit (perbandingan antara jumlah sel darah merah dan total volume darah) yang rendah. Ada beberapa jenis anemia, yaitu anemia pernisiiosa, anemia gizi, dan anemia aplastik.
 - a. **Anemia pernisiiosa** adalah anemia yang disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh menyerap vitamin B12.
 - b. **Anemia gizi** adalah anemia yang disebabkan oleh kurangnya zat besi dalam tubuh.
 - c. **Anemia aplastik** adalah anemia yang disebabkan oleh kegagalan sumsum tulang dalam memproduksi eritrosit.
2. **Hemofilia** adalah kegagalan dalam proses pembekuan darah. Hemofilia disebabkan oleh defisiensi faktor pembeku darah. Hemofilia merupakan penyakit keturunan.
3. **Siklemia** atau **anemia bulan sabit** adalah anemia yang disebabkan oleh abnormalitas bentuk eritrosit. Eritrosit berbentuk bulan sabit, cepat rusak, dan berumur pendek, sehingga kemampuan eritrosit untuk berikatan dengan oksigen menjadi rendah. Akibatnya, tubuh mengalami kekurangan oksigen. Siklemia merupakan penyakit keturunan akibat mutasi gen.
4. **Leukemia** adalah keadaan saat jumlah leukosit terlalu banyak. Leukimia dapat menyebabkan kematian.
5. **Talasemia** adalah penyakit genetik berupa kelainan pada eritrosit. Eritrosit memiliki bentuk yang tidak normal, rapuh, cepat rusak, berumur pendek, dan kurang dapat mengikat oksigen. Penderita talasemia memerlukan transfusi darah berulang-ulang seumur hidupnya. Talasemia juga menyebabkan kematian.
6. **Hipotensi** adalah keadaan saat tekanan darah arteri menurun hingga di bawah normal, misalnya 90 mmHg sistol/60 mmHg diastol. Penyebab hipotensi antara lain adalah kehamilan, terlalu lama berbaring karena sakit, konsumsi obat pelangsing yang berlebihan, dan dehidrasi.

7. **Hipertensi** adalah keadaan saat tekanan darah arteri meningkat hingga di atas normal, misalnya 140 mmHg sistol/99 mmHg diastol. Hipertensi dapat menyebabkan pecahnya pembuluh darah dan stroke (tersumbatnya arteri otak).
8. **Trombus** adalah gumpalan bekuan darah yang menyumbat pembuluh darah di tempat terjadinya kerusakan, misalnya setelah operasi.
9. **Embolus** adalah gumpalan bekuan darah yang bergerak di dalam pembuluh darah, sehingga dapat menyumbat pembuluh darah yang lebih kecil.
10. **Aterosklerosis** dan **arteriosklerosis** adalah pengerasan pada pembuluh arteri.
 - a. **Aterosklerosis** adalah pengerasan pembuluh arteri yang disebabkan oleh endapan lemak yang menempel di dinding arteri.
 - b. **Arteriosklerosis** adalah pengerasan pembuluh arteri karena pengapuran.
11. **Jantung koroner** adalah tersumbatnya arteri koroner sehingga aliran darah yang dapat mencapai sel-sel otot jantung hanya sedikit. Jantung koroner dapat disebabkan oleh makanan berkolesterol tinggi, merokok, kegemukan, diabetes melitus, penuaan, hipertensi, atau faktor keturunan.
12. **Limfangitis** adalah infeksi atau peradangan pada pembuluh limfa, sehingga tampak garis-garis merah di bawah kulit. Jika terjadi infeksi, biasanya kelenjar di ketiak dan daerah lipatan paha akan terasa sakit.
13. **Hemoroid** atau **wasir** adalah pelebaran pembuluh darah vena di sekitar anus.
14. **Edema** adalah pembengkakan pada tubuh akibat penumpukan volume abnormal cairan interstitial pada ruangan di antara sel. Edema dapat disebabkan oleh peningkatan tekanan filtrasi dalam kapiler maupun penurunan tekanan osmosis plasma.
15. **Varises** adalah pelebaran pembuluh vena. Varises biasanya menyerang anggota tubuh bagian bawah, misalnya betis. Varises disebabkan oleh menurunnya elastisitas pembuluh vena.
16. **Infark miokard** umumnya dikenal sebagai serangan jantung. Keadaan ini terjadi ketika sekelompok otot jantung mati karena penyumbatan mendadak pada arteri koroner. Hal ini biasanya disertai dengan nyeri dada luar biasa dan sejumlah kerusakan jantung.

G. Teknologi Sistem Sirkulasi

Berbagai teknologi yang berkaitan dengan sistem sirkulasi manusia telah berhasil dikembangkan. Teknologi-teknologi tersebut antara lain adalah sebagai berikut.

1. **Ekokardiograf (ECG/Echocardiography)** adalah suatu alat untuk mengetahui struktur internal jantung, mendiagnosis adanya gumpalan darah, arah aliran darah,

- tumor, anatomi dan gerakan katup, serta gerakan jantung dan pembuluh darah besar dengan menggunakan gelombang ultrasonik untuk membentuk gambar bayangan.
2. **Operasi bypass (Coronary Artery Bypass Graft)** adalah suatu teknik bedah pintas koroner berupa revaskularisasi (pembuatan saluran baru) melewati arteri koroner yang mengalami penyempitan atau tersumbat. Saluran baru dapat berasal dari arteri sehat yang diambil dari bagian tubuh lainnya, kemudian dihubungkan dari aorta menuju ke jantung.
 3. **Terapi gen** adalah suatu teknik untuk menumbuhkan pembuluh darah baru, dengan cara menyuntikkan beberapa salinan gen yang mengkode VEGF (*Vascular Endothelial Growth Factor*). VEGF diperlukan untuk mendorong munculnya pembuluh-pembuluh darah baru dari arteri. Jika berhasil, pembuluh-pembuluh darah baru tersebut dapat membawa darah melewati arteri-arteri yang tersumbat.
 4. **Pemindaian dengan bahan radioaktif** adalah cara yang aman untuk mendeteksi adanya penyakit jantung. Cara ini dilakukan dengan menyuntikkan bahan radioaktif yang tidak berbahaya ke dalam tubuh pasien. Kemudian, menggunakan detektor sinar gamma untuk merekam dan membuat foto polaroidnya.
 5. **Angioplasti** adalah teknik membuka sumbatan yang berupa plak atau timbunan lemak pada pembuluh darah dengan menggunakan kateter yang dilengkapi dengan balon. Balon tersebut akan memaksa pembuluh darah terbuka dan plak terdorong keluar sehingga darah dapat mengalir kembali. Setelah selesai, balon dikempiskan dan ditarik keluar.
 6. **Pacemaker** adalah alat pemacu detak jantung berupa sebuah perangkat bertenaga baterai untuk menstabilkan detak jantung dengan cara memberi impuls listrik berkekuatan ringan. Alat ini ditanamkan secara permanen di dalam dada pasien melalui operasi untuk menciptakan sayatan kecil di dinding dada tepat di bawah tulang selangka.
 7. **Transplantasi jantung** adalah teknik mengganti jantung yang sudah mengalami kerusakan dengan jantung sehat yang berasal dari donor jantung. Kendala teknik ini adalah persediaan organ jantung sangat terbatas. Oleh karena itu, banyak pasien yang kesulitan untuk melakukan teknik tersebut.