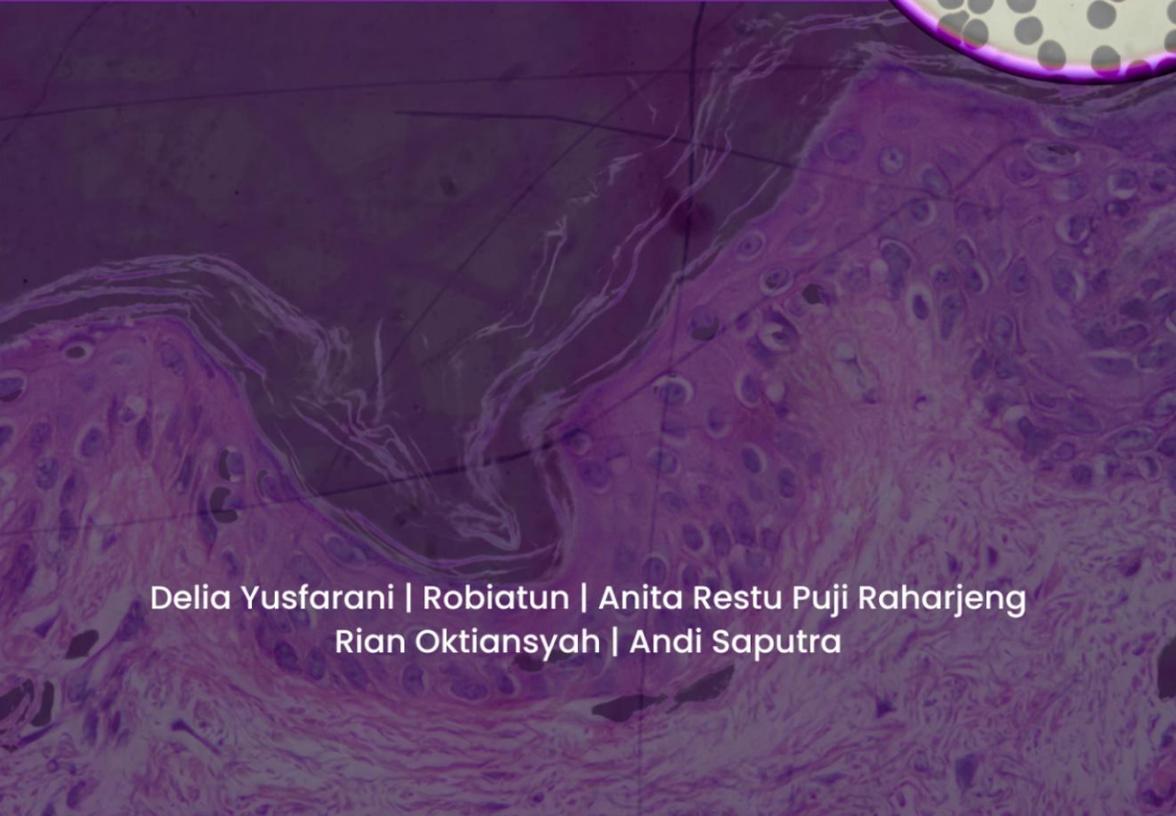


BUKU AJAR **HISTOLOGI**



Delia Yusfarani | Robiatun | Anita Restu Puji Raharjeng
Rian Oktiansyah | Andi Saputra

BUKU AJAR HISTOLOGI

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

BUKU AJAR HISTOLOGI

Delia Yusfarani
Robiatun
Anita Restu Puji Raharjeng
Rian Oktiansyah
Andi Saputra

Penerbit



CV. MEDIA SAINS INDONESIA
Melong Asih Regency B40 - Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
www.medsan.co.id

Anggota IKAPI
No. 370/JBA/2020

BUKU AJAR HISTOLOGI

Delia Yusfarani
Robiatun
Anita Restu Puji Raharjeng
Rian Oktiansyah
Andi Saputra

Editor:
Suci Haryanti

Tata Letak:
Rakha Ibnu Maulana

Desain Cover:
Qonita Azizah

Ukuran:
A5 Unesco: 15,5 x 23 cm

Halaman:
x, 247

ISBN:
978-623-512-596-1

Terbit Pada:
Juni 2025

Hak Cipta 2025 @ Media Sains Indonesia dan Penulis

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit atau Penulis.

PENERBIT MEDIA SAINS INDONESIA

(CV. MEDIA SAINS INDONESIA)
Melong Asih Regency B40 - Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
www.medsan.co.id

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terselesaikannya penulisan buku ajar "Histologi Jaringan Dasar dan Sistem Organ" ini. Buku yang sangat dibutuhkan dalam dunia pendidikan kedokteran dan ilmu kesehatan di Indonesia.

Histologi merupakan salah satu ilmu dasar yang fundamental dalam memahami struktur mikroskopis tubuh manusia. Pentingnya pemahaman histologi tidak dapat diabaikan, karena menjadi fondasi bagi mahasiswa kedokteran, keperawatan, dan ilmu kesehatan lainnya untuk memahami fisiologi, patologi, dan berbagai aspek klinis lainnya.

Buku ini disusun secara sistematis, dimulai dari pengenalan jaringan dasar hingga histologi sistem organ yang kompleks. Tim penulis telah berupaya menyajikan materi dengan bahasa yang mudah dipahami, dilengkapi dengan ilustrasi yang mendukung pemahaman konsep, serta latihan soal yang dapat membantu evaluasi pemahaman pembaca.

Keunggulan buku ini terletak pada pendekatan yang komprehensif namun tetap praktis. Setiap bab dilengkapi dengan tujuan pembelajaran yang jelas, rangkuman yang memudahkan review materi, dan soal latihan yang relevan dengan kompetensi yang diharapkan. Struktur penyajian yang logis memungkinkan pembaca untuk membangun pemahaman secara bertahap dan sistematis.

Kami berharap buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, dan praktisi di bidang kesehatan.

Jakarta, Juni 2025
Editor

PRAKATA

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan penulisan buku ajar "Histologi" ini dengan baik.

Motivasi utama kami dalam menyusun buku ini adalah kebutuhan akan referensi histologi dalam bahasa Indonesia yang komprehensif, mudah dipahami, dan sesuai dengan kurikulum pendidikan tinggi kesehatan di Indonesia. Selama bertahun-tahun mengajar histologi, kami merasakan tantangan dalam menyediakan sumber belajar yang dapat mengakomodasi kebutuhan mahasiswa dengan latar belakang yang beragam.

Buku ini merupakan hasil kerja keras tim penulis yang terdiri dari para akademisi dan praktisi berpengalaman di bidang histologi dan anatomi. Kami berupaya menyajikan materi dengan pendekatan yang sistematis, dimulai dari konsep dasar jaringan hingga aplikasinya dalam berbagai sistem organ tubuh manusia.

Dalam penyusunan buku ini, kami telah mempertimbangkan berbagai aspek pedagogis yang mencakup kesesuaian dengan standar kompetensi pendidikan kesehatan, penggunaan terminologi yang konsisten dan sesuai dengan nomenclature internasional, penyajian ilustrasi yang mendukung pemahaman konsep, integrasi antara struktur dan fungsi organ, serta relevansi klinis untuk menghubungkan teori dengan praktik.

Semoga buku ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang histologi, dan bermanfaat bagi kemajuan pendidikan kesehatan di Indonesia..

Yogyakarta, Juni 2025
Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
PRAKATA	ii
DAFTAR ISI.....	iii
SILABUS	vii
PETA KOMPETENSI	ix
BAB 1 HISTOLOGI JARINGAN DASAR	1
Pendahuluan.....	1
Uraian Materi.....	3
A. Jaringan Epitel	3
B. Karakteristik Sel Epitel	6
C. Adhesi Antar Sel dan Sambungan Lainnya	12
D. Jenis-jenis Epitelia	28
Soal Latihan.....	50
Rangkuman	51
BAB 2 HISTOLOGI SISTEM KARDIOVASKULAR	53
Pendahuluan.....	53
Uraian Materi.....	55
A. Jantung.....	55
B. Jaringan Dinding Vaskular	64
C. Vaskulatur.....	68
Soal Latihan.....	107
Rangkuman	108
BAB 3 HISTOLOGI SISTEM PENCERNAAN	109
Pendahuluan.....	109
Uraian Materi.....	110

A. Struktur Umum Saluran Pencernaan	110
B. Sistem Pencernaan dan Kelenjar Terkait.....	112
C. Rongga Mulut dan Struktur Terkait.....	114
D. Kerongkongan.....	124
E. Lambung	125
F. Usus Halus.....	133
G. Usus Besar	136
Soal Latihan.....	142
Rangkuman	142
BAB 4 SISTEM PERNAFASAN	145
Pendahuluan.....	145
Uraian Materi.....	146
A. Saluran Pernapasan Bagian Atas.....	146
B. Saluran Pernapasan Bagian Bawah	151
C. Struktur dan Fungsi Spesifik Paru-Paru.....	160
Soal Latihan.....	162
Rangkuman	163
BAB 5 HISTOLOGI SISTEM PERKEMIHAN.....	165
Pendahuluan.....	165
Uraian Materi.....	167
A. Struktur dan Fungsi Umum Ginjal.....	167
B. Sistem Tubulur Ginjal	171
C. Regulasi dan Mikrosirkulasi Ginjal	179
D. Jalur Ekseri Urin.....	182
Soal Latihan.....	184
Rangkuman	185

BAB 6 HISTOLOGI SISTEM REPRODUKSI PRIA	187
Pendahuluan.....	187
Uraian Materi.....	188
A. Organ Reproduksi Internal Pria	188
B. Kelenjar Aksesori.....	199
C. Organ Reproduksi Eksternal.....	202
Soal Latihan.....	203
Rangkuman	204
BAB 7 HISTOLOGI SISTEM REPRODUKSI WANITA ...	205
Pendahuluan.....	205
Uraian Materi.....	206
A. Ovarium dan Perkembangannya.....	206
B. Proses Ovulasi dan Regulasi Hormonal.....	214
C. Saluran Reproduksi Wanita.....	217
D. Uterus dan Siklus Menstruasi	218
E. Bagian Akhir Saluran Reproduksi.....	222
Soal Latihan.....	223
Rangkuman	224
BAB 8 HISTOLOGI SISTEM ENDOKRIN	227
Pendahuluan.....	227
Uraian Materi.....	228
A. Kelenjar Hipofisis dan Regulasi Hormonal ...	228
B. Kelenjar Adrenal dan Fungsinya	236
C. Kelenjar Tiroid dan Perannya.....	242
Soal Latihan.....	246
Rangkuman	247

GLOSARIUM	248
INDEKS.....	250
DAFTAR PUSTAKA.....	253

SILABUS

Nama Mata Kuliah: Histologi

Beban SKS: 3 SKS (2 SKS Teori, 1 SKS Praktikum)

Deskripsi Mata Kuliah:

Mata kuliah ini membahas struktur mikroskopik jaringan dan organ tubuh manusia serta hubungannya dengan fungsi fisiologis masing-masing sistem. Kajian meliputi jaringan dasar (epitel, ikat, otot, saraf) dan histologi sistem organ seperti sistem kardiovaskular, pencernaan, pernapasan, perkemihan, reproduksi, dan endokrin.

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK):

1. Menjelaskan struktur dan fungsi jaringan dasar tubuh manusia.
2. Menganalisis hubungan antara struktur mikroskopik dan fungsi fisiologis organ-organ dalam berbagai sistem tubuh.
3. Menginterpretasikan gambar histologi jaringan dan organ tubuh manusia.
4. Menerapkan pemahaman histologi dalam konteks biomedis dan diagnostik dasar.

Rincian Materi dan Kegiatan Pembelajaran

Minggu	Topik Bahasan	Subtopik	Metode
1	Pendahuluan Histologi	Definisi, peran, metode pewarnaan, mikroskop	Ceramah, diskusi
2	Jaringan Epitel	Karakteristik, membran basal, spesialisasi permukaan	Ceramah, gambar mikroskopik
3	Jenis-jenis Epitel	Epitel sederhana dan berlapis, lokasi dan fungsi	Studi kasus, praktikum

4	Sistem Kardiovaskular	Struktur jantung dan pembuluh darah	Ceramah, gambar histologi
5	Sistem Vaskular Lanjutan	Vena, arteri, kapiler, sistem limfatik	Ceramah, analisis gambar
6	Sistem Pencernaan I	Rongga mulut, gigi, kerongkongan, lambung	Diskusi, identifikasi mikroskopik
7	Sistem Pencernaan II	Usus halus dan besar	Praktikum, kuis
8	Sistem Pernapasan	Saluran pernapasan atas dan bawah, alveoli	Ceramah, identifikasi slide
9	Ujian Tengah Semester	Ujian tertulis	
10	Sistem Perkemihan	Struktur ginjal, ureter, kandung kemih, uretra	Ceramah, praktikum
11	Sistem Reproduksi Pria	Testis, saluran reproduksi, kelenjar aksesori	Gambar histologi, diskusi
12	Sistem Reproduksi Wanita	Ovarium, uterus, vagina, siklus menstruasi	Ceramah, diskusi kelompok
13	Sistem Endokrin I	Hipofisis, tiroid, paratiroid, adrenal	Ceramah, gambar mikroskopik
14	Sistem Endokrin II	Pankreas, kelenjar pineal, sistem neuroendokrin	Diskusi, presentasi mahasiswa
15	Review dan Integrasi	Kaitan antar sistem histologis tubuh	Diskusi integratif
16	Ujian Akhir Semester	Ujian tertulis dan praktikum	

Penilaian:

Tugas dan Kuis: 20%

Praktikum dan Laporan: 30%

Ujian Tengah Semester: 20%

Ujian Akhir Semester: 30%

Referensi Utama:

Buku Ajar *Histologi: Struktur Mikroskopik dan Fungsi Jaringan Tubuh*

Ross and Pawlina, *Histology: A Text and Atlas*

Gartner & Hiatt, *Color Textbook of Histology*

PETA KOMPETENSI

Capaian Pembelajaran	Materi	Kompetensi Dasar
1. Menjelaskan struktur dan fungsi jaringan dasar tubuh manusia	Histologi jaringan dasar (epitel, ikat, otot, syaraf)	Memahami struktur mikroskopik jaringan dasar
2. Menganalisis hubungan antara struktur mikroskopik dan fungsi organ tubuh	Histologi sistem organ (kardiovaskular, pencernaan, pernafasan, dst.)	Menjelaskan struktur histologis sistem organ
3. Menginterpretasikan gambar histologi jaringan dan organ tubuh manusia	Seluruh bab	Membaca dan menafsirkan preparat mikroskopik
4. Menerapkan pemahaman histologis dalam konteks biomedis	Histologi sistem reproduksi dan endokrin	Menjelaskan relevansi histologi dalam dunia medis

Keterangan Ranah Kompetensi:

Kognitif: Tingkatan berpikir (C1–C6) sesuai taksonomi Bloom (dari mengingat hingga mengevaluasi).

Psikomotorik: Kemampuan teknis dan praktis dalam mengamati dan menganalisis preparat mikroskopik.

Afektif: Sikap ilmiah, tanggung jawab, dan etika akademik dalam belajar histologi.

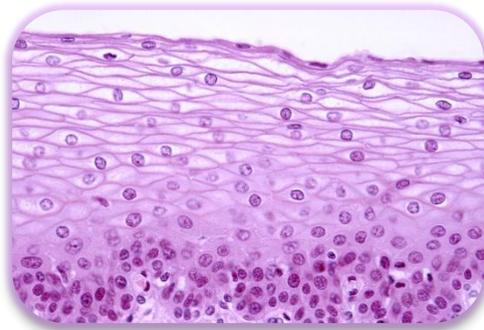
BAB 1

HISTOLOGI JARINGAN DASAR

Pendahuluan

Histologi adalah cabang dari anatomi biologi yang mempelajari susunan struktur seluler dan fungsi fisiologisnya, yang tersusun menjadi jaringan kompleks. Jaringan-jaringan tersebut umumnya memiliki struktur terorganisir dan terdiri atas tiga komponen utama, yaitu sel, zat intraseluler, dan cairan. Zat intraseluler merupakan hasil produksi dari sel, sedangkan cairan menjadi komponen dominan karena menyusun sekitar 65–70% dari komposisi kimia jaringan tubuh, berupa air (Mescher, 2016).

Histoteknik adalah metode atau prosedur dalam persiapan spesimen histologi melalui serangkaian proses hingga siap untuk diamati di bawah mikroskop, khususnya oleh dokter patologi anatomi. Spesimen tersebut dapat berasal dari jaringan hewan maupun manusia. Analisis histologis berfungsi sebagai standar emas (*gold standard*) dalam penegakan diagnosis, khususnya berdasarkan perubahan morfologi sel dan jaringan tubuh (Khristian & Inderati, 2017).



Gambar 1.1. Histologi

Istilah histologi, yang pertama kali digunakan oleh A.F.J.K. Mayer sejak tahun 1819, berasal dari bahasa Yunani *histos* yang berarti "jaringan" dan *logos* yang berarti "ilmu". Histologi adalah ilmu yang mempelajari jaringan tubuh yang membentuk organ. Jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan saraf merupakan empat jenis jaringan dasar tubuh. Studi histologi membutuhkan preparat khusus dan alat yang disebut mikroskop (Subowo, 2009; Junqueira & Carneiro, 2003).

Jaringan terdiri atas sel dan matriks ekstraseluler, yang mengandung berbagai jenis molekul dan mampu membentuk struktur kompleks seperti serat kolagen dan membran dasar. Sel dan matriks ekstraseluler bekerja serta merespons secara sinergis terhadap stimulasi maupun inhibisi, sehingga saling berinteraksi secara dinamis (Junqueira & Carneiro, 2003).

Capaian pembelajaran.

1. Menjelaskan konsep dasar histologi sebagai cabang ilmu biologi sel dan jaringan serta peranannya dalam memahami struktur dan fungsi tubuh manusia.
2. Mengidentifikasi dan menggambarkan karakteristik umum sel epitelial, termasuk bentuk, polaritas, dan susunannya.

3. Menjelaskan struktur dan fungsi membran basal serta peranannya dalam menopang dan memisahkan epitel dari jaringan di bawahnya.
4. Menganalisis jenis-jenis sambungan antar sel epitel (tight junction, desmosom, gap junction), serta implikasinya terhadap integritas jaringan.
5. Mendeskripsikan berbagai spesialisasi permukaan apikal sel epitel (mikrovili, stereosilia, silia) dan hubungannya dengan fungsi jaringan.
6. Membedakan berbagai jenis epitel berdasarkan bentuk dan jumlah lapisan sel, serta mengaitkannya dengan fungsi spesifik dan lokasi dalam tubuh manusia.
7. Menggunakan mikroskop untuk mengenali jenis-jenis jaringan epitel secara praktis, termasuk dalam interpretasi citra histologis.

Uraian Materi

A. Jaringan Epitel

Jaringan epitel terdiri atas sel-sel yang tersusun rapat dengan sedikit atau tanpa zat antar sel. Epitel berfungsi sebagai lapisan yang membatasi atau menutupi permukaan serta membentuk massa sel kelenjar (Leeson et al., 1996). Meskipun kompleks, organ-organ tubuh manusia tersusun hanya oleh empat jenis jaringan dasar, yaitu jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan saraf. Setiap jaringan merupakan kumpulan sel khusus yang memiliki kesamaan struktur dan fungsi tertentu.

Masing-masing jaringan dasar mengandung matriks ekstraseluler (*extracellular matrix/ECM*) dan sel, dengan proporsi serta karakteristik morfologis yang berbeda-beda antar organ. Jaringan epitel dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk sel dan susunannya dalam lapisan. Bentuk sel epitel dapat berupa pipih (*squamous*), kubus (*cuboidal*), silindris (*columnar*), serta bentuk peralihan.

Epitel dapat berasal dari ketiga lapisan embrionik utama. Sebagian besar epitel yang melapisi kulit, mulut, hidung, dan anus berasal dari ektoderm. Epitel yang terdapat pada sistem pernapasan, saluran pencernaan, serta kelenjar pencernaan seperti pankreas dan hati berasal dari endoderm. Sementara itu, epitel yang berasal dari mesoderm dikenal sebagai endotel, yaitu epitel yang melapisi pembuluh darah (Junqueira et al., 2007).

Epitel memiliki dua bentuk utama, yaitu sebagai membran dan sebagai kelenjar. Epitel membran terdiri atas sel-sel yang membentuk lapisan pelindung pada permukaan luar dan dalam tubuh. Epitel yang tumbuh menembus jaringan ikat akan membentuk kelenjar eksokrin, di mana produk sekresinya disalurkan ke permukaan tubuh. Jika hubungan antara epitel dan permukaan hilang dan sekresi masuk ke dalam pembuluh darah, maka struktur ini disebut kelenjar endokrin (Leeson et al., 1996). Fitur utama dari masing-masing jaringan dasar dapat dilihat dalam Tabel 1.1

Tabel 1.1. Karakteristik Utama dari Empat Tipe Dasar Jaringan

Jaringan	Sel	Matriks Ekstraseluler	Fungsi Utama
Epitel	Sel sel polihedral yang beragregasi	Jumlah kecil	Melapisi rongga permukaan tubuh; sekresi oleh kelenjar
Ikat	Beragam jenis sel tetap dan mengembara	Jumlah melimpah	Memberikan dukungan dan perlindungan bagi jaringan / organ

Otot	Sel sel kontraktil yang memanjang	Jumlah sedang	kontraksi kuat; menghasilkan gerakan tubuh
Syaraf	Sel sel memanjang dengan proses yang sangat halus	Jumlah sangat kecil	Transmisi impuls saraf

Jaringan ikat ditandai oleh keberadaan sel-sel yang memproduksi matriks ekstraseluler (*extracellular matrix/ECM*) dalam jumlah besar. Jaringan otot terdiri atas sel-sel memanjang yang terspesialisasi untuk melakukan kontraksi dan menghasilkan gerakan. Sementara itu, jaringan saraf terdiri atas sel-sel dengan proses memanjang dan halus, yang berfungsi untuk menerima, menghasilkan, dan menghantarkan impuls saraf.

Sebagian besar organ dapat dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu *parenkim*, yang terdiri atas sel-sel fungsional utama suatu organ, dan *stroma*, yang terdiri atas sel-sel pendukung. Kecuali pada otak dan sumsum tulang belakang, stroma hampir selalu merupakan jaringan ikat.

Jaringan epitel terdiri dari sel-sel polihedral yang beragregasi erat, saling melekat kuat satu sama lain, dan melekat pada lapisan tipis matriks ekstraseluler. Sel-sel ini membentuk lembaran seluler yang melapisi rongga organ serta menutupi permukaan tubuh. Epitel (dari bahasa Yunani *epi*, berarti "pada", dan *thele*, berarti "puting susu") melapisi semua permukaan luar dan dalam tubuh. Semua zat yang masuk atau keluar dari organ harus melewati jaringan ini.

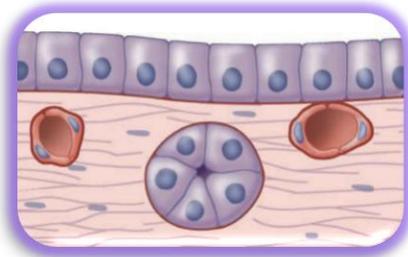
Fungsi utama jaringan epitel mencakup:

1. Menutupi, melapisi, dan melindungi permukaan (misalnya, epidermis)
2. Penyerapan (misalnya, epitel pada lapisan usus)
3. Sekresi (misalnya, sel-sel parenkim kelenjar)

Beberapa sel epitel tertentu memiliki fungsi khusus, seperti kontraktilitas (misalnya sel mioepitelial) atau sebagai sel sensorik khusus, seperti sel pengecap dan epitel olfaktorius.

B. Karakteristik Sel Epitel

Bentuk dan dimensi sel epitel sangat bervariasi, mulai dari sel kolumnar tinggi hingga bentuk kuboid maupun skuamosa yang pipih. Ukuran dan morfologi sel umumnya disesuaikan dengan fungsi spesifiknya. Bentuk inti sel epitel juga bervariasi; dapat berbentuk elips (oval), bulat, atau pipih, dan biasanya mengikuti bentuk umum selnya. Sel kolumnar cenderung memiliki inti yang memanjang secara vertikal, sedangkan sel skuamosa memiliki inti yang lebih datar atau bulat.



Gambar 1.2. Epitel dan jaringan ikat yang berdekatan.

Sel epitel kuboid atau piramidal umumnya memiliki inti berbentuk bulat, sedangkan inti sel epitel skuamosa cenderung pipih. Sebuah membran basal (*basement membrane*) yang bersifat ekstraseluler (berwarna merah pada pewarnaan histologi) selalu terletak di antara sel epitel dan jaringan ikat di bawahnya. Nutrisi bagi sel epitel harus berdifusi

melintasi membran basal, karena epitel tidak memiliki pembuluh darah. Serabut saraf dapat menembus struktur ini, namun kapiler darah kecil—yang juga merupakan jaringan epitel—umumnya tidak pernah masuk ke dalam lapisan epitel itu sendiri.

Membran sel epitel yang kaya lipid sering kali sulit dibedakan menggunakan mikroskop cahaya, jumlah dan bentuk inti yang terwarnai menjadi indikator penting untuk mengidentifikasi bentuk dan kepadatan sel. Bentuk dan jumlah inti juga membantu menentukan jumlah lapisan sel dalam jaringan epitel, yang merupakan dasar utama dalam klasifikasi morfologi epitel.

Sebagian besar epitel berada di atas jaringan ikat yang mengandung pembuluh darah sebagai sumber nutrisi dan oksigen. Bahkan pada epitel yang cukup tebal, tidak ditemukan pembuluh darah di dalamnya.

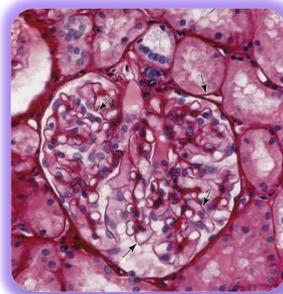
Jaringan ikat yang mendasari lapisan epitel pada organ-organ sistem pencernaan, pernapasan, dan kemih disebut *lamina propria*. Area kontak antara epitel dan jaringan ikat sering diperluas oleh tonjolan-tonjolan kecil dari jaringan ikat ke dalam epitel, yang disebut *papila* (dari bahasa Latin *papula*, berarti puting susu). Papila paling sering ditemukan pada epitel yang mengalami gesekan tinggi, seperti pada kulit atau permukaan lidah.

Sel epitel umumnya menunjukkan sifat polaritas, dengan organel dan protein membran terdistribusi tidak merata di dalam sel. Wilayah sel yang berinteraksi dengan ECM dan jaringan ikat disebut *kutub basal*, sedangkan ujung yang berlawanan, yang biasanya menghadap lumen atau permukaan bebas, disebut *kutub apikal*. Kedua kutub ini berbeda secara signifikan baik dalam struktur maupun fungsi. Pada sisi lateral, sel-sel epitel kuboid atau kolumnar saling berdampingan dan saling terhubung; membran sel pada sisi ini sering menunjukkan banyak lipatan yang meningkatkan luas permukaan serta kapasitas fungsionalnya.

Membran Basal

Permukaan basal dari seluruh lapisan epitel bertumpu pada suatu lembaran makromolekul ekstraseluler yang tipis namun lentur, dikenal sebagai membran basal (*basal lamina*). Struktur ini memberikan dukungan mekanis bagi sel-sel epitel, serta berperan sebagai dasar transmisi sinyal seluler yang kompleks. Selain itu, membran basal bertindak sebagai penyaring semipermeabel (*semipermeable filter*) yang mengatur lalu lintas zat-zat dari jaringan ikat menuju sel-sel epitel di atasnya.

Komponen utama membran basal terdiri dari glikoprotein dan molekul lain yang sering kali dapat diwarnai dan divisualisasikan dengan mikroskop cahaya, seperti yang terlihat pada Gambar 1.3.



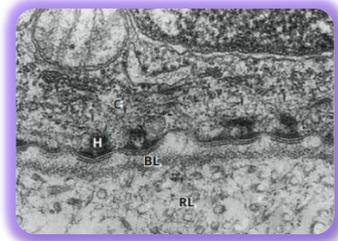
Gambar 1.3. Membran Basal

Bagian ginjal ini menunjukkan membran basal (ditunjukkan oleh panah) yang terwarnai dengan jelas, berasal dari struktur pembentuk epitel di dalam glomerulus ginjal yang besar dan berbentuk bulat, serta tubulus di sekitarnya. Pada glomerulus ginjal, membran basal tidak hanya berfungsi sebagai penopang struktural, tetapi juga memainkan peran penting sebagai penyaring (*filter*) utama, yang merupakan komponen kunci dalam fungsi filtrasi ginjal. (Perbesaran X100; pewarnaan Pikrosirius-Hematoksilin [PSH]).

Dengan menggunakan *Transmission Electron Microscope* (TEM), membran basal dapat diuraikan

menjadi dua bagian. Pada sisi yang berdekatan dengan sel epitel, terdapat lapisan padat elektron (*electron-dense*) setebal 20–100 nm yang terdiri atas jaringan serat halus, dikenal sebagai lamina basalis. Lamina basalis merupakan lapisan matriks ekstraseluler yang disekresikan oleh sel-sel epitel dan menjadi tempat penempelan epitel. Meskipun sering disamakan dengan membran basal secara keseluruhan, lamina basalis sesungguhnya merupakan salah satu komponennya.

Membran basal hanya dapat terlihat dengan jelas di bawah mikroskop elektron, di mana ia tampak sebagai lapisan padat elektron setebal 20–100 nm. Di bawah lamina basalis terdapat lamina retikularis, yang terdiri atas serabut kolagen halus dan berperan sebagai penghubung antara lamina basalis dan jaringan ikat di bawahnya. Struktur lengkap ini dapat dilihat pada Gambar 1.4.

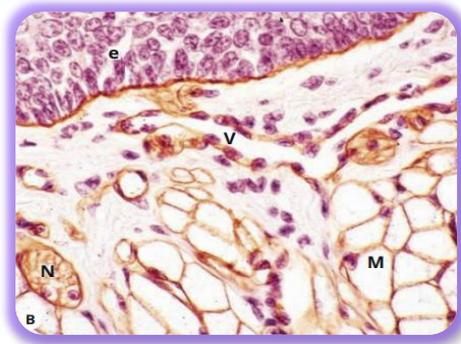


Gambar 1.4. Membran Basal

Komponen ultrastruktural dari membran basal dapat diungkapkan secara rinci melalui Transmission Electron Microscope (TEM). Lamina basalis (BL), yang tampak sebagai lapisan padat elektron, biasanya diapit oleh zona bening tipis di kedua sisinya. Lamina ini terhubung dengan lamina retikularis (RL) yang lebih tebal dan menyebar, serta mengandung serabut retikuler tipe kolagen III.

Hemidesmosom (H) mengikat permukaan basal sel epitel (C) ke lamina basalis, sehingga memastikan adhesi yang kuat antara sel epitel dan matriks ekstraseluler di bawahnya. Struktur ini berperan

penting dalam mempertahankan integritas jaringan epitel terhadap gaya mekanik. (Perbesaran X54.000). Struktur lengkap ini dapat dilihat pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5. Lamina retikular membran basal

Laminin merupakan glikoprotein utama dalam lamina basal. Pada preparat imunohistokimia, laminin dapat digunakan untuk mengidentifikasi membran dasar dari epitel bertingkat (e) dan epitel sederhana yang melapisi pembuluh darah kecil (V). Laminin juga ditemukan dalam lamina eksterna yang mengelilingi serabut saraf (N) dan serabut otot (M), seperti yang terlihat pada penampang melintang pada gambar 1.5. (Perbesaran X200).

Istilah *membran basal* dan *lamina basal* kadang digunakan secara bergantian. Namun, lamina basal merujuk pada lapisan ekstraseluler halus yang dapat diamati secara ultrastruktural, sedangkan membran basal mencakup keseluruhan struktur di bawah sel epitel yang tampak pada mikroskop cahaya.

Makromolekul lamina basal disekresikan oleh sisi basal sel epitel dan membentuk lembaran yang terorganisir. Komponen khas dari lamina basal meliputi:

- **Kolagen tipe IV:** Monomer kolagen tipe IV menyusun diri membentuk jaringan dua dimensi yang seragam dan stabil.

- **Laminin:** Glikoprotein besar yang menempel pada protein transmembran integrin di permukaan basal sel, dan berproyeksi melalui jaringan kolagen tipe IV.
- **Nidogen dan Perlecan:**
 - *Nidogen* adalah glikoprotein yang menyumbang sekitar 2–3% dari total protein membran basal.
 - *Perlecan* adalah heparan sulfat proteoglycan (HSPG).

Kedua komponen ini berfungsi menghubungkan laminin dengan jaringan kolagen, serta membantu menentukan porositas lamina basal, yang mempengaruhi ukuran molekul yang dapat disaring.

Lamina basal juga disebut sebagai lamina eksterna pada struktur yang mengelilingi sel otot, serabut saraf, dan sel penyimpanan lemak. Di sana, lamina ini berfungsi sebagai penghalang semipermeabel yang mengatur pertukaran molekul antara sel dan jaringan ikat di sekitarnya.

Lamina retikularis, yaitu lapisan jaring kolagen yang lebih menyebar, mengandung kolagen tipe III, dan dihubungkan ke lamina basal oleh fibril penahan kolagen tipe VII—yang semuanya disintesis oleh sel-sel jaringan ikat.

Fungsi membran basal:

- Menyediakan dukungan struktural bagi sel epitel.
- Menambatkan epitel ke jaringan ikat di bawahnya.
- Mengatur interaksi molekul transmembran, seperti integrin, mempertahankan polaritas sel, dan memfasilitasi proses seperti endositosis, transduksi sinyal, dan pergerakan vesikel.
- Menjadi jalur migrasi sel, terutama penting dalam proses regenerasi dan penyembuhan jaringan.

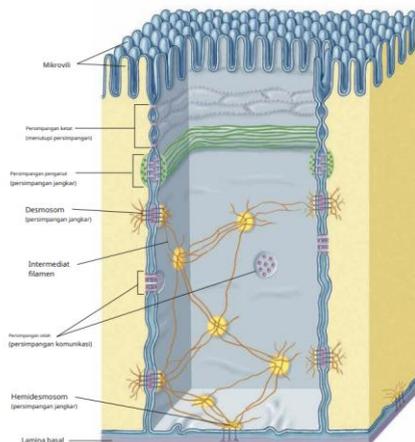
Berperan sebagai kerangka (scaffold) untuk perbaikan dan regenerasi epitel yang cepat.

C. Adhesi Antar Sel dan Sambungan Lainnya

Beberapa struktur khusus pada membran sel berfungsi untuk menjaga adhesi dan komunikasi antar sel, yang sangat penting terutama pada jaringan epitel. Sel-sel epitel saling terikat erat satu sama lain serta dengan lamina basal, terutama pada epitel yang terpapar gesekan atau tekanan mekanis tinggi, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.6 dan dirangkum dalam Tabel 1.2.

Permukaan lateral sel epitel memiliki beberapa jenis kompleks persimpangan antar sel (*cell junction complexes*) dengan fungsi berbeda, yaitu:

- *Tight junctions* (zonula occludens): Membentuk segel kedap antara sel yang berdekatan, mencegah kebocoran zat antar sel.
- *Adherens junctions* (zonula adherens) dan desmosom: Memberikan adhesi mekanik kuat antar sel.
- *Gap junctions*: Membentuk saluran komunikasi yang memungkinkan pertukaran ion dan molekul kecil antar sel.



Gambar 1.6. Kompleks Persimpangan Sel Epitel

Sebagian besar sel epitel kuboid atau kolumnar memiliki kompleks sambungan antar sel yang terdiri

dari berbagai jenis *junction*. Skema di bawah ini menggambarkan lokasi dan fungsi sambungan-sambungan ini secara sistematis.

Pada ujung apikal, terdapat dua jenis sambungan utama:

- *Tight junctions* (zonulae occludens): Terletak paling apikal dan membentuk pita kontinu mengelilingi sel. Struktur ini mencegah aliran pasif zat melalui ruang antar sel (*paracellular pathway*), menjaga polaritas sel dengan membatasi pergerakan protein membran.
- *Adherens junctions* (zonulae adherens): Terletak tepat di bawah tight junction, juga membentuk pita melingkar. Sambungan ini memberikan kekuatan mekanis, membantu menstabilkan tight junction, dan memperkuat ikatan antar sel melalui perlekatan ke filamen aktin di sitoskeleton.

Dua sambungan lainnya adalah:

- Desmosom (maculae adherens): Berbentuk titik-titik perlekatan yang tersebar di permukaan lateral sel. Desmosom terhubung dengan filamen perantara (intermediate filaments) di dalam sel dan memberikan kekuatan adhesif tinggi, penting dalam menjaga integritas jaringan epitel, terutama pada jaringan yang mengalami tekanan mekanik tinggi seperti epidermis.
- Gap junctions: Berfungsi sebagai saluran komunikasi antar sel, memungkinkan pertukaran ion dan molekul kecil. Meskipun tidak memiliki kekuatan adhesi, sambungan ini penting dalam sinkronisasi aktivitas sel, seperti pada otot jantung dan epitel.

Selain itu, pada permukaan basal sel epitel, terdapat:

- Hemidesmosom: Struktur adhesi yang mengikat sel epitel ke lamina basal. Berbeda dari desmosom, hemidesmosom hanya melibatkan satu sisi (sel) dan terhubung dengan filamen perantara,

menyediakan perlekatan kuat ke jaringan ikat di bawahnya.

Tabel 1.2. Persimpangan Sel Epitel, Fitur, dan Fungsi Struktural Utamanya, dan serta Signifikansi medisnya

Persimpangan sel epitel	Persimpangan ketat (Zonula Occludens)	Persimpangan Adherent (Pengikut Zonula)	Desmosom (Pengikut Makula)	Hemidesmosom	Persimpangan Celah (Nexus)
Protein penghubung transmembran utama	Occludin, claudin, protein ZO	E-cadherin, katenin kompleks	Protein keluarga Cadherin (desmoglein, Desmocollin)	Integrin	Connexin
Komponen sitoskeletal	Filamen aktin	Filamen aktin	Filamen Intermediat (keratin)	Filamen perantara	Tidak ada
Fungsi utama	Menyegel sel-sel yang berdekatan dan mengontrol jalur parasetuler, memisahkan domain	Menghubungkan sitoskeleton antar sel dan memperkuat persimpangan di dekatnya	Menyediakan titik ikat kuat antara sel melalui filamen intermediat, memperkuat jaringan	Menambatkan sitoskeleton ke lamina basal	Memungkinkan transfer molekul kecil dan ion secara langsung antar sel

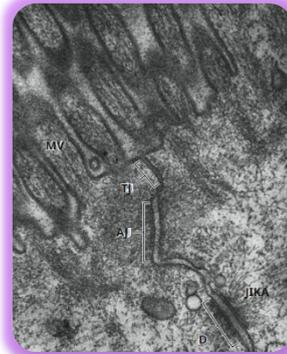
	membran apikal dan basolateral				
Signifikanis medis	Cacat pada occludin dapat mengganggu sawar darah otak (BBB), menyebabkan gangguan neurologis berat	Kehilangan E-cadherin pada karsinoma mendorong invasi tumor dan pergeseran menjadi keganasan	Autoimunitas terhadap desmoglein menyebabkan penyakit kulit desmosomal seperti pemfigus vulgaris	Mutasi pada integrin- β 4 terkait dengan epidermolisis bulosa, kelainan kulit yang menyebabkan melepuh	Mutasi berbagai gen connexin terkait dengan ketulian hereditif dan neuropati perifer

Pada banyak jenis epitel, kompleks sambungan antar sel tersusun dalam urutan tertentu di bagian ujung apikal sel. Sambungan yang paling ujung adalah persimpangan ketat, yang dikenal sebagai zonula occludens.

Istilah “zonula” merujuk pada bentuk sambungan ini yang menyerupai pita kontinu yang mengelilingi seluruh permukaan apikal sel. Fungsi utama dari persimpangan ini adalah membentuk segel kedap antara sel-sel yang berdekatan, sehingga mencegah pergerakan zat melalui jalur antar sel (*paracellular pathway*), dan turut menjaga polaritas sel epitel.

Pada pemeriksaan menggunakan Transmission Electron Microscope (TEM), membran plasma dari dua sel yang berdekatan pada persimpangan ini tampak

menyatu atau sangat rapat, sehingga menciptakan tampilan khas berupa zona gelap menyatu pada antarmuka sel (lihat Gambar 1.7).



Gambar 1.7. Kompleks sambungan sel epitel

Segel antara dua membran sel disebabkan oleh interaksi yang erat antara protein transmembran claudin dan occluding (Mescher, 2016). Protein claudin merupakan keluarga besar yang terdiri dari lebih dari 27 anggota mamalia yang berbeda (Schneeberger et al., 2004), dengan berat molekul sekitar 20 kDa. Protein ini memiliki struktur yang serupa dengan occludin, yaitu terdiri dari empat domain transmembran dan loop ekstraseluler yang khas.

Claudin dianggap sebagai tulang punggung struktural dari zonula occludens, dan memainkan peran penting dalam menutup ruang antar sel (*paracellular space*) serta menjaga fungsi barier epitel (Mitic et al., 2000).

Struktur persimpangan ketat tampak sangat jelas setelah dilakukan cryofracture pada jaringan epitel (Gambar 1.8), di mana sambungan ini tampak sebagai untaian bercabang pada membran di sekitar ujung apikal setiap sel.

Segel interseluler ini memastikan bahwa molekul yang melintasi lapisan epitel hanya dapat lewat melalui jalur transepitel (melalui sel) dan bukan jalur paraseluler (di antara sel). Contohnya:

- Epitel dengan sedikit sambungan yang menyatu, seperti pada tubulus proksimal ginjal, memiliki permeabilitas tinggi terhadap air dan zat terlarut.
- Sebaliknya, epitel dengan banyak lapisan yang menyatu, seperti pada lapisan kandung kemih, bersifat lebih impermeabel.

Selain fungsi sebagai penghalang, persimpangan ketat juga bertindak sebagai "pagar" molekuler, yang membatasi pergerakan lipid dan protein membran antara permukaan apikal dan basolateral sel. Fungsi ini penting untuk mempertahankan polaritas sel epitel, yaitu memisahkan domain membran apikal (yang menghadap lumen) dari domain basolateral (yang mengarah ke jaringan ikat atau pembuluh darah di bawahnya).

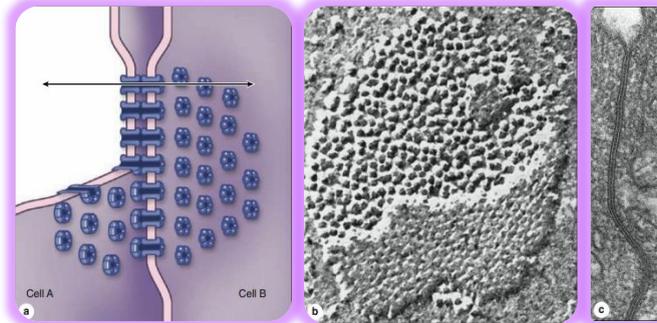
Kedua domain ini memiliki komposisi protein yang berbeda, memungkinkan mereka untuk menjalankan fungsi fisiologis yang khas dan terpisah.



Gambar 1.8. Kompleks sambungan sel epitel

Persimpangan celah, seperti ditunjukkan pada Gambar 4-7, berfungsi untuk memediasi komunikasi antar sel, bukan untuk adhesi atau oklusi. Persimpangan ini banyak ditemukan pada berbagai epitel, dan juga memiliki peran penting secara fungsional di hampir semua jaringan mamalia. Preparasi dengan teknik kriofraktur menunjukkan bahwa persimpangan celah terdiri atas agregat kompleks protein transmembran yang membentuk

patch (tambalan) melingkar pada membran plasma (Gambar 1.9a-c).



Gambar 1.9. Persimpangan celah

Protein persimpangan celah transmembran, yaitu connexins, membentuk kompleks heksamerik yang disebut connexons, yang masing-masing memiliki pori pusat yang bersifat hidrofilik dengan diameter sekitar 1,5 nm. Ketika dua sel saling menempel, connexin pada membran sel yang berdekatan bergerak secara lateral dan sejajar untuk menghasilkan lusinan hingga ratusan pasang koneksi yang tersusun sejajar.

Persimpangan celah (*gap junction*) ini memungkinkan pertukaran molekul kecil (<1,5 nm) antar sel. Beberapa molekul yang terlibat dalam transduksi sinyal, seperti nukleotida siklik dan ion, dapat bergerak cepat melalui persimpangan celah, sehingga memungkinkan sel-sel dalam berbagai jaringan bertindak secara terkoordinasi, bukan sebagai unit yang berdiri sendiri. Sebagai contoh, pada jaringan otot jantung dan otak, persimpangan celah berperan penting dalam menghasilkan kontraksi ritmis.

Pada permukaan basal epitel, sel-sel (Gambar 6) menempel pada lamina basal melalui persimpangan penahan yang disebut hemidesmosom, yang dapat diamati dengan mikroskop electron transmisi (TEM) (Gambar 4–5). Struktur perekat ini secara ultrastructural menyerupai setengah desmosome. Namun, berbeda dengan desmosome, protein transmembran yang berkerumun dan terhubung

secara tidak langsung ke filamen menengah sitokeratin adalah integrin, bukan cadherin. Integrin pada hemidesmosom terutama berikatan dengan molekul laminin di lamina basal.

Persimpangan penahan basal lain yang ditemukan pada sel yang bergerak selama proses perbaikan atau reorganisasi epitel adalah adhesi fokal (atau kontak fokal). Meskipun secara tampak menyerupai hemidesmosom, adhesi fokal berukuran lebih kecil, jumlahnya lebih banyak, dan tersusun dari integrin yang terhubung secara tidak langsung dengan bundel filamen aktin, bukan filamen perantara. Yang penting, integrin pada adhesi fokal juga berikatan melalui paxillin dengan focal adhesion kinase (FAK), sebuah protein pensinyalan yang, setelah integrin berikatan dengan laminin atau protein matriks ekstraseluler (ECM) lainnya, memicu rangkaian pensinyalan intraseluler (*signaling cascade*).

Persimpangan penahan basal lain yang ditemukan pada sel yang bergerak selama proses perbaikan atau reorganisasi epitel adalah adhesi fokal (atau kontak fokal). Meskipun secara tampak menyerupai hemidesmosom, adhesi fokal berukuran lebih kecil, jumlahnya lebih banyak, dan terdiri dari integrin yang terhubung secara tidak langsung dengan bundel filamen aktin, bukan filamen perantara. Yang penting, integrin pada adhesi fokal juga berasosiasi melalui paxillin dengan focal adhesion kinase (FAK), sebuah protein pensinyalan yang, setelah integrin berikatan dengan laminin atau protein spesifik lainnya di matriks ekstraseluler (ECM), memicu kaskade fosforilasi protein intraseluler yang mempengaruhi adhesi sel, mobilitas, dan ekspresi gen. Adhesi fokal juga berperan penting dalam migrasi sel non-epitel, seperti fibroblas.

Spesialisasi Permukaan Sel Apikal

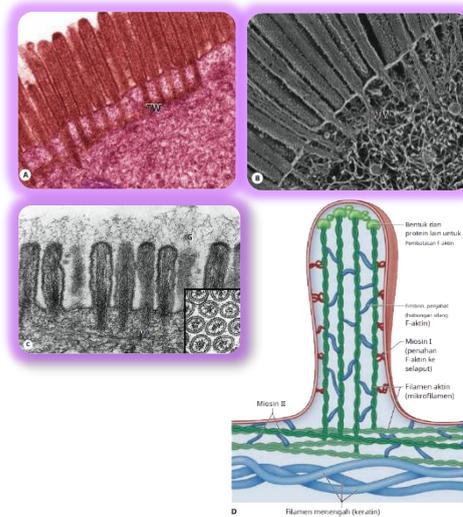
Ujung apikal banyak sel epitel kolumnar dan kuboid memiliki struktur khusus yang menonjol dari permukaan sel. Struktur ini berfungsi untuk

meningkatkan luas permukaan apikal guna penyerapan yang lebih efisien atau untuk memindahkan zat di sepanjang permukaan epitel.

1. Mikrovili

Mikrovili adalah tonjolan kecil dan tipis seperti jari pada permukaan apikal sel. Pada berbagai jenis epitel, mikrovili dapat sangat melimpah, tersusun secara teratur, dan membentuk struktur menyerupai pinggiran kuas (*brush border*) atau perbatasan bergaris (*striated border*). Pada permukaan apikal sel epitel yang melapisi bagian saluran genital pria, terdapat struktur khusus yang disebut stereosilia. Di bawah mikroskop cahaya, stereosilia tampak sebagai tonjolan tipis, terkadang bercabang, dan tidak bergerak (Tambayong, 1995).

Banyak sel memiliki proyeksi sitoplasma yang paling baik diamati dengan mikroskop elektron. Proyeksi seperti ini umumnya mencerminkan aktivitas dan pergerakan filamen aktin, bersifat sementara, dan bervariasi dalam panjang, bentuk, serta jumlah. Namun, pada epitel yang terspesialisasi untuk penyerapan, permukaan apikal sel sering dipenuhi susunan mikrovili (L. villi, artinya rumbai) yang memiliki panjang seragam. Pada sel-sel epitel seperti yang melapisi usus halus, mikrovili yang padat membentuk struktur brush border atau perbatasan lurik yang menonjol ke dalam lumen (Gambar 1.10). Rata-rata, setiap mikrovilus memiliki panjang sekitar 1 μm dan lebar 0,1 μm (Mescher, 2016).



Gambar 1.10. Mikrovili

Sel-sel penyerap yang melapisi usus halus menunjukkan mikrovili yang sangat seragam, membentuk struktur perbatasan lurik atau brush border dengan jelas.

- a. Mikroskop cahaya dengan pembesaran tinggi memperlihatkan banyak mikrovili yang tersusun paralel serta hubungannya dengan jaringan terminal (*terminal web*, TW) di sitoplasma bagian bawah.
- b. SEM dari sel epitel yang dibelah menunjukkan struktur internal dan permukaan masing-masing mikrovili, serta hubungannya dengan filamen aktin dan filamen perantara dari jaringan terminal.
- c. TEM mikrovili yang dibelah secara memanjang dan melintang (*inset*) memperlihatkan susunan mikrofilamen yang membentuk inti dari proyeksi tersebut. Jaringan terminal (*terminal web*, TW) sitoskeleton juga terlihat. Glikokaliks (G), yang memanjang dari glikoprotein dan glikolipid pada plasmalema

mikrovili, mengandung enzim-enzim tertentu untuk tahap akhir pencernaan makromolekul.

- d. Diagram menunjukkan beberapa mikrofilamen di dalam mikrovili, beserta berbagai protein pengikat aktin yang berperan penting dalam proses perakitan, penstabilan, pengikatan silang, dan pergerakan F-aktin. Seperti halnya mikrofilamen di bagian lain dari sitoskeleton, mikrovili sangat dinamis, mengalami *treadmilling* serta berbagai interaksi berbasis miosin. Motor miosin membantu mengangkut berbagai komponen mikrovili sepanjang filamen aktin.

Dengan adanya ratusan hingga ribuan mikrovili pada permukaan apikal setiap sel penyerap, total luas permukaan dapat meningkat hingga 20–30 kali lipat. Glikokaliks tebal yang melapisi mikrovili pada *brush border* usus mengandung protein dan enzim membran yang berperan dalam pencernaan akhir makromolekul tertentu.

Setiap mikrovilus mengandung bundel filamen aktin yang dihubungkan dan ditambahkan ke membran plasma sekitarnya oleh protein-protein pengikat aktin (lihat Gambar 10d). Meskipun mikrovili tampak stabil secara struktural, susunan mikrofilamennya bersifat dinamis dan menjalani berbagai gerakan berbasis miosin, yang membantu mempertahankan kondisi optimal untuk penyerapan melalui berbagai saluran, reseptor, dan protein lain di plasmalema. Filamen aktin ini berlanjut ke dalam jaringan terminal di dasar mikrovili, yang terdiri atas filamen mikro kortikal.

Penyakit celiac, juga dikenal sebagai *enteropati sensitif gluten* atau *seriawan*, merupakan gangguan pada usus halus di mana salah satu perubahan patologis pertama yang muncul adalah hilangnya *brush border* mikrovili dari sel-sel penyerap. Hal ini terjadi sebagai respons imun

terhadap protein gluten dari gandum selama proses pencernaan. Reaksi ini memicu *enteritis* difus (peradangan pada usus), mengubah struktur sel epitel, menyebabkan malabsorpsi, dan pada akhirnya menimbulkan kerusakan patologis pada dinding usus. Masalah malabsorpsi dan perubahan struktural ini dapat dibalik jika gluten dikeluarkan dari pola makan.

2. Lipat Basal

Pada permukaan basal sel epitel, membran plasma tampak terlipat ke dalam, membentuk struktur seperti vesikel yang dikenal sebagai lipatan membran basal sitoplasma. Lipatan ini berfungsi untuk memperluas luas permukaan basal sel, yang penting dalam proses transport aktif. Sebagai contoh, pada tubulus kontortus (bergelombang) di ginjal, struktur ini mendukung kemampuan sel untuk menyerap zat secara cepat dan efisien (Lesson et al., 1996).

3. Stereosilia

Stereosilia merupakan jenis proyeksi apikal yang relatif jarang, dan paling jelas terlihat pada sel epitel absorptif yang melapisi sistem reproduksi pria (lihat Gambar 11). Seperti mikrovili, stereosilia berfungsi memperluas luas permukaan sel dan memfasilitasi proses absorpsi. Stereosilia yang lebih terspesialisasi dan memiliki fungsi sebagai detektor gerakan ditemukan pada sel sensorik telinga bagian dalam, di mana mereka memainkan peran penting dalam mekanisme pendengaran.

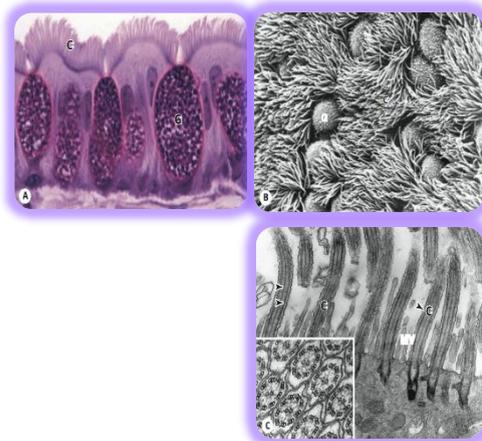
Stereosilia menyerupai mikrovili karena keduanya mengandung bundel mikrofilamen dan protein pengikat aktin, memiliki diameter yang sama, serta terhubung ke jaringan terminal di dalam sel. Namun, stereosilia umumnya jauh lebih panjang dibandingkan mikrovili, bersifat non-motil, dan sering menunjukkan percabangan pada bagian ujungnya.

4. Silia (Cilia)

Silia adalah struktur apikal yang lebih panjang dan sangat motil, berukuran lebih besar daripada mikrovili, dan memiliki susunan mikrotubulus internal alih-alih mikrofilamen. Silia merupakan tonjolan seluler yang bergerak aktif pada permukaan sel epitel dan memiliki struktur yang berbeda secara signifikan dari mikrovili.

Pada organisme hidup, silia melakukan gerakan maju-mundur yang cepat dan terkoordinasi, yang memungkinkan pergerakan cairan atau partikel halus secara terarah melintasi permukaan epitel bersilia. Gerakan ini memerlukan energi dari ATP.

Flagela, yang secara struktural mirip dengan silia namun lebih panjang, hanya ditemukan pada sel sperma dalam tubuh manusia. Setiap sel sperma memiliki satu flagelum yang memfasilitasi pergerakannya (Soesilawati, 2019). Ilustrasi silia dan stereosilia dapat dilihat pada Gambar 11 (Mescher, 2016).



Gambar 1.11. Silia / Bulu Mata

Sel epitel yang melapisi saluran pernapasan memiliki banyak silia yang berkembang sangat baik.

- a. Dengan mikroskop cahaya, silia (c) pada sel epitel kolumnar tampak sebagai tonjolan panjang bergelombang, tersusun rapat di permukaan apikal. Di antara sel-sel bersilia ini terdapat sel goblet (G) yang tidak memiliki silia dan berfungsi mensekresikan mukus. (Pembesaran 400×; pewarnaan biru Toluidin).
- b. SEM pada permukaan apikal epitel ini menunjukkan kepadatan silia (**C**) yang tinggi serta keberadaan sel goblet (**G**) yang tersebar di antaranya.
- c. TEM silia (**C**) yang dipotong secara longitudinal memperlihatkan struktur mikrotubulus sentral dan perifer (ditunjukkan oleh panah) dari aksonem. Inset dengan penampang melintang menunjukkan dengan jelas pola susunan **9 + 2** dari doublet mikrotubulus. Di dasar setiap silia terdapat badan basal (**B**) yang menambatkan aksonem ke sitoplasma apikal. Mikrovili (**MV**) yang jauh lebih pendek dapat terlihat di antara silia.

Selain silia pada sel epitel, sebagian besar (jika tidak semua) jenis sel lainnya memiliki setidaknya satu penonjolan pendek yang disebut silia primer, yang tidak bergerak namun diperkaya dengan reseptor dan kompleks transduksi sinyal untuk mendeteksi cahaya, bau, gerakan, dan aliran cairan yang melewati sel.

Silia motil berlimpah pada sel kuboid atau kolumnar dari banyak epitel. Silia tipikal memiliki panjang 5-10 μm dan diameter 0,2 μm , yang jauh lebih panjang dan dua kali lebih lebar dari mikrovili yang khas. Seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 12), setiap silia memiliki struktur inti yang terdiri dari sembilan doublet mikrotubulus perifer (di mana beberapa protofilamen tubulin digunakan bersama) yang tersusun di sekitar dua mikrotubulus pusat. Susunan 9 + 2 mikrotubulus ini disebut aksonem

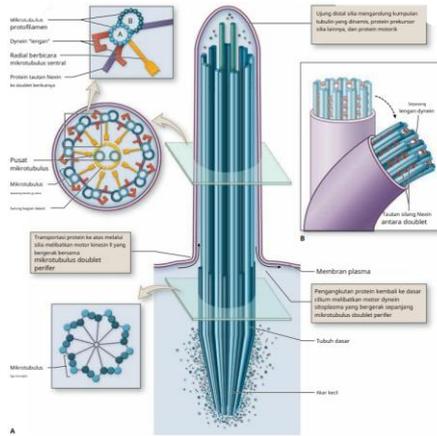
(dari bahasa Yunani *akson* = sumbu + *nema* = benang). Seperti mikrotubulus lainnya, motor kinesin dan dynein sitoplasma bergerak di sepanjang mikrotubulus perifer untuk mengangkut komponen molekuler masuk dan keluar dari struktur ini.

Mikrotubulus aksonem bersambungan dengan mikrotubulus yang ada di dalam badan basal, yang merupakan struktur sitoplasma apikal tepat di bawah membran sel (lihat Gambar 11 dan 12). Badan basal memiliki struktur yang mirip dengan sentriol, dengan triplet mikrotubulus dan protofilamen tubulin dinamis yang membentuk rootlet yang menambatkan seluruh struktur ke sitoskeleton. Silia menunjukkan pola denyut cepat yang menggerakkan aliran cairan dan materi tersuspensi ke satu arah di sepanjang epitel.

Gerakan silia terjadi melalui perubahan berturut-turut dalam konformasi aksonem, di mana berbagai protein aksesori membuat setiap silia relatif kaku, tetapi elastis. Kompleks dengan dynein aksonem terikat ke satu mikrotubulus di setiap doublet dan memanjang sebagai "lengan" menuju mikrotubulus dari doublet berikutnya. Dengan energi dari ATP, sliding yang didorong oleh dynein antara doublet yang berdekatan menghasilkan pembengkokan aksonem dan rangkaian gerakan cepat sliding ini menghasilkan gerakan mengalahkan cilium. Flagela, yang panjang dan memanjang dari setiap sel sperma yang berdiferensiasi penuh, memiliki struktur aksonemal seperti silia dan bergerak dengan mekanisme yang serupa.

Beberapa mutasi pada protein silia dan flagela telah dijelaskan. Mutasi ini bertanggung jawab atas sindrom silia imotil (Sindrom Kartagener), yang gejalanya meliputi infeksi saluran pernapasan kronis akibat kurangnya aksi pembersihan silia pada saluran pernapasan, serta

spermatozoa yang tidak bergerak, yang menyebabkan infertilitas pria.



Gambar 1.12. Aksonema Silia

a. Diagram Cilium dengan Aksonem

Cilium terdiri dari aksonem, yang merupakan inti struktur mikrotubulus yang sangat terorganisir. Aksonem ini terdiri dari dua mikrotubulus sentral yang dikelilingi oleh sembilan doublet mikrotubulus perifer, yang semuanya saling terhubung oleh berbagai protein. Dalam setiap doublet, mikrotubulus A terdiri dari 13 protofilamen lengkap, sementara mikrotubulus B berbagi beberapa protofilamen heterodimer dari mikrotubulus A.

Aksonem bersifat elastis namun relatif kaku, dengan strukturnya dipertahankan oleh protein nexin yang menghubungkan doublet mikrotubulus perifer dan berbagai kompleks protein lainnya. Protein-protein ini juga membentuk selubung dan jari-jari radial yang menghubungkan doublet dengan mikrotubulus sentral.

Aksonem ini terhubung dengan badan basal, yang terletak di sitoplasma apikal tepat di

bawah membran sel. Badan basal secara struktural sangat mirip dengan sentriol, terdiri dari sembilan triplet mikrotubulus yang relatif pendek dan terhubung dalam susunan seperti kincir. Di distal silia, terdapat kolam tubulin yang dinamis dan protein-protein lainnya. Protein-protein ini diangkut masuk dan keluar dari struktur silia oleh motor kinesin dan dynein yang bergerak di sepanjang mikrotubulus perifer.

b. Gerakan Silia

Gerakan silia melibatkan serangkaian perubahan cepat dalam bentuk aksonem. Di sepanjang setiap doublet, terdapat "lengan" yang berpasangan dengan dynein, yang terikat pada mikrotubulus A. Setiap lengan dynein ini memanjang menuju mikrotubulus B pada doublet berikutnya. Saat ATP mengaktifkan lengan dynein, lengan tersebut secara singkat mengikat mikrotubulus tetangga, dan doublet mikrotubulus sedikit meluncur satu sama lain.

Gerakan geser ini dibatasi oleh nexin cross-link antara doublet mikrotubulus, yang menyebabkan aksonem menekuk. Sukses gerakan geser yang cepat ini di sepanjang aksonem menghasilkan gerakan siliaris, yang memungkinkan silia bergerak untuk menggerakkan cairan atau partikel di sepanjang permukaan sel.

D. Jenis-jenis Epitelia

Epitel dapat dibagi menjadi dua kelompok utama: epitel penutup (lapisan) dan epitel sekretorik (kelenjar). Klasifikasi ini bersifat fungsional dan sewenang-wenang, karena ada lapisan epitel yang juga memiliki fungsi sekretori, seperti pada lapisan lambung, atau lapisan yang terdiri dari sel-sel kelenjar yang tersebar di antara sel-sel lapisan epitel, seperti pada sel-sel penghasil lendir di usus kecil atau trakea.

Epitel Penutup

Sel-sel epitel penutup disusun dalam satu atau lebih lapisan dan berfungsi untuk menutupi permukaan tubuh atau melapisi rongga organ. Epitel ini diklasifikasikan berdasarkan dua faktor utama: jumlah lapisan sel dan bentuk sel pada lapisan luar.

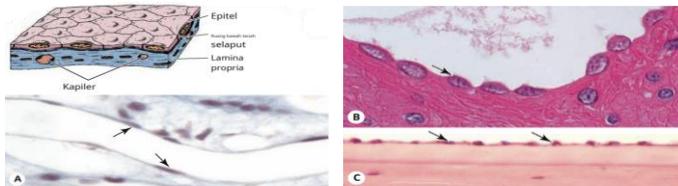
1. Epitel Sederhana (satu lapisan sel). Epitel sederhana terdiri dari satu lapisan sel dan dibagi berdasarkan bentuk sel sebagai berikut:
 - Skuamosa: Sel tipis yang datar, contoh pada lapisan pembuluh darah (endotelium).
 - Kuboidal: Sel berbentuk kubus, dengan lebar dan ketebalan yang hampir sama, contoh pada epitel ovarium atau tiroid.
 - Kolumnar: Sel lebih tinggi dari lebar, contoh pada lapisan usus dan kantong empedu.
2. Epitel Bertingkat (dua atau lebih lapisan sel) Epitel bertingkat memiliki lebih dari satu lapisan sel dan biasanya dilapisi oleh sel-sel yang lebih besar dan lebih kuat. Klasifikasi berdasarkan bentuk sel lapisan luar:
 - Skuamosa Berkeratin: Lapisan tipis dan keras yang dilapisi dengan keratin, ditemukan pada epidermis kulit untuk melindungi jaringan dan mencegah dehidrasi.
 - Skuamosa Tidak Berkeratin: Sel-sel epitel yang lebih lembab, ditemukan pada mulut, kerongkongan, laring, vagina, dan saluran anus. Fungsi utamanya adalah perlindungan dan sekresi.
 - Kuboidal: Ditemukan pada kelenjar keringat dan folikel ovarium, berfungsi untuk perlindungan dan sekresi.
 - Transisi: Terlihat pada kandung kemih, ureter, dan kaliks ginjal. Epitel ini sangat distensibel dan melindungi organ-organ tersebut dari pengaruh tekanan.

- Kolumnar: Tipe ini terdapat pada konjungtiva mata yang berfungsi melindungi permukaan mata.
3. Epitel Pseudostratified. Epitel pseudostratified terlihat seperti memiliki beberapa lapisan sel karena posisi inti sel yang tidak seragam, tetapi semuanya menempel pada lamina basal. Epitel ini dapat ditemukan pada trakea, bronkus, dan rongga hidung. Fungsi utamanya adalah perlindungan, sekresi, dan pengangkutan partikel yang terperangkap dalam lendir melalui silia.

Tabel 1.3: Jenis Epitel Penutup yang Umum

Fitur Utama	Bentuk Sel	Contoh Distribusi	Fungsi utama
Sederhana (satu lapisan sel)	Skuamosa	Pembuluh darah (endotelium); mesotelium (perikardium, pleura, peritoneum)	Memfasilitasi pergerakan bagian dalam (mesothelium); sekresi molekul biologis
	Kuboidal (berbentuk kubus)	Ovarium, tiroid	Penutupan, sekresi
	Kolumnar	Lapisan usus, kantong empedu	Perlindungan, pelumasan, penyerapan, sekresi
Berstrata (dua atau lebih lapisan sel)	Berkeratin skuamosa	Kulit ari	Perlindungan; mencegah kehilangan air
	Skuamosa tidak berkeratin	Mulut, kerongkongan, laring, vagina, saluran anus	Perlindungan, sekresi;
	Transisi berbentuk kubus	Kelenjar keringat, folikel ovarium	Perlindungan, sekresi

	Transisi	Kandung kemih, ureter, kaliks ginjal	Perlindungan, distensibilitas
	Kolumnar	Conjunctiva (Penghubung)	perlindungan
Pseudostratified (lapisan sel dengan inti pada tingkat yang berbeda)		Lapisan trakea, bronkus, rongga hidung	Perlindungan, sekresi; silia membantu partikel keluar



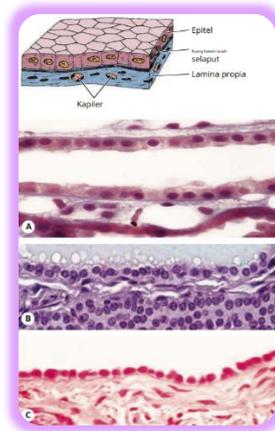
Gambar 1.13. Epitel Skuamosa Sederhana

Gambar 1.13 adalah satu lapisan sel tipis, di mana inti sel (panah) merupakan struktur yang paling tebal dan paling terlihat. Epitel sederhana biasanya ditemukan pada lapisan pembuluh darah dan rongga, tempat di mana mereka mengatur aliran zat ke jaringan di bawahnya. Sel-sel tipis ini sering menunjukkan transcytosis. Contoh yang ditunjukkan di sini adalah lapisan tipis pada lengkung ginjal Henle (a), menutupi dinding luar usus (b), dan melapisi permukaan bagian dalam kornea (c). (a, c X400; b X600; H&E).

Sel pada gambar 1.14 kira-kira setinggi lebarnya. Ketebalannya yang lebih besar memungkinkan sitoplasma kaya akan mitokondria dan organel lainnya untuk transportasi aktif tingkat tinggi melintasi epitel dan fungsi lainnya. Contoh yang ditampilkan di sini adalah dari tubulus pengumpul ginjal (A), folikel tiroid yang besar (B), dan mesothelium tebal yang menutupi ovarium (C).

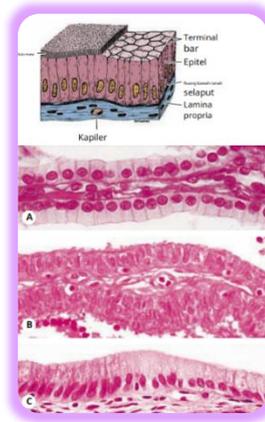
Sel pada gambar 1.15 selalu lebih tinggi daripada lebarnya, dengan silia apikal atau mikrovili, dan

sering dikhususkan untuk penyerapan. Kompleks persimpangan ketat dan patuh, kadang-kadang disebut "terminal bar" dalam gambar mikroskopis cahaya, hadir di ujung apikal sel. Contoh yang ditampilkan di sini adalah dari saluran pengumpul ginjal (A), lapisan saluran telur dengan sel sekretori dan bersilia (B), dan lapisan kandung empedu (C).



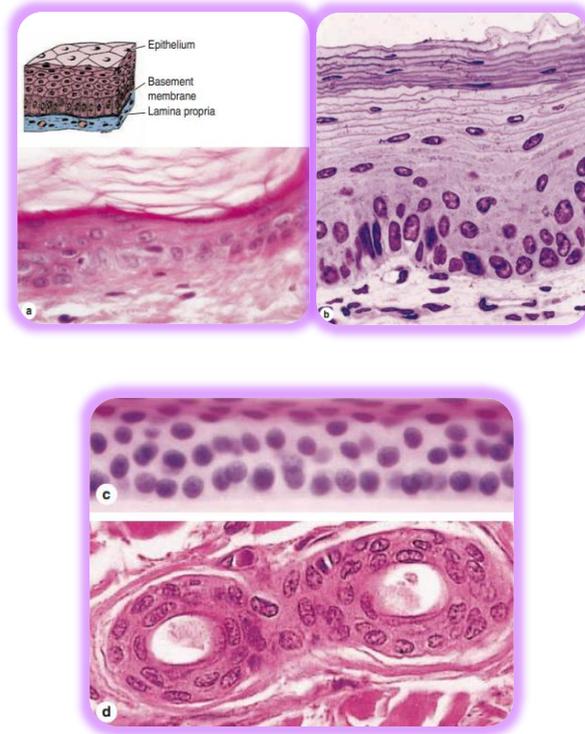
Gambar 1.14. Epitel kuboid sederhana

Lapisan sel permukaan ini membantu melindungi terhadap kehilangan air di seluruh epitel. Epitel berlapis skuamosa nonkeratinisasi melapisi rongga internal yang lembap (misalnya, mulut, kerongkongan, dan vagina) di mana kehilangan air tidak menjadi masalah. Di sini, sel-sel pipih dari lapisan permukaan mempertahankan nukleusnya dan sebagian besar fungsi metabolisme. Epitel kuboid bertingkat dan epitel kolumnar berlapis keduanya relatif jarang. Epitel kuboid berlapis terjadi di saluran ekskresi kelenjar ludah dan keringat (Gambar 16). Epitel kolumnar bertingkat terlihat di konjungtiva yang melapisi kelopak mata, di mana ia berfungsi sebagai pelindung dan sekresi lendir.



Gambar 1.15. Epitel kolumnar sederhana

Epitel transisional atau urothelium yang unik melapisi sebagian besar saluran kemih, memanjang dari ginjal hingga bagian proksimal uretra, dan dicirikan oleh lapisan superfisial berupa sel-sel besar berbentuk kubah yang kadang-kadang disebut sel payung (Gambar 17). Sebagaimana dibahas lebih lanjut mengenai sistem saluran kemih, sel-sel ini dikhususkan untuk melindungi jaringan di bawahnya dari efek hipertonik dan berpotensi sitotoksik urin. Yang penting, ciri morfologi sel yang unik memungkinkan perluasan epitel transisional saat kandung kemih terisi. Pada individu dengan defisiensi vitamin A kronis, jaringan epitel dari jenis yang ditemukan di bronkus dan kandung kemih secara bertahap dapat digantikan oleh epitel skuamosa berlapis.



Gambar 1.16. Epitel kolumnar sederhana (a,b,c,d)

Epitel skuamosa berlapis biasanya memiliki fungsi pelindung, yaitu melindungi terhadap invasi mikroorganisme ke jaringan di bawahnya dan mencegah kehilangan air. Fungsi-fungsi ini sangat penting, terutama pada epidermis (a), di mana sel-sel berdiferensiasi menjadi berkeratin, yaitu terisi oleh keratin dan zat-zat lainnya. Pada akhirnya, sel-sel ini kehilangan inti dan organelnya, membentuk lapisan-lapisan superfisial yang pipih sehingga menghambat penguapan air. Sel-sel yang mengalami keratinisasi akan terkelupas dan digantikan oleh sel-sel baru dari lapisan yang lebih basal, yang akan dibahas secara lebih rinci dalam pembahasan tentang kulit.

Epitel yang tidak berkeratin ditemukan pada banyak organ, seperti lapisan esofagus (b) atau lapisan luar

kornea (c). Pada lokasi ini, sel mengumpulkan lebih sedikit keratin dan mempertahankan intinya, namun tetap memberikan perlindungan terhadap mikroorganisme.

Epitel kuboid atau kolumnar berlapis cukup jarang, tetapi ditemukan pada saluran ekskresi kelenjar tertentu, seperti kelenjar keringat (d), di mana lapisan sel ganda memungkinkan fungsi tambahan. Semua gambar pada bagian ini diperbesar X400; (b) PT, (a, c, dan d) H&E.

Jenis epitel morfologi terakhir disebut epitel kolumnar pseudostratifikasi (Gambar 1.16). Pada jenis ini, sel-sel yang tinggi dan tidak beraturan semuanya menempel pada membran basal, tetapi intinya terletak pada tingkat yang berbeda-beda dan tidak semua sel mencapai permukaan bebas, sehingga memberikan tampilan seolah-olah bertingkat. Contoh yang baik dari epitel kolumnar pseudostratifikasi adalah yang melapisi saluran pernapasan bagian atas, di mana sel-selnya juga memiliki silia yang tebal.

Epitel Sekretori dan Kelenjar

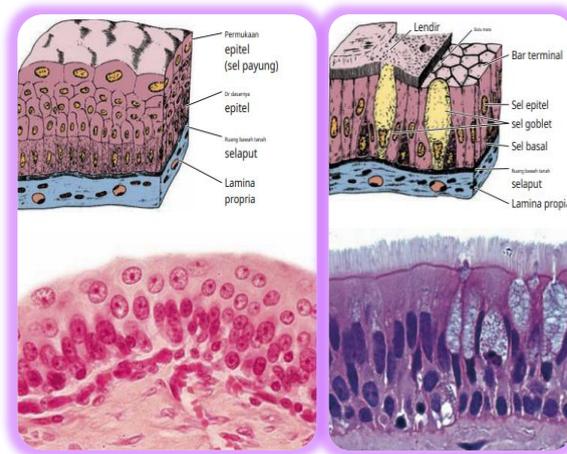
Sel epitel yang berfungsi utama untuk memproduksi dan mensekresikan berbagai makromolekul dapat ditemukan sebagai bagian dari epitel dengan fungsi lainnya, atau membentuk organ khusus yang disebut kelenjar. Sel sekretori mampu mensintesis, menyimpan, dan melepaskan protein (seperti pada pankreas), lipid (seperti pada kelenjar adrenal dan kelenjar sebacea), atau kompleks karbohidrat dan protein (seperti pada kelenjar ludah). Epitel kelenjar susu bahkan dapat mengeluarkan ketiga jenis zat tersebut.

Pada kasus bronkitis kronis, yang umum terjadi pada perokok, jumlah sel goblet dalam epitel saluran napas sering meningkat secara signifikan. Hal ini menyebabkan produksi lendir berlebih di area yang kekurangan sel bersilia, sehingga lendir tidak dapat dikeluarkan secara efisien dan berkontribusi terhadap penyumbatan saluran udara. Selain itu, epitel

pseudostratifikasi bersilia yang melapisi bronkus perokok dapat mengalami metaplasia, yaitu berubah menjadi epitel skuamosa berlapis, yang kurang efektif dalam membersihkan lendir dan partikel asing dari saluran napas.

Urothelium adalah epitel berlapis yang melapisi sebagian besar saluran kemih. Sel-sel superfisialnya berbentuk bulat atau menyerupai kubah, dan memiliki fitur membran khusus yang memungkinkan mereka menahan efek hipertonik urin serta melindungi sel-sel di bawahnya dari paparan zat toksik dalam urin. Sel-sel epitel ini juga mampu menyesuaikan hubungan antar-sel dan mengalami perubahan bentuk (transisi morfologis) saat kandung kemih terisi dan dindingnya meregang.

Epitel pseudostratifikasi tampak tersusun dalam beberapa lapisan, tetapi semua ujung basal selnya tetap berhubungan langsung dengan membran basal. Contoh utama epitel kolumnar pseudostratifikasi dapat ditemukan di **saluran pernapasan bagian atas**, yang mengandung banyak sel bersilia serta sel-sel lain dengan posisi inti yang bervariasi, memberikan kesan bertingkat.



(Gambar 1.17. Epitel transisional atau urothelium) (kiri)
(Gambar 1.18. Epitel pseudostratifikasi)(kanan)

Klasifikasi Kelenjar Eksokrin

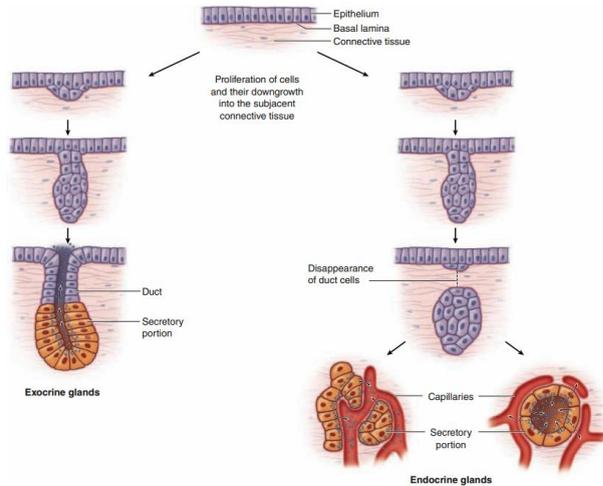
Struktur bagian sekretori dan salurannya memungkinkan kelenjar eksokrin diklasifikasikan sebagai berikut:

- Kelenjar sederhana memiliki saluran yang tidak bercabang, sedangkan kelenjar majemuk memiliki saluran yang bercabang dua atau lebih.
- Bagian sekretori dapat berbentuk tubular (lurus atau melingkar), asinar (bulat seperti kantung), atau tubuloasinar (kombinasi keduanya).
- Unit sekretori dapat bercabang, meskipun salurannya tidak.
- Kelenjar majemuk dapat memiliki saluran yang bercabang dan beberapa bagian sekretori yang berbentuk tubular, asinar, atau tubuloasinar.

Mekanisme Sekresi

Tiga mekanisme dasar pelepasan produk sekretori oleh sel-sel epitel adalah:

1. Sekresi merokrin. Sekresi ini merupakan mekanisme paling umum, di mana protein atau glikoprotein disekresikan melalui eksositosis vesikel yang terikat membran. Contoh: kelenjar ludah dan pankreas.
2. Sekresi holokrin. Dalam mekanisme ini, sel mengakumulasi produk hingga mencapai diferensiasi terminal, lalu mengalami lisis, sehingga isi sel dan debrisnya dilepaskan ke lumen kelenjar. Contoh: kelenjar sebacea di kulit.
3. Sekresi apokrin. Produk sekretori terakumulasi di bagian apikal sel, lalu bagian apikal tersebut terlepas, melepaskan produk beserta sejumlah kecil sitoplasma dan membran. Contoh: kelenjar susu saat mengeluarkan tetesan lipid.



Gambar 1.19. Pembentukan kelenjar dari epitel penutup

Epitel Sekretori dan Kelenjar: Perkembangan dan Fungsi

Selama perkembangan janin, sel-sel epitel mengalami proliferasi dan menembus jaringan ikat di bawahnya. Sel-sel ini dapat mempertahankan koneksi dengan epitel permukaan—yang membentuk saluran pada kelenjar eksokrin—atau kehilangan koneksi tersebut, seperti pada kelenjar endokrin.

- Kelenjar eksokrin mengeluarkan zat ke permukaan atau organ tertentu melalui sistem saluran.
- Kelenjar endokrin menghasilkan hormon dan tidak memiliki saluran. Hormon dilepaskan ke luar sel, kemudian diambil oleh kapiler untuk didistribusikan ke seluruh tubuh. Sel target mengenali hormon melalui reseptor spesifik.

Kelenjar endokrin dapat memiliki arsitektur sel berupa:

- Tali tidak beraturan (seperti pada adrenal),

- atau folikel bulat dengan lumen untuk penyimpanan sementara produk sekretori (seperti pada tiroid).

Selain sel sekretorik, banyak kelenjar eksokrin (misalnya kelenjar keringat, lakrimal, ludah, dan susu) juga memiliki sel mioepitel kontraktil di bagian basal sel sekretorik. Proses panjang sel mioepitel mengelilingi asinus seperti tentakel gurita yang melingkari batu, membantu mendorong isi sekretorik ke saluran.

- Sel mioepitel terikat ke lamina basal melalui hemidesmosom dan saling terhubung dengan gap junction dan desmosom.
- Sel ini kaya akan filamen aktin dan miosin, memungkinkan kontraksi kuat yang memfasilitasi ekskresi sekret.

Sebaliknya, kelenjar endokrin tidak memiliki sel mioepitel, dan terspesialisasi dalam produksi:

- Protein (melalui eksositosis, biasanya dari sel dengan sitoplasma kaya RER), atau
- Hormon steroid lipofilik (melalui difusi pasif, biasanya dari sel dengan sitoplasma kaya SER).

Mekanisme pensinyalan hormonal:

- Endokrin: hormon diangkut melalui aliran darah ke organ target jauh.
- Parakrin: sinyal bekerja pada sel tetangga yang berdekatan.
- Autokrin: sinyal bekerja kembali ke sel penghasilnya sendiri.

Sel endokrin dan parakrin juga ditemukan sebagai sel tunggal atau kelompok kecil di epitel sistem pencernaan, pernapasan, dan organ lain.

Beberapa sel dari organ non-endokrin juga berfungsi sebagai penghasil hormon, seperti:

- Sel otot jantung (misalnya ANP),

- Sel lemak (misalnya leptin).

Organ dengan fungsi ganda:

- Pankreas memiliki komponen eksokrin (menghasilkan enzim pencernaan) dan endokrin (menghasilkan insulin dan glukagon).
- Hati memiliki sel yang mampu menyekresikan komponen empedu (fungsi eksokrin) dan zat lain ke dalam darah (fungsi endokrin).

Transportasi Melintasi Epitel

Banyak sel epitel memiliki kemampuan aktif untuk mengangkut ion melawan gradien konsentrasi dan listrik. Contoh penting adalah ekstrusi Na^+ oleh pompa Na^+/K^+ -ATPase, yang menjaga konsentrasi natrium intrasel rendah (~5–15 mmol/L dibandingkan ~140 mmol/L di cairan ekstraseluler).

Beberapa epitel terspesialisasi untuk transportasi:

- Ion, melalui pompa ion,
- Air, melalui saluran aquaporin.

Transportasi ini berlangsung secara:

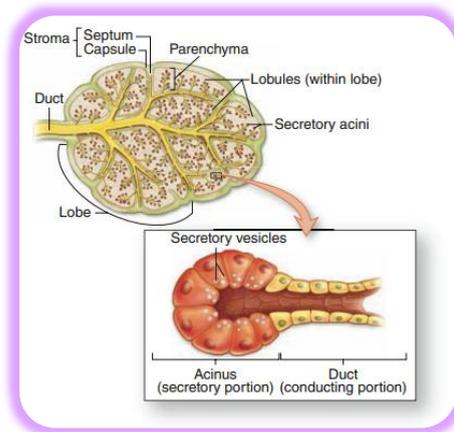
- Transeluler: melalui dalam sel, dari membran apikal ke basolateral.
- Paraseluler: dicegah oleh tight junction di sisi apikal, untuk mencegah kebocoran antar sel.

Contoh utama: epitel tubulus ginjal, yang berperan dalam menjaga keseimbangan air dan elektrolit.

- Pada tubulus proksimal, permukaan apikal permeabel terhadap Na^+ , sementara bagian basolateral mengandung pompa Na^+/K^+ -ATPase yang memindahkan Na^+ ke cairan interstisial.
- Ion Cl^- dan air kemudian mengikuti secara pasif untuk mempertahankan keseimbangan osmotik dan listrik.

- Membran basal memiliki lipatan rumit dengan mitokondria di antara lipatan tersebut, menyediakan ATP yang dibutuhkan.
- Lipatan lateral antar sel juga menambah luas permukaan untuk mendukung transportasi.

Epitel di sepanjang tubulus ginjal mengatur keseimbangan ion dalam tubuh dan memungkinkan ekskresi kelebihan air dan garam melalui urin.



Gambar 1.20. Struktur Umum Kelenjar Eksokrin

Kelenjar eksokrin, menurut definisinya, adalah kelenjar yang mengeluarkan produk sekresinya melalui sistem saluran yang bermuara ke organ lain atau permukaan tubuh. Di dalam kelenjar, saluran tersebut berjalan mengikuti septa jaringan ikat, membentuk percabangan berulang yang semakin mengecil hingga mencapai bagian sekretori terminal, yaitu tempat dihasilkannya zat sekretorik.

Selain fungsi sekresi, semua jenis sel, termasuk sel epitel kelenjar, memiliki kemampuan untuk menginternalisasi molekul dan cairan dari lingkungan ekstraseluler. Proses ini dilakukan melalui endositosis, yaitu pembentukan vesikel sitoplasma berlapis membran yang berasal dari invaginasi membran sel. Endositosis memainkan peran penting

dalam pengambilan nutrisi, regulasi permukaan sel, dan pengolahan sinyal seluler.

Aktivitas Transpor dan Transitosi Epitel

Aktivitas transpor sel epitel terlihat jelas pada epitel skuamosa sederhana yang melapisi kapiler darah dan limfatik (endotelium) serta rongga tubuh (mesotelium). Sel-sel ini memiliki morfologi tipis dan mengandung sedikit organel, kecuali vesikel pinositik yang melimpah. Vesikel ini berperan penting dalam proses transitosi, yaitu perpindahan makromolekul secara selektif melalui sitoplasma sel dari satu sisi membran ke sisi lainnya. Proses ini dimulai dari endositosis pada satu permukaan, diikuti oleh pergerakan vesikel melintasi sitoplasma, dan diakhiri dengan eksositosis di sisi sebaliknya. Transitosi juga terjadi di antara domain membran apikal dan basolateral pada sel epitel kuboid dan kolumnar sederhana, dan memegang peranan penting dalam berbagai fungsi fisiologis seperti absorpsi nutrisi dan transportasi imunoglobulin.

Pembaruan Sel Epitel

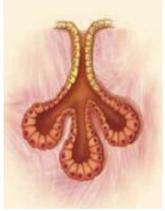
Epitel merupakan jaringan yang dinamis dan labil, dengan sel-sel yang secara kontinu mengalami pembaruan melalui aktivitas mitotik dan keterlibatan populasi sel induk. Laju pembaruan ini bervariasi antar jenis epitel; epitel yang melapisi usus halus mengalami pergantian setiap beberapa hari, sedangkan pada kelenjar besar, pembaruan berlangsung lebih lambat.

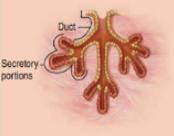
Pada epitel berlapis, aktivitas mitosis dan keberadaan sel punca terbatas pada lapisan basal, yaitu lapisan yang bersentuhan langsung dengan lamina basal. Dalam epitel kompleks, seperti pada sistem pencernaan, sel induk berada di relung khusus (niche) dan dari sana memproduksi sel transit amplifying, yang kemudian berdiferensiasi menjadi tipe sel epitel fungsional.

Sebagai contoh, seluruh epitel usus kecil berasal dari sel induk yang terletak di kriptus Lieberkühn, yaitu struktur kelenjar sederhana yang berada di antara vili intestinalis. Pada epidermis kulit, sel-sel punca tersebar di sepanjang dinding folikel rambut, memperbarui keratinosit permukaan secara berkelanjutan.

Gangguan regulasi pembelahan dan diferensiasi sel epitel dapat menyebabkan pertumbuhan tumor, baik jinak maupun ganas. Karsinoma adalah tumor ganas yang berasal dari jaringan epitel permukaan, sedangkan adenokarsinoma adalah tumor ganas yang berasal dari epitel kelenjar. Adenokarsinoma merupakan tipe kanker paling umum pada orang dewasa di atas usia 45 tahun.

Tabel 1.4. Kelas struktural kelenjar eksokrin, ciri-ciri setiap kelas, dan contohnya

Kelenjar sederhana (saluran tidak bercabang)					
Kelas	Tubulus Sederhana	Tubulus Bercabang	Tubular Melingkar	Acinar (Alveolar)	Acinar Bercabang
					
Fitur	Bagian sekretori memanjang; saluran biasanya pendek atau tidak ada	Beberapa bagian sekretorik yang panjang bergabung untuk mengalirkan darah menjadi 1 saluran	Bagian sekretoriknya sangat panjang dan melingkar	Bagian sekretoriknya bulat seperti kantung	Beberapa bagian sekretorik mirip kantung memasuki saluran yang sama
Contoh	Kelenjar lendir usus besar; kelenjar usus atau ruang bawah tanah	Kelenjar di rahim dan perut	Kelenjar keringat	Kelenjar lendir kecil sepanjang uretra	Kelenjar sebaceous pada kulit

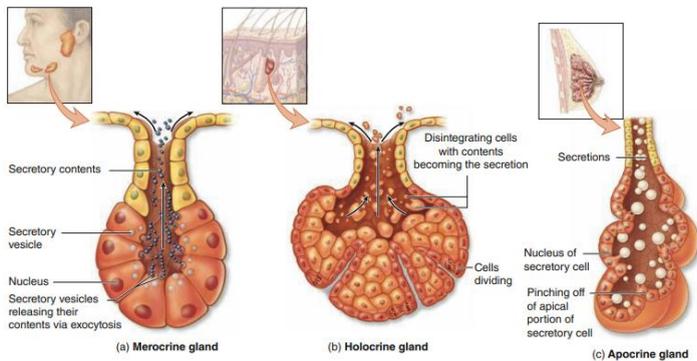
Kelenjar Majemuk (Saluran dari Beberapa Unit Sekretori Menyatu menjadi Saluran yang Lebih Besar)			
Kelas	Berbentuk Tabung	Acinar (Alveolar)	Tubuloacinar
			
Fitur	Beberapa unit sekretorik melingkar memanjang dan salurannya berkumpul membentuk saluran yang lebih besar	Beberapa unit sekretorik berbentuk kantung dengan saluran kecil berkumpul di saluran yang lebih besar	Saluran unit sekretorik tubular dan asinar berkumpul di saluran yang lebih besar
contoh	Kelenjar mukosa submukosa (Brunner) di duodenum	Eksokrin pankreas	Kelenjar ludah

Regenerasi dan Transformasi Epitel

Jaringan epitel umumnya memiliki kemampuan tinggi untuk memperbaiki dan menggantikan sel-sel yang mengalami apoptosis atau kerusakan melalui proliferasi seluler yang cepat. Namun, pada beberapa kelenjar besar seperti hati, aktivitas mitosis dalam kondisi normal relatif jarang. Meski demikian, hati menunjukkan kemampuan regeneratif yang luar biasa setelah mengalami cedera berat. Ketika sebagian jaringan hati diangkat melalui pembedahan (reseksi hepatic) atau rusak akibat paparan zat toksik akut, sel-sel di area yang tidak terkena dampak akan segera memulai proliferasi aktif, menghasilkan regenerasi jaringan hati dalam jumlah besar yang mempertahankan fungsi normal organ.

Beberapa jenis epitel juga rentan terhadap pertumbuhan abnormal, yang dikenal sebagai displasia, suatu kondisi praneoplastik yang ditandai dengan perubahan morfologi dan organisasi sel. Displasia dapat bersifat reversibel, namun dalam beberapa kasus berkembang menjadi neoplasia, yaitu pertumbuhan sel abnormal yang tidak terkendali. Neoplasia awal belum tentu bersifat ganas, tetapi berpotensi menjadi karsinoma jika mengalami progresi lebih lanjut.

Dalam kondisi abnormal tertentu, jaringan epitel juga dapat mengalami metaplasia, yaitu transformasi reversibel dari satu jenis epitel ke jenis epitel lain sebagai respons terhadap stres lingkungan atau iritasi kronis. Contoh klasik adalah pada perokok berat, di mana epitel silindris pseudoberlapis bersilia yang melapisi bronkus mengalami metaplasia menjadi epitel skuamosa berlapis. Meskipun proses ini bersifat adaptif, metaplasia dapat meningkatkan risiko neoplasia bila berlangsung lama.



Gambar 1.21. Mekanisme Sekresi Kelenjar Eksokrin

Tipe Sekresi Kelenjar Eksokrin

Sel-sel kelenjar eksokrin menggunakan tiga mekanisme dasar sekresi, tergantung pada jenis dan komposisi zat yang disekresikan, yaitu:

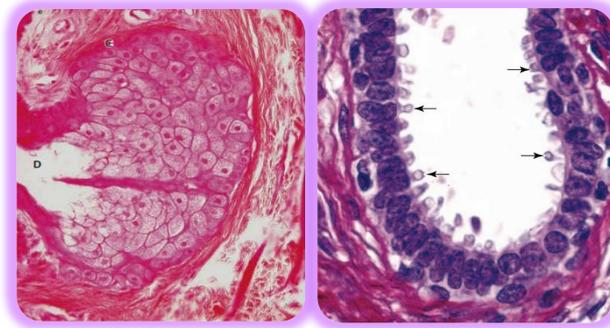
1. Sekresi Merokrin. Mekanisme ini merupakan tipe sekresi yang paling umum pada kelenjar eksokrin. Produk sekretori, yang umumnya berupa protein, dilepaskan melalui proses eksositosis di ujung apikal sel sekretorik, tanpa kehilangan bagian dari sitoplasma sel. Contoh utama kelenjar merokrin antara lain:
 - Kelenjar ludah
 - Kelenjar pankreas
 - Kelenjar keringat ektrin
2. Sekresi Holokrin. Pada mekanisme ini, sel sekretorik mengalami disintegrasi total saat menyelesaikan diferensiasi terminal, yang ditandai dengan penumpukan produk sekretori di dalam sitoplasma. Sel utuh hancur dan melepaskan seluruh isinya ke lumen kelenjar. Contoh klasik dari sekresi holokrin adalah:

Kelenjar sebacea di folikel rambut

3. Sekresi Apokrin. Sekresi ini melibatkan pengelupasan sebagian sitoplasma apikal yang mengandung tetesan lipid atau zat sekretori lain,

dan dibungkus oleh membran plasma. Mekanisme ini menyebabkan hilangnya sebagian volume sel, namun sel tetap hidup dan dapat terus melakukan sekresi. Contoh kelenjar dengan sekresi apokrin:

- Kelenjar susu (bersama dengan mekanisme merokrin)
- Kelenjar keringat apokrin (misalnya di aksila dan genitalia eksternal)



Gambar 1. 22. Sekresi Holokrin di Kelenjar (kiri)

Gambar 1.23. Sekresi apokrin di kelenjar susu Sebaceous (kanan)

Sekresi Holokrin dan Apokrin dalam Kelenjar Eksokrin

Pada sekresi holokrin, mekanisme paling jelas terlihat pada kelenjar sebaceous yang terletak berdekatan dengan folikel rambut. Selama proses diferensiasi terminal, seluruh sel sekretorik secara progresif terisi oleh produk lipid. Sel dewasa tersebut kemudian mengalami degenerasi total, terlepas dari struktur kelenjar, dan hancur sepenuhnya, sehingga melepaskan produk sekretori kaya lipid ke dalam saluran kelenjar. Lipid ini berfungsi melindungi dan melumasi kulit serta rambut di sekitarnya. Berbeda dari banyak kelenjar eksokrin lainnya, kelenjar sebaceous tidak memiliki sel mioepitel kontraktile. Oleh karena itu, proliferasi sel-sel baru di

dalam kapsul jaringan ikat yang padat dan tidak elastis menciptakan tekanan mekanis yang secara pasif mendorong produk sekretori masuk ke dalam saluran.

Sementara itu, sekresi apokrin dapat diamati secara khas pada bagian sekretorik kelenjar susu. Mekanisme ini ditandai oleh ekstrusi sebagian sitoplasma apikal, termasuk tetesan lipid yang terbungkus oleh membran plasma (ditunjukkan oleh panah pada preparat histologi). Bagian sel yang terlepas ini mengandung produk sekretori dan sedikit sitoplasma.

Menariknya, kelenjar susu juga menunjukkan aktivitas sekresi merokrin secara bersamaan, baik oleh sel sekretorik yang sama maupun oleh tipe sel lainnya, menunjukkan kombinasi dua mekanisme sekresi dalam satu kelenjar.

Soal Latihan

1. Jelaskan struktur umum jaringan epitel dan sebutkan tiga karakteristik utamanya yang membedakannya dari jenis jaringan lain. Sertakan fungsi dari masing-masing karakteristik tersebut.
2. Uraikan peran membran basal dalam struktur dan fungsi jaringan epitel. Apa konsekuensinya jika membran basal mengalami kerusakan?
3. Bandingkan antara mikrovili, stereosilia, dan silia pada permukaan apikal sel epitel. Jelaskan perbedaan struktur dan fungsinya serta di mana ketiganya bisa ditemukan di tubuh manusia.
4. Deskripsikan tiga jenis sambungan antar sel epitel (tight junction, desmosom, dan gap junction) dan kaitkan peran fisiologisnya dengan fungsi epitel sebagai pelindung dan pengatur transport antar sel.

Jelaskan klasifikasi jaringan epitel berdasarkan bentuk dan jumlah lapisan sel. Berikan contoh lokasi dan fungsi dari masing-masing tipe epitel tersebut

Rangkuman

Bab ini membahas dasar-dasar histologi, khususnya jaringan epitel sebagai salah satu dari empat jaringan dasar tubuh. Jaringan epitel terdiri dari sel-sel yang tersusun rapat, membentuk lapisan pelapis permukaan tubuh dan organ, baik eksternal maupun internal. Ciri khas sel epitel meliputi polaritas (memiliki sisi apikal, lateral, dan basal), sedikit matriks ekstraseluler, serta kemampuan regenerasi yang tinggi. Membran basal menjadi struktur penting yang menopang epitel dan menjadi penghalang selektif antara epitel dan jaringan ikat di bawahnya.

Sambungan antar sel seperti tight junction, desmosom, dan gap junction berperan menjaga integritas dan komunikasi antar sel. Permukaan apikal sel epitel dapat mengalami spesialisasi, seperti mikrovili untuk meningkatkan luas permukaan, stereosilia, dan silia untuk pergerakan material. Jenis-jenis epitel diklasifikasikan berdasarkan bentuk sel (skuamosa, kuboid, kolumnar) dan jumlah lapisan (selapis atau berlapis), yang masing-masing memiliki lokasi dan fungsi spesifik di tubuh, seperti proteksi, absorpsi, sekresi, dan filtrasi.

Pemahaman tentang struktur dan fungsi jaringan epitel menjadi landasan penting dalam mengenali berbagai organ dan sistem tubuh secara histologis.

BAB 2

HISTOLOGI SISTEM KARDIOVASKULAR

Pendahuluan

Sistem kardiovaskular merupakan sistem peredaran darah yang terdiri dari jantung, komponen darah, dan pembuluh darah. Sistem ini berperan dalam menyediakan dan mendistribusikan suplai oksigen serta nutrisi ke seluruh jaringan tubuh yang diperlukan dalam proses metabolisme. Agar dapat merespons kebutuhan tubuh, sistem kardiovaskular memerlukan berbagai mekanisme pengaturan, salah satunya adalah peningkatan suplai darah ke jaringan aktif. Dalam kondisi ekstrem, aliran darah akan lebih banyak diarahkan ke organ vital seperti jantung dan otak untuk menjaga kelangsungan fungsi sistem peredaran darah.

Sistem peredaran darah berfungsi memompa dan mengarahkan sel-sel serta zat-zat yang dibawa dalam darah ke seluruh jaringan tubuh. Ini mencakup sistem pembuluh darah dan sistem limfatik. Pada orang dewasa, panjang total pembuluh darah diperkirakan mencapai 100.000 hingga 150.000 kilometer. Sistem kardiovaskular terdiri atas struktur berikut:

1. **Jantung**, yang mendorong darah melalui sistem peredaran.
2. **Arteri**, yaitu serangkaian pembuluh darah eferen dari jantung yang bercabang menjadi lebih kecil saat menuju berbagai organ, membawa darah ke jaringan.
3. **Kapiler**, yaitu pembuluh terkecil tempat terjadinya pertukaran oksigen, karbon dioksida, nutrisi, dan

produk limbah antara darah dan jaringan. Bersama cabang arteri dan vena terkecil, kapiler membentuk jaringan kompleks tubulus tipis beranastomosis yang disebut mikrovaskulatur atau lapisan mikrovaskuler.

4. **Vena**, yang terbentuk dari konvergensi venula menjadi saluran yang semakin besar mendekati jantung, membawa darah kembali untuk dipompa ulang.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1, dua divisi utama dari sistem arteri, mikrovaskular, dan vena membentuk sirkulasi paru-paru (di mana darah memperoleh oksigen) dan sirkulasi sistemik (di mana darah mendistribusikan nutrisi dan membuang limbah dari jaringan tubuh). Sistem pembuluh darah limfatik dimulai dari cairan interstisial melalui kapiler limfatik, yaitu tubulus berdinding tipis dan berujung tertutup yang membawa getah bening. Kapiler ini kemudian bergabung membentuk pembuluh yang ukurannya semakin besar. Pembuluh getah bening terbesar bermuara ke dalam sistem peredaran darah, yakni di pembuluh darah besar dekat jantung, untuk mengembalikan cairan dari ruang jaringan ke dalam darah.

Permukaan bagian dalam dari seluruh komponen sistem darah dan limfatik dilapisi oleh epitel skuamosa sederhana yang disebut endotelium. Sebagai penghubung antara darah dan organ, sel endotel kardiovaskular memiliki peran fisiologis dan medis yang penting. Sel-sel ini tidak hanya mempertahankan penghalang antitrombogenik (menghambat pembentukan bekuan) yang permeabel secara selektif, tetapi juga menentukan kapan dan di mana sel darah putih meninggalkan sirkulasi menuju ruang interstisial jaringan, serta mensekresikan berbagai faktor parakrin yang mempengaruhi pelebaran, penyempitan pembuluh darah, dan pertumbuhan sel-sel di sekitarnya.

capaian pembelajaran

Setelah mempelajari Bab II, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan struktur histologis jantung, termasuk lapisan-lapisan dinding jantung (endokardium, miokardium, dan epikardium) serta hubungan histologisnya dengan fungsi kontraktile dan konduksi jantung.
2. Mengidentifikasi komponen histologis dari dinding vaskular pada berbagai jenis pembuluh darah (arteri elastis, arteri otot, arteriol, venula, dan vena besar) dan mengaitkannya dengan fungsinya dalam sistem peredaran darah.
3. Menganalisis struktur dan fungsi sistem kapiler, termasuk jenis-jenis kapiler (kontinu, fenestrasi, dan sinusoid) dan peran pentingnya dalam pertukaran zat antar jaringan.
4. Menjelaskan diferensiasi histologis struktur vaskular sensorik, seperti badan karotik dan badan aorta, serta fungsinya dalam mendeteksi perubahan tekanan dan komposisi darah.
5. Menguraikan struktur histologis sistem vaskular limfatik, termasuk kapiler limfatik, pembuluh limfa, dan duktus limfatik utama, serta memahami perannya dalam mempertahankan homeostasis cairan dan imunitas.

Uraian Materi

A. Jantung

Otot jantung pada keempat bilik jantung berkontraksi secara ritmis untuk memompa darah melalui sistem peredaran. Ventrikel kanan dan kiri masing-masing mendorong darah ke dalam sirkulasi paru dan sistemik, sedangkan atrium kanan dan kiri menerima darah dari tubuh dan dari vena pulmonalis. Dinding keempat ruang jantung terdiri dari tiga lapisan utama:

endokardium (lapisan dalam), miokardium (lapisan tengah), dan epikardium (lapisan luar).

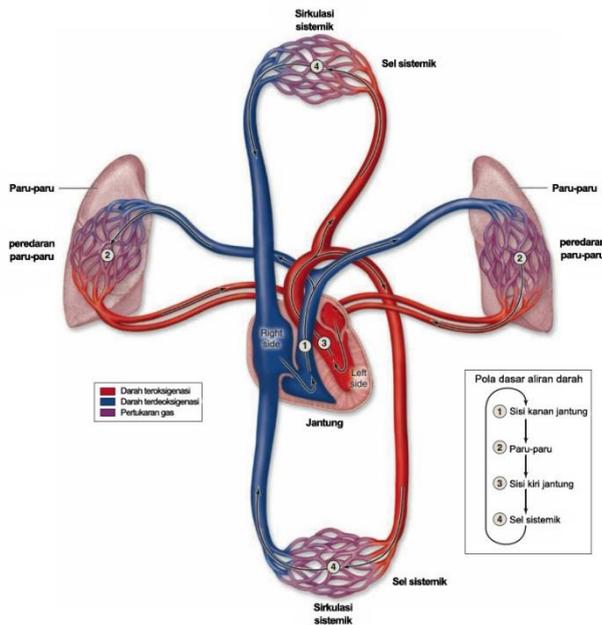
Endokardium tersusun atas lapisan dalam berupa endotelium dan jaringan ikat pendukung, lapisan tengah mioelastik yang terdiri dari serat otot polos dan jaringan ikat, serta lapisan subendokardial berupa jaringan ikat yang menyatu dengan miokardium. Cabang dari sistem penghantar impuls jantung, yang terdiri dari serat otot jantung yang termodifikasi, juga berada di lapisan subendokardial.

Lapisan paling tebal, yaitu miokardium, tersusun atas otot jantung yang serat-seratnya membentuk pola spiral mengelilingi tiap ruang jantung. Karena dibutuhkan tenaga yang lebih besar untuk memompa darah ke dalam sirkulasi sistemik dan pulmonal, dinding miokardium lebih tebal di ventrikel—terutama ventrikel kiri—dibandingkan dengan atrium.

Epikardium adalah mesotelium skuamosa sederhana yang didukung oleh jaringan ikat longgar yang mengandung pembuluh darah dan saraf. Epikardium merupakan lapisan visceral dari perikardium, selaput yang membungkus jantung. Di tempat pembuluh darah besar masuk dan keluar dari jantung, epikardium memantul kembali menjadi lapisan parietal, yang melapisi bagian dalam perikardium. Untuk mencegah gesekan selama pergerakan jantung, jaringan adiposa di epikardium memberikan perlindungan, dan cairan pelumas disekresikan oleh sel-sel mesotelial serosa pada kedua lapisan.

Di dalam ketiga lapisan utama ini, jantung juga memiliki struktur penting lainnya untuk menjalankan fungsinya. Jaringan ikat fibrosa padat membentuk bagian dari septum interventrikular dan interatrial, mengelilingi katup-katup jantung, dan meluas ke dalam struktur seperti katup dan korda tendinea tempat katup menempel. Jaringan ikat padat tidak beraturan ini berfungsi untuk:

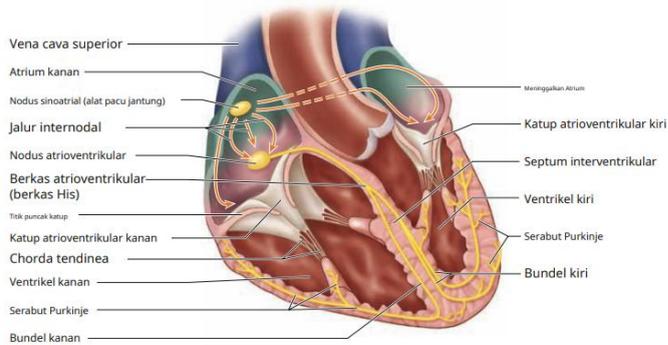
- Menahan dan menopang katup jantung,
- Menyediakan titik penyisipan kuat bagi otot jantung, dan
- Membantu mengoordinasikan denyut jantung dengan bertindak sebagai isolator listrik antara atrium dan ventrikel.



Gambar 2.1. Diagram sistem kardiovaskular

Sistem yang terdiri dari jantung, arteri, vena, dan lapisan mikrovaskular disusun dalam dua sirkulasi utama: sirkulasi pulmonal dan sirkulasi sistemik. Pada sirkulasi pulmonal, sisi kanan jantung memompa darah ke paru-paru melalui pembuluh paru untuk proses oksigenasi, kemudian darah kembali ke sisi kiri jantung. Sirkulasi sistemik yang lebih besar memompa darah dari sisi kiri jantung ke seluruh tubuh melalui pembuluh darah yang memasok darah ke kepala, lengan, dan tubuh bagian bawah, lalu kembali ke sisi kanan jantung. Saat tubuh berada dalam kondisi istirahat, sekitar 70% darah mengalir melalui sirkulasi sistemik, sekitar 18%

melalui sirkulasi pulmonal, dan sekitar 12% berada di dalam jantung.



Gambar 2.2. Anatomi Jantung

Seperti terlihat pada diagram, jantung manusia memiliki dua atrium dan dua ventrikel. Miokardium pada dinding ventrikel lebih tebal dibandingkan atrium. Katup jantung pada dasarnya merupakan lipatan jaringan ikat yang tertanam dalam jaringan ikat padat yang membentuk kerangka jantung, terkonsentrasi pada area yang ditunjukkan dengan warna putih. Jaringan fibrosa ini mencakup *chordae tendineae*, yaitu tali yang memanjang dari puncak kedua katup atrioventrikular dan menempel pada otot papiler, berfungsi mencegah katup terbalik selama kontraksi ventrikel. Katup dan tali ini dilapisi oleh endotelium nontrombogenik.

Bagian yang ditunjukkan dengan warna kuning merupakan bagian dari sistem konduksi jantung, yang berperan dalam memulai impuls listrik untuk kontraksi (detak jantung) dan menyebarkannya melalui miokardium ventrikel. Baik nodus sinoatrial (SA) — yang berperan sebagai alat pacu jantung — di dinding atrium kanan, maupun nodus atrioventrikular (AV) di dasar atrium kanan, terdiri dari jaringan miokard khusus yang secara histologis sulit dibedakan dari otot jantung sekitarnya. Nodus AV terhubung dengan berkas khusus serabut otot jantung, yaitu berkas AV (*bundle of His*), yang

bercabang menjadi berkas kiri dan kanan di sepanjang septum interventrikular hingga mencapai apeks jantung. Di bagian ini, berkas-berkas tersebut bercabang lebih lanjut menjadi serabut Purkinje yang menyebar ke miokardium ventrikel.

Sel-sel otot jantung yang telah dimodifikasi dan terletak di lapisan subendokardial serta miokardium yang berdekatan membentuk sistem konduksi jantung, yang menghasilkan serta menyebarkan gelombang depolarisasi ke seluruh miokardium untuk merangsang kontraksi ritmik. Sistem ini terdiri atas dua simpul miokard khusus di atrium kanan, yaitu nodus sinoatrial (SA) dan nodus atrioventrikular (AV), diikuti oleh berkas AV dan jaringan konduksi subendokardial.

Nodus SA, yang terletak di dinding atrium kanan dekat vena cava superior, merupakan massa sel otot jantung berukuran sekitar 6–7 mm³. Sel-sel ini berukuran lebih kecil, memiliki lebih sedikit miofibril, serta memiliki lebih sedikit cakram interkalasi dibandingkan serabut otot jantung di sekitarnya. Impuls yang diprakarsai oleh nodus SA menjalar melalui serabut miokard kedua atrium dan merangsang kontraksinya.

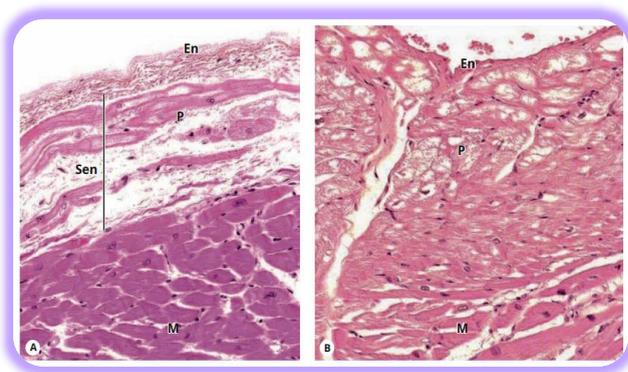
Setelah mencapai nodus AV, yang terletak di dasar atrium kanan dekat katup atrioventrikular dan memiliki struktur sel yang mirip dengan nodus SA, impuls merangsang depolarisasi sel-sel tersebut. Serabut otot konduksi dari nodus AV membentuk berkas AV, melewati kerangka jantung ke dalam septum interventrikular, lalu bercabang ke dalam dinding ventrikel sebagai berkas kanan dan kiri. Di apeks jantung, berkas ini bercabang lebih lanjut menjadi jaringan konduksi subendokardial yang terdiri dari serabut miofiber khusus, yang dikenal sebagai serabut Purkinje.

Serabut Purkinje tampak pucat, berukuran lebih besar dibandingkan serabut otot kontraktile di

sekitarnya, memiliki sedikit miofibril perifer, dan mengandung banyak glikogen (Gambar 2.3). Serabut ini bercampur dengan serabut kontraktile ventrikel dan memicu gelombang kontraksi yang terjadi secara serempak pada kedua ventrikel.

Sistem saraf otonom, baik parasimpatis maupun simpatis, mempersarafi jantung. Sel saraf ganglionik dan serabut saraf ditemukan di sekitar nodus SA dan AV, yang berperan dalam pengaturan frekuensi dan ritme detak jantung, terutama selama aktivitas fisik maupun stres emosional. Stimulasi parasimpatis melalui saraf vagus akan memperlambat detak jantung, sedangkan stimulasi simpatis akan meningkatkan aktivitas alat pacu jantung.

Di antara serabut miokardium terdapat ujung saraf aferen bebas yang berperan dalam persepsi nyeri, seperti pada kondisi angina pectoris — ketidaknyamanan yang muncul ketika terjadi penyempitan parsial arteri koroner yang menyebabkan kekurangan oksigen lokal.



Gambar 2.3. Endokardium, Miokardium, dan Serat Jaringan Konduksi Subendokardial

Endokardium adalah lapisan terdalam jantung, terdiri dari:

1. Endotelium: lapisan sel epitel pipih yang melapisi lumen jantung.

2. Jaringan ikat subendotel: mendukung endotelium.
3. Lapisan mioelastik tengah: terdiri dari sel otot polos dan jaringan ikat elastik.
4. Lapisan subendokardial: jaringan ikat yang lebih dalam, bervariasi ketebalannya, mengandung pembuluh darah kecil, saraf, dan *serabut Purkinje*.

Serabut Purkinje di Ventrikel

Terletak dalam lapisan subendokardial (SEn), serabut Purkinje (P) merupakan sel otot jantung yang dimodifikasi untuk fungsi konduksi listrik.

1. Ciri khas:
 - a. Sitoplasma lebih pucat karena glikogen mendominasi.
 - b. Miofibril terdesak ke pinggiran.
 - c. Disatukan oleh *intercalated discs*.
2. Serabut Purkinje tidak berfungsi sebagai kontraktile, melainkan menyampaikan impuls listrik ke miokardium ventrikel (M).

Serabut Purkinje di Atrium

- Lebih dekat dengan lapisan endotel (En).
- Sering bercampur dengan serabut otot kontraktile atrium dalam miokardium (M).

Gangguan pada Struktur Katup Jantung

Kelainan katup jantung dapat terjadi karena:

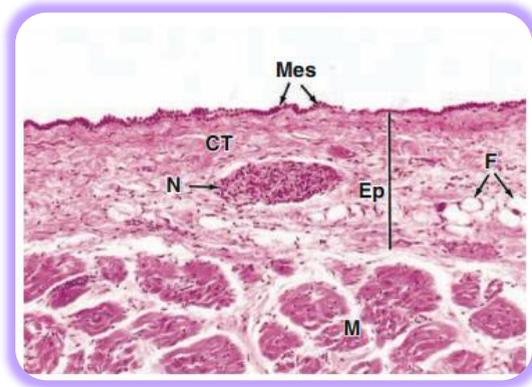
1. Kelainan bawaan (kongenital)
2. Jaringan parut pasca infeksi (misalnya, demam rematik)
3. Kondisi kardiovaskular, seperti hipertensi

Dampak kelainan katup:

1. Penutupan tidak sempurna → regurgitasi darah → *murmur* (bunyi jantung abnormal).
2. Beban kerja jantung meningkat → hipertrofi ventrikel.

Penanganan:

1. Perbaikan katup secara bedah atau
2. Penggantian katup dengan:
 - a. Katup buatan (mekanik)
 - b. Katup biologis (dari hewan besar)
3. Karena tidak dilapisi endotelium, pasien dengan katup buatan memerlukan terapi antikoagulan untuk mencegah pembentukan trombus.



Gambar 2.4. Epikardium atau perikardium visceral

Tunika Eksterna Jantung: Epikardium

Epikardium merupakan lapisan paling luar dari dinding jantung dan sekaligus berfungsi sebagai lapisan viseral perikardium. Lapisan ini tidak hanya berperan sebagai pelindung, tetapi juga sebagai tempat penting bagi pembuluh darah dan saraf yang mensuplai jantung.

Ciri-ciri Histologis Epikardium:

1. Terdiri atas jaringan ikat longgar (CT) yang berfungsi sebagai stroma pendukung.
2. Mengandung pembuluh koroner, saraf otonom (N), dan jaringan adiposa (F) dalam jumlah bervariasi, terutama di sekitar atrium.
3. Ditutupi oleh mesotelium sederhana (Mes), yaitu lapisan sel epitel pipih tunggal yang juga melapisi seluruh rongga perikardial.

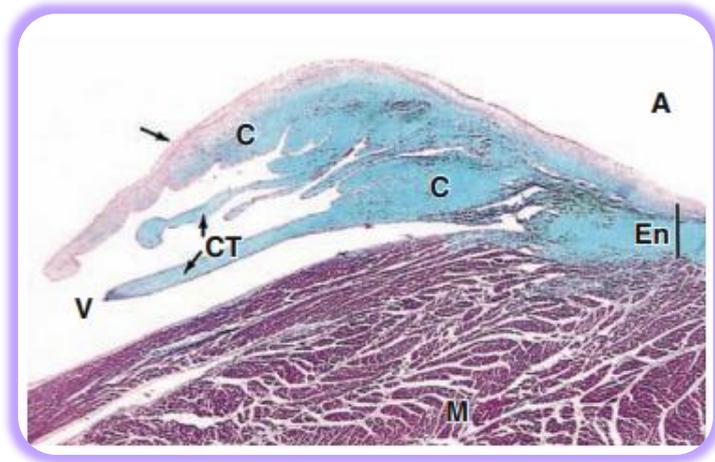
Fungsi Mesotelium:

1. Menghasilkan cairan serosa (pelumas) yang berfungsi mencegah gesekan antara epikardium dan perikardium parietal selama kontraksi dan relaksasi jantung.
2. Memungkinkan jantung bergerak bebas di dalam rongga perikardial.

Ilustrasi Histologis:

Potongan jaringan dari atrium yang diamati secara mikroskopis menunjukkan:

1. Miokardium (M): lapisan otot jantung.
2. Epikardium (Ep): lapisan jaringan ikat longgar yang terletak di atas miokardium.
 - a. Mesotelium (Mes): lapisan paling luar, tampak sebagai garis tipis pada permukaan epikardium.
 - b. Jaringan lemak (F) dan saraf otonom (N) tersebar di dalam jaringan ikat epikardium.



Gambar 2.5. Katup dan kerangka jantung

Kerangka Jantung Berserat

Kerangka jantung berserat terdiri dari jaringan ikat padat tidak teratur, terutama pada endokardium (En), yang berfungsi mengikat katup dan mengelilingi dua saluran atrioventrikular, sehingga mempertahankan bentuk jantung yang tepat. Mikrograf menunjukkan bagian pada puncak katup atrioventrikular (ditunjukkan oleh panah) dan chordae tendineae (CT) yang melekat. Struktur ini sebagian besar tersusun atas jaringan ikat padat (C) yang dilapisi oleh lapisan tipis endotel. Jaringan ikat kaya kolagen pada katup tampak berwarna biru pucat dan terhubung dengan cincin fibrosa jaringan ikat di dasar katup, yang mengisi endokardium antara atrium (A) dan ventrikel (V). Miokardium ventrikel yang tebal (M) juga terlihat.

B. Jaringan Dinding Vaskular

Dinding semua pembuluh darah, kecuali kapiler, mengandung otot polos dan jaringan ikat selain lapisan endotel. Komposisi dan susunan jaringan-jaringan ini dipengaruhi oleh faktor mekanis, terutama tekanan darah, serta faktor metabolik yang mencerminkan kebutuhan jaringan lokal. Endotelium merupakan epitel khusus yang bertindak sebagai penghalang semipermeabel antara dua kompartemen

internal utama: darah dan cairan jaringan interstisial. Sel endotel vaskular berbentuk skuamosa, poligonal, dan memanjang searah aliran darah. Endotelium dengan lamina basalnya sangat berdiferensiasi untuk memediasi dan secara aktif memantau pertukaran molekul dua arah melalui difusi sederhana, transport aktif, endositosis yang dimediasi reseptor, transitosi, dan mekanisme lainnya.

Selain peran utamanya dalam pertukaran metabolit antara darah dan jaringan, sel endotel juga memiliki beberapa fungsi lain:

- Endotelium memiliki permukaan nontrombogenik, sehingga darah tidak mudah menggumpal. Ia juga mengeluarkan agen yang mengontrol pembentukan bekuan lokal seperti heparin, aktivator plasminogen jaringan, dan faktor von Willebrand.
- Sel endotel mengatur tonus pembuluh darah dan aliran darah dengan mensekresikan berbagai faktor yang menstimulasi kontraksi otot polos (misalnya endotelin-1 dan enzim pengubah angiotensin [ACE]) atau relaksasi (misalnya oksida nitrat [NO] dan prostasiklin).
- Endotelium berperan dalam peradangan dan respons imun lokal. Di venula, sel endotel memungkinkan sel darah putih untuk berhenti dan bermigrasi melalui dinding pembuluh di lokasi cedera atau infeksi. Dalam situasi tersebut, P-selektin segera diekspresikan di permukaan luminal saat badan Weibel-Palade menyatu dengan membran sel. Adhesi pada selektin merupakan langkah pertama aktivasi leukosit, seperti dijelaskan lebih lanjut pada Bab 12. Sel endotel juga mensekresikan berbagai interleukin yang mempengaruhi aktivitas leukosit lokal selama peradangan.

- Dalam berbagai kondisi, sel endotel mengeluarkan faktor pertumbuhan, termasuk protein yang mendorong proliferasi garis keturunan sel darah putih tertentu serta sel yang membentuk dinding pembuluh darah.

Faktor pertumbuhan seperti Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) menstimulasi pembentukan sistem vaskular dari mesenkim embrionik (vaskulogenesis), mempertahankan pembuluh darah pada orang dewasa, dan mendukung angiogenesis selama pertumbuhan normal, perbaikan jaringan, regenerasi, serta dalam kondisi patologis seperti tumor. Faktor pertumbuhan lain, seperti angiopoietin, merangsang sel endotel untuk merekrut otot polos dan fibroblas guna membentuk komponen lain pada dinding pembuluh darah.

Endotelium vaskular normal bersifat antitrombogenik, sehingga mencegah adhesi trombosit dan pembentukan bekuan. Namun, jika terjadi cedera jaringan, kolagen subendotel akan terekspos dan menginduksi agregasi trombosit. Trombosit ini melepaskan faktor-faktor yang memulai konversi fibrinogen menjadi fibrin, membentuk bekuan darah (trombus). Dari trombus besar, massa yang disebut embolus dapat terlepas dan menyumbat pembuluh darah di tempat lain. Dalam kondisi ini, aliran darah dapat terganggu secara fatal. Oleh karena itu, integritas lapisan endotel sangat penting sebagai penghalang antitrombogenik. Pada tahap awal penyakit seperti infark miokard, stroke, atau emboli paru, pasien dapat diberikan aktivator plasminogen jaringan (TPA) secara intravena, yaitu enzim protease serin yang melarutkan fibrin dan bekuan darah.

Otot polos terdapat pada semua pembuluh darah yang lebih besar dari kapiler dan tersusun dalam lapisan heliks. Di arteriol dan arteri kecil, sel-sel otot polos terhubung oleh banyak gap junction dan memungkinkan vasokonstriksi maupun vasodilatasi, yang penting untuk pengaturan tekanan darah.

Jaringan ikat pada dinding pembuluh darah bervariasi sesuai kebutuhan fungsional. Serat kolagen terdapat di lapisan subendotel, di antara lapisan otot polos, dan di adventitia. Serat elastin memungkinkan dinding pembuluh mengembang di bawah tekanan. Elastin adalah komponen utama pada arteri besar, membentuk lamela paralel di antara lapisan otot. Komposisi zat dasar seperti proteoglikan dan hialuronat juga mempengaruhi permeabilitas dan karakteristik metabolik pembuluh darah.

Dinding pembuluh darah besar memiliki tiga lapisan konsentris (tunika), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 hingga 2.9:

- **Tunika intima**, lapisan terdalam, terdiri dari endotelium dan jaringan ikat subendotel tipis yang kadang berisi serat otot polos. Di arteri, terdapat lamina elastis internal dari elastin yang berpori, memungkinkan difusi molekul.
- **Tunika media**, lapisan tengah, terdiri dari lapisan konsentris otot polos yang membentuk struktur heliks. Terdapat serat elastin, lamela elastis, serat retikuler, dan proteoglikan yang diproduksi oleh sel otot polos. Pada arteri, media dapat memiliki lamina elastis eksternal.
- **Tunika adventitia**, lapisan luar, merupakan jaringan ikat dengan kolagen tipe I dan serat elastin. Lapisan ini menyatu dengan stroma jaringan di sekitarnya.

Vasa Vasorum dan Persarafan

Seperti halnya jantung yang memiliki pembuluh darah koroner, pembuluh darah besar juga memiliki *vasa vasorum* ("pembuluh dari pembuluh"), yaitu arteriol, kapiler, dan venula di adventitia dan media luar, yang menyediakan metabolit bagi sel-sel di lapisan pembuluh yang lebih dalam. Vena besar, yang membawa darah terdeoksigenasi, biasanya memiliki lebih banyak *vasa vasorum* dibandingkan arteri.

Adventitia juga mengandung saraf vasomotor otonom tanpa mielin, yang melepaskan norepinefrin untuk memicu vasokonstriksi. Kepadatan persarafan ini lebih tinggi pada arteri dibandingkan vena.

C. Vaskulatur

Transisi antara pembuluh darah besar dan mikrosirkulasi berlangsung secara bertahap. Untuk tujuan pembelajaran, pembuluh diklasifikasikan berdasarkan jenis, seperti dalam Tabel 11-1. Arteri elastis—termasuk aorta, arteri pulmonalis, dan cabang terbesarnya—disebut juga arteri penghantar karena fungsinya membawa darah ke arteri yang lebih kecil. Ciri khasnya adalah tunika media yang sangat tebal, terdiri dari lamela elastis dan otot polos. Aorta dewasa dapat memiliki sekitar 50 lamela elastis (lebih banyak pada penderita hipertensi).

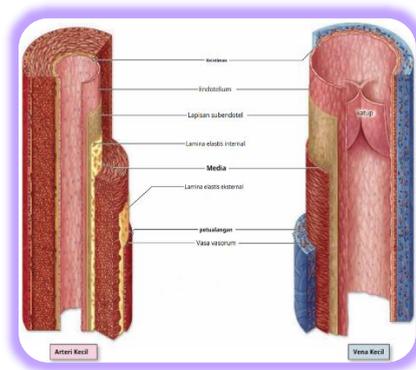
Tunika intima berkembang baik, dengan banyak sel otot polos di jaringan ikat subendotel, dan sering menunjukkan lipatan melintang akibat penurunan tekanan darah saat kematian. Lamina elastis internal berada antara intima dan media, tampak lebih jelas dibandingkan lamina elastis eksternal. Adventitia jauh lebih tipis daripada media. Lamina elastis membantu mempertahankan aliran darah yang stabil. Saat ventrikel berkontraksi (sistol), elastin meregang dan dinding arteri mengembang. Saat ventrikel relaksasi (diastol), elastin kembali ke bentuk semula, membantu mempertahankan tekanan arteri. Katup aorta dan pulmonalis mencegah aliran balik, sehingga aliran tetap berlangsung ke jaringan perifer.

Aterosklerosis

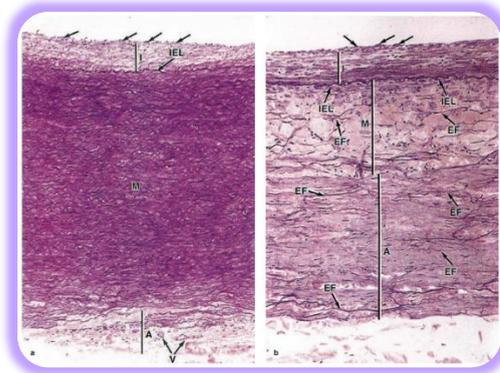
Aterosklerosis (dari bahasa Yunani *athero* = bubur, *skleros* = pengerasan) adalah penyakit pada arteri elastis dan arteri otot besar, dan menjadi penyebab hampir separuh kematian di negara maju. Penyakit ini bermula dari disfungsi endotel yang mengoksidasi lipoprotein densitas rendah (LDL) di tunika intima, menyebabkan adhesi dan infiltrasi monosit/makrofag. Makrofag mengonsumsi LDL teroksidasi dan berubah

menjadi *foam cell*, membentuk *fatty streak* (garis lemak) sebagai tanda awal aterosklerosis. Selanjutnya, lesi berkembang menjadi plak fibroateromatosa (ateroma) yang mengandung sel otot polos, kolagen, limfosit, dan area nekrotik lipid. Faktor risikonya meliputi dislipidemia (rasio LDL/HDL > 3:1), hiperglikemia (diabetes), hipertensi, dan toksin dari merokok.

Dinding arteri dan vena memiliki tiga lapisan (tunika), yaitu intima, media, dan adventitia (atau eksterna), yang secara kasar sebanding dengan endokardium, miokardium, dan epikardium pada jantung. Arteri memiliki tunika media yang lebih tebal dan lumen yang relatif sempit. Sebaliknya, vena memiliki lumen yang lebih besar, dengan tunika adventitia sebagai lapisan yang paling tebal. Tunika intima pada vena sering kali membentuk lipatan yang berfungsi sebagai katup. Kapiler hanya terdiri atas endotelium, tanpa lapisan subendotel maupun tunika lainnya.



Gambar 2.6. Dinding arteri dan vena



Gambar 2.7. Tunik dinding pembuluh darah

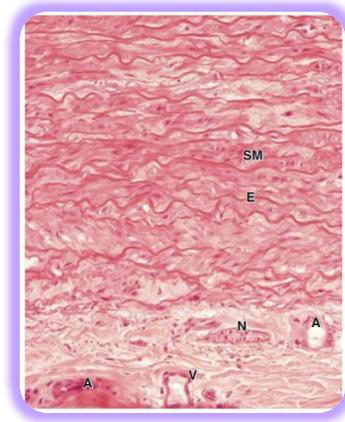
Perbandingan tiga lapisan atau tunika utama pada arteri dan vena terbesar: (a) Aorta, (b) Vena Cava. Sel endotel skuamosa sederhana (panah) melapisi intima (I), yang juga memiliki jaringan ikat subendotel. Di arteri, intima dipisahkan dari media oleh *lamina elastis internal* (Internal Elastic Lamina/IEL), suatu struktur yang tidak terdapat pada semua vena, kecuali pada vena terbesar. Media (M) mengandung banyak *lamela elastis* dan serat elastis (*Elastic Fibers/EF*) yang bergantian dengan lapisan otot polos. Pada arteri besar, media jauh lebih tebal dibandingkan pada vena, dengan kandungan elastin yang relatif lebih banyak. Serat elastis juga terdapat pada tunika adventitia luar (A), yang relatif lebih tebal pada vena besar. *Vasa vasorum* (V) terlihat pada adventitia aorta. Jaringan ikat adventitia selalu menyatu dengan jaringan ikat kurang padat di sekitarnya.

1. Struktur Sensorik Arteri

Sinus karotis adalah sedikit pelebaran arteri karotis interna bilateral, yang merupakan cabang dari arteri karotis komunis (elastis); mereka bertindak sebagai baroreseptor penting yang memantau tekanan darah arteri. Pada sinus ini, tunika media lebih tipis, memungkinkan distensi yang lebih besar ketika tekanan darah meningkat, dan adventitia mengandung banyak ujung saraf

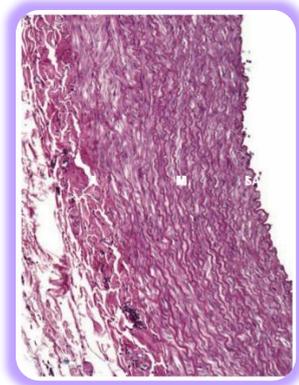
sensorik dari saraf kranial IX, yaitu saraf glossopharyngeal. Pusat vasomotor di otak memproses impuls aferen ini dan menyesuaikan vasokonstriksi, sehingga menjaga tekanan darah tetap normal. Baroreseptor yang secara fungsional serupa terdapat di lengkung aorta, yang mengirimkan sinyal terkait tekanan darah melalui saraf kranial X, yaitu saraf vagus.

Kemoreseptor yang secara histologis lebih kompleks, yang memantau kadar CO_2 dan O_2 dalam darah, serta pH darah, ditemukan di badan karotis dan badan aorta, masing-masing terletak di dinding sinus karotis dan lengkung aorta. Struktur ini merupakan bagian dari sistem saraf otonom yang disebut paraganglia, yang memiliki jaringan kapiler yang kaya. Kapiler tersebut dikelilingi oleh sel glomus besar yang berasal dari puncak saraf dan diisi dengan vesikel inti padat yang mengandung dopamin, asetilkolin, dan neurotransmitter lainnya, yang didukung oleh sel satelit yang lebih kecil (Gambar 11-10). Saluran ion pada membran sel glomus merespons rangsangan dalam darah arteri, terutama hipoksia (O_2 rendah), hiperkapnia (kelebihan CO_2), atau asidosis, dengan mengaktifkan pelepasan neurotransmitter. Serabut sensorik yang bercabang dari saraf glossopharyngeal bersinaps dengan sel glomus dan memberi sinyal pada pusat otak untuk memulai penyesuaian kardiovaskular dan pernapasan guna memperbaiki kondisi tersebut.



Gambar 2.8. Vasa vasorum

Adventitia pada arteri yang lebih besar mengandung pasokan mikrovaskular untuk membawa oksigen dan nutrisi ke sel-sel lokal yang terlalu jauh dari lumen untuk mendapatkan pasokan nutrisi dari darah di sana. Arteriol (A), kapiler, dan venula (V) membentuk *vasa vasorum* (pembuluh pembuluh darah). Adventitia pada arteri besar juga lebih jarang dipersarafi oleh saraf simpatis kecil (N) untuk mengontrol vasokonstriksi. Di atas adventitia pada bagian ini, dapat dilihat serabut otot (SM) dan *lamela elastis* (E) di media.



Gambar 2.9. Arteri Elastis

Arteri terbesar mengandung bahan elastis yang cukup banyak dan mengembang bersama darah ketika jantung berkontraksi. Sayatan melintang melalui bagian arteri elastis besar menunjukkan media yang tebal (M), yang sebagian besar terdiri dari banyak *lamela elastis* yang berkembang dengan baik. Tekanan kuat dari darah yang berdenyut ke dalam arteri tersebut selama sistol akan memperluas dinding arteri, mengurangi tekanan, dan memungkinkan aliran darah yang kuat berlanjut selama diastol. Keintiman (I) dari aorta yang kosong biasanya terlipat, dan jaringan ikat padat yang tidak beraturan pada adventitia (A) lebih tipis dibandingkan media.

2. Arteri Otot

Arteri otot, yang disebut juga sebagai arteri pendistribusi, mendistribusikan darah ke organ-organ dan membantu mengatur tekanan darah dengan mengontraksikan atau mengendurkan otot polos di media. Intima memiliki lapisan subendotel tipis dan *lamina elastis internal* yang menonjol (Gambar 2.11). Media dapat mengandung hingga 40 lapisan sel otot polos besar yang diselingi dengan sejumlah *lamela elastis* (tergantung pada ukuran pembuluh darah). *Lamina elastis eksternal* hanya terdapat pada arteri otot yang lebih besar. Jaringan ikat awal mengandung kapiler limfatik, *vasa vasorum*, dan saraf, yang semuanya dapat menembus hingga bagian luar media.

3. Arterioli

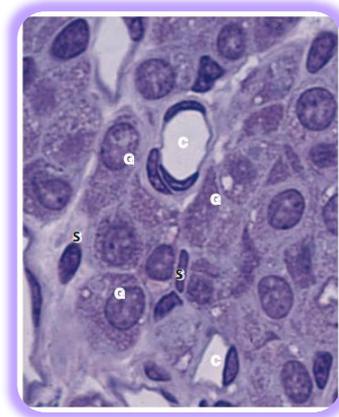
Arteri otot bercabang berulang kali menjadi arteri yang semakin kecil, hingga mencapai ukuran tiga atau empat lapis otot polos di media. Arteri terkecil bercabang menjadi arterioli, yang hanya memiliki satu atau dua lapisan otot polos; ini menandakan permulaan mikrovaskular suatu organ (Gambar 2.12 dan 2.13) di mana terjadi pertukaran antara darah dan cairan jaringan.

Arteriol umumnya berdiameter kurang dari 0,1 mm, dengan lumen yang kira-kira selebar tebal dindingnya (Gambar 2.14). Lapisan subendotel sangat tipis, tidak ada *lamina elastis*, dan medianya terdiri dari sel otot polos yang tersusun melingkar. Baik pada arteri kecil maupun arteri, adventitia sangat tipis dan tidak mencolok. Arteriol hampir selalu bercabang membentuk jaringan kapiler anastomosis yang mengelilingi sel parenkim organ. Di ujung arteri, serat otot polos bertindak sebagai sfingter dan menghasilkan aliran darah periodik ke kapiler (Gambar 2.13). Tonus otot biasanya menjaga sebagian arteri tetap tertutup, sehingga menghambat aliran darah, menjadikan pembuluh darah ini sebagai penentu utama tekanan darah sistemik.

Tabel 2.1 Rentang ukuran, ciri-ciri utama, dan peran penting jenis pembuluh darah utama					
Jenis Arteri	Diameter Luar (Perkiraan Kisaran)	Intima	Media	Adventitia	Peran dalam Sistem Peredaran Darah
Arteri elastis	> 10 mm	Endotelium; jaringan ikat dengan otot polos	Banyak lamela elastis bergantian dengan otot polos	Jaringan ikat, lebih tipis dari media, dengan vasa vasorum	Menghantarkan darah dari jantung dan dengan gerakan elastis membantu menggerakkan darah ke depan di bawah tekanan yang stabil
Arteri otot	10-1 mm	Endotelium; jaringan ikat dengan otot polos, lamina elastis	Banyak lapisan otot polos, dengan bahan yang kurang elastis	Jaringan ikat, lebih tipis dari media; vasa vasorum mungkin ada	Mendistribusikan darah ke seluruh organ dan menjaga tekanan dan aliran darah tetap stabil dengan vasodilatasi

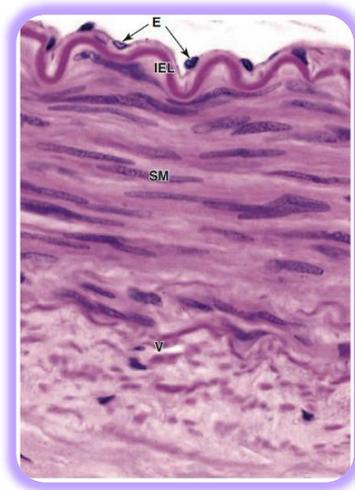
Tabel 2.1 Rentang ukuran, ciri-ciri utama, dan peran penting jenis pembuluh darah utama					
Jenis Arteri	Diameter Luar (Perkiraan Kisaran)	Intima	Media	Adventitia	Peran dalam Sistem Peredaran Darah
		internal menonjol			dan penyempitan
Arteri kecil	1-0.1 mm	Endotelium; jaringan ikat lebih sedikit otot polos	3-10 lapisan otot polos	Jaringan ikat, lebih tipis dari media; tidak ada vasa vasorum	Mendistribusikan darah ke arteriol, mengatur aliran dengan vasodilatasi dan konstriksi
Arterioli	100-10 μ m	Endotelium; tidak ada jaringan ikat atau otot polos	1-3 lapis otot polos	Lapisan jaringan ikat sangat tipis	Menahan dan mengontrol aliran darah ke kapiler; penentu utama tekanan darah sistemik
Kapiler	10-4 μ m	Hanya endotelium	Beberapa perisit	Tidak ada	Pertukaran metabolit melalui difusi ke dan dari sel
Venula (pascakapiler, pengumpul, dan otot)	10-100 μ m	Endotelium; tidak ada katup	Perisit dan sel otot polos tersebar	Tidak ada	Tiriskan lapisan kapiler; tempat keluarnya leukosit dari pembuluh darah
Pembuluh darah kecil	0.1-1 mm	Endotelium; jaringan ikat dengan serat otot polos	Tipis, 2-3 lapisan sel otot polos	Jaringan ikat, lebih tebal dari media	Kumpulkan darah dari venula

Tabel 2.1 Rentang ukuran, ciri-ciri utama, dan peran penting jenis pembuluh darah utama					
Jenis Arteri	Diameter Luar (Perkiraan Kisaran)	Intima	Media	Adventitia	Peran dalam Sistem Peredaran Darah
		yang tersebar	yang longgar		
Vena sedang	1-10 mm	Endotelium; jaringan ikat, dengan katup	3-5 lapisan otot polos yang lebih jelas	Lebih tebal dari media; otot polos longitudinal mungkin ada	Membawa darah ke vena yang lebih besar, tanpa aliran balik
Pembuluh darah besar	> 10 mm	Endotelium; jaringan ikat, sel otot polos; katup yang menonjol	> 5 lapisan otot polos, dengan banyak kolagen	Lapisan paling tebal, dengan kumpulan otot polos memanjang	Kembalikan darah ke jantung



Gambar 2.10. Sel dan kapiler dalam badan glomus

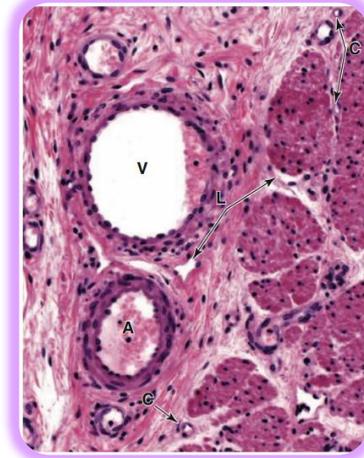
Daerah khusus di dinding arteri elastis tertentu mengandung jaringan yang berfungsi sebagai kemoreseptor untuk memberikan informasi ke otak mengenai komposisi kimia darah. Badan glomus adalah dua struktur mirip ganglion kecil (berdiameter 0,5-5 mm) yang terletak dekat arteri karotis komunis. Struktur ini mengandung banyak kapiler besar (C) yang bercampur dengan kelompok sel glomus besar (G) yang diisi dengan vesikel berisi berbagai neurotransmitter. Sel satelit pendukung (S) dengan inti memanjang menyelubungi setiap sel glomus. Sel glomus membentuk koneksi sinaptik dengan serat sensorik. Perubahan signifikan dalam konsentrasi CO_2 , O_2 , atau H^+ darah terdeteksi oleh sel glomus kemoreseptif, yang kemudian melepaskan neurotransmitter yang mengaktifkan saraf sensorik untuk menyampaikan informasi tersebut ke otak.



Gambar 2.11. Sel dan kapiler dalam badan glomus

Dengan semakin jauhnya jarak dari jantung, arteri secara bertahap memiliki kandungan elastin yang lebih sedikit dan lebih banyak otot polos di dindingnya. Sebagian besar arteri yang cukup besar untuk diberi nama adalah tipe otot.

Potongan melintang melalui arteri otot (dengan kaliber sedang) menunjukkan intima yang sedikit terlipat, dengan hanya jaringan ikat tipis antara sel endotel (E) dan lamina elastis internal (Internal Elastic Lamina, IEL). Beberapa lapisan otot polos (SM) di media lebih tebal daripada lamela elastis dan serat elastis yang diselinginya. Vasa vasorum (V) terlihat pada adventitia.



Gambar 2.12. Mikrovaskular

Arterioli (A), kapiler (C), dan venula (V) membentuk mikrovaskular, tempat pertukaran molekul antara darah dan cairan interstisial dari jaringan sekitarnya terjadi di hampir setiap organ. Karena kurangnya media dan tunika adventitia, serta dengan diameter hanya 4-10 μm , kapiler (C) dapat dikenali pada potongan parafin melalui inti yang berdekatan dengan lumen kecil atau sel darah merah yang sangat eosinofilik di dalam lumen. Tidak semua cairan interstisial yang terbentuk pada lapisan kapiler dialirkan ke venula; kelebihanannya disebut getah bening dan terkumpul di pembuluh limfatik (L) yang berdinding tipis dan berbentuk tidak beraturan, seperti yang terlihat pada jaringan ikat dan otot polos di sini.

Tekanan darah bergantung pada curah jantung dan resistensi perifer total terhadap aliran darah, yang sebagian besar disebabkan oleh resistensi arteriol. Hipertensi atau tekanan darah tinggi dapat terjadi akibat masalah ginjal atau endokrin, namun lebih sering merupakan hipertensi esensial, yang disebabkan oleh berbagai mekanisme yang meningkatkan konstiksi arteriol. Pada jaringan dan organ tertentu, arteriol menyimpang dari jalur sederhana ini untuk mengakomodasi berbagai fungsi khusus (Gambar 2.15). Misalnya, termoregulasi oleh kulit melibatkan arteriol yang dapat melewati jaringan kapiler dan terhubung langsung ke venula. Media dan adventitia lebih tebal pada pirau arteriovenosa (atau anastomosis arteriovenosa) dan kaya akan persarafan oleh serabut saraf simpatis dan parasimpatis.

Serabut otonom mengontrol derajat vasokonstriksi pada shunt ini, yang mengatur aliran darah melalui kapiler. Aliran darah kapiler yang tinggi di kulit memungkinkan pembuangan panas lebih banyak dari tubuh, sementara aliran darah kapiler yang berkurang akan menghemat panas—fungsi yang penting ketika suhu lingkungan panas atau dingin. Jalur mikrovaskuler alternatif penting lainnya adalah sistem portal vena (Gambar 2.15), di mana darah mengalir melalui dua lapisan kapiler berturut-turut yang dipisahkan oleh vena portal. Pengaturan ini memungkinkan hormon atau nutrisi yang diambil oleh darah di jaringan kapiler pertama dikirim dengan paling efisien ke sel-sel di sekitar lapisan kapiler kedua sebelum darah dikembalikan ke jantung untuk didistribusikan secara umum. Contoh terbaik adalah sistem portal hepatic hati dan sistem portal hipotalamus-hipofisis di kelenjar hipofisis anterior, keduanya memiliki kepentingan fisiologis yang besar.

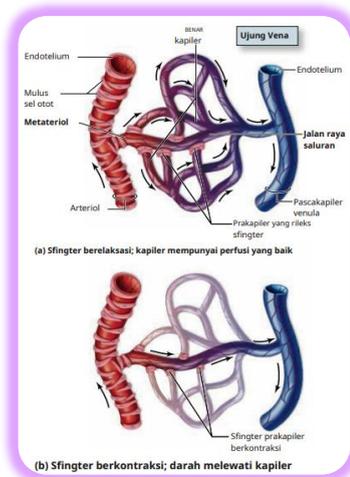
4. Bed Kapiler

Kapiler memungkinkan dan mengatur pertukaran metabolit antara darah dan jaringan sekitarnya. Pembuluh darah terkecil ini selalu berfungsi dalam jaringan yang disebut lapisan kapiler, yang ukuran dan bentuk keseluruhannya disesuaikan dengan struktur yang disuplai. Kepadatan lapisan kapiler berhubungan dengan aktivitas metabolisme jaringan. Jaringan dengan tingkat metabolisme tinggi, seperti ginjal, hati, dan otot jantung serta rangka, memiliki banyak kapiler; sebaliknya, jaringan dengan tingkat metabolisme rendah, seperti otot polos dan jaringan ikat padat, memiliki lebih sedikit kapiler. Lapisan kapiler disuplai terutama oleh satu atau lebih cabang arteriol terminal yang disebut metarteriol, yang bersambung dengan saluran jalan raya yang terhubung dengan venula pascakapiler (Gambar 2.13).

Kapiler bercabang dari metarteriol, yang dikelilingi oleh sel otot polos yang tersebar, dan menyatu menjadi saluran jalan raya, yang tidak memiliki otot. Sel otot pada metarteriol bertindak sebagai sfingter prakapiler yang mengontrol aliran darah ke kapiler. Sfingter ini berkontraksi dan berelaksasi secara siklis, dengan 5-10 siklus per menit, menyebabkan darah melewati kapiler secara berdenyut. Ketika sfingter tertutup, darah mengalir langsung dari metarteriol dan saluran jalan raya ke venula pascakapiler. Kapiler terdiri dari lapisan sel endotel sederhana yang digulung sebagai tabung dan dikelilingi oleh membran basal (Gambar 2.16).

Diameter rata-rata kapiler bervariasi dari 4 hingga 10 mikron, yang memungkinkan transit sel darah hanya satu per satu, dan panjang individualnya biasanya tidak lebih dari 50 mikron. Pembuluh darah kecil ini membentuk lebih dari 90% pembuluh darah tubuh, dengan panjang total lebih dari 100.000 km dan luas permukaan total

sekitar 5.000 m². Karena siklus pembukaan dan penutupan sfingter, sebagian besar kapiler pada dasarnya kosong pada waktu tertentu, dan hanya sekitar 5% (~300 mL pada orang dewasa) dari total volume darah yang bergerak melalui struktur ini. Dinding kapiler yang tipis, luas permukaan yang besar, dan aliran darah yang lambat serta berdenyut mengoptimalkan kapiler untuk pertukaran air dan zat terlarut antara darah dan jaringan. Selain sifat endotel yang disebutkan sebelumnya dalam bab ini, sel kapiler memiliki banyak fitur khusus untuk transfer molekul melalui mekanisme mulai dari difusi sederhana hingga transcytosis.



Gambar 2.13. Struktur dan perfusi lapisan mikrovaskuler

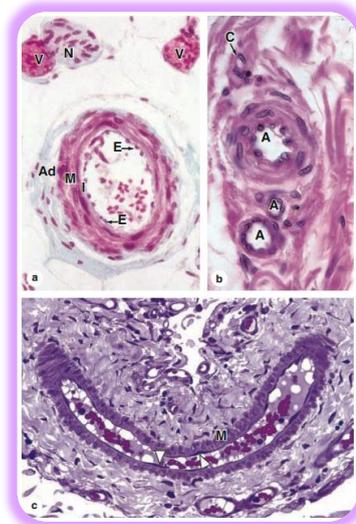
Arteriol yang menyuplai kapiler biasanya membentuk cabang kecil yang disebut metarteriol, di mana sel-sel otot polos tersebar membentuk pita-pita yang bertindak sebagai sfingter prakapiler. Bagian distal dari metarteriol, yang kadang-kadang disebut saluran jalan raya, tidak mengandung sel otot polos dan akan menyatu dengan venula pascakapiler. Dari metarteriol dan saluran jalan raya ini bercabang pembuluh darah

terkecil, yaitu kapiler sejati, yang tidak memiliki sel otot polos (meskipun perisit dapat ditemukan menempel pada dindingnya).

Sfingter prakapiler ini berperan dalam mengatur aliran darah menuju kapiler sejati. Pada ilustrasi bagian *a*, digambarkan lapisan kapiler dengan perfusi optimal, di mana semua sfingter dalam kondisi rileks dan terbuka. Sebaliknya, pada bagian *b*, digambarkan kondisi ketika sfingter berkontraksi, menyebabkan berkurangnya aliran darah ke kapiler. Pada waktu tertentu, sebagian besar sfingter akan tertutup setidaknya sebagian, sehingga darah mengalir ke dasar kapiler secara pulsatil, memungkinkan terjadinya pertukaran nutrisi, limbah, oksigen (O₂), dan karbon dioksida (CO₂) secara efisien melintasi endotelium. Kecuali pada sirkulasi pulmonal (lihat Gambar 2.1), darah yang memasuki sistem mikrovaskular umumnya kaya oksigen dan keluar dalam kondisi miskin oksigen.

Rata-rata ketebalan sel endotel kapiler hanya sekitar 0,25 µm, dan inti sel sering kali tampak melengkung mengikuti bentuk tubular yang sangat kecil (lihat Gambar 2.10). Sitoplasma sel mengandung mitokondria, organel lainnya, serta populasi vesikel membran dalam jumlah besar. Bersama dengan lamina basal, struktur kompleks sambungan antar sel mempertahankan bentuk tabung kapiler, di mana jumlah dan jenis sambungan rapat sangat mempengaruhi permeabilitas kapiler.

Variasi struktural utama pada kapiler ditemukan pada organ-organ dengan kebutuhan fungsional yang berbeda, yang memungkinkan tingkat pertukaran metabolik yang sangat bervariasi. Berdasarkan kontinuitas sel endotel dan membran basalnya, kapiler diklasifikasikan ke dalam tiga tipe histologis utama (lihat Gambar 2.17 hingga 2.20).



Gambar 2.14. Arteriol

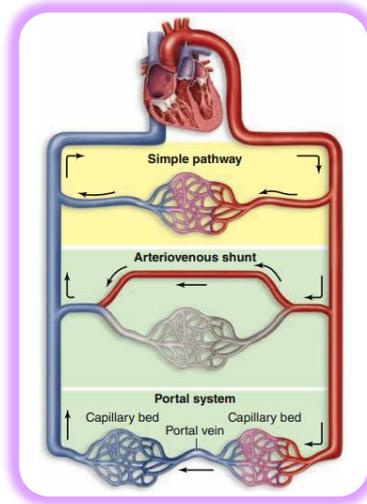
(a) Arteriol adalah pembuluh darah mikro dengan tunika intima (I) yang hanya terdiri atas endotelium (E), di mana sel-selnya mungkin memiliki inti yang bulat. Tunika media (M) terdiri dari hanya satu atau dua lapisan otot polos, dan tunika adventitia (Ad) biasanya tipis serta tidak mencolok.

(b) Tiga arteriol (A) dengan berbagai ukuran, serta beberapa kapiler (C), ditunjukkan pada gambar ini.

(c) Arteriol mesenterika berukuran besar yang dipotong secara miring dan memanjang tampak jelas memperlihatkan sel-sel endotel (ditunjukkan dengan kepala panah) dan satu atau dua lapisan sel otot polos (M) yang terpotong melintang. Adventitia menyatu secara halus dengan jaringan ikat sekitarnya, sehingga batasnya sulit dibedakan.

Kebanyakan kapiler disuplai oleh arteriol dan bermuara ke venula, namun terdapat jalur alternatif di organ-organ tertentu. Di kulit, aliran darah dapat divariasikan sesuai kondisi

lingkungan eksternal melalui pirau arteriovenosa (AV) atau anastomosis AV, yang umumnya berbentuk gulungan. Struktur ini secara langsung menghubungkan sistem arteri dan vena, sehingga sementara waktu dapat melewati kapiler.



Gambar 2.15. Perbandingan jalur mikrovaskuler sederhana dengan pirau arteriovenosa dan sistem portal.

Dalam sistem portal vena, satu jaringan kapiler bermuara ke dalam vena yang kemudian bercabang kembali menjadi jaringan kapiler kedua. Pengaturan ini memungkinkan molekul-molekul yang masuk ke aliran darah pada kapiler pertama untuk diantarkan secara cepat dan dalam konsentrasi tinggi ke jaringan sekitarnya pada kapiler kedua. Mekanisme ini sangat penting, antara lain, di kelenjar hipofisis anterior dan hati.

Tidak ditampilkan di sini adalah sistem portal arteri, yang terdiri atas arteriolen aferen → kapiler → arteriolen eferen, seperti yang terjadi di glomerulus ginjal.

Tipe-Tipe Kapiler

1. Kapiler Berkelanjutan (*Continuous Capillaries*) (*Gambar 2.17a*)

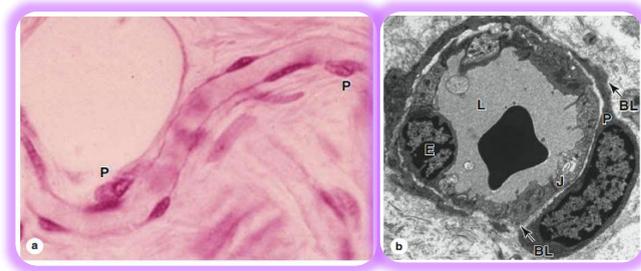
Kapiler jenis ini memiliki banyak sambungan oklusi (*tight junctions*) yang rapat dan berkembang dengan baik antara sel-sel endotel yang sedikit tumpang tindih. Struktur ini memberikan kontinuitas endotel yang utuh serta memungkinkan pertukaran metabolik antar sel yang terkontrol secara efisien. Kapiler berkelanjutan merupakan tipe yang paling umum, ditemukan di otot, jaringan ikat, paru-paru, kelenjar eksokrin, dan jaringan saraf. Studi ultrastruktur menunjukkan keberadaan banyak vesikel transpor yang menunjukkan proses *transcytosis* makromolekul dua arah melintasi sitoplasma sel endotel.

2. Kapiler Berfenestrasi (*Fenestrated Capillaries*) (*Gambar 2.17b*)

Kapiler ini memiliki struktur menyerupai saringan yang memungkinkan pertukaran molekul lebih luas melalui endotelium. Sel-sel endotel mengandung banyak pori atau fenestrasi berbentuk melingkar kecil (*L. fenestra*, berarti lubang), dengan diameter sekitar 80 nm. Beberapa fenestrasi dilapisi oleh diafragma proteoglikan yang sangat tipis (*Gambar 2.19*), sementara yang lain kemungkinan terbentuk sebagai hasil invaginasi membran selama *transcytosis*, yang untuk sementara melibatkan kedua sisi sel yang sangat tipis. Meskipun demikian, membran basal tetap bersifat kontinyu dan menutupi fenestrasi tersebut. Kapiler berfenestrasi banyak ditemukan di organ yang memerlukan pertukaran zat secara cepat antara darah dan jaringan, seperti ginjal, usus, pleksus koroid, dan kelenjar endokrin.

3. Kapiler Diskontinu atau Sinusoid (Discontinuous Capillaries / Sinusoids) (*Gambar 2.17c*)

Kapiler sinusoidal memungkinkan pertukaran makromolekul secara maksimal dan juga memfasilitasi perpindahan sel antara darah dan jaringan. Endotelnya memiliki perforasi besar yang tidak dilapisi diafragma, serta celah antar sel yang tidak teratur, membentuk lapisan endotel yang terputus-putus. Tidak seperti dua tipe sebelumnya, sinusoid memiliki membran basal yang sangat tidak lengkap (diskontinu), serta diameter lumen yang jauh lebih besar—seringkali mencapai 30–40 μm —yang memperlambat aliran darah. Kapiler jenis ini terdapat di organ yang memerlukan pertukaran zat dalam jumlah besar dan/atau pergerakan sel darah, seperti hati, limpa, sumsum tulang, dan beberapa organ endokrin (*Gambar 2.20*).



Gambar 2.16. Kapiler dengan perisit

Struktur Mikroskopis Kapiler

Kapiler adalah pembuluh darah terkecil yang hanya terdiri atas satu lapisan sel endotel yang membentuk tabung silindris. Struktur sederhana ini merupakan lokasi utama pertukaran molekul antara darah dan cairan interstisial jaringan.

1. Kapiler dan Perisit

Kapiler biasanya berasosiasi dengan perisit (P), yaitu sel kontraktile perivaskular yang berada di sisi luar endotelium. Perisit berfungsi dalam

stabilisasi dinding kapiler, regulasi aliran darah lokal, dan juga memiliki peran dalam regenerasi pembuluh darah. Pada preparat histologis, perisit memiliki inti yang lebih gelap dan memanjang, berbeda dari inti endotel yang lebih pipih.

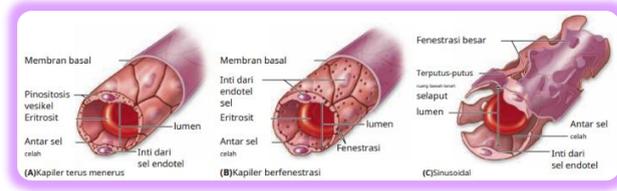
2. Potongan Melintang Kapiler (TEM).

Pada gambar mikrograf elektron transmisi (TEM), tampak potongan melintang kapiler dengan fitur-fitur sebagai berikut:

- a) Sel Endotel (E): Membentuk dinding kapiler yang sangat tipis dan membentuk lumen pembuluh (L).
- b) Lamina Basal (BL): Menutupi permukaan luar endotelium, memberikan dukungan struktural dan filtrasi.
- c) Kompleks Sambungan Antar Sel (Junctions, J): Menjaga integritas dinding kapiler serta mengatur permeabilitas antar sel.
- d) Perisit (P): Terlihat dikelilingi oleh lamina basalnya sendiri, dan memiliki proses sitoplasmik yang melingkupi bagian luar endotelium.
- e) Struktur ini menunjukkan bahwa meskipun sederhana, kapiler memiliki organisasi yang mendukung fungsi vital dalam sirkulasi mikro dan pertukaran zat antar kompartemen tubuh.

Jenis-jenis Kapiler

Kapiler merupakan pembuluh darah terkecil tempat utama pertukaran zat antara darah dan jaringan. Berdasarkan struktur dan permeabilitasnya, kapiler dibedakan menjadi tiga jenis:



Gambar 2.17. Jenis Kapiler

1. Kapiler Kontinu

- a. Ciri: Sambungan antarsel endotel sangat rapat (tight junction), tidak ada celah antar sel.
- b. Permeabilitas: Sangat selektif; pertukaran hanya melalui difusi atau transcytosis.
- c. Lokasi: Otot, jaringan ikat, paru-paru, sistem saraf pusat.
- d. Membran basal: Kontinu.

2. Kapiler Berfenestrasi

- a. Ciri: Memiliki banyak pori (fenestrasi) pada sel endotel, namun tetap dengan sambungan rapat.
- b. Permeabilitas: Lebih tinggi dari kapiler kontinu, memungkinkan pertukaran molekul kecil dan sedang.
- c. Lokasi: Ginjal, usus, pleksus koroid, organ endokrin.
- d. Membran basal: Kontinu

3. Kapiler Diskontinu (Sinusoid)

- a. Ciri: Diameter lebar, sel endotel dengan celah besar dan fenestrasi tanpa diafragma, serta membran basal tidak utuh.
- b. Permeabilitas: Tinggi, memungkinkan pertukaran makromolekul dan bahkan sel darah.
- c. Lokasi: Hati, limpa, sumsum tulang.

Perisit

Definisi: Sel mesenkimal perivaskular yang menyelimuti kapiler dan venula pascakapiler.

1. Fungsi:
 - a. Menyokong struktural kapiler.
 - b. Mengatur aliran darah mikro melalui kontraksi (mengandung aktin, miosin, tropomiosin).
 - c. Regenerasi pembuluh darah (berperan dalam angiogenesis).
 - d. Dalam SSP, menjaga sawar darah-otak.
 - e. Bersifat seperti sel punca mesenkim, mendukung regenerasi jaringan.
2. Patologi: Pada diabetes melitus, terjadi mikroangiopati diabetik karena penebalan lamina basal, menurunkan efisiensi pertukaran zat.

Venula

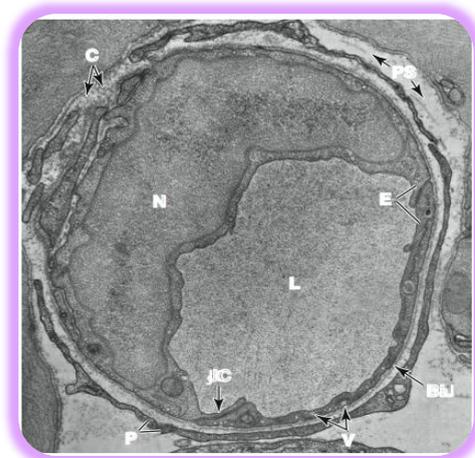
Transisi dari kapiler ke pembuluh darah balik (vena) terjadi secara bertahap.

1. Venula Pascakapiler
 - Ciri: Diameter 15–20 μm , struktur mirip kapiler namun lebih besar, dikelilingi perisit.
 - Fungsi: Lokasi utama ekstravasasi leukosit saat infeksi/inflamasi.
2. Venula Otot
 - Ciri: Diameter lebih besar, memiliki 2–3 lapis sel otot polos di tunika media.
 - Fungsi: Transisi ke vena yang lebih besar, sudah memiliki fungsi kontraktil lebih jelas.
 - Ciri Umum Venula: Diameter lumen besar dibanding ketebalan dinding.

Vena

Pembuluh yang membawa darah kembali ke jantung. Aliran darah lambat dan bertekanan rendah.

1. Vena Kecil dan Sedang
 - a. Diameter: Hingga 10 mm.
 - b. Lokasi: Umumnya sejajar dengan arteri.
 - c. Struktur:
 - Intima: Tipis.
 - Media: Beberapa otot polos, campuran serat retikuler dan elastin.
 - Adventitia: Tebal, terdiri atas kolagen.
2. Vena Besar
 - a. Lokasi: Berdekatan dengan jantung (misalnya vena cava).
 - b. Struktur:
 - Intima: Relatif tebal.
 - Media: Tipis, mengandung otot polos dan jaringan ikat.
 - Adventitia: Tebal, dengan otot polos longitudinal, dominan dibanding media.
 - c. Mekanisme Aliran Darah:
 - Kontraksi otot polos di media.
 - Kompresi eksternal oleh otot rangka dan organ sekitarnya.



Gambar 2.18. Kapiler Berkelanjutan

Kapiler Kontinu (*Continuous Capillary*)

Ciri Struktural:

1. Sel Endotel (E): Saling menutupi dengan sambungan rapat (*junctional complexes / JC*) yang mengontrol lalu lintas molekul.
2. Nukleus (N): Menonjol ke lumen kapiler.
3. *Vesikel transsitosis* (V): Banyak ditemukan, menunjukkan proses transsitosis aktif.
4. *Lamina Basal* (BL): Kontinu dan menyelimuti kapiler.
5. Perisit (P): Terletak di luar lamina basal dengan perpanjangan sitoplasma tipis yang mengelilingi endotel.
6. Ruang perivaskular (*Perivascular Space / PS*): Mengandung serat kolagen (C) dan komponen matriks ekstraseluler lainnya.
7. Fungsi Fisiologis:
 - a. Kontrol paling ketat terhadap pertukaran zat.

- b. Pertukaran molekul terjadi secara selektif melalui:
 - Difusi (untuk molekul kecil dan lipid larut).
 - Transsitosis (melalui vesikel endositik-ekspotik).

Struktur Vena (Sedang dan Besar)

Komponen Lapisan Dinding Vena:

1. Tunika Intima: Tipis, bisa memiliki lipatan membentuk katup vena.
2. Tunika Media: Mengandung serat otot polos dan serat elastis, lebih tipis dibandingkan arteri.
3. Tunika Adventitia: Tebal, dominan kolagen, terkadang mengandung otot polos longitudinal.
4. Lamina Elastis Internal: Bisa ada, tetapi kurang jelas dibandingkan pada arteri.
5. Katup Vena:
6. Terbuat dari lipatan tunika intima yang dilapisi endotel di kedua sisi.
7. Mengandung banyak serat elastis.
8. Fungsi: Mencegah aliran balik, menjaga arah aliran darah ke jantung, sangat penting di vena ekstremitas bawah (misalnya di tungkai).

Venula Pascakapiler dan Peradangan

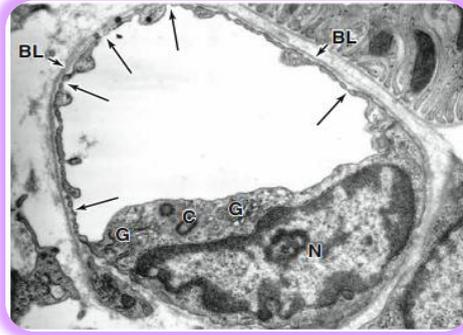
Ciri Histologis:

1. Diameter lebih besar dari kapiler, namun masih mirip secara struktural.
2. Sambungan endotelial paling longgar di antara semua pembuluh mikrovaskular.
3. Peran dalam Inflamasi:
4. Migrasi Leukosit Transendotelial:

Leukosit keluar dari sirkulasi di lokasi ini untuk menuju jaringan yang meradang.

5. Kebocoran Cairan:

Hilangnya cairan dari lumen ke jaringan selama inflamasi menyebabkan edema.



Gambar 2.19. Kapiler berfenestrasi

Kapiler Berfenestrasi (Fenestrated Capillary)

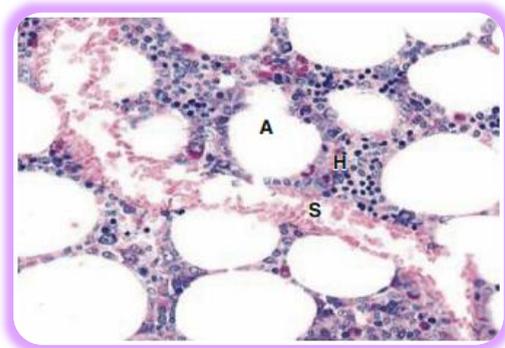
Ciri Struktural (berdasarkan TEM):

1. Fenestrasi (Fenestra):
 - Lubang-lubang kecil di sel endotel.
 - Ditutupi diafragma tipis (terlihat sebagai panah pada TEM).
2. Sel Endotel (E):
 - Dikelilingi oleh lamina basal kontinu (BL).
 - Mengandung nukleus (N), aparatus Golgi (G), dan sentriol (C).
3. Tidak ada celah antar sel endotel karena sambungan masih rapat—pertukaran molekul terjadi melalui fenestrasi, bukan antar sel.

Fungsi Fisiologis:

1. Memungkinkan pertukaran molekul lebih cepat dan efisien dibandingkan kapiler kontinu.
2. Sangat penting untuk:

- a. Penyerapan hormon (misalnya di kelenjar endokrin).
- b. Filtrasi cairan dan zat terlarut (misalnya di glomerulus ginjal).
- c. Penyerapan nutrisi (misalnya di dinding usus).
- d. Lokasi Umum:
 - Ginjal (daerah peritubular dan glomerulus).
 - Kelenjar endokrin (seperti hipofisis, tiroid).
 - Mukosa saluran pencernaan (terutama usus halus).
 - Plexus koroid di otak.



Gambar 2.20. Kapiler Sinusoidal

Kapiler Sinusoidal (Sinusoida)

Ciri Struktural (berdasarkan TEM):

1. Diameter besar: Biasanya 30–40 μm , jauh lebih lebar dibandingkan kapiler kontinu atau berfenestrasi.
2. Endotelium:
 - a. Sangat tipis dan tidak tersusun rapat, dengan fenestrasi besar.

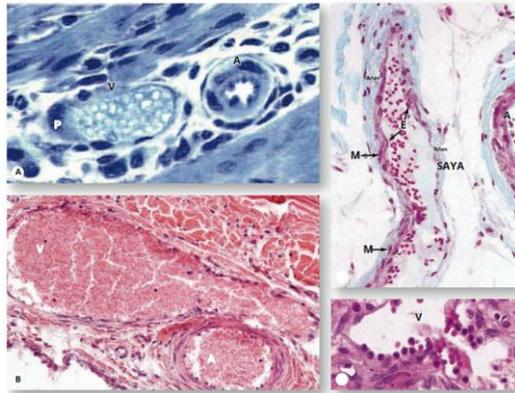
- b. Terdapat celah antar sel dan diskontinuitas, memungkinkan lewatnya sel darah.
 - c. Inti sel endotel seringkali sulit ditemukan karena tersebar secara tidak merata.
3. Lamina basal:
- Tidak kontinu, atau bahkan hilang sebagian, memudahkan perpindahan sel dan makromolekul.

Fungsi Fisiologis:

1. Memungkinkan pertukaran molekul besar, protein plasma, bahkan sel darah antara darah dan jaringan.
2. Mendukung proses fisiologis seperti:
 - a. Eritropoiesis dan migrasi sel darah di sumsum tulang.
 - b. Filtrasi dan metabolisme zat dalam hati.
 - c. Respon imun dalam limpa.

Lokasi Umum:

1. Sumsum tulang → sinusoida penting dalam pelepasan sel darah baru.
2. Hati → mendukung pertukaran metabolit antara hepatosit dan darah.
3. Limpa → membantu proses pemfilteran darah dan daur ulang eritrosit tua.
4. Beberapa kelenjar endokrin → tempat pertukaran hormon berukuran besar.
5. Struktur Pendukung (pada gambar histologis sumsum tulang):
6. Adiposit (A) → jaringan lemak penyimpan energi.
7. Sel hematopoietik (H) → prekursor berbagai jenis sel darah.
8. Sinusoida (S) → lumen besar, dikelilingi oleh jaringan penyokong dan sel darah.



Gambar 2.21. Venula

Venula: Tahapan Transisi dari Kapiler ke Vena

Jenis-jenis Venula & Karakteristiknya (berdasarkan gambar histologi):

(A) Venula Pascakapiler:

1. Ciri utama: Lumen besar, endotel sederhana, tanpa lapisan otot polos.
2. Perisit (P) kadang terlihat mengelilingi endotel.
3. Fungsi penting: Lokasi utama migrasi leukosit ke jaringan saat inflamasi.

(B) Venula Pengumpul:

1. Diameter lebih besar dari arteriol di sekitarnya.
2. Dinding masih tipis, tapi sudah mulai mengandung perisit lebih banyak atau sel otot polos.

(C) Venula Otot:

1. Tunika media dengan hingga 3 lapisan otot polos (M) di beberapa area.
2. Intima sangat tipis (I), diselubungi oleh endotel (E).
3. Adventitia (Ad) mulai terlihat, meski belum tebal.
4. Dibandingkan arteriol (A), dinding venula tetap lebih tipis.

(D) Venula Pascakapiler Terinflamasi:

1. Di usus kecil, venula menunjukkan leukosit yang melekat dan bermigrasi keluar dari pembuluh.
2. Mekanisme penting dalam respon imun dan inflamasi.
3. Sistem Vaskular Limfatik: Jalur Drainase dan Imunitas
4. Struktur Kapiler Limfatik:
5. Terletak di hampir semua jaringan, kecuali:
 - a. Sumsum tulang
 - b. Sebagian besar Sistem Saraf Pusat (CNS)
6. Dinding sangat tipis: hanya sel endotel, tanpa sambungan rapat.
7. Lamina basal tidak utuh, memungkinkan cairan mudah masuk.
8. Katup satu arah: terbentuk dari perluasan sitoplasma sel endotel → mencegah aliran balik.
9. Filamen kolagen penahan → mencegah kolaps pembuluh.

Pembuluh Limfatik yang Lebih Besar:

10. Terbentuk dari penggabungan kapiler limfatik.
 1. Dinding bertambah tebal (dengan otot polos dan jaringan ikat), tetapi:
 - Tunika tidak jelas (tidak seperti arteri/vena).
 - Katup tetap ada, untuk menjaga aliran satu arah.
 2. Kelenjar getah bening → tempat pemrosesan imunologis getah bening.

Pembuluh Limfatik Utama:

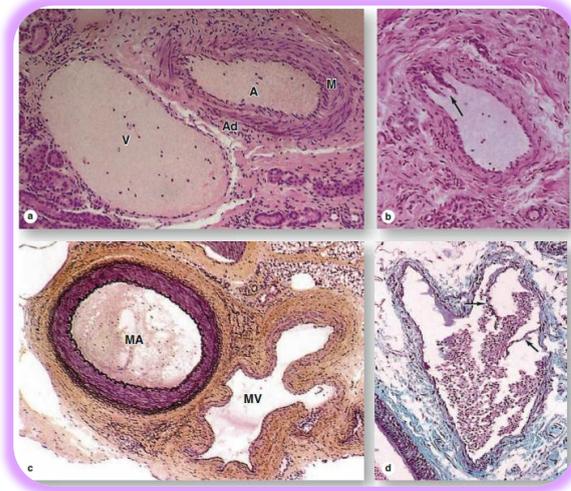
1. Ductus Thoracicus (Saluran Toraks):
Mengalir ke vena subklavia kiri + vena jugularis interna kiri.

2. Ductus Lymphaticus Dextra (Saluran Limfatik Kanan):

Masuk ke vena subklavia kanan + vena jugularis interna kanan.

Fungsi Sistem Limfatik:

1. Mengembalikan cairan interstisial ke dalam sistem sirkulasi darah.
2. Mendistribusikan limfosit dan antibodi.
3. Jalur utama untuk:
 - a. Penyebaran patogen
 - b. Metastasis kanker
4. Dampak klinis: pengangkatan kelenjar getah bening → dapat menyebabkan limfedema.



Gambar 2.22. Pembuluh Darah

Vena Kecil (Venula)

Vena kecil memiliki beberapa karakteristik yang membedakannya dari arteri kecil:

(a) Mikrograf Vena Kecil:

- Lumen besar: Dibandingkan dengan arteri otot kecil, lumen vena kecil lebih besar meskipun dindingnya lebih tipis.
- Dinding tipis: Vena kecil hanya mengandung dua atau tiga lapisan otot polos di tunika media (lapisan otot) yang sangat tipis.
- Adventitia: Lapisan luar dinding vena (adventitia) biasanya kurang berkembang.

(b) Katup pada Vena Kecil:

- Katup: Katup vena kecil adalah lipatan tipis intima yang menonjol ke dalam lumen. Fungsinya adalah untuk mencegah aliran balik darah, memastikan darah mengalir satu arah menuju jantung.
- Penempatan katup: Katup ditemukan pada bagian miring mikrograf, menunjukkan bagaimana struktur ini melindungi darah dari aliran balik.

Vena Sedang

Vena sedang lebih besar dari vena kecil dan memiliki ciri khas yang lebih berkembang.

(c) Mikrograf Vena Sedang:

- Dinding lebih tebal: Dinding vena sedang lebih tebal dibandingkan dengan arteri muskular (MA) yang menyertainya, meskipun tidak sepadat arteri.
- Perkembangan lapisan media: Lapisan media lebih baik berkembang dibandingkan pada vena kecil, tetapi tetap lebih tipis dibandingkan dengan arteri muskular yang ada di dekatnya.
- Lumen besar: Lumen vena sedang tetap relatif besar, memungkinkan volume darah yang lebih besar untuk mengalir.

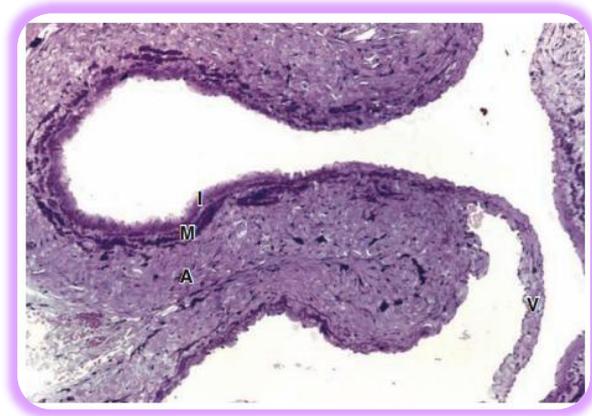
(d) Katup pada Vena Sedang:

Katup vena sedang menunjukkan lipatan intima yang menonjol ke dalam lumen, berfungsi untuk menjaga

agar darah tidak mengalir mundur dan selalu mengalir menuju jantung.

Fungsi Vena Kecil dan Sedang

- Vena kecil: Membantu mengumpulkan darah dari kapiler dan membawanya ke vena yang lebih besar.
- Vena sedang: Menyediakan jalur bagi darah untuk kembali ke jantung, memiliki katup yang memastikan aliran darah tetap terarah.



Gambar 2.23. Dinding Vena Besar dengan Katup

Struktur Vena Besar

1. Lapisan Media Otot (M):
 - Lapisan media otot pada vena besar sangat tipis jika dibandingkan dengan adventitia (lapisan luar).
 - Media otot terdiri dari lapisan otot polos yang tidak begitu menonjol, sehingga struktur dinding vena besar lebih bergantung pada lapisan adventitia untuk kekuatannya.
2. Adventitia (A):
 - Adventitia pada vena besar terdiri dari jaringan ikat padat tidak beraturan, yang

memberikan dukungan struktural pada pembuluh darah.

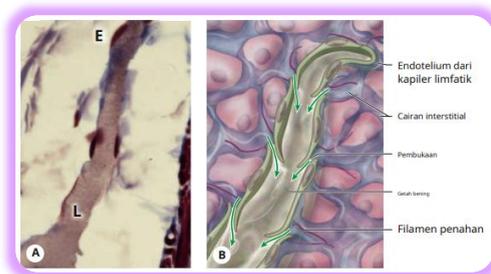
- Adventitia ini membantu pembuluh darah untuk tetap stabil dan melindungi vena besar dari kerusakan fisik.

3. Lipatan Dinding (Lipatan Intima dan Katup):

- Dinding vena besar sering terlipat, yang dapat terlihat dengan jelas dalam mikroskop.
- Intima (lapisan dalam) menonjol ke dalam lumen dan membentuk katup vena. Katup ini terbuat dari jaringan ikat subendotel, dengan endotel yang menutupi bagian dalam dan luar katup.
- Fungsi utama katup ini adalah untuk mencegah aliran balik darah dan memastikan darah mengalir satu arah ke jantung.

Fungsi dan Peran Katup pada Vena Besar

- Katup pada vena besar bekerja untuk mengarahkan aliran darah dengan menghalangi aliran balik, sangat penting terutama dalam mengatasi efek gravitasi pada vena di kaki.
- Struktur lipatan di dalam intima memfasilitasi fungsi katup ini, membantu darah terus mengalir ke jantung meskipun dengan tekanan yang lebih rendah di vena besar.



Gambar 2.24. Kapiler Limfatik

Struktur Kapiler Limfatik

1. Dinding Tipis Sel Endotel (E):

- Kapiler limfatik memiliki sel endotel yang sangat tipis, memungkinkan cairan interstisial untuk dengan mudah masuk ke dalam lumen kapiler. Dinding ini terdiri dari satu lapisan sel endotel yang membentuk saluran yang sangat permeabel.
- Diameter kapiler limfatik bervariasi antara 10-50 μm , memberikan fleksibilitas untuk menyesuaikan volume cairan yang dikumpulkan.

2. Getah Bening (L):

- Cairan yang dikumpulkan oleh kapiler limfatik disebut getah bening. Getah bening mengandung protein dan bahan lain, sering kali dengan warna yang lebih baik dibandingkan dengan zat dasar jaringan sekitar.
- Getah bening berfungsi untuk membawa komponen penting dari sistem kekebalan tubuh, seperti limfosit, yang membantu dalam pertahanan tubuh terhadap patogen.

3. Bukaan Antar Sel Endotel:

- Sel-sel endotel di kapiler limfatik tidak terhubung secara rapat seperti pada kapiler darah, menciptakan bukaan di antara sel-sel tersebut.
- Bukaan-bukaan ini memungkinkan cairan interstisial untuk masuk ke dalam kapiler limfatik dengan bebas.

4. Penahan Filamen Elastin:

- Penahan filamen elastin membantu menjaga struktur bukaan antar sel endotel. Filamen elastin ini mencegah kolaps kapiler limfatik saat cairan interstisial masuk.

- Selain itu, elastin ini juga membantu dalam menjaga dinding kapiler limfatik tetap stabil.

5. Lipatan Sel Endotel:

- Lipatan sel endotel membentuk katup yang memfasilitasi aliran cairan ke dalam kapiler limfatik dan mencegah aliran balik getah bening ke ruang jaringan.
- Katup ini sangat penting untuk memastikan cairan mengalir satu arah, dari jaringan ke sistem limfatik, dan akhirnya kembali ke sistem peredaran darah.

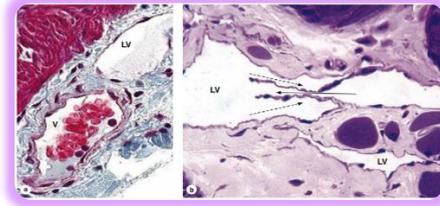
Proses Pengumpulan dan Pengembalian Cairan

- Cairan Interstitial: Plasma yang keluar dari mikrovaskuler akibat tekanan hidrostatik sebagian besar kembali ke darah melalui kapiler darah. Namun, sisa cairan yang tidak kembali masuk ke darah (karena tekanan osmotik) mengalir ke dalam kapiler limfatik.
- Penyerapan oleh Kapiler Limfatik: Cairan ini masuk melalui bukaan antar sel endotel dan dikumpulkan sebagai getah bening. Kemudian getah bening ini dibawa melalui pembuluh limfatik yang lebih besar dan akhirnya kembali ke peredaran darah melalui saluran toraks dan saluran limfatik kanan.

Fungsi dan Relevansi Klinis

- Sirkulasi Limfatik: Pembuluh limfatik mengembalikan cairan interstitial ke dalam sistem darah dan juga mendistribusikan komponen kekebalan tubuh seperti limfosit.
- Katup Limfatik: Katup dalam kapiler limfatik mencegah cairan kembali ke ruang jaringan, menjaga aliran limfatik dalam satu arah, yang penting untuk mempertahankan keseimbangan cairan tubuh.

Kapiler limfatik memiliki struktur yang sangat teradaptasi untuk fungsi pengumpulan cairan dan peran dalam sistem kekebalan tubuh. Jika ada gangguan pada sistem limfatik, seperti limfedema, cairan interstisial dapat menumpuk di jaringan dan menyebabkan pembengkakan.



Gambar 2.25. Pembuluh Limfatik dan Katup

Pembuluh limfatik adalah komponen penting dalam sistem limfatik tubuh, yang berfungsi mengumpulkan getah bening dan mengembalikannya ke dalam peredaran darah. Struktur dan fungsi pembuluh limfatik sangat berbeda dengan pembuluh darah biasa, dengan beberapa ciri khas yang membedakannya.

Struktur Pembuluh Limfatik

1. Dinding Tipis:

Seperti halnya kapiler limfatik, pembuluh limfatik memiliki dinding yang sangat tipis, terutama terdiri dari sel endotelium. Namun, pembuluh limfatik yang lebih besar terdiri dari beberapa lapisan jaringan ikat dan otot polos yang lebih tebal, meskipun tidak membentuk tunika luar yang jelas seperti pada pembuluh darah besar.

2. Penampang Melintang Pembuluh Limfatik (a):

Pada penampang melintang, pembuluh limfatik (LV) terlihat memiliki dinding yang lebih tipis dibandingkan dengan venula (V) yang terletak di sekitarnya. Hal ini menunjukkan perbedaan antara pembuluh darah dan pembuluh limfatik. Pembuluh limfatik umumnya tidak mengandung

sel darah merah, yang membedakannya dari vena yang biasanya mengalirkan darah.

3. **Katup Pembuluh Limfatik (b):**

- Pembuluh limfatik yang lebih besar memiliki katup yang sangat penting untuk memastikan aliran getah bening searah. Katup ini terdiri dari lipatan endotelium dan berfungsi untuk mencegah aliran balik getah bening ke dalam ruang jaringan.
- Pada mikrograf ini, panah solid menunjukkan arah aliran getah bening, sedangkan panah putus-putus menunjukkan bagaimana katup mencegah aliran balik.
- Katup ini sangat efektif untuk mengontrol aliran getah bening, terutama pada area-area tubuh seperti otot yang memerlukan aliran cairan satu arah.

4. **Kapiler Limfatik (bawah):**

Bagian bawah mikrograf menunjukkan kapiler limfatik kecil dengan dinding yang hanya terdiri dari sel endotelium. Kapiler ini mengumpulkan cairan interstisial yang menjadi getah bening, yang kemudian mengalir ke pembuluh limfatik yang lebih besar.

Fungsi Pembuluh Limfatik

- **Mengalirkan Getah Bening:** Pembuluh limfatik mengumpulkan getah bening dari ruang jaringan tubuh dan mengalirkannya ke dalam sistem peredaran darah melalui saluran toraks dan saluran limfatik kanan.
- **Peran Katup:** Katup yang ada pada pembuluh limfatik penting untuk menjaga agar getah bening mengalir ke satu arah dan mencegah aliran balik, yang dapat merusak keseimbangan cairan tubuh.

- **Tanpa Sel Darah Merah:** Pembuluh limfatik tidak mengandung sel darah merah, yang merupakan salah satu ciri khasnya yang membedakan dari pembuluh darah. Sebagai gantinya, pembuluh ini mengangkut limfosit dan komponen kekebalan tubuh lainnya.

Pentingnya Sistem Limfatik dalam Kesehatan

- Sistem limfatik berperan penting dalam pertahanan tubuh dengan mendistribusikan limfosit dan komponen kekebalan lainnya ke seluruh tubuh.
- Gangguan limfatik, seperti limfedema, dapat terjadi jika pembuluh limfatik tersumbat atau katupnya tidak berfungsi dengan baik, yang menyebabkan penumpukan cairan di jaringan dan pembengkakan.

Struktur yang tipis dan fleksibel dari kapiler dan pembuluh limfatik memungkinkan mereka berfungsi dengan sangat efisien dalam mengumpulkan cairan interstisial dan menjaga keseimbangan cairan tubuh. Pembuluh limfatik juga penting dalam distribusi sel-sel kekebalan tubuh yang membantu melawan infeksi.

Soal Latihan

1. Jelaskan struktur lapisan-lapisan dinding jantung dan sebutkan fungsi utama dari masing-masing lapisan tersebut.
2. Bandingkan struktur histologis arteri elastis dan arteri otot, serta jelaskan bagaimana struktur tersebut mendukung fungsi fisiologisnya.
3. Deskripsikan tiga jenis kapiler berdasarkan struktur histologisnya dan kaitkan dengan lokasi serta fungsi spesifik masing-masing.
4. Jelaskan proses pertukaran zat yang terjadi di kapiler dan peran endotelium dalam proses tersebut.
5. Uraikan struktur dan fungsi sistem vaskular limfatik serta bagaimana sistem ini berinteraksi dengan sistem kardiovaskular.
6. Jelaskan bagaimana sistem konduksi jantung bekerja berdasarkan struktur histologisnya, dan sebutkan komponen-komponen utamanya.
7. Apa perbedaan utama antara vena dan arteri dari segi struktur histologis? Bagaimana perbedaan ini berkontribusi terhadap fungsi masing-masing pembuluh?

Rangkuman

Bab ini membahas struktur mikroskopis dari sistem kardiovaskular, yang terdiri dari jantung dan sistem pembuluh darah (arteri, vena, dan kapiler), serta sistem vaskular limfatik. Jantung memiliki tiga lapisan utama: endokardium (lapisan dalam), miokardium (lapisan otot jantung), dan epikardium (lapisan luar yang merupakan bagian dari perikardium). Miokardium mengandung sel-sel otot jantung yang berkontraksi secara ritmis dan sel khusus sistem konduksi.

Dinding pembuluh darah dibedakan berdasarkan tiga lapisan: tunika intima, tunika media, dan tunika adventisia. Struktur dan ketebalan masing-masing lapisan bervariasi sesuai jenis pembuluh darah. Arteri elastis, seperti aorta, memiliki banyak serat elastin, sedangkan arteri otot lebih dominan otot polos. Arteriol, kapiler, dan venula memiliki peran penting dalam distribusi darah dan pertukaran zat. Kapiler dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan permeabilitasnya: kontinu, fenestrasi, dan sinusoid.

Selain itu, dijelaskan pula sistem vaskular limfatik yang bertugas mengembalikan cairan interstisial ke sirkulasi darah dan memainkan peran penting dalam sistem imun.

BAB 3

HISTOLOGI SISTEM PENCERNAAN

Pendahuluan

Sistem pencernaan adalah sistem biologis kompleks yang terdiri dari saluran pencernaan dan kelenjar terkait seperti kelenjar ludah, hati, dan pankreas. Fungsinya utama adalah mencerna makanan untuk memperoleh molekul penting bagi pemeliharaan, pertumbuhan, dan energi. Prosesnya meliputi pemecahan makromolekul (protein, karbohidrat, asam nukleat, lemak), penyerapan nutrisi di usus kecil, serta penyerapan air dan elektrolit di usus besar. Selain itu, sistem ini melindungi tubuh dari lingkungan eksternal, serta menjalankan fungsi seperti penelanan, mastikasi, motilitas, sekresi, dan regulasi hormon pencernaan. Sisa makanan yang tidak tercerna akan dibuang

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan struktur histologis umum saluran pencernaan, termasuk susunan lapisan-lapisan dinding dari rongga mulut hingga usus besar.
2. Mengidentifikasi dan mendeskripsikan jaringan histologis pada komponen utama sistem pencernaan, seperti mukosa, submukosa, muskularis, dan serosa/adventitia, serta variasi strukturnya di tiap organ.
3. Menganalisis perbedaan histologis antara segmen-segmen saluran pencernaan, seperti kerongkongan, lambung, usus halus, dan usus besar, serta

menjelaskan relevansi fungsional dari perbedaan tersebut.

4. Mendeskripsikan struktur mikroskopis organ aksesori sistem pencernaan, seperti lidah, gigi, dan periodonsium, serta memahami fungsi fisiologis masing-masing berdasarkan strukturnya.
5. Menjelaskan adaptasi histologis mukosa saluran cerna, termasuk bentuk lipatan, vili, dan mikrovili dalam menunjang fungsi pencernaan dan absorpsi.
6. Mengintegrasikan pemahaman histologi dengan proses fisiologis sistem pencernaan, seperti sekresi, motilitas, pencernaan, dan absorpsi zat gizi..

Uraian Materi

A. Struktur Umum Saluran Pencernaan

Saluran pencernaan adalah tabung berongga dengan lumen berdiameter bervariasi dan dinding yang tersusun dari empat lapisan utama: mukosa, submukosa, muskularis, dan serosa. Berikut deskripsi singkat tiap lapisan:

1. Struktur Umum Lapisan Dinding Saluran Pencernaan
 - a. Mukosa
 - 1) Epitel: Lapisan paling dalam yang langsung bersentuhan dengan isi lumen, berfungsi sebagai penghalang dan tempat penyerapan.
 - 2) Lamina propria: Jaringan ikat longgar yang mendasari epitel dan mengandung pembuluh darah, limfatik, limfosit, sel otot polos, serta sering mengandung kelenjar kecil yang berfungsi menghasilkan cairan.
 - 3) Muskularis mukosa adalah lapisan tipis otot polos yang memisahkan mukosa dari submukosa dan memungkinkan gerakan lokal pada mukosa, membantu proses pencernaan dan penyerapan.

- b. Submukosa
 - 1) Plexus saraf otonom submukosa (Meissner) mengatur sekresi dan motilitas mukosa serta submukosa.
 - 2) Submukosa juga mengandung kelenjar untuk sekresi enzim atau lendir dan jaringan limfoid untuk pertahanan tubuh.
 - c. Muskularis

Muskularis eksterna adalah lapisan otot polos tebal dengan beberapa sublapisan yang menggerakkan bahan pencernaan melalui peristaltik dan gerakan segmental.
 - d. Serosa

Lapisan luar saluran pencernaan yang terdiri dari jaringan ikat dan jaringan epitel yang mengurangi gesekan dengan struktur lain di sekitarnya, memungkinkan saluran pencernaan bergerak dengan lancar di dalam tubuh.
2. Lapisan Saluran Pencernaan
- Mukosa adalah lapisan terdalam yang terdiri dari epitel, lamina propria, dan muskularis mukosa untuk pergerakan lokal. Submukosa mengandung pembuluh besar dan pleksus saraf Meissner yang mengatur sekresi. Muskularis eksterna terdiri dari otot polos melingkar dan memanjang yang mendorong makanan, dikendalikan oleh pleksus Auerbach. Serosa, lapisan terluar, berupa jaringan ikat longgar dan berlanjut menjadi mesenterium; pada bagian tanpa mesenterium seperti esofagus, digantikan oleh adventitia.
3. Sistem Saraf Enterik
- Sistem saraf enterik terdiri dari pleksus mienterikus (Auerbach) dan submukosa (Meissner), yang berisi neuron otonom dalam ganglia kecil. Sistem ini mengatur motorik, sekresi, dan sirkulasi darah saluran pencernaan secara otomatis tanpa kontrol dari sistem saraf pusat.

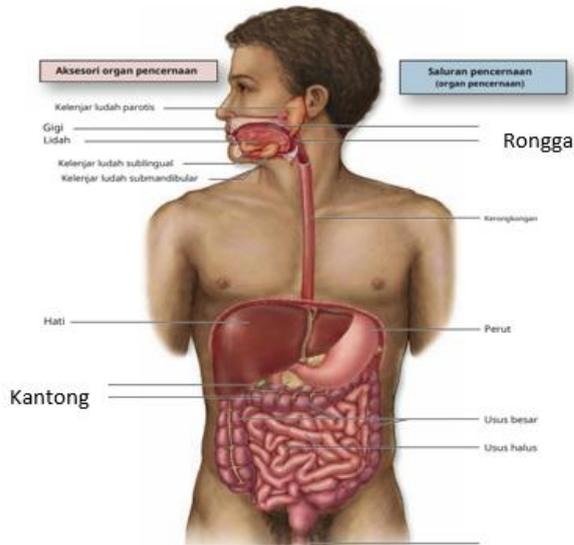
4. Mesenterium dan Peritoneum

Serosa berlanjut menjadi mesenterium, lapisan tipis jaringan ikat yang melekatkan usus ke dinding rongga perut dan dilapisi mesothelium untuk mengurangi gesekan antar organ. Di luar rongga perut, peritoneum melapisi dinding dan sebagian besar organ pencernaan. Pada bagian saluran pencernaan yang tidak tersuspensi, seperti esofagus, serosa diganti adventitia yang menyatu dengan jaringan sekitar untuk memberikan dukungan dan stabilitas.laborum.

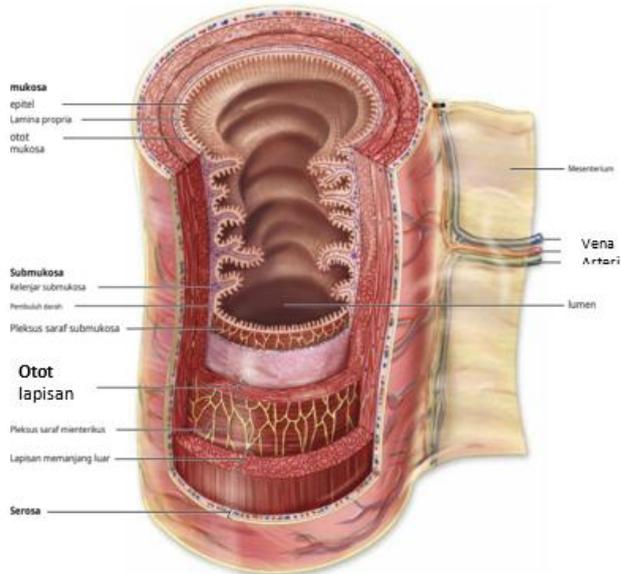
B. Sistem Pencernaan dan Kelenjar Terkait

1. Sistem Pencernaan: Lapisan Saluran dan Kelenjar Terkait

Sistem pencernaan mencakup saluran yang membentang dari rongga mulut hingga anus, serta kelenjar-kelenjar pencernaan seperti kelenjar ludah, hati, dan pankreas, yang bermuara pada saluran pencernaan ini. Struktur lapisan dinding saluran pencernaan sangat penting dalam mendukung fungsinya, mulai dari pencernaan makanan hingga penyerapan dan ekskresi.



Gambar 3.1 Sistem Pencernaan



Gambar 3.2 Lapisan utama dan organisasi saluran pencernaan.

- Saluran Pencernaan dan Pertahanan Imun
Saluran pencernaan terdiri dari beberapa bagian yang bekerja sama memecah makanan dan

menyerap nutrisi melalui proses fisik, kimiawi, dan interaksi dengan sistem imun. Tiga komponen utama yang berperan dalam sistem pertahanan dan fungsi saluran pencernaan meliputi: (1) Mucosa-Associated Lymphoid Tissue (MALT), yang terdapat di mukosa dan submukosa, berfungsi sebagai garis pertahanan pertama terhadap patogen melalui aktivitas sel imun dan produksi antibodi IgA; (2) komunitas mikroba saluran pencernaan, yang terdiri atas mikroorganisme menguntungkan dan potensial patogen, dijaga keseimbangannya oleh sistem imun mukosa untuk mencegah infeksi; serta (3) sistem saraf enterik, yang mengatur motilitas pencernaan dan dapat terganggu pada kondisi seperti penyakit Hirschsprung atau Chagas, serta menunjukkan kaitan erat antara stres emosional dan gangguan saluran cerna.

C. Rongga Mulut dan Struktur Terkait

1. Rongga Mulut

Rongga mulut merupakan bagian awal dari saluran pencernaan yang dilapisi oleh epitel dengan variasi tingkat keratinisasi, tergantung pada area dan tingkat gesekan yang diterima; epitel ini bisa berkeratin, sebagian berkeratin, atau tidak berkeratin sama sekali. Sel epitel di permukaan rongga mulut akan mengalami pengelupasan secara berkala, berbeda dari epidermis kulit yang lebih tebal dan tahan lama. Di bawah epitel terdapat lamina propria, jaringan ikat longgar yang mengandung pembuluh darah, limfatik, serta jaringan limfoid yang berperan penting dalam pertahanan terhadap patogen. Rongga mulut juga dilengkapi oleh kelenjar ludah kecil yang tersebar luas dan berfungsi menjaga kelembaban mukosa serta memulai proses pencernaan melalui sekresi enzim. Pada kondisi tertentu, seperti saat daya tahan tubuh menurun, virus Herpes Simpleks tipe 1 dapat menginfeksi

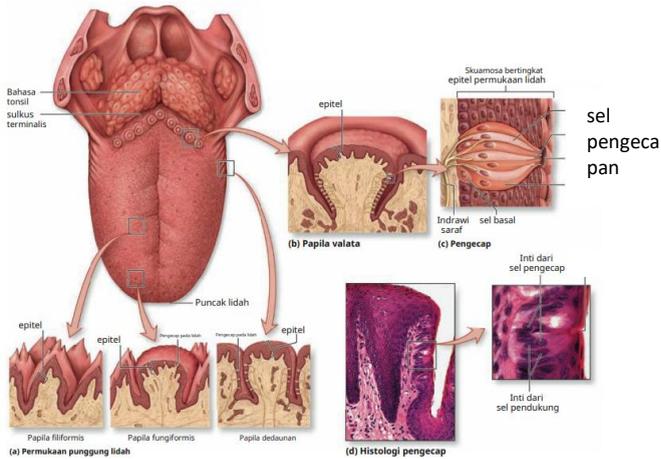
epitel mulut dan kulit sekitarnya, menyebabkan lesi berupa sariawan atau luka dingin.

2. Lidah

Lidah adalah otot lurik yang memiliki berbagai fungsi penting dalam pencernaan dan komunikasi. Berikut adalah struktur anatomi lidah yang lebih rinci:

- Lidah tersusun dari otot lurik yang berorientasi beragam, memungkinkan gerakan fleksibel dan presisi saat mengunyah dan menelan, dengan jaringan ikat sebagai penopang struktur.
- Lamina propria adalah jaringan ikat di bawah mukosa lidah yang mengikat mukosa ke otot, mendukung mobilitas lidah.
- Permukaan dorsal lidah tidak rata dan dilapisi berbagai jenis papila yang berfungsi untuk pengecap dan membantu pengolahan makanan.
- Papila Lingual: Papila lingual terdiri dari berbagai jenis, yang memungkinkan lidah untuk melakukan beberapa fungsi sekaligus, seperti pengecap (rasa), meraba, dan menolong pergerakan makanan. Terdapat empat jenis papila di lidah, yang dapat dilihat pada gambar berikut yakni Papila Filiformis, Papila Fungiformis, Papila Circumvallata dan Papila Foliate
- Tonsil Lingual: Di bagian posterior atau akar lidah, terdapat kumpulan jaringan limfoid yang disebut tonsil lingual. Tonsil ini berfungsi dalam sistem imun tubuh, membantu melawan patogen yang masuk melalui mulut.

- **Sulcus Terminalis:** Sulcus terminalis adalah alur berbentuk V yang memisahkan daerah papiler dan tonsil pada permukaan dorsal lidah.

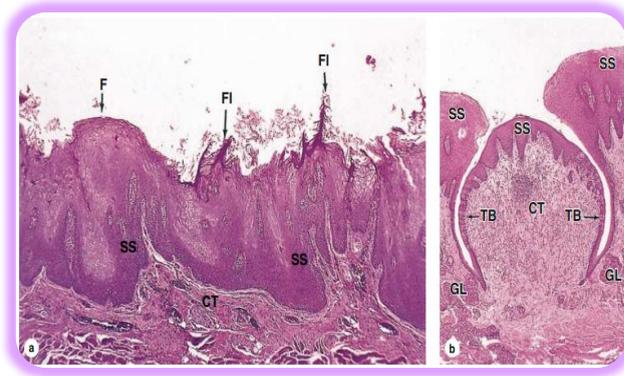


Gambar 3.3 Lidah, papilla lingual dan pengecap

Papila lidah memiliki fungsi dan struktur berbeda. Papila filiformis berbentuk kerucut, banyak, sangat berkeratin, dan membantu pergerakan makanan. Papila fungiformis berbentuk jamur, sedikit berkeratin, dan kaya vaskularisasi. Papila foliata berbentuk tonjolan paralel di sisi lidah, kurang berkembang pada orang tua. Papila valata adalah yang terbesar (1–3 mm), berjumlah 8–12 buah, terletak di depan sulcus terminal, dikelilingi parit yang dibersihkan oleh kelenjar von Ebner yang juga mensekresikan lipase.

Kuncup pengecap berbentuk oval di epitel lidah dan mendeteksi zat kimia dari makanan. Setiap papila valata memiliki sekitar 250 kuncup, juga terdapat pada papila fungiformis dan foliata, tapi tidak pada filiformis. Kuncup ini terdiri dari 50–100 sel, termasuk sel pengecap, pendukung, dan sel induk, serta diperbarui setiap 7–10 hari. Mikrovili pada sel pengecap menonjol melalui pori, berinteraksi dengan zat perasa, dan mengaktifkan

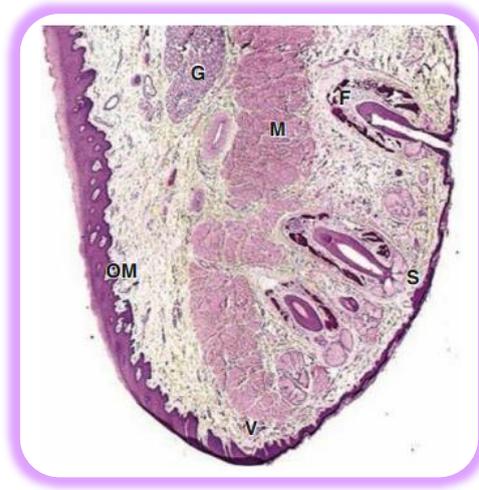
akson sensorik. Kuncup ini mendeteksi lima rasa utama—asin, asam, manis, pahit, dan umami—melalui saluran ion atau reseptor G-protein, lalu mengirimkan sinyal ke otak. Persepsi rasa juga dipengaruhi oleh penciuman dan sensasi lain.



Gambar 3.4 Papilla lingual

3. Struktur Bibir

Bibir terdiri dari tiga permukaan berbeda yang terhubung secara fungsional dengan rongga mulut. Permukaan mukosa bagian dalam dilapisi epitel tidak berkeratin dan memiliki banyak kelenjar ludah kecil yang menghasilkan air liur. Zona merah vermilion, terletak di antara mukosa dan kulit, ditutupi epitel berkeratin tipis yang kaya kapiler dan saraf, memberi warna merah jambu khas bibir. Permukaan luar bibir merupakan bagian kulit yang terdiri dari epidermis dan dermis, serta dilengkapi kelenjar keringat dan folikel rambut.

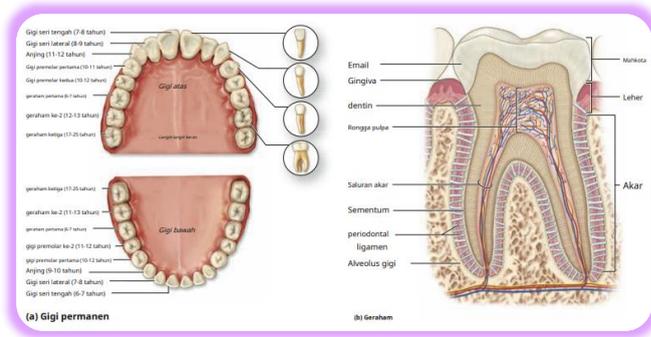


Gambar 3.5 Histologi Bibir

4. Gigi

Manusia dewasa umumnya memiliki 32 gigi permanen yang tersusun simetris pada rahang atas dan bawah. Tiap kuadran terdiri dari dua gigi seri, satu taring, dua premolar, dan tiga geraham. Dua puluh gigi berasal dari gigi sulung, sedangkan geraham permanen tidak memiliki pendahulu. Setiap gigi terdiri dari mahkota, leher, dan satu atau lebih akar yang menempel pada alveolus.

Mahkota dilapisi email keras, sedangkan akar ditutupi sementum. Sebagian besar struktur gigi terdiri dari dentin yang mengelilingi rongga pulpa berisi pembuluh darah, saraf, dan jaringan ikat mesenkim. Pulpa menyempit menjadi saluran akar yang bermuara di foramen apikal. Gigi ditopang oleh ligamen periodontal yang menempel pada sementum dan tulang alveolar.

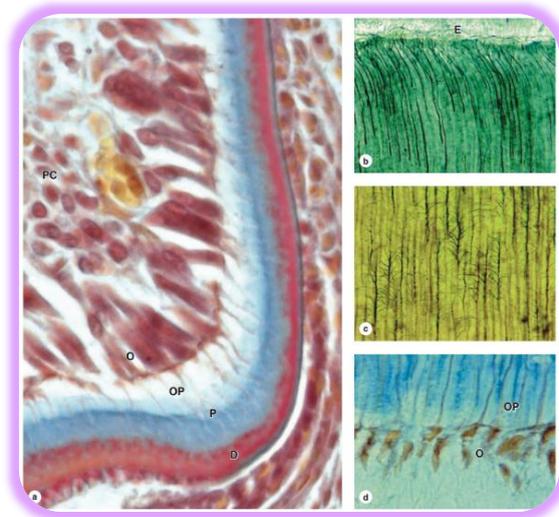


Gambar 3.6 Morfologi dan Anatomi Gigi

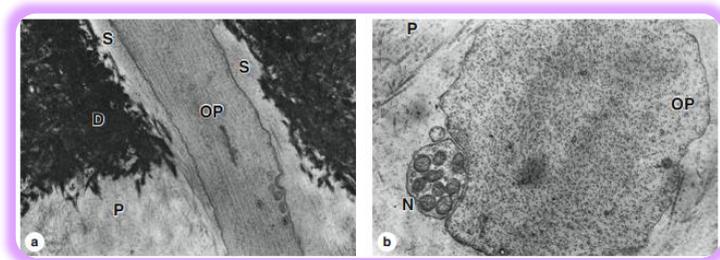
a) Dentin

Dentin adalah jaringan terkalsifikasi yang lebih keras dari tulang, mengandung 70% hidroksiapatit serta matriks organik berupa kolagen tipe I dan proteoglikan yang disekresikan oleh odontoblas—sel tinggi terpolarisasi yang melapisi rongga pulpa. Mineralisasi predentin terjadi melalui vesikel matriks, mirip dengan pembentukan tulang.

Proses apikal odontoblas memanjang dalam tubulus dentin dan bertambah panjang seiring pertumbuhan dentin, dengan cabang halus membentuk percabangan lateral tubulus kecil. Proses ini penting untuk pemeliharaan dentin, produksi predentin seumur hidup, penyempitan rongga pulpa, dan perbaikan dentin saat terjadi kerusakan.



Gambar 3.7 Dentin dan Odontoblas



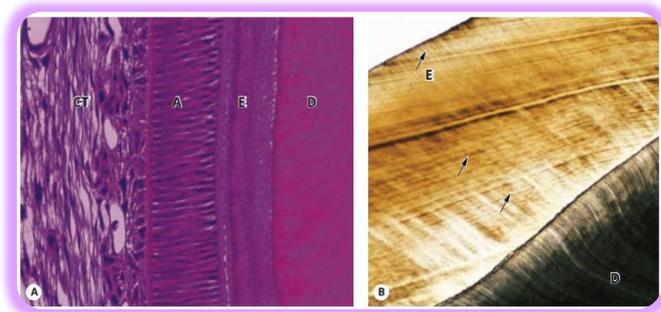
Gambar 3.8 Ultrastruktur tubulus dentin

b) Email gigi

Email adalah jaringan terkeras dalam tubuh, terdiri dari 96% kristal hidroksiapatit dan sedikit bahan organik. Fluorida dapat menggantikan ion dalam kristal membentuk fluorapatit yang lebih tahan asam, sehingga digunakan dalam pasta gigi dan air minum untuk mencegah karies. Struktur email terdiri dari batang email padat berdiameter $\sim 5 \mu\text{m}$ yang menembus ketebalan sekitar 2 mm, dikelilingi lapisan tipis email interrod, dengan

pola saling kait yang meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap tekanan saat mengunyah.

Pada tunas gigi yang berkembang, ameloblas—sel tinggi terpolarisasi dari organ enamel—menyekresikan matriks batang email (Gambar 3.9a). Ujung apikal ameloblas berdekatan dengan ujung apikal odontoblas yang menghasilkan predentin (Gambar 3.10). Prosesus Tomes pada ameloblas mengandung butiran sekretorik penyimpan protein matriks email. Matriks email yang disekresikan segera mengalami mineralisasi cepat membentuk batang email, dengan peran amelogenin sebagai protein struktural yang mengarahkan pertumbuhan kristal hidroksiapatit.



Gambar 3.9 Ameloblas dan enamel/email

c) Asal Embriologis dan Perkembangan Gigi

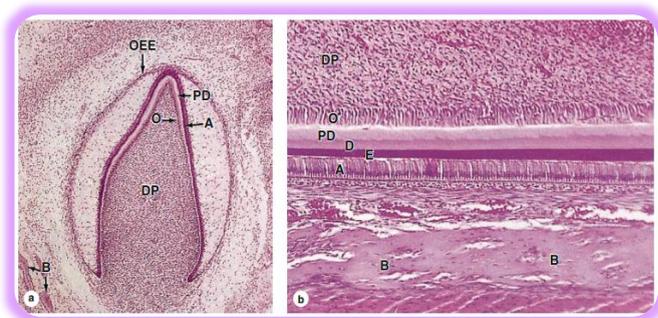
Ameloblas berasal dari lapisan ektodermal rongga mulut Embrio, odontoblas, dan jaringan pulpa berkembang dari sel puncak saraf dan mesoderm, membentuk sekitar 52 tunas gigi di rongga mulut yang sedang berkembang, terdiri dari 20 tunas untuk gigi sulung (gigi susu) dan 32 tunas untuk gigi sekunder atau permanen.

Gigi sulung berkembang sempurna dan mulai erupsi sekitar usia 6 bulan. Sementara itu, perkembangan gigi sekunder tertunda pada tahap

“lonceng” (bell stage), hingga sekitar usia 6 tahun, saat mereka mulai tumbuh menggantikan gigi sulung yang tanggal.

d) Pembentukan gigi

Pembentukan gigi dimulai saat epitel ektoderm rongga mulut tumbuh ke mesenkim rahang membentuk organ email; lapisan dalam menjadi ameloblas dan mesenkim cekung menjadi odontoblas. Ameloblas, sel tinggi terpolarisasi, mensekresikan matriks email kaya amelogenin yang memulai kalsifikasi email, jaringan terkeras tubuh. Odontoblas menghasilkan predentin yang kemudian memineralisasi menjadi dentin, dan kontak dentin-ameloblas merangsang sekresi batang email. Pada tahap lanjut, ameloblas dan odontoblas terpisah oleh lapisan predentin yang menebal. Email tersusun dari batang prisma hasil ameloblas yang disatukan oleh email interprismatik, tanpa proses seluler, dan hilang saat erupsi jika terjadi dekalsifikasi.



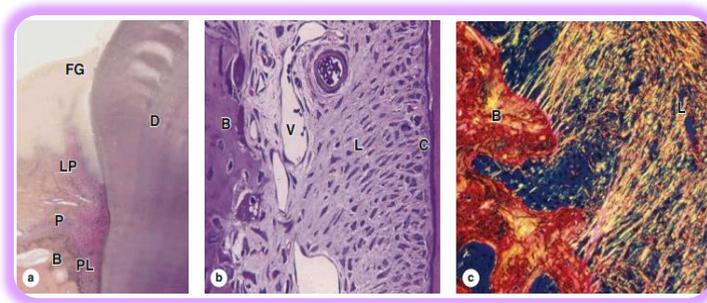
Gambar 3.10 Pembentukan Gigi

e) Periodonsium

Periodonsium adalah struktur jaringan pendukung gigi yang menghubungkan gigi dengan tulang alveolar rahang atas dan bawah. Periodonsium mencakup tiga komponen utama yakni, sementum,

ligamen periodontal, dan tulang Alveolar. Komponen utamanya meliputi:

1. Sementum (Cementum)
2. Ligamen Periodontal (Periodontal Ligament, PL)
3. Tulang Alveolar (Alveolar Bone, B)
4. Gingiva (Gum)



Gambar 3.11 Periodonsium

- f) Penyakit periodontal
Penyakit periodontal meliputi gingivitis dan periodontitis, akibat infeksi bakteri dari kebersihan mulut buruk. Pada periodontitis kronis, ligamen periodontal rusak, menyebabkan gigi longgar dan tulang alveolar keropos. Kedalaman sulkus gingiva menjadi indikator klinis penting.
5. Fungsi Sensorik dan Respons Imun di Rongga Mulut

Gigi sangat peka terhadap rangsangan suhu dan pH yang biasanya dirasakan sebagai nyeri. Pulpa gigi kaya saraf, dengan serabut tak bermielin yang memanjang ke tubulus dentin bersama prosesus odontoblas. Rangsangan ini mempengaruhi cairan tubulus, menstimulasi saraf, dan menyebabkan sensitivitas gigi. Namun demikian, sistem imun

rongga mulut tidak selalu mampu mencegah infeksi.

D. Kerongkongan

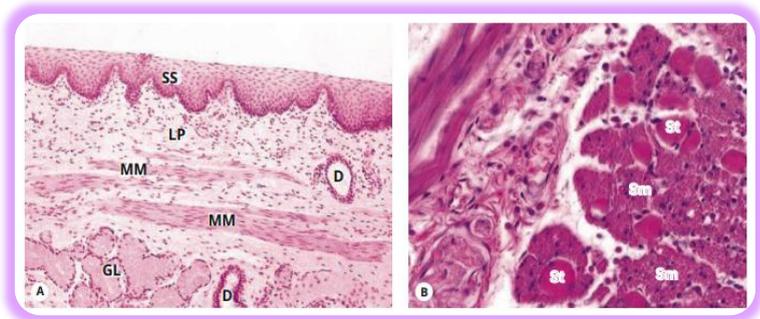
1. Struktur Umum Kerongkongan

Kerongkongan adalah saluran muskular sepanjang ± 25 cm yang menghubungkan faring ke lambung. Histologinya terdiri dari empat lapisan utama saluran pencernaan:

- Mukosa: Epitel skuamosa berlapis nonkeratin dengan lamina propria dan otot mukosa tipis.
- Submukosa: Mengandung kelenjar esofagus yang mensekresikan mukus pelindung; di dekat lambung terdapat kelenjar jantung esofagus untuk sekresi tambahan.
- Muskularis eksterna: Dua lapisan otot (sirkular dan longitudinal) yang memfasilitasi peristaltik.
- Adventitia: Jaringan ikat luar.



Gambar 3.12 Kerongkongan



Gambar 3.13 Kerongkongan

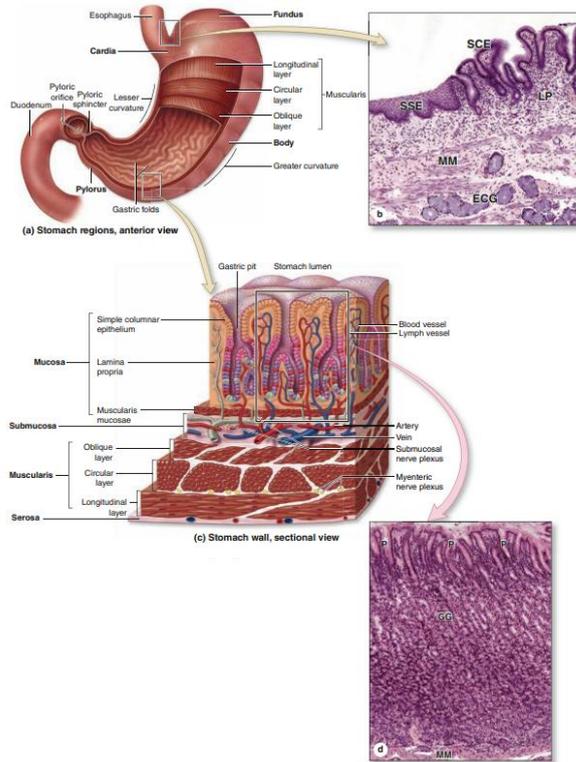
2. Fisiologi Menelan dan Struktur Otot Esofagus

Menelan dimulai secara volunter melalui koordinasi otot rangka mulut dan faring, lalu dilanjutkan oleh gerakan peristaltik involunter di esofagus. Otot esofagus menunjukkan transisi histologis: sepertiga atas terdiri dari otot rangka (kontrol volunter), sepertiga tengah campuran otot rangka dan polos (transisi kontrol), dan sepertiga bawah otot polos penuh (peristaltik otomatis). Bagian distal esofagus tertutup serosa, sedangkan bagian lain dibungkus adventitia yang menyatu dengan jaringan sekitar.

E. Lambung

1. Lambung: Struktur dan Fungsi

Lambung adalah perluasan saluran pencernaan yang berperan penting dalam pencernaan kimia dan mekanis. Fungsinya meliputi melanjutkan pencernaan karbohidrat (dilanjutkan dari mulut oleh amilase saliva), pencampuran kimiawi melalui sekresi HCl dan pepsin, serta pengadukan mekanis membentuk *chyme*, pencernaan lemak oleh lipase lambung, dan pencernaan protein awal oleh pepsin.



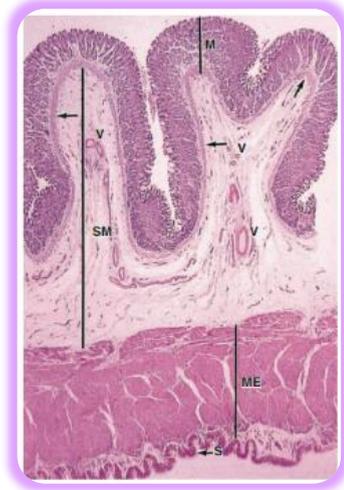
Gambar 3.14 Lambung

2. Anatomi Regional Lambung

Secara anatomi dan fungsional, lambung terbagi menjadi empat wilayah utama:

- Kardia: Zona transisi sempit antara esofagus dan lambung.
- Fundus dan Badan: Wilayah utama sekresi asam dan enzim pencernaan.
- Pylorus: Bagian distal berbentuk corong yang bermuara ke usus halus.

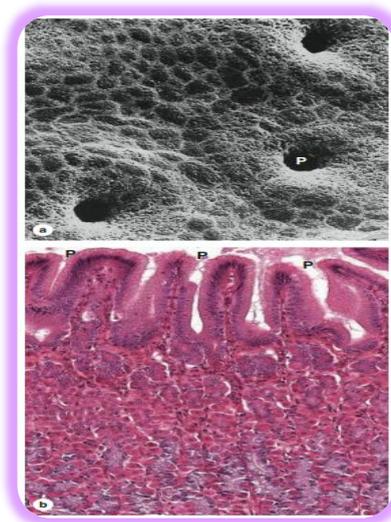
Kardia dan pylorus dominan menghasilkan lendir pelindung, sementara fundus dan badan memiliki kelenjar tubular bercabang yang menghasilkan asam lambung, pepsinogen, lipase, dan faktor intrinsik.



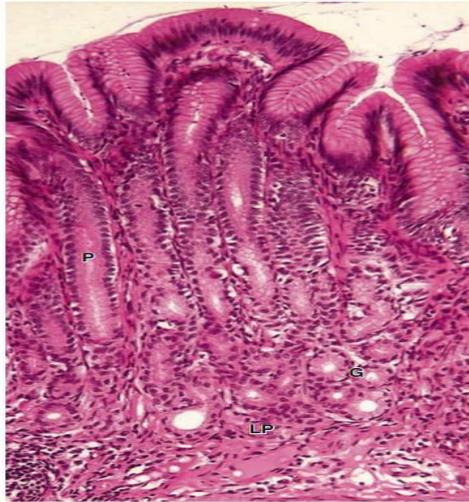
Gambar 3.15 Dinding perut dengan rugae

3. Mukosa Lambung

Pada persimpangan esofagogastrik, epitel berubah tiba-tiba dari epitel skuamosa berlapis (esofagus) menjadi epitel kolumnar sederhana (lambung).



Gambar 3.16 Lubang dan Kelenjar Lambung



Gambar 3.17 Kelenjar pilorus

4. Histologi Lambung

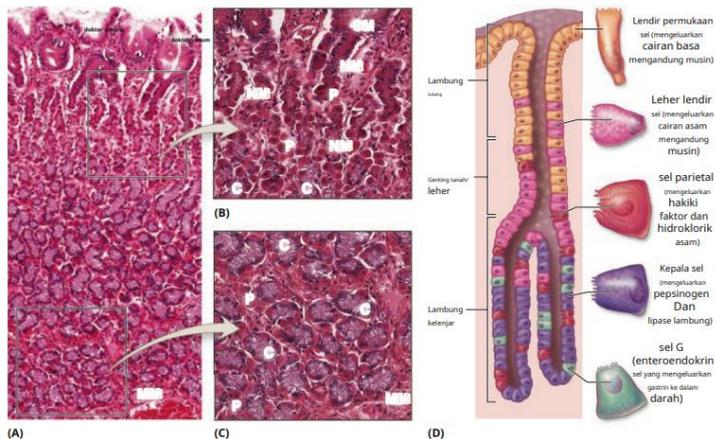
- a) Anatomi Regional Lambung: Lambung terbagi menjadi empat wilayah utama: kardia (zona transisi dari esofagus), fundus dan badan (tempat utama sekresi asam dan enzim serta penyimpanan makanan), serta pilorus (mengatur aliran makanan ke duodenum). Permukaan dalam lambung memiliki lipatan rugae yang memungkinkan lambung mengembang saat terisi.
- b) Transisi Epitel Esofagogastrik: Di bagian distal esofagus terjadi peralihan tajam dari epitel skuamosa berlapis nonkeratin menjadi epitel kolumnar sederhana khas lambung.
- c) Struktur Mukosa Lambung: Mukosa membentuk invaginasi berupa lubang lambung yang berlanjut ke kelenjar tubular berisi lima tipe sel utama: sel mukosa permukaan dan leher, sel parietal (penghasil HCl dan faktor intrinsik), sel utama

(pepsinogen dan lipase), serta sel enteroendokrin (penghasil hormon lokal).

- d) Tampilan Histologis Mukosa Lambung: Histologis menunjukkan lubang lambung sebagai invaginasi epitel yang berlanjut ke kelenjar lambung di lamina propria. Di antara kelenjar terdapat jaringan ikat dengan sel imun, dan mukosa dipisahkan dari submukosa oleh lapisan otot polos tipis, muskularis mukosa.

5. Struktur Umum Mukosa Kelenjar Lambung

Mukosa lambung (khususnya di fundus dan korpus) dipenuhi oleh kelenjar tubular bercabang yang memanjang dari lubang lambung hingga mendekati muskularis mukosa. Sel-sel epitel dalam kelenjar lambung berkembang dari sel progenitor di isthmus, yang bermigrasi ke arah permukaan atau lebih dalam ke dalam kelenjar.

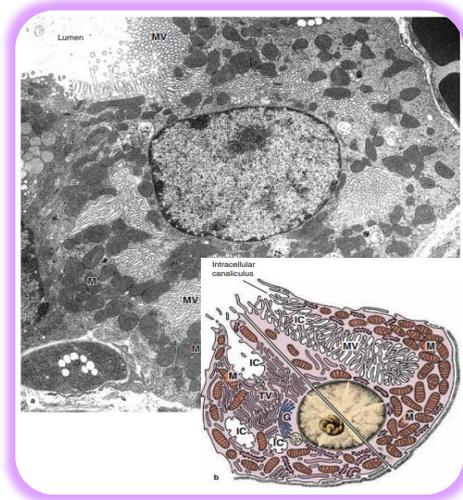


Gambar 3.18 Kelenjar Lambung

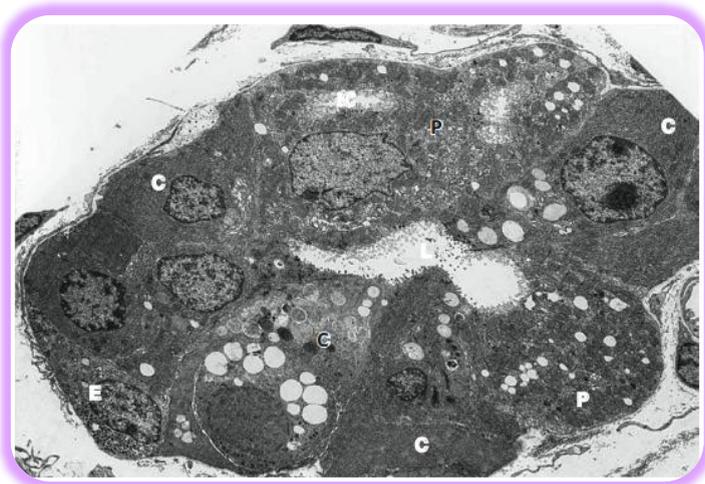
Jenis-jenis Sel Sekretorik Utama dalam Kelenjar Lambung:

1. Sel Mukosa Leher
2. Sel mukosa leher terletak di leher kelenjar lambung dan tersebar di antara sel-sel lain. Bentuknya tidak teratur dan sering terdistorsi, dengan inti bulat dan sitoplasma yang mengandung butiran sekretorik di bagian apikal. Sel ini menghasilkan mukus yang lebih asam dibandingkan dengan sel mukosa permukaan, berfungsi sebagai pelumas dan pelindung, serta mencakup sel progenitor yang belum matang.
3. Sel Parietal (Oksintik)
4. Sel parietal (oksintik) terutama terdapat di bagian tengah dan bawah kelenjar lambung. Sel ini berukuran besar dengan bentuk bulat atau piramidal, memiliki satu atau dua inti sentral, dan sitoplasma sangat eosinofilik karena banyak mitokondria. Sel parietal memiliki kanalikuli intraseluler dan mikrovili yang memperluas permukaan sekretornya. Fungsi utamanya adalah mensekresikan asam klorida (HCl) melalui aktivitas enzim karbonat anhidrase yang mengubah CO_2 dan H_2O menjadi ion H^+ dan HCO_3^- , kemudian ion H^+ dan Cl^- diekspor ke lumen lambung membentuk HCl. Selain itu, sel parietal juga menghasilkan faktor intrinsik yang penting untuk penyerapan vitamin B_{12} di usus halus dan menjaga pH mukosa dengan melepaskan bikarbonat ke lamina propria. Sekresi HCl diatur oleh rangsangan dari sistem saraf parasimpatis (ACh), histamin dari sel enteroendokrin ECL, serta hormon gastrin dari sel G. Langkah-langkah Sintesis HCl di Sel Parietal:
 - Produksi H^+ dan HCO_3^- (proton dan ion bikarbonat)
 - Pemompaan H^+ ke dalam Kanalikuli Lambung

- Pelepasan HCO_3^- ke Cairan Interstisial
- Transpor Cl^- ke dalam Kanalikuli
- Penyusunan dan Pembentukan HCl
- Peran HCO_3^- pada Sel Mukosa Permukaan



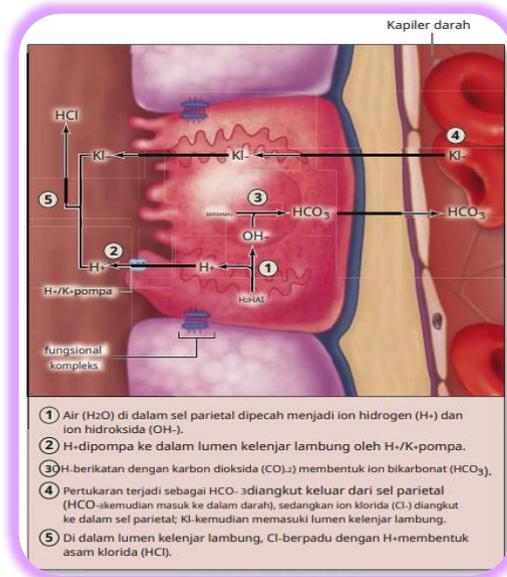
Gambar 3.19 Ultrastruktur sel parietal



Gambar 3.20 Ultrastruktur sel parietal, kepala, dan enteroendokrin

5. Sel Chief (Zymogenik)

Sel utama dominan terdapat di bagian dasar kelenjar lambung. Sel ini memiliki banyak retikulum endoplasma kasar yang memberikan warna basofilik, serta butiran sekretorik apikal besar yang mengandung enzim. Fungsi utamanya adalah menghasilkan pepsinogen, enzim tidak aktif yang diaktifkan menjadi pepsin dalam lingkungan asam lambung untuk memulai pencernaan protein, serta menghasilkan lipase lambung yang berperan dalam pencernaan lipid.



Gambar 3.21 Sintesis HCl oleh sel parietal

6. Sel Enteroendokrin (E)

- Sel enteroendokrin terdapat di mukosa lambung dan usus halus. Mereka dapat dibagi menjadi dua jenis:

- a. Tipe tertutup: Tidak kontak dengan lumen, dan mengeluarkan produk hormon secara endokrin atau parakrin.
 - b. Tipe terbuka: Ujung apikal sel terhubung dengan lumen, berfungsi sebagai kemoreseptor untuk memantau nutrisi dan mengatur pelepasan hormon.
- Sel-sel ini termasuk sel G yang mensekresi gastrin dan sel-sel enterochromaffin (EC) yang mensekresi serotonin.

7. Sistem Neuroendokrin Difus (DNES)

Sel-sel enteroendokrin merupakan bagian dari sistem neuroendokrin difus (DNES) yang mengatur fungsi saluran pencernaan melalui sekresi hormon seperti serotonin dan gastrin. Tumor yang berasal dari sel enterochromaffin, disebut karsinoid, dapat menyebabkan gejala berupa peningkatan motilitas usus dan vasokonstriksi mukosa akibat produksi serotonin yang berlebihan.

8. Sel Utama (C) di Kelenjar Lambung

- Sel utama memiliki retikulum endoplasma kasar (RE kasar) dan mengandung butiran sekretorik apikal yang berisi pepsinogen.
- Pepsinogen yang dikeluarkan diubah menjadi pepsin di lingkungan asam lambung untuk mencerna protein.

F. Usus Halus

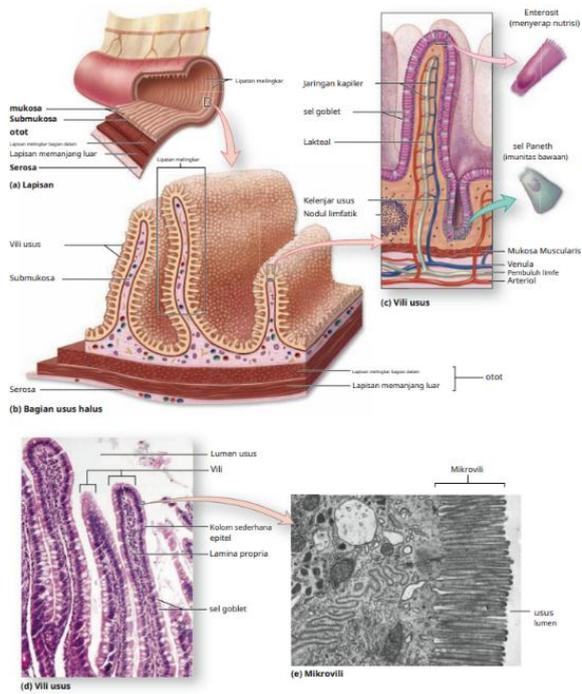
Usus halus terdiri dari tiga bagian: duodenum, jejunum, dan ileum, dan bertanggung jawab untuk penyerapan nutrisi. Penyakit celiac adalah gangguan yang menyebabkan kerusakan pada vili usus halus dan malabsorpsi nutrisi akibat reaksi imun terhadap gluten.

Struktur Mukosa Usus Halus

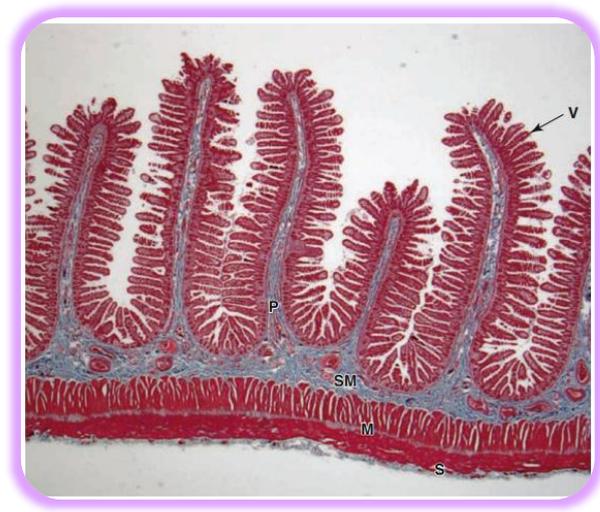
Lapisan mukosa usus halus memiliki plicae sirkulares yang meningkatkan luas permukaan untuk penyerapan. Pada mukosa terdapat vili yang terdiri dari sel enterosit sebagai sel penyerap, dilapisi mikrovili untuk memperbesar luas permukaan. Di antara enterosit, sel goblet menghasilkan lendir yang melindungi dan melumasi mukosa usus. Sel Paneth, yang terletak di dasar kriptas, mensekresi lysozim, fosfolipase A2, dan defensin sebagai bagian dari sistem kekebalan tubuh. Selain itu, sel M di ileum berperan dalam endositosis antigen dan mengantarkannya ke sel dendritik untuk mengaktifkan respons imun.

Proses Penyerapan Nutrisi di Usus Halus

- Enterosit mengandung mikrovili, yang memiliki glikokaliks yang meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi.
- Nutrisi seperti karbohidrat, asam amino, dan lemak diserap melalui berbagai mekanisme transportasi aktif dan pasif.
- Lipid dicerna oleh lipase dan diserap sebagai kilomikron, yang kemudian dilepaskan ke dalam lakteal untuk diserap ke dalam sistem limfatik.

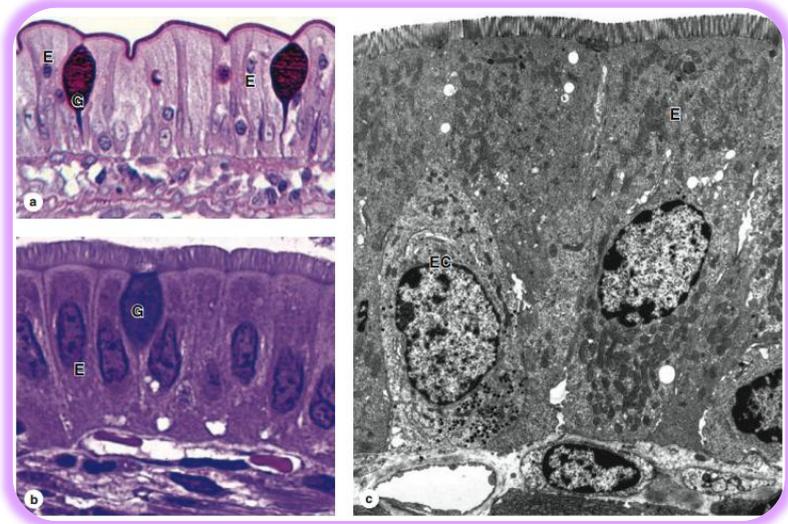


Gambar 3.22 Permukaan serap usus halus.



Gambar 3.23 Lipatan melingkar (plicae circulares) jejunum

Submukosa usus halus mengandung pembuluh besar dan plexus Meissner. Di duodenum terdapat kelenjar Brunner yang menghasilkan lendir basa untuk menetralkan kimus dan membantu enzim pankreas. Ileum memiliki MALT dengan bercak Peyer di bawah sel M epitel. Muskularis terdiri dari dua lapisan otot dengan plexus Auerbach di antaranya untuk mengatur peristaltik. Plexus Meissner dan Auerbach membentuk sistem saraf enterik. Usus dilapisi serosa tipis yang terhubung ke mesenterium. Penyakit Crohn menyebabkan peradangan kronis akibat aktivitas limfosit berlebihan, memicu nyeri, perdarahan, malabsorpsi, dan diare.

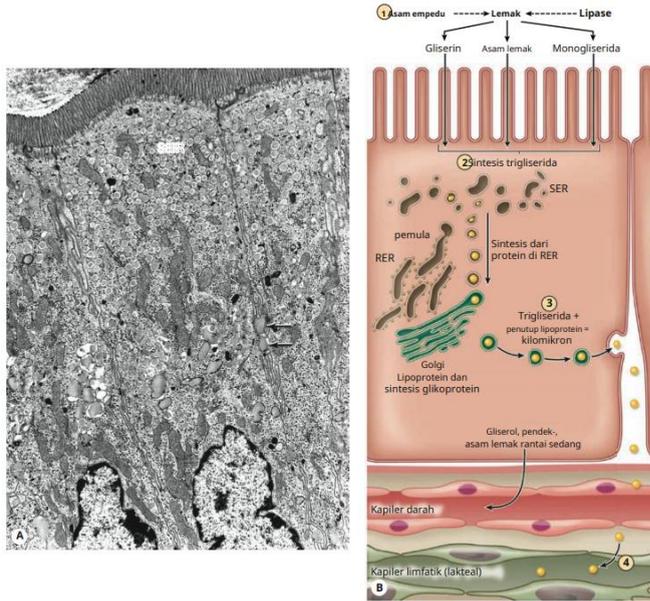


Gambar 3.24 Sel-sel yang menutupi vili

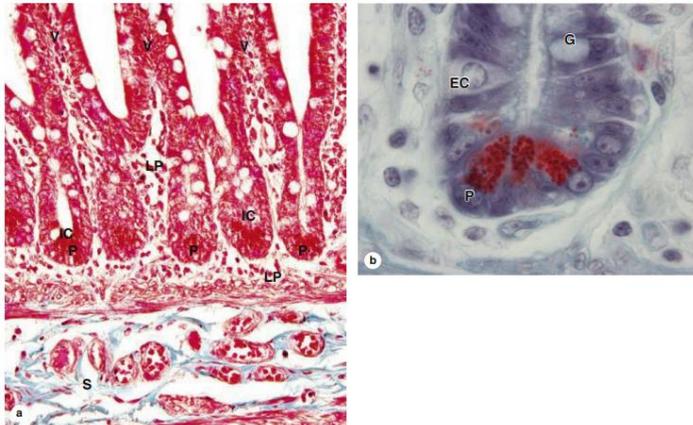
G. Usus Besar

Usus besar menyerap air dan elektrolit serta membentuk tinja. Terdiri dari sekum, kolon, dan rektum, dengan mukosa tanpa vili dan berisi kelenjar tubular. Sel penyerap, goblet, dan enteroendokrin mendominasi epitel; jumlah sel goblet meningkat ke arah rektum. Lamina propria mengandung banyak sel imun dan nodul limfoid. Apendiks berfungsi sebagai

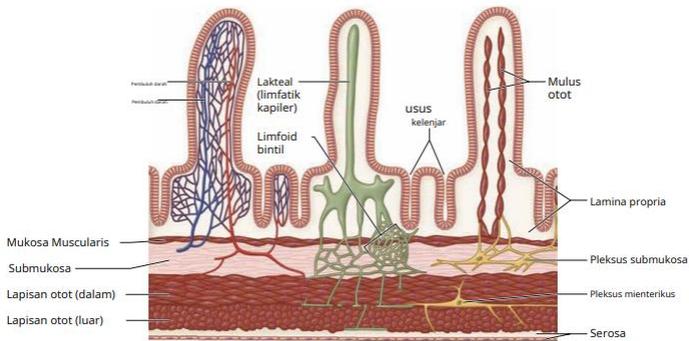
bagian MALT. Muscularis memiliki teniae coli, dan bagian intraperitoneal dilapisi serosa dengan lemak.



Gambar 3.25 Penyerapan dan pemrosesan lipid oleh enterosit

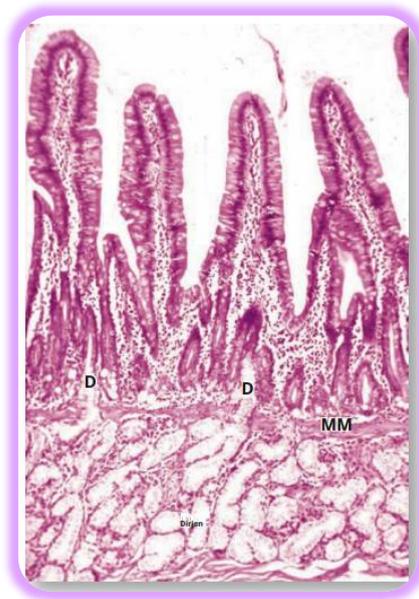


Gambar 3.26 Kripta atau kelenjar usus, dengan sel Paneth



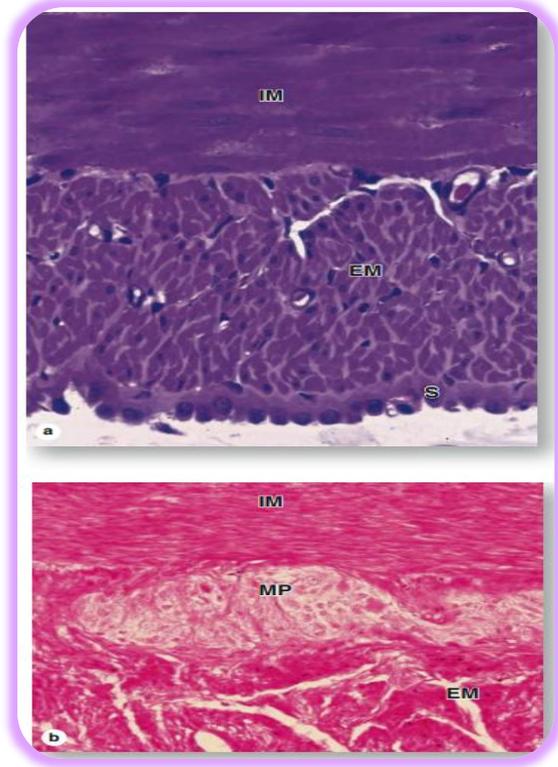
Gambar 3.27 Mikrovaskular, limfatik, dan otot di vili.

Vili usus kecil mengandung mikrovaskular darah (kiri), kapiler limfatik yang disebut lakteal (tengah), dan persarafan serta serat otot polos (kanan).

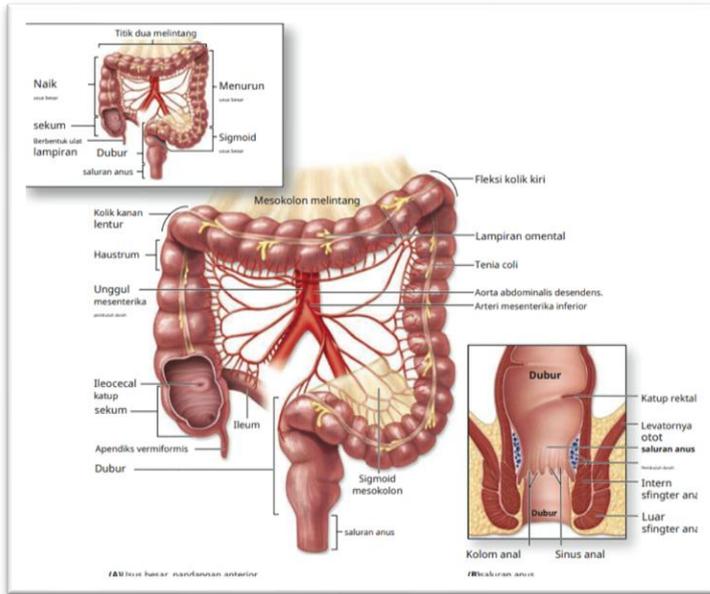


Gambar 3.28 Kelenjar duodenum (Brunner).

Di bagian atas duodenum terdapat kelenjar duodenum besar di submukosa yang menghasilkan lendir basa untuk menetralkan pH serta melindungi dan melumasi usus kecil. Kanker kolorektal, adenokarsinoma yang berasal dari polip adenomatosa jinak pada mukosa rektum dan kolon distal, lebih sering terjadi pada individu dengan diet rendah serat. Deteksi kanker dilakukan melalui sigmoidoskopi, kolonoskopi, dan tes darah samar pada tinja.

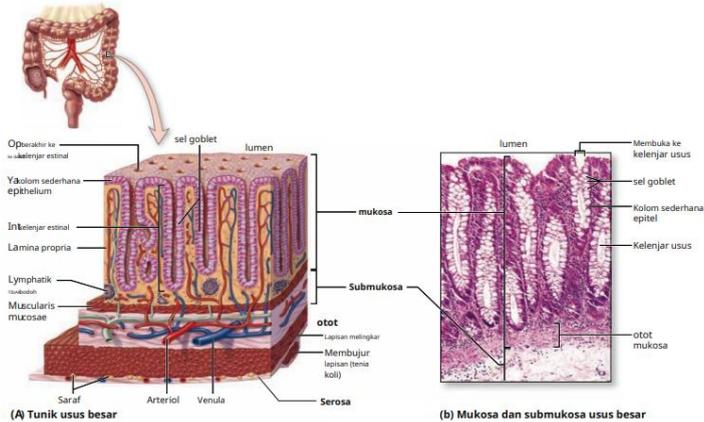


Gambar 3.29 Muscularis usus halus dan pleksus mienterikus.



Gambar 3.30 Usus Besar

Usus besar terdiri dari sekum, kolon asendens, transversal, desendens, sigmoid, dan rektum.

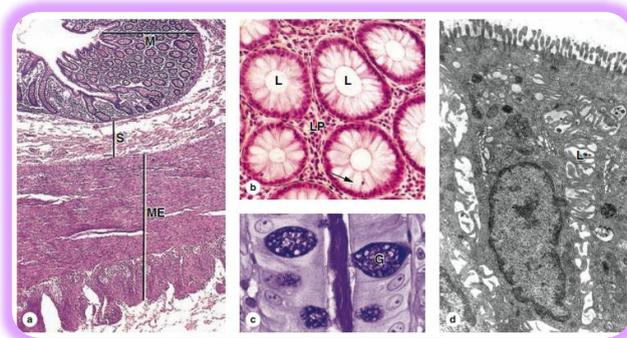


Gambar 3.31 Dinding Usus Besar

(a) Dinding usus besar terdiri dari empat lapisan, termasuk submukosa vaskular dan muskularis dengan teniae coli. Mukosa mengandung kelenjar tubular dan

lamina propria kaya MALT. Pembengkakan pembuluh darah di mukosa atau submukosa anus menyebabkan wasir, sering akibat diet rendah serat, sembelit, duduk lama, atau mengejan. Saluran anus sepanjang 3–4 cm berlapis epitel skuamosa menggantikan epitel kolumnar di persimpangan rektoanal.

(b) Mukosa dan submukosa membentuk kolom anal yang berisi pleksus vena rektum. Sfingter anal internal berasal dari muskularis rektum, sedangkan sfingter eksternal adalah otot volunter. Divertikulosis adalah tonjolan mukosa dan submukosa di antara teniae coli akibat kelemahan dinding atau tekanan tinggi, yang dapat berembang menjadi divertikulitis jika terinfeksi.



Gambar 3.32 Mukosa Usus Besar



Gambar 3.33 Mukosa persimpangan rektoanal.

Soal Latihan

1. Jelaskan secara ringkas empat lapisan utama yang membentuk dinding saluran pencernaan dan fungsi umum masing-masing lapisan tersebut.
2. Bandingkan struktur histologis antara mukosa lambung dan mukosa usus halus, serta hubungannya dengan fungsi masing-masing organ.
3. Uraikan perbedaan antara struktur histologis dinding kerongkongan dan usus besar serta kaitkan dengan peran fisiologisnya.
4. Gambarkan dan jelaskan peran vili dan mikrovili dalam proses absorpsi nutrien pada usus halus, serta bagaimana struktur ini mempengaruhi luas permukaan.
5. Deskripsikan perbedaan komponen jaringan penyusun gigi (email, dentin, sementum), dan jelaskan asal embriologis serta sifat fungsional masing-masing.
6. Jelaskan bagaimana adaptasi histologis lidah mendukung fungsi mekanis dan sensoris dalam proses pencernaan makanan.
7. Jelaskan bagaimana struktur histologis periodonsium berperan dalam menjaga kestabilan posisi gigi.

Rangkuman

Sistem pencernaan terdiri dari saluran pencernaan utama dan organ-organ aksesori yang berperan dalam pencernaan dan penyerapan nutrien. Dinding saluran pencernaan umumnya terdiri atas empat lapisan: mukosa, submukosa, muskularis eksterna, dan serosa atau adventitia. Meskipun memiliki susunan dasar yang sama, tiap segmen saluran pencernaan menunjukkan modifikasi histologis sesuai dengan fungsinya.

Di rongga mulut, lidah dan gigi memiliki struktur khas yang mendukung fungsi mekanis dan sensoris. Gigi terdiri dari email, dentin, dan sementum, sedangkan periodonsium menopang gigi dalam soketnya.

Kerongkongan memiliki epitel skuamosa berlapis sebagai pelindung terhadap gesekan.

Lambung menunjukkan lipatan mukosa dan kelenjar yang mensekresikan asam dan enzim pencernaan. Usus halus, khususnya di bagian duodenum, jejunum, dan ileum, memperlihatkan vili dan mikrovili untuk meningkatkan area penyerapan. Mukosa usus besar tidak memiliki vili tetapi memiliki banyak kelenjar tubular lurus.

Setiap bagian saluran cerna memiliki karakteristik histologis unik yang mencerminkan adaptasinya terhadap fungsi pencernaan, absorpsi, dan perlindungan.

BAB 4

SISTEM PERNAFASAN

Pendahuluan

Sistem pernapasan menyediakan pertukaran O_2 dan CO_2 antara darah dan lingkungan luar. Organ-organ pernapasan meliputi paru-paru serta sistem percabangan saluran bronkial yang menghubungkan tempat pertukaran gas dengan udara luar. Udara digerakkan melalui paru-paru oleh mekanisme ventilasi, yang melibatkan sangkar dada, otot interkostal, diafragma, dan komponen elastis jaringan paru-paru.

Secara fungsional, sistem pernapasan memiliki dua komponen utama:

1. **Bagian konduksi**, yang terdiri dari rongga hidung, faring, laring, trakea, bronkus (*Gr. bronkos*, batang tenggorok), bronkiolus, dan bronkiolus terminal.
2. **Bagian pernapasan**, tempat berlangsungnya fungsi utama sistem yaitu pertukaran gas, yang terdiri dari bronkiolus respiratorius, duktus alveolaris, dan alveoli.

Alveoli, tempat terjadinya pertukaran O_2 dan CO_2 antara udara inspirasi dan darah, merupakan struktur kecil berbentuk kantung berisi udara yang membentuk sebagian besar struktur paru-paru. Bagian konduksi berfungsi untuk menyaring dan melembapkan udara inspirasi serta menyediakan jalur bagi pergerakan udara ke dan dari alveoli.

Capaian pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

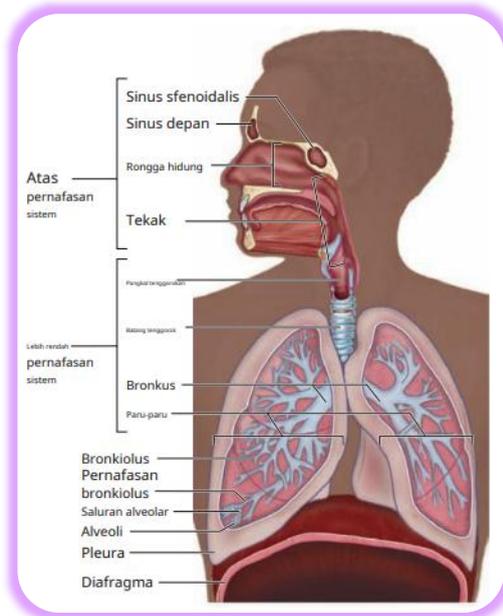
1. Menjelaskan struktur histologis sistem pernapasan mulai dari rongga hidung hingga alveoli, termasuk pembagian saluran konduksi dan saluran respirasi.
2. Mendeskripsikan karakteristik epitel pernapasan dan penciuman, serta perubahan histologis sepanjang saluran napas.
3. Menganalisis struktur mikroskopis trakea, bronkus, bronkiolus, dan alveolus, serta peran fungsional masing-masing struktur dalam proses respirasi.
4. Menjelaskan peran sel-sel khusus, seperti sel goblet, sel bersilia, sel Clara, dan pneumosit tipe I dan II dalam mempertahankan fungsi respirasi dan pertahanan tubuh.

Uraian Materi

A. Saluran Pernapasan Bagian Atas

1. Rongga Hidung

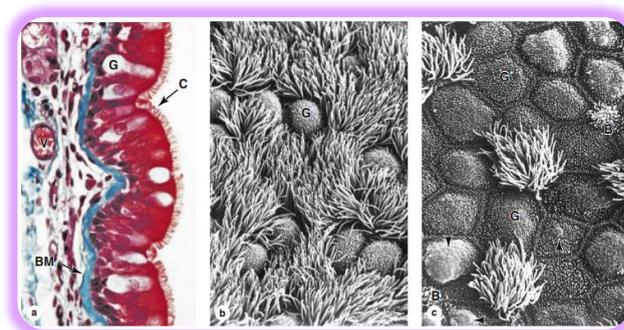
Rongga hidung kiri dan kanan terdiri dari ruang depan luar dan rongga dalam. Kulit hidung sampai nares dan ruang depan dilengkapi kelenjar serta vibrissae untuk menyaring udara. Epitel ruang depan bertransisi ke epitel kolumnar pseudostratifikasi. Rongga dipisah oleh septum dan memiliki tiga conchae. Mukosa dengan pembuluh darah menghangatkan dan melembapkan udara, sedangkan lendir menjebak partikel dan mengandung IgA. Epitel pernapasan melapisi concha tengah dan inferior, sementara epitel olfaktorius di atap dan concha superior. Sistem pernapasan terbagi menjadi bagian penghantar dan bagian pernapasan. Sinus paranasal juga ada.



Gambar 4.1. Anatomi sistem pernafasan

2. Epitel Pernafasan

Sebagian besar rongga hidung dan saluran konduksi sistem pernafasan dilapisi mukosa dengan epitel kolumnar pseudostratifikasi bersilia, disebut epitel pernafasan.



Gambar 4.2. Epitel Pernafasan

Epitel pernapasan merupakan contoh klasik dari epitel kolumnar bersilia semu.

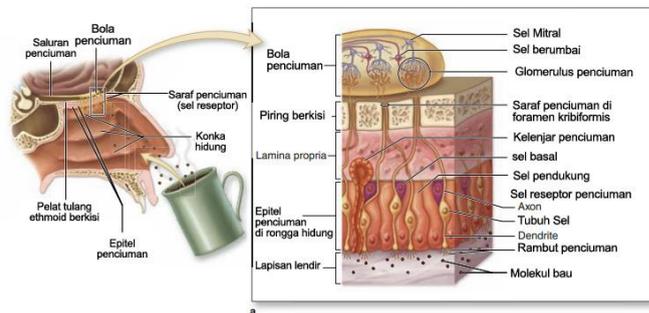
(a) Epitel saluran pernapasan umumnya terdiri dari sel kolumnar bersilia dan sel basal yang melekat pada membran basal tebal, dengan silia di ujung apikal untuk menggerakkan lendir.

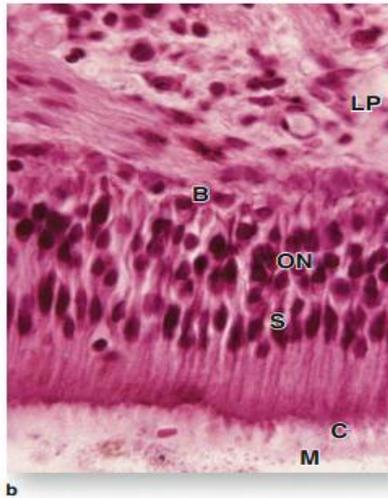
(b) Gambar SEM menunjukkan sel goblet di antara sel bersilia.

(c) Di beberapa area, sel goblet mendominasi, membentuk lapisan lendir untuk menangkap partikel, yang digerakkan silia ke faring. Sel sikat (B), sekitar 3% dari populasi, memiliki mikrovili pendek.

3. Sinus Paranasal

Sinus paranasal adalah rongga bilateral yang terletak di dalam tulang frontal, maksila, ethmoid, dan sphenoid (Gambar 4.3) Sinus dilapisi epitel pernapasan yang lebih tipis dan sel goblet lebih sedikit dibanding rongga hidung. Sinusitis adalah peradangan sinus yang bisa kronis jika terjadi penyumbatan drainase, dan bersama bronkitis, dapat terkait dengan diskinesia silia primer (sindrom Kartagener), kelainan genetik yang mengganggu fungsi silia.





Gambar 4.3. Mukosa Penciuman

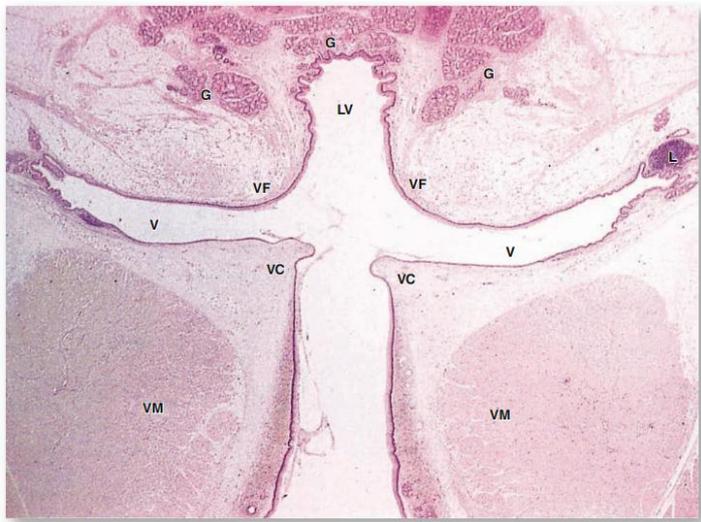
4. Faring

Rongga hidung terbuka ke posterior menuju nasofaring, bagian pertama dari faring. Nasofaring berlanjut ke arah kaudal menuju orofaring (tenggorokan), bagian posterior rongga mulut yang mengarah ke laring dan esofagus (Gambar 4.1). Berbeda dengan epitel skuamosa berlapis pada orofaring, lapisan nasofaring merupakan epitel pernapasan, dan mukosanya berisi tonsil faring medial serta bukaan dua saluran pendengaran yang menghubungkan ke masing-masing rongga telinga tengah.

5. Laring

Laring adalah saluran pendek (4×4 cm) yang Laring menghubungkan faring ke trakea, diperkuat oleh tulang rawan dan digerakkan otot untuk menjaga jalan napas serta menghasilkan suara. Epiglottis dilapisi epitel berbeda di setiap sisi dan memiliki kelenjar untuk mencegah masuknya makanan ke saluran napas. Mukosa laring membentuk lipatan vestibular dan pita

suara sejati, yang bergetar saat fonasi. Nada suara ditentukan oleh tegangan pita suara, rima glottidis, dan volume udara, dengan resonansi dibantu struktur atas laring, dan ucapan dibentuk oleh faring, lidah, dan bibir. Pasca-pubertas, pria mengalami pembesaran laring dan pita suara, menghasilkan suara lebih dalam. Gangguan umum meliputi laringitis (serak akibat infeksi), croup pada anak (edema dan batuk khas), serta nodul penyanyi (polip jinak pita suara).



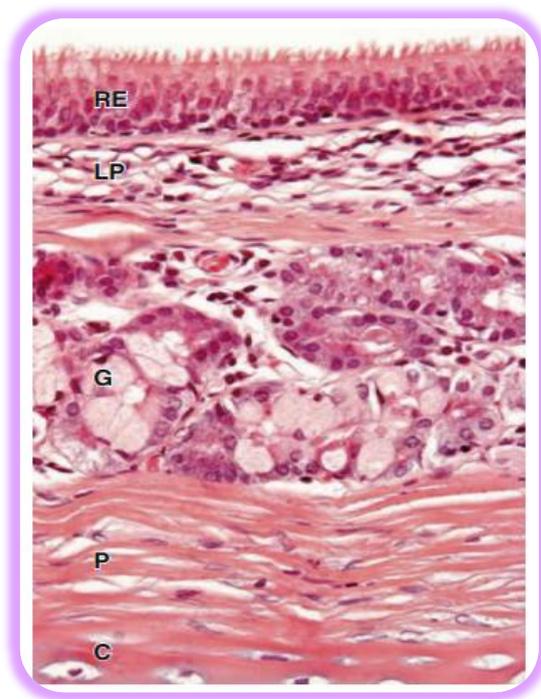
Gambar 4.4. Laring

Laring adalah saluran udara pendek antara faring dan trakea, tersusun dari otot rangka dan tulang rawan untuk menghasilkan suara. Mikrograf menunjukkan lipatan vestibular dilapisi epitel pernapasan dan mengandung MALT, sementara pita suara sejati di bawahnya dilapisi epitel skuamosa berlapis. Pita suara berisi otot vokalis dan ligamen kecil yang menegang saat berkontraksi untuk menghasilkan suara saat udara melewati. Struktur di atas pita suara membantu resonansi.

B. Saluran Pernapasan Bagian Bawah

1. Trakea

Sepanjang 10–12 cm dilapisi mukosa pernapasan dengan lamina propria yang kaya kelenjar seromukosa penghasil lendir.

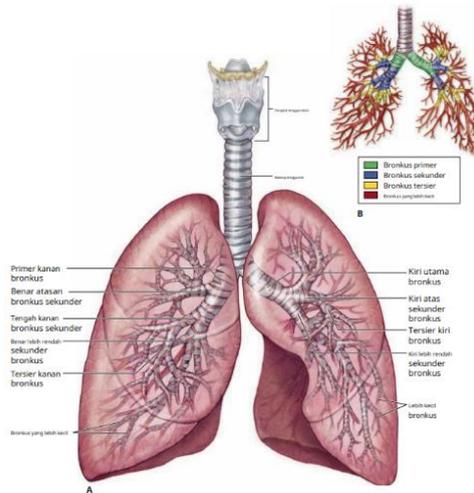


Gambar 4.5. Dinding Trakea

Trakea dilapisi epitel pernapasan, diperkuat oleh cincin tulang rawan hialin berbentuk C yang menjaga lumen tetap terbuka. Bagian posterior cincin dihubungkan oleh otot trakealis dan jaringan fibroelastik, yang berfungsi dalam menelan dan refleks batuk. Batuk terjadi akibat iritasi atau infeksi; batuk kering diatasi dengan penekan batuk, sedangkan batuk berdahak dibantu ekspektoran untuk mengencerkan lendir.

2. Pohon Bronkial dan Paru-Paru

Trakea bercabang menjadi bronkus primer yang masuk ke paru-paru dan membentuk bronkus sekunder untuk tiap lobus. Bronkus sekunder bercabang menjadi bronkus tersier yang menyuplai segmen bronkopulmonalis, memungkinkan reseksi selektif. Selanjutnya, bronkus tersier bercabang menjadi bronkiolus hingga bronkiolus terminal, menunjukkan penyederhanaan struktur sebagai transisi dari penghantar udara ke pertukaran gas.



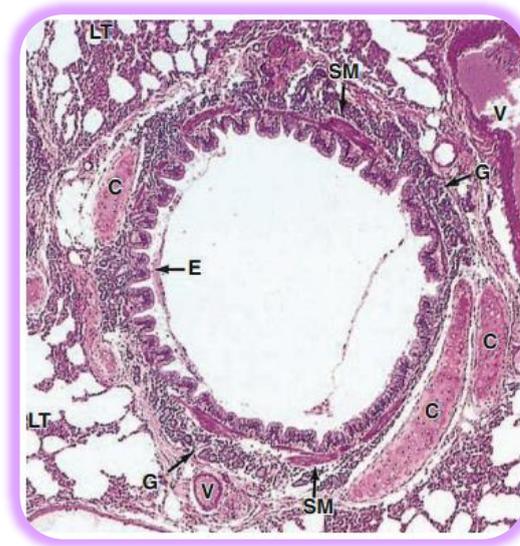
Gambar 4.6. Pohon Bronkial

Trakea bercabang menjadi dua bronkus primer kanan dan kiri yang memasuki hilus di sisi posterior masing-masing paru, bersama dengan pembuluh darah paru, pembuluh limfatik, dan saraf.

a) Bronkus

Bronkus primer bercabang menjadi saluran lebih kecil (1–2 mm) dengan mukosa mirip trakea. Cincin tulang rawan pada bronkus

besar digantikan oleh lempeng tulang rawan hialin pada bronkus kecil. Lamina propria mengandung otot polos dan serat elastis spiral yang membentuk lipatan mukosa saat berkontraksi.

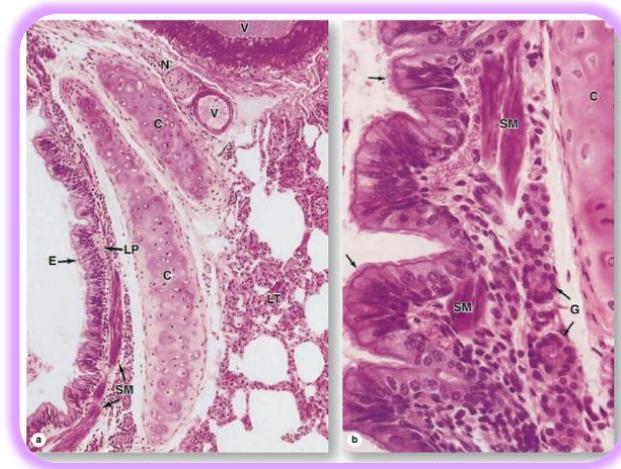


Gambar 4.7. Bronkus Tersier (Segmental)

b) Bronkiolus

Bronkiolus adalah saluran udara kecil (<1 mm) tanpa kelenjar mukosa dan tulang rawan, dengan epitel yang berubah menjadi kuboid sederhana di bronkiolus terminal. Didominasi sel eksokrin bronkiolar, bronkiolus berperan dalam menghasilkan surfaktan, detoksifikasi, dan imunitas lokal.

Bronkiolus memulai mekanisme eskalator mukosiliar untuk membersihkan saluran napas.



Gambar 4.8. Histologi Dinding Bronkial

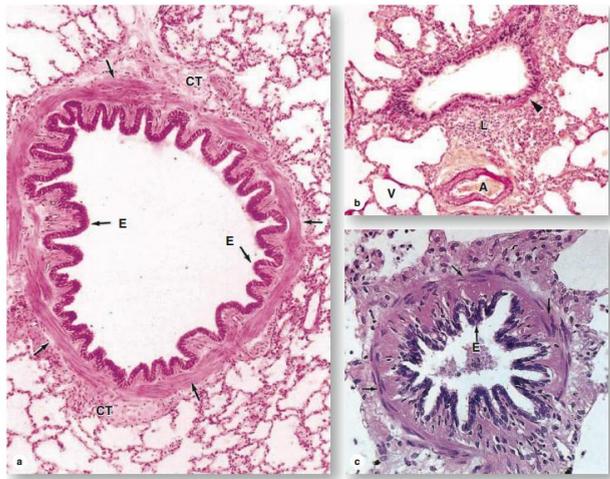
Epitel bronkus terdiri dari sel kolumnar bersilia pseudostratifikasi dengan sel goblet, dilapisi lamina propria yang mengandung otot polos. Submukosa mengandung tulang rawan, pembuluh darah, dan saraf. Pada bronkus kecil, epitel masih bersilia namun dengan lebih sedikit sel goblet, dan lamina propria mengandung otot polos serta kelenjar serosa kecil di dekat tulang rawan.

c) Bronkiolus Pernafasan

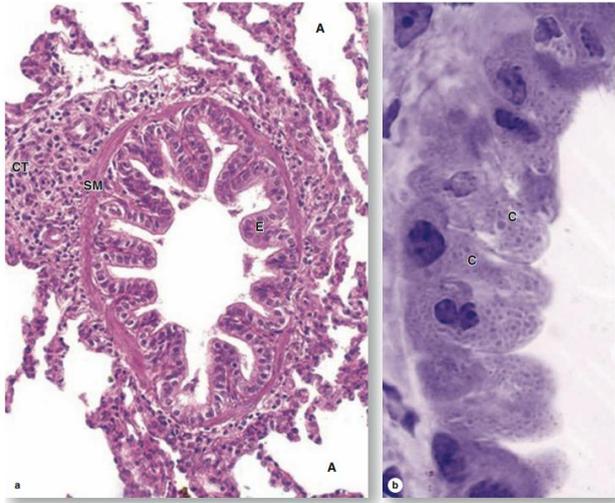
Setiap bronkiolus terminal terbagi menjadi dua atau lebih bronkiolus respiratorik yang mengandung alveoli mirip kantung, menjadi bagian pertama wilayah respirasi sistem ini (Gambar 4.11). Mukosa bronkiolus respiratorik mirip bronkiolus terminal, namun memiliki bukaan alveolar untuk pertukaran gas. Lamina propria tersusun dari otot polos dan jaringan ikat elastis, sedangkan epitel terdiri dari sel gada dan sel skuamosa sederhana di bukaan alveolar yang memanjang ke dalam alveolus. Menuju distal, jumlah alveoli semakin banyak dan rapat.

d) Saluran Alveolar

Ujung distal bronkiolus pernafasan bercabang menjadi tabung yang disebut saluran alveolar, yang seluruhnya dilapisi oleh bukaan alveoli (Gambar 4.11 dan 4.12). Baik saluran alveolar maupun alveoli itu sendiri dilapisi dengan sel skuamosa yang sangat tipis. Pada lamina propria yang tipis, untaian sel otot polos mengelilingi setiap bukaan alveolar, dan jaringan serat elastis serta kolagen menopang saluran dan alveolinya. Kelompok alveoli yang lebih besar, yang disebut kantung alveolar, membentuk ujung saluran alveolar di bagian distal dan kadang-kadang terdapat di sepanjang saluran tersebut (Gambar 4.11 dan 4.12).

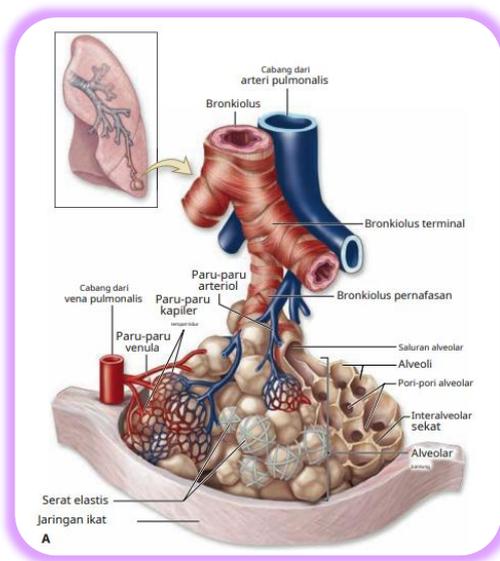


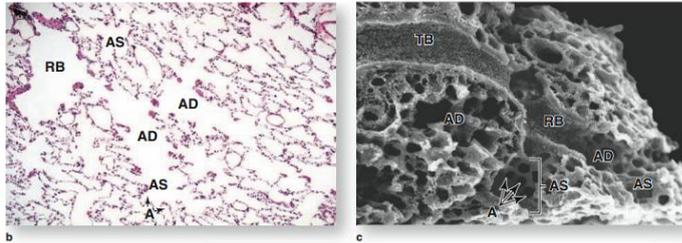
Gambar 4.9. Bronkiolus



Gambar 4.10. Bronkiolus Terminal dan Sel Bronkiolus Eksokrin

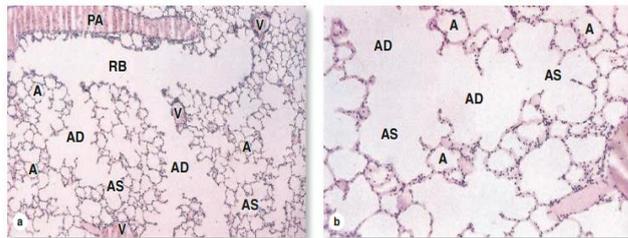
Bronkiolus terminal adalah bagian akhir saluran penghantar udara sebelum alveoli. Mukosanya terdiri dari epitel kuboid atau kolumnar rendah non-silia, dikelilingi otot polos dan jaringan ikat.





Gambar 4.11. Peredaran Darah Paru, Bronkiolus Terminal dan Pernafasan, serta Alveoli

Bronkiolus terminal bercabang menjadi bronkiolus respiratorik, yang kemudian bercabang lebih jauh menjadi saluran alveolar dan alveoli individu. Bronkiolus respiratorik dalam banyak hal mirip dengan bronkiolus terminal, kecuali adanya alveoli yang tersebar di sepanjang bronkiolus respiratorik.



Gambar 4.12. Bronkiolus Pernafasan, Saluran Alveolar, dan Alveoli

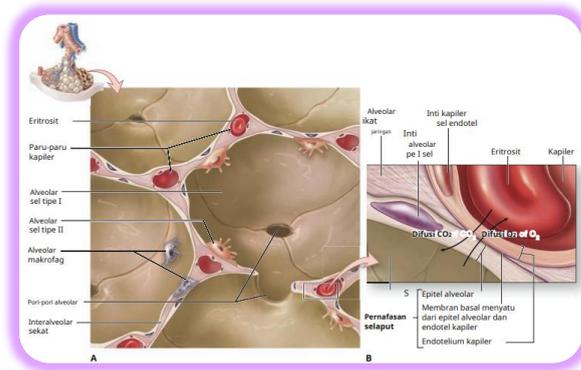
Jaringan paru-paru memiliki struktur seperti spons karena banyaknya saluran udara dan kantong yang disebut alveoli.

e) Alveoli

Struktur bronkiolus respiratorik, saluran, dan kantung alveolar membentuk tampilan seperti spons pada paru-paru dan menjadi tempat utama pertukaran gas. Dinding alveolus yang tipis memungkinkan difusi efisien O_2 dan CO_2 ke/dari kapiler yang rapat dalam septa interalveolar. Septa ini mengandung fibroblas,

serat elastis, dan retikuler yang mendukung elastisitas dan stabilitas alveoli.

Pori Kohn menghubungkan antar alveoli untuk menyamakan tekanan udara dan menyediakan jalur sirkulasi alternatif. Makrofag dan leukosit dalam septa bertugas sebagai sistem pertahanan lokal.



Gambar 4.13. Alveoli dan Penghalang Darah-Udara

Pertukaran gas antara udara dan darah terjadi pada penghalang membran antara masing-masing alveolus dan kapiler yang mengelilinginya.



Gambar 4.14. Dinding Alveolar

Dinding alveolar terdiri dari septum yang mengandung kapiler serta dua jenis sel utama: sel alveolar tipe I yang pipih dan berperan utama dalam pertukaran gas, serta sel tipe II yang kuboid dan menghasilkan surfaktan untuk menurunkan tegangan permukaan alveoli dan mencegah kolaps saat ekspirasi. Surfaktan, yang mulai diproduksi di akhir kehamilan, penting untuk pernapasan bayi dan kekurangannya menyebabkan sindrom gangguan pernapasan pada prematur.



Gambar 4.15. Ultrastruktur penghalang darah-udara

Gambar 4.15 menggambarkan struktur penghalang darah-udara pada paru-paru yang terlihat melalui mikroskop elektron (TEM). Di dalam gambar ini, kapiler (C) berada di septum interalveolar dan berfungsi sebagai area pertukaran gas antara darah dan udara di alveoli (A). Endotel kapiler sangat tipis, dengan lamina basalnya (B) menyatu dengan sel alveolar tipe I (I) dan tipe II (II).

Selain itu, fibroblas (F) dapat terlihat di septum, dan ada penebalan pada inti dua sel

endotel (E). Sel-sel endotel ini membentuk penghalang darah-udara, yang memungkinkan pertukaran gas yang efisien. Dalam gambar ini, juga terlihat bahwa inti di bagian bawah milik sel endotel atau leukosit yang bersirkulasi.

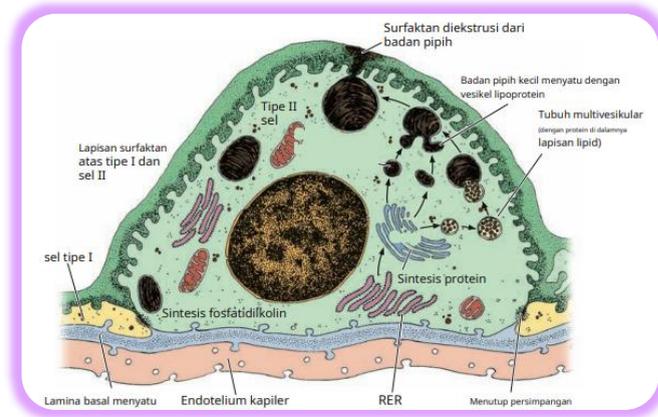
C. Struktur dan Fungsi Spesifik Paru-Paru

1. Regenerasi pada Lapisan Alveolar

Ketika sel alveolar (tipe I dan II) rusak akibat paparan bahan beracun, proses mitosis pada sel alveolar tipe II yang tersisa akan merangsang regenerasi. Sel tipe II ini akan membelah dan menghasilkan sel-sel baru, menggantikan sel-sel yang mati. Proses regenerasi ini memastikan lapisan alveolar tetap dapat melakukan fungsinya meski ada kerusakan.

2. Vaskulatur Paru-Paru dan Saraf

Peredaran darah paru terdiri dari dua sirkulasi: sirkulasi pulmonal yang membawa darah miskin oksigen untuk pertukaran gas, dan sirkulasi bronkial yang menyuplai darah kaya oksigen ke jaringan paru. Karena tekanan rendah, pembuluh darahnya berdinding tipis. Vena pulmonalis mengalirkan darah teroksigenasi keluar dari paru, sedangkan arteri bronkial menutrisi jaringan paru.



Gambar 4.16. Fungsi sel alveolar tipe II

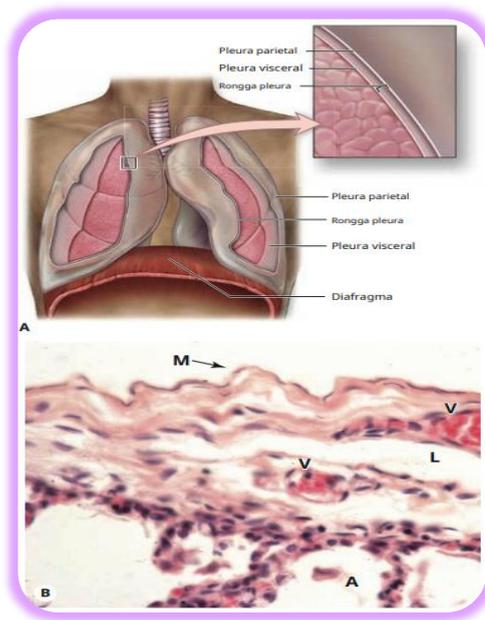
Gambar 4.16 menunjukkan peran sel alveolar tipe II dalam memproduksi surfaktan, yang penting untuk kelancaran pertukaran gas. Surfaktan, berupa kompleks protein-lipid, disintesis di RE dan Golgi, lalu disimpan dalam badan lamelar sebelum dilepaskan.

Badan lamelar juga mengandung badan multivesikular kecil hasil invaginasi membran endosom. Vesikel-vesikel ini ditambahkan ke badan lamelar, dan surfaktan disekresikan melalui eksositosis, membentuk lapisan berminyak kaya fosfolipid dan protein untuk mengurangi tegangan permukaan dan mencegah kolaps paru.

3. Membran Pleural

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa permukaan paru dan dinding dada dilapisi pleura, terdiri dari pleura visceral dan parietal yang bertemu di hilum dan dilapisi sel mesothelial. Di antara keduanya terdapat rongga pleura berisi cairan serosa sebagai pelumas pernapasan. Secara patologis, rongga ini dapat terisi cairan (efusi pleura) atau udara (pneumotoraks), yang bisa menyebabkan

kolaps paru, sementara pleuritis adalah peradangan pleura akibat infeksi.



Gambar 4.17. Pleura

Pleura terdiri dari dua lapisan utama:

Pleura Parietal: Melapisi permukaan bagian dalam rongga dada, yang berhubungan langsung dengan dinding dada.

Pleura Visceral: Menutupi permukaan luar paru-paru, membungkus paru-paru secara langsung.

Soal Latihan

1. Jelaskan struktur histologis epitel pernapasan dan sebutkan fungsinya dalam saluran konduksi!
2. Bandingkan antara bronkus dan bronkiolus ditinjau dari struktur histologis dindingnya! Sertakan minimal tiga perbedaan utama.

3. Deskripsikan struktur alveolus dan jelaskan peran masing-masing jenis sel yang terdapat di dalamnya!
4. Bagaimana hubungan antara struktur trakea dan fungsinya dalam proses respirasi? Jelaskan peran lapisan kartilago, mukosa, dan sel goblet!
5. Jelaskan fungsi surfaktan yang dihasilkan oleh pneumosit tipe II dan konsekuensi fisiologis apabila produksinya terganggu!
6. Apa yang dimaksud dengan membran alveolokapiler? Uraikan komponen-komponen penyusunnya dan fungsinya dalam pertukaran gas.
7. Jelaskan peran sistem vaskular paru-paru dalam mendukung fungsi respirasi, terutama dalam konteks sirkulasi paru dan sistemik.
8. Jelaskan struktur dan fungsi pleura serta hubungannya dengan mekanisme pernapasan.
9. Diskusikan proses regenerasi sel epitel alveolar dan pentingnya dalam pemulihan jaringan paru setelah cedera.
10. Bagaimana histologi saluran pernapasan dapat beradaptasi terhadap paparan zat asing seperti asap rokok dalam jangka panjang? Jelaskan perubahan struktural yang mungkin terjadi.

Rangkuman

Sistem pernapasan terdiri atas saluran konduksi dan saluran respirasi. Saluran konduksi mencakup rongga hidung, faring, laring, trakea, bronkus, dan bronkiolus, yang berfungsi mengalirkan, menyaring, melembapkan, dan menghangatkan udara. Epitel pernapasan khas adalah epitel silindris berlapis semu bersilia dengan sel goblet. Di rongga hidung juga terdapat epitel penciuman yang berisi neuron sensorik penciuman.

Laring mengandung kartilago dan epitel berbeda tergantung lokasi. Trakea memiliki mukosa dengan epitel

bersilia dan lapisan kartilago hialin berbentuk C. Bronkus bercabang menjadi bronkiolus, yang dindingnya lebih tipis dan tidak lagi mengandung kartilago. Bronkiolus respiratori, saluran alveolar, dan alveoli membentuk saluran respirasi tempat pertukaran gas berlangsung.

Alveoli dilapisi oleh dua jenis sel: pneumosit tipe I (sel datar untuk difusi gas) dan pneumosit tipe II (menghasilkan surfaktan). Sistem vaskular paru mengelilingi alveoli membentuk membran alveolokapiler yang tipis untuk memfasilitasi pertukaran O_2 dan CO_2 . Pleura, membran serosa, melapisi paru dan rongga toraks serta berperan dalam gerakan pernapasan melalui tekanan negatif intrapleura.

BAB 5

HISTOLOGI SISTEM PERKEMIHAN

Pendahuluan

Sistem saluran kemih terdiri dari sepasang ginjal dan ureter, kandung kemih, dan uretra. Peran utama sistem ini adalah memastikan kualitas darah yang optimal, yang terus dipantau oleh ginjal. Peran umum ginjal melibatkan kombinasi fungsi yang kompleks, yaitu:

- Pengaturan keseimbangan antara air dan elektrolit (ion anorganik) serta keseimbangan asam-basa;
- Ekskresi sisa metabolisme bersama dengan kelebihan air dan elektrolit melalui urin, produk ekskresi ginjal yang melewati ureter untuk disimpan sementara di kandung kemih sebelum dikeluarkan ke luar tubuh melalui uretra;
- Ekskresi banyak zat bioaktif, termasuk banyak obat;
- Sekresi renin, suatu protease yang penting untuk pengaturan tekanan darah dengan memecah angiotensinogen yang bersirkulasi menjadi angiotensin I;
- Sekresi eritropoietin, faktor pertumbuhan glikoprotein yang merangsang produksi eritrosit di sumsum tulang ketika kadar O₂ darah rendah;
- Konversi steroid prohormon vitamin D, yang awalnya diproduksi di kulit, menjadi bentuk aktif (1,25-dihidroksivitamin D3 atau kalsitriol).

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

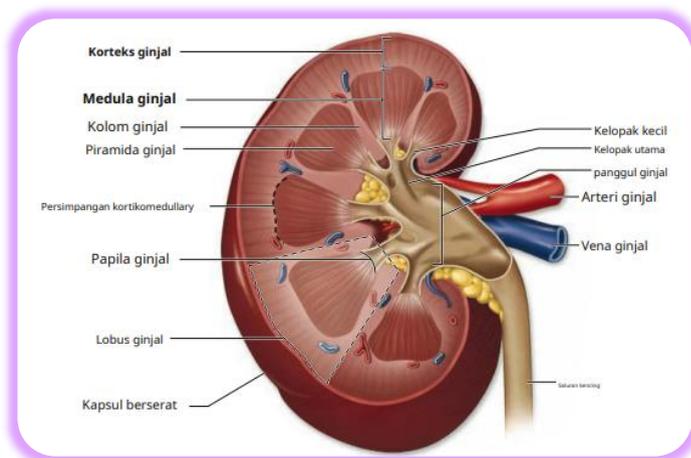
1. Menjelaskan struktur histologis ginjal termasuk korteks, medula, dan sistem saluran nefron secara detail, serta mengaitkan struktur tersebut dengan fungsinya dalam proses filtrasi, reabsorpsi, dan sekresi urin.
2. Mengidentifikasi jenis-jenis sel utama dalam nefron (seperti sel podosit, sel tubulus proksimal dan distal, sel Henle, dan sel juxtaglomerular) beserta ciri histologis dan perannya masing-masing.
3. Menganalisis hubungan antara struktur mikroskopis sistem perkemihan dan mekanisme fisiologis pengaturan volume serta komposisi urin.
4. Membedakan struktur histologis ureter, kandung kemih, dan uretra, serta menjelaskan adaptasi histologisnya terhadap fungsi sebagai saluran ekskresi.
5. Mengevaluasi peran sistem peredaran darah ginjal, khususnya dalam mempertahankan homeostasis cairan dan tekanan darah, termasuk pemahaman tentang aparatus juxtaglomerular.
6. Menginterpretasi perubahan histologis yang terjadi pada sistem perkemihan dalam kondisi patologis tertentu, seperti gagal ginjal atau infeksi saluran kemih, berdasarkan prinsip dasar histologi.

Uraian Materi

A. Struktur dan Fungsi Umum Ginjal

1. Ginjal

Ginjal dewasa berukuran sekitar $12 \times 6 \times 2,5$ cm dengan hilus di sisi medial tempat masuk-keluarnya pembuluh darah, saraf, dan ureter. Ureter melebar di hilus menjadi panggul ginjal yang bercabang ke kaliks besar dan kecil, dikelilingi jaringan lemak. Parenkim ginjal terdiri dari korteks luar yang gelap dan medula dalam berbentuk 8–15 piramida, dipisahkan kolom ginjal. Setiap piramida dan korteks membentuk lobus ginjal, dengan papilla piramida yang menonjol ke kaliks kecil untuk menyalurkan urin. Ginjal memiliki 1–4 juta nefron sebagai unit fungsional, yang terdiri dari badan ginjal dan tubulus panjang, termasuk tubulus proksimal, lengkung Henle, tubulus distal, dan tubulus penghubung.

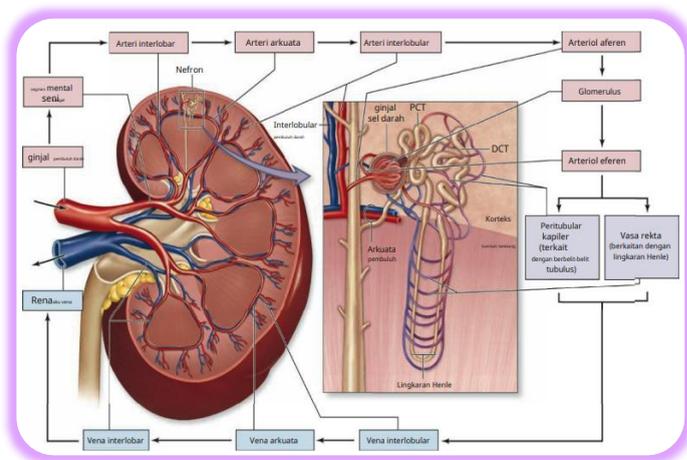


Gambar 5.1. Ginjal

2. Fungsi Ginjal: Filtrasi, Sekresi, dan Reabsorpsi

Fungsi ginjal melibatkan aktivitas-aktivitas spesifik seperti filtrasi, sekresi tubulus, dan reabsorpsi tubulus.

Sepanjang tubulus nefron dan sistem pengumpul, filtrat dimodifikasi melalui sekresi dan reabsorpsi molekul, lalu mengalir ke kaliks minor sebagai urin. Jumlah nefron menurun seiring usia dan dipercepat oleh hipertensi. Setelah nefrektomi unilateral, ginjal yang tersisa mengalami hipertrofi kompensatorik, terutama di tubulus proksimal, untuk menjaga fungsi normal.



Gambar 5.2 Suplay Darah ke Ginjal

3. Sel Ginjal dan Filtrasi Darah

a. Struktur Sel Ginjal (Corpusculum Renale)

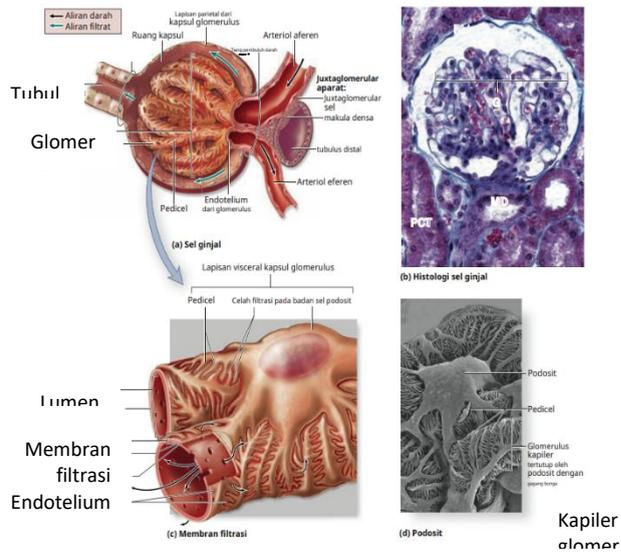
Setiap nefron diawali oleh sel ginjal atau *corpusculum renale*, berdiameter $\pm 200 \mu\text{m}$, terdiri atas kapiler glomerulus dan kapsul glomerulus (Bowman).

b. Kutub sel ginjal

- Kutub vaskular: Tempat masuknya *arteriol aferen* dan keluarnya *arteriol eferen*.
- Kutub tubular: Tempat bermulanya *tubulus kontortus proksimal*.

Filtrasi terjadi melalui struktur yang terdiri atas tiga bagian:

- 1) Fenestrasi endotel kapiler
- 2) Lamina basal gabungan yang tebal (glomerular basemembrane/GBM)
- 3) Diafragma celah filtrasi di antara pedisel (tangkai bunga)



Gambar 5.3 Sel-sel Ginjal

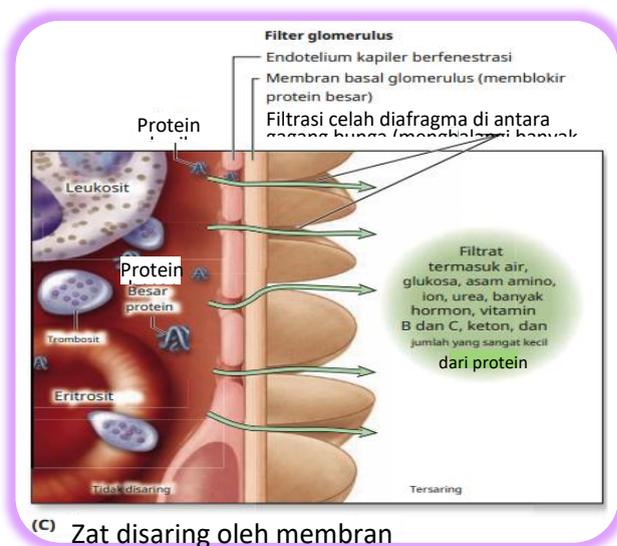
4. Penghalang Filtrasi Glomerulus

Penghalang filtrasi glomerulus terdiri dari tiga komponen berlapis: endotel kapiler berfenestrasi, membran basal glomerulus (GBM), dan diafragma celah filtrasi di antara tangkai podosit. Komponen utama filter ini dibentuk oleh fusi lamina basal dari podosit dan sel endotel kapiler.

Kapiler dalam setiap glomerulus memiliki panjang total sekitar 1 cm dan terletak unik di antara dua arteri—arteri aferen dan arteri eferen. Kehadiran otot polos dalam kedua arteri ini memungkinkan pengaturan tekanan hidrostatik yang lebih tinggi di dalam kapiler glomerulus, sehingga mendukung terjadinya filtrasi plasma secara efisien melalui filter glomerulus.

Luas total permukaan filtrasi glomerulus pada orang dewasa diperkirakan mencapai 500 cm², dengan GFR rata-rata 125 mL/menit atau 180 liter/hari.

Selain sel endotel kapiler dan podosit, glomerulus juga mengandung sel mesangial, yang secara morfologis menyerupai perisit vaskular dan memiliki sifat kontraktil. Sel-sel ini juga menghasilkan komponen lamina eksternal. Sel mesangial sulit dibedakan dari podosit pada irisan histologis rutin, tetapi biasanya tampak lebih gelap. Sel-sel ini, bersama dengan matriks ekstraselulernya, membentuk mesangium, yang mengisi celah antara kapiler yang tidak dilapisi podosit.



Gambar 5.4 Penghalang filtrasi glomerulus

B. Sistem Tubulus Ginjal

1. Tubulus Berbelit-Belit Proksimal

Sel-sel pada berbagai bagian tubulus nefron dan sistem pengumpul bertanggung jawab atas reabsorpsi air dan elektrolit, meskipun fungsi lainnya lebih spesifik pada area tubular tertentu. Tabel 5.1 merangkum fungsi utama dan

gambaran histologis dari berbagai bagian nefron dan saluran pengumpul.

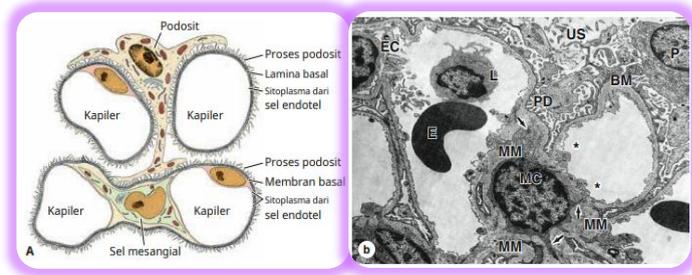
Tabel 5.1			
Gambaran histologis dan fungsi utama daerah dalam tubulus ginjal.			
Wilayah Tubulus	Ciri-ciri Histologis	Lokasi	Fungsi Utama
PCT	Epitel kuboid sederhana; sel-selnya terwarnai dengan baik, dengan banyak mitokondria, lipatan basal yang menonjol dan interdigitasi lateral; mikrovili panjang, lumen sering tersumbat	Korteks	Reabsorpsi semua nutrisi organik, semua protein, sebagian besar air dan elektrolit; sekresi anion dan kation organik, H ⁺ , dan NH ₄ ⁺
Lingkaran Henle	Epitel skuamosa sederhana; beberapa mitokondria	Sumsum belakang	Reabsorpsi pasif Na ⁺ dan Cl ⁻
Anggota badan yang tipis	Epitel kuboid sederhana; tidak ada mikrovili, tetapi banyak mitokondria	Medulla dan sinar meduler	Reabsorpsi aktif berbagai elektrolit
TAL	Epitel kuboid sederhana; tidak ada mikrovili, tetapi banyak mitokondria	Medulla dan sinar meduler	Reabsorpsi aktif berbagai elektrolit
DCT	Epitel kuboid sederhana; sel lebih kecil dibandingkan PCT, mikrovili pendek dan lipatan basolateral, lumen lebih kosong	Korteks	Reabsorpsi elektrolit
Sistem pengumpulan	Paling melimpah, berbentuk kubus hingga kolumnar; warna pucat, membran sel berbeda	Sinar meduler dan medulla	Reabsorpsi air & elektrolit yang diatur; regulasi sekresi K ⁺
Sel utama	Sedikit dan tersebar; pewarnaan sedikit lebih gelap	Sinar meduler	Reabsorpsi K ⁺ (diet rendah K ⁺); membantu menjaga keseimbangan asam-basa
Sel yang diselingi	Sedikit dan tersebar; pewarnaan sedikit lebih gelap	Sinar meduler	Reabsorpsi K ⁺ (diet rendah K ⁺); membantu menjaga keseimbangan asam-basa

Keterangan:

DCT: distal convoluted tubule

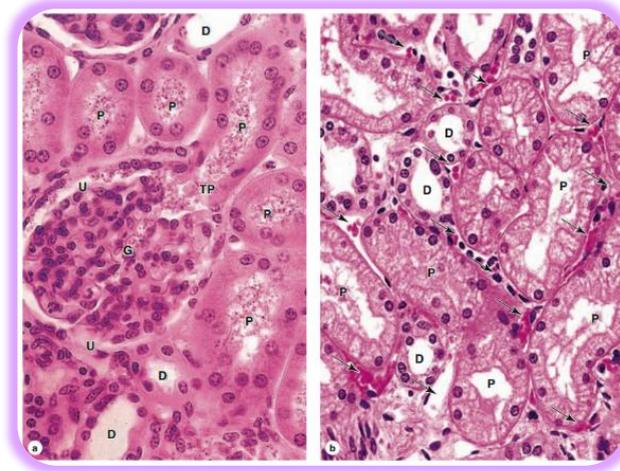
PCT: proximal convoluted tubule

TAL: thick ascending limb



Gambar 5.5 Mesangium

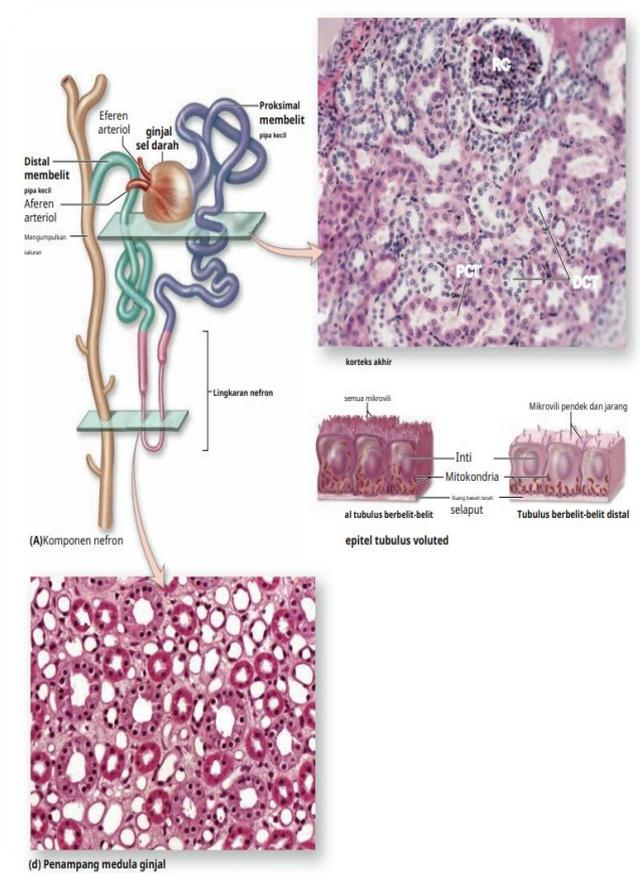
Di kutub tubular glomerulus, epitel skuamosa kapsula Bowman berlanjut ke epitel kuboid tubulus berbelit proksimal (*PCT*) yang berperan dalam reabsorpsi melalui mekanisme aktif dan pasif dengan bantuan berbagai pompa, saluran, dan transporter. Protein kecil diserap lewat endositosis, sedangkan anion dan kation organik disekresikan melalui transporter khusus. Sel *PCT* memiliki inti sentral dan sitoplasma asidofilik kaya mitokondria, dengan permukaan apikal yang dipenuhi mikrovili rapat membentuk batas sikat untuk memperbesar penyerapan. Kapiler peritubular melimpah di sekitarnya, dan sitoplasma apikal mengandung vesikula serta invaginasi mikrovili yang menunjukkan aktivitas endositosis tinggi, didukung oleh mitokondria basal yang menyediakan energi untuk reabsorpsi dan sekresi aktif.



Gambar 5.6 Histologi korteks ginjal: tubulus berbelit-belit proksimal dan distal serta Peralihan Epitel pada Kutub Tubular Ginjal

2. Lingkaran Henle

Setelah filtrat melewati tubulus kontortus proksimal, filtrat masuk ke tubulus lurus proksimal yang merupakan segmen pendek menuju medula. Selanjutnya, filtrat berlanjut ke Lengkung Henle yang memiliki bentuk khas seperti huruf U. Struktur Lengkung Henle terdiri dari tungkai turun tipis, lengkung Henle itu sendiri, dan tungkai naik tipis. Kedua tungkai tersebut disusun oleh epitel skuamosa sederhana yang memungkinkan difusi pasif air dan zat terlarut. Tungkai turun lebih permeabel terhadap air, sehingga air mudah keluar, sedangkan tungkai naik lebih permeabel terhadap ion tetapi tidak terhadap air, sehingga ion dapat berdifusi keluar tanpa diikuti air.



Gambar 5.7 Struktur Histologis Nefron dan Lingkungan Meduler dengan Tubulus berbelit-belit, lengkung nefron, dan saluran pengumpul

Citra histologis korteks ginjal memperlihatkan satu korpus ginjal (RC), tubulus kontortus proksimal (PCT), dan tubulus kontortus distal (DCT)

a. Diagram Sel Tubulus Proksimal dan Distal

Citra jaringan medula memperlihatkan:

- Lengkung Henle bagian tipis (T)
- Lengkung asendens tebal (A/TAL)

- Duktus kolektivus (CD)
- b. Transisi Diameter & Fungsi
- Tubulus lurus proksimal: Diameter sekitar 60 μm , menyempit drastis menjadi ~30 μm saat memasuki lengkung Henle.
 - Segmen tipis (epitel skuamosa): Fungsi pasif, sedikit organel.
 - Segmen tebal (TAL): Epitel kuboid, transport aktif Na^+ dan Cl^- \rightarrow menciptakan interstitium hiperosmotik.
- a. Sistem Pengganda Arus Berlawanan (Countercurrent Multiplier System)
- Filtrat bergerak turun lalu naik dalam dua tungkai paralel \rightarrow menciptakan gradien osmotik.
 - Interstitium medula menjadi hiperosmotik, menarik air keluar dari tungkai turun \rightarrow filtrat jadi lebih pekat.
 - Tungkai naik tipis: Resorpsi NaCl , impermeabel terhadap air
 - Vasa recta: Aliran darah berlawanan arah membantu mempertahankan kondisi hiperosmotik interstitium.
 - Osmolaritas di dasar piramida bisa mencapai $4\times$ osmolaritas darah.
3. Tubulus Kontortus Distal (DCT) & Aparatus Juxtaglomerular

Struktur DCT

- Melanjutkan bagian asendens nefron saat masuk ke korteks.

- Sel epitel kuboid sederhana, lebih kecil, tanpa batas sikat, lebih pucat (kurang eosinofilik).
- Lumen tampak lebih jelas dan bersih.
- Jumlah inti per unit luas terlihat lebih banyak karena sel lebih kecil dan rendah.
- Mitokondria lebih sedikit dibanding PCT → aktivitas reabsorpsi lebih rendah.

Tubulus Berbelit-belit Distal (DCT)

Ciri utama:

- Epitel kuboid sederhana.
- Tidak memiliki brush border (tidak seperti PCT).
- Lumen lebih bersih dan lebih banyak inti terlihat.

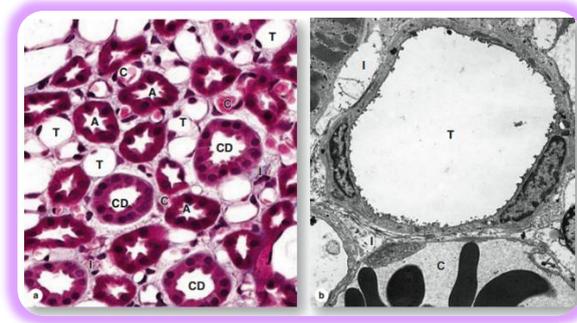
Reabsorpsi lebih sedikit, diatur oleh aldosteron

4. Sistem Saluran Pengumpul

Urutan aliran filtrat: DCT → Tubulus penghubung → Saluran pengumpul kortikal → Saluran pengumpul meduler → Duktus papilaris → Kelopak kecil.

Ciri saluran pengumpul:

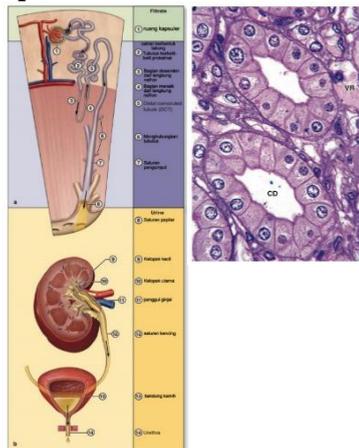
- Korteks: epitel kuboid sederhana.
- Medula dalam: epitel kolumnar → menyatu jadi duktus papilaris.
- Osmolaritas interstitial tinggi membantu reabsorpsi air lebih lanjut jika dipicu oleh ADH.



Gambar 5.8 Medula ginjal: lengkung nefron dan saluran pengumpul.

Histologi Saluran Pengumpul

Saluran pengumpul (collecting duct) tampak bulat atau oval pada potongan melintang, dilapisi oleh sel utama kolumnar pucat dan sel interkalasi gelap yang kaya mitokondria untuk regulasi pH. Saluran ini dikelilingi oleh interstitium medula dengan osmolaritas tinggi yang mendorong reabsorpsi air dari filtrat. Di sekitarnya terdapat vasa recta, kapiler lurus yang menjaga gradien konsentrasi medula dan mengangkut kembali air yang diserap.

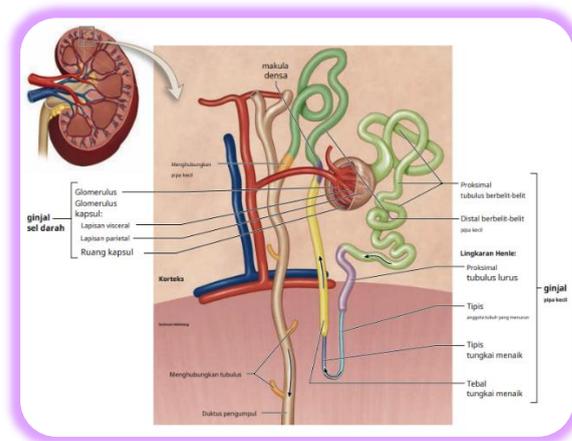


Gambar 5.9 Transportasi cairan dalam sistem kemih (kiri) Gambar 5.10 Histologi saluran ureter uretra (kanan)

C. Regulasi dan Mikrosirkulasi Ginjal

1. Peredaran Darah

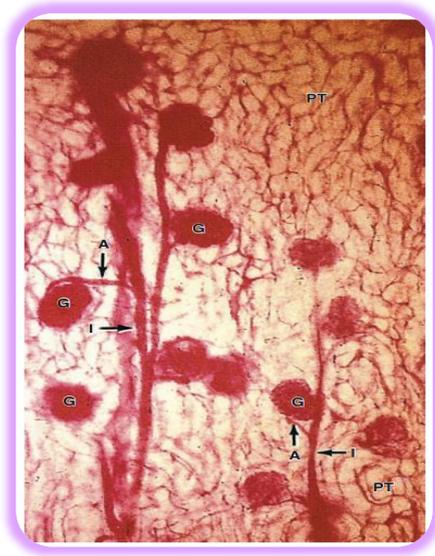
Pembuluh darah ginjal dinamai berdasarkan lokasi atau bentuknya (Gambar 5.3). Arteri ginjal bercabang menjadi arteri segmental di hilum, lalu menjadi arteri interlobar yang berjalan di antara piramida ginjal menuju batas kortikomedular (Gambar 5.3). Di sana, arteri interlobar membentuk arteri arkuata yang melengkung di dasar piramida. Dari arteri arkuata, arteri interlobular (atau arteri radial kortikal) bercabang dan meluas ke dalam korteks..



Gambar 5.11 Nefron dan bagian-bagiannya

Setiap ginjal memiliki 1–4 juta nefron yang dimulai di korteks dengan glomerulus dalam kapsul Bowman untuk filtrasi darah. Filtrat mengalir melalui tubulus proksimal, lengkung Henle di medula, tubulus asenden, makula densa, tubulus distal, tubulus penghubung, dan tubulus

pengumpul sebelum ke kaliks. Darah masuk glomerulus lewat arterioler aferen dan keluar melalui arterioler eferen yang membentuk kapiler peritubular di korteks, serta vasa recta di nefron jukstamedular dekat medula. Korteks menerima darah lebih banyak dibanding medula, dan darah keluar ginjal melalui vena yang mengikuti jalur arteri.



Gambar 5.12 Mikrovaskular korteks ginjal

2. Mekanisme Konsentrasi Urin

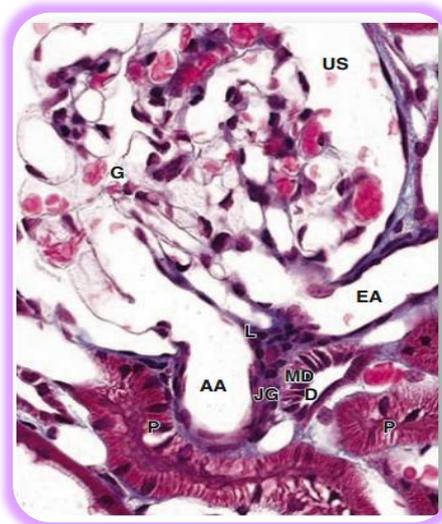
Loop Henle dan vasa recta membentuk sistem counter-current multiplier & exchanger, yang memungkinkan:

- Penyerapan pasif air di tungkai menurun.
- Penyerapan aktif NaCl di tungkai menaik (impermeabel terhadap air).
- Gradien osmolaritas interstitial meningkat ke arah medula dalam.

- Vasa recta mempertahankan gradien tersebut melalui aliran darah yang berlawanan arah.
3. Peralatan Juxtaglomerular (JGA) dan Autoregulasi GFR

Komponen JGA:

- Makula Densa (sel kolumnar dari DCT):
- Sel Juxtaglomerular (JG)
- Sel Lacis (mesangial ekstraglomerular)



Gambar 5.13 Juxtaglomerular apparatus (JGA)

a. Juxtaglomerular Apparatus (JGA)

Aparatus juxtaglomerular (JGA) terletak di titik pertemuan antara tubulus distal dan kutub vaskular glomerulus. Struktur penting dalam JGA meliputi makula densa, yaitu penebalan lokal sel-sel epitel tubulus distal yang berbentuk kolumnar dan berfungsi sebagai sensor konsentrasi natrium (Na^+) dan klorida (Cl^-) dalam filtrat. Selain itu, terdapat

sel granular juxtaglomerular (JG), yaitu sel otot polos dari tunika media arteriol aferen yang telah bertransformasi menjadi bentuk sekretorik dan berfungsi menghasilkan renin, enzim penting dalam regulasi tekanan darah dan volume darah. Komponen lain adalah sel lacis, yaitu sel mesangial ekstraglomerular yang diduga berperan dalam komunikasi antar elemen JGA untuk mengkoordinasikan respons fisiologis.

D. Jalur Ekseri Urin

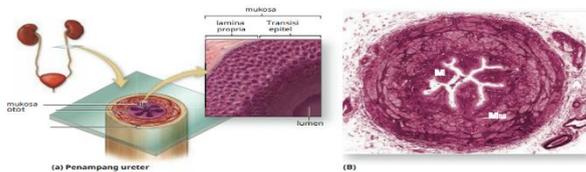
1. Jalur Aliran Filtrat dan Urin

a) Diagram Nefron dan Sistem Pengumpul:

Filtrat terbentuk di glomerulus dan mengalir melalui tubulus proksimal, lengkung Henle, tubulus distal, hingga saluran pengumpul (CD), di mana terjadi proses reabsorpsi dan sekresi. Setelah keluar dari CD dan masuk ke sistem kaliks, filtrat tidak mengalami modifikasi lebih lanjut.

b) Jalur Urin:

Setelah keluar dari saluran pengumpul, filtrat kini disebut urin. Urin mengalir secara pasif ke kaliks minor, kaliks mayor, dan pelvis renalis, lalu bergerak secara aktif melalui peristaltik melewati ureter menuju kandung kemih, tempat urin disimpan hingga dikeluarkan melalui proses miksi lewat uretra.



Gambar 5.14 Ureter

(a) Diagram penampang ureter menunjukkan pola khas mukosa yang membentuk lipatan memanjang, dikelilingi oleh lapisan otot tebal yang berperan dalam menggerakkan urin melalui gelombang peristaltik secara teratur. Lamina propria dilapisi oleh epitel berlapis khusus yang dikenal sebagai epitel transisional atau urothelium.

(b) Secara histologis, lapisan muskularis (Mu) tampak jauh lebih tebal dibandingkan dengan lapisan mukosa (M) maupun adventitia (A).

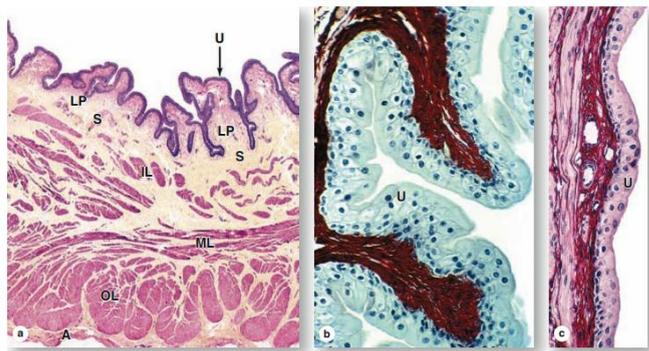
2. Histologi Sistem Urinaria: Struktur Mikroskopis Ginjal

a) Nefron dan Medula Ginjal

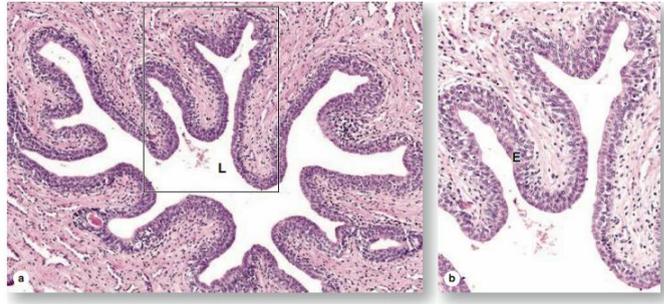
Piramida ginjal medula terdiri atas, Lengkung Henle bagian tipis (T), Lengkung Henle bagian tebal (A), Saluran pengumpul (CD), dan Interstitium (I)

b) Mikrograf TEM

Menunjukkan perbedaan ketebalan antara dinding tipis Henle dan kapiler vasa recta yang berdekatan. Kapiler lebih tipis untuk memudahkan pertukaran zat.



Gambar 5.15 Dinding kandung kemih dan urothelium



Gambar 5.16 Uretra

Soal Latihan

1. Jelaskan struktur histologis glomerulus ginjal dan bagaimana struktur tersebut berperan dalam proses filtrasi darah!
2. Bandingkan struktur histologis tubulus proksimal dan tubulus distal ginjal, serta jelaskan peran masing-masing dalam proses pembentukan urin!
3. Apa yang dimaksud dengan aparatus juxtaglomerular? Sebutkan komponennya dan jelaskan fungsinya dalam sistem perkemihan dan regulasi tekanan darah!
4. Deskripsikan struktur histologis dari ureter dan kandung kemih, serta jelaskan bagaimana adaptasi jaringan tersebut mendukung fungsi menampung dan mengalirkan urin!
5. Uraikan bagaimana sistem perkemihan berperan dalam menjaga homeostasis tubuh berdasarkan struktur histologis utama yang telah Anda pelajari!

Rangkuman

Bab ini membahas struktur histologis sistem perkemihan, yang terdiri dari ginjal, ureter, kandung kemih, dan uretra. Ginjal merupakan organ utama yang berfungsi menyaring darah, membuang limbah metabolik, dan menjaga keseimbangan cairan serta elektrolit tubuh. Unit fungsional ginjal adalah nefron, yang terdiri atas glomerulus, kapsul Bowman, tubulus proksimal, lingkaran Henle, tubulus distal, dan saluran pengumpul.

Setiap bagian nefron memiliki struktur histologis khusus yang mendukung fungsinya: podosit dan sel endotel glomerulus menyaring darah; epitel tubulus proksimal berfungsi untuk reabsorpsi intensif; sedangkan epitel tubulus distal dan saluran pengumpul mengatur keseimbangan ion dan pH. Selain itu, aparatus juxtaglomerular memiliki peran penting dalam regulasi tekanan darah melalui sekresi renin.

Struktur saluran perkemihan lainnya, seperti ureter, kandung kemih, dan uretra, dilapisi oleh epitel transisional (urotelium) yang fleksibel dan mampu menahan peregangan. Lapisan otot polos dan jaringan ikat menyusun dinding saluran, memungkinkan kontraksi dan relaksasi selama proses penyimpanan dan pengeluaran urin.

BAB 6

HISTOLOGI SISTEM REPRODUKSI PRIA

Pendahuluan

Sistem reproduksi pria terdiri atas testis, saluran genital, kelenjar aksesori, dan penis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.1. Testis berfungsi menghasilkan spermatozoa, namun juga mengandung sel endokrin yang mensekresikan hormon seperti testosteron, yang penting dalam mengatur fisiologi reproduksi pria. Testosteron berperan dalam spermatogenesis, diferensiasi seksual selama perkembangan embrio dan janin, serta pengaturan sekresi gonadotropin di kelenjar hipofisis.

Saluran genital dan kelenjar aksesori menghasilkan sekresi yang mendukung aktivitas spermatozoa, serta berkontraksi untuk mendorong spermatozoa dan cairan tersebut keluar melalui uretra penis. Sekresi ini berfungsi sebagai nutrisi dan medium pelindung bagi spermatozoa selama berada dalam saluran reproduksi pria. Kombinasi antara spermatozoa dan sekresi kelenjar aksesori membentuk air mani (*semen*), yang dideposisikan ke dalam saluran reproduksi wanita melalui penis.

capaian pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan struktur histologis testis, termasuk tubulus seminiferus dan jaringan interstisial, serta fungsi masing-masing komponen.

2. Mendeskripsikan proses spermatogenesis dan spermiogenesis, mulai dari sel germinal awal hingga terbentuknya spermatozoa matang.
3. Menganalisis peran sel Sertoli dan sel Leydig dalam mendukung perkembangan dan pematangan sel sperma serta dalam regulasi hormonal.
4. Mengidentifikasi dan menjelaskan saluran ekskretoris testis, termasuk rete testis, duktus eferen, epididimis, vas deferens, dan uretra.
5. Menjelaskan struktur histologis kelenjar aksesori (vesikula seminalis, kelenjar prostat, dan kelenjar bulbourethral), serta fungsinya dalam pembentukan cairan semen.
6. Menguraikan struktur mikroskopis penis, termasuk jaringan erektil dan epitel penutupnya.
7. Mengintegrasikan pengetahuan histologis dengan fungsi fisiologis sistem reproduksi pria, serta mengaitkannya dengan aspek klinis terkait gangguan reproduksi pria.

Uraian Materi

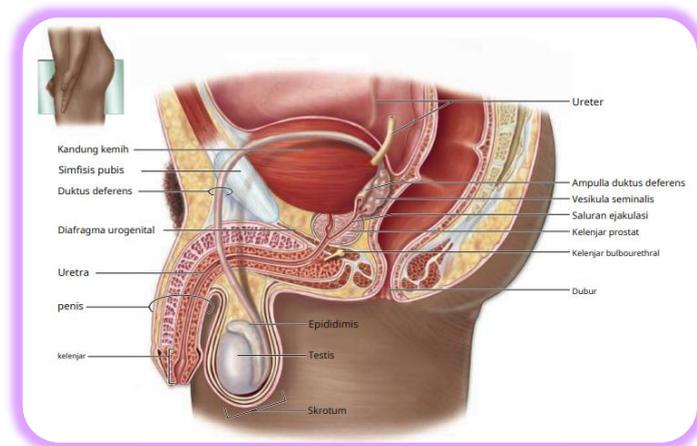
A. Organ Reproduksi Internal Pria

1. Testis

Setiap testis dikelilingi oleh kapsul jaringan ikat padat yang disebut tunika albuginea, yang menebal di bagian posterior untuk membentuk mediastinum testis. Dari daerah fibrosa ini, terbentuk septa yang membagi testis menjadi sekitar 250 lobulus berbentuk piramidal (Gambar 6.2 dan 6.3). Tiap lobulus mengandung jaringan ikat longgar yang mengandung sel interstisial (sel Leydig)—sel endokrin yang mensekresikan testosteron—serta satu hingga empat tubulus seminiferus yang sangat berkelok-kelok, tempat terjadinya spermatogenesis.

Secara embrionik, testis berkembang secara retroperitoneal di dinding dorsal rongga perut dan selama perkembangan janin akan turun ke dalam kantung skrotum melalui saluran inguinal. Testis menggantung pada ujung korda spermatika (Gambar 6.2). Selama penurunan ini, setiap testis membawa serta sebagian peritoneum yang membentuk kantung serosa yang disebut tunika vaginalis. Tunika ini terdiri atas dua lapisan, yakni lapisan parietal dan lapisan visceral (Gambar 6.2).

Fungsi reproduksi testis, khususnya pembentukan sperma, bergantung pada suhu yang lebih rendah dari suhu inti tubuh. Beberapa peristiwa molekuler penting dalam spermatogenesis tidak dapat berlangsung optimal pada suhu 37°C.



Gambar 6.1. Sistem reproduksi pria

Gambar 6.1 menunjukkan lokasi serta hubungan antara testis, epididimis, duktus deferens, dan kelenjar aksesori, yang secara keseluruhan membentuk sistem reproduksi pria.

Salah satu kondisi umum yang berkaitan dengan skrotum adalah hidrokel, yaitu akumulasi cairan

serosa berlebihan dalam kantung skrotum pada satu atau kedua sisi.

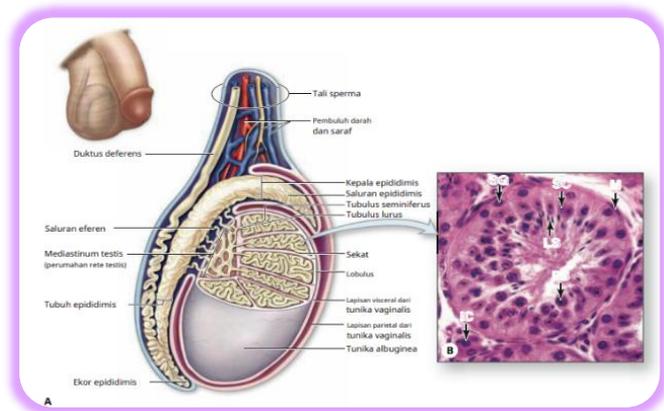
a. Jaringan Interstitial Testis

Di antara tubulus seminiferus pada testis terdapat jaringan interstitial, yaitu jaringan ikat longgar yang mengandung fibroblas, pembuluh limfatik, dan pembuluh darah, termasuk kapiler berfenestrasi.

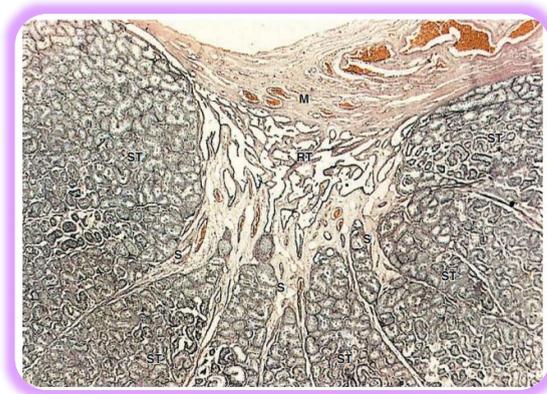
Mulai masa pubertas, sel-sel interstitial yang disebut sel Leydig berkembang menjadi sel besar berbentuk bulat atau poligonal dengan inti sentral dan sitoplasma eosinofilik, yang mengandung banyak tetesan lipid kecil.

b. Struktur dan Fungsi Tubulus Seminiferus

Tubulus seminiferus merupakan tempat produksi sperma, yang berlangsung secara kontinu. Pada pria dewasa muda, spermatogenesis berlangsung dengan kecepatan sekitar 2×10^8 spermatozoa per hari.



Gambar 6.2. Testis dan tubulus seminiferus

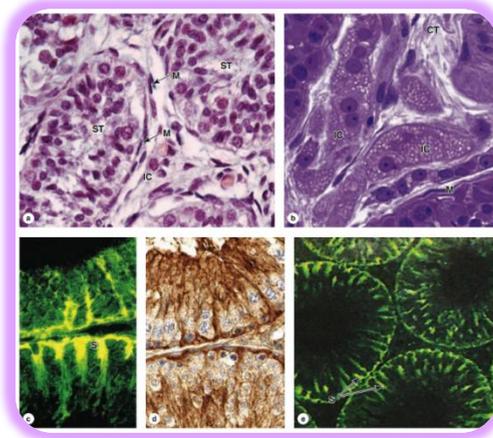


Gambar 6.3. Lobulus berkumpul di rete testis

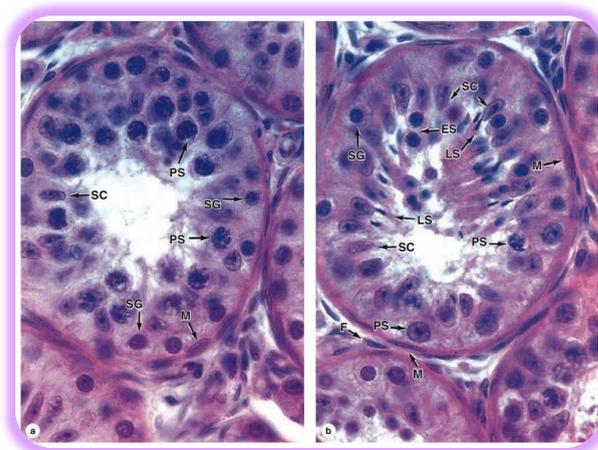
Kapsul testis (tunica albuginea) menebal di sisi posterior membentuk mediastinum testis, dari mana septa memisah organ menjadi sekitar 250 lobulus. Setiap tubulus berbentuk loop dan terhubung ke rete testis, labirin saluran di mediastinum. Sperma mengalir dari rete testis ke epididimis. Sel spermatogenik membentuk lapisan dalam epitel germinal, berkembang menjadi spermatozoa matang dalam sekitar 10 minggu melalui proses spermatogenesis (mitosis dan meiosis) dan spermiogenesis (diferensiasi akhir).

c. Spermatogenesis

Spermatogenesis dimulai pada masa pubertas dengan proliferasi spermatogonia, sel bulat kecil ($\sim 12 \mu\text{m}$) di bagian basal epitel tubulus seminiferus dekat membran basal dan sel Sertoli. Spermatogonia tipe A (inti oval gelap) bertindak sebagai sel induk dan membelah mitosis membentuk sincitium, lalu berdiferensiasi menjadi spermatogonia tipe B (inti lebih bulat dan terang). Spermatogonia tipe B membelah mitosis terakhir



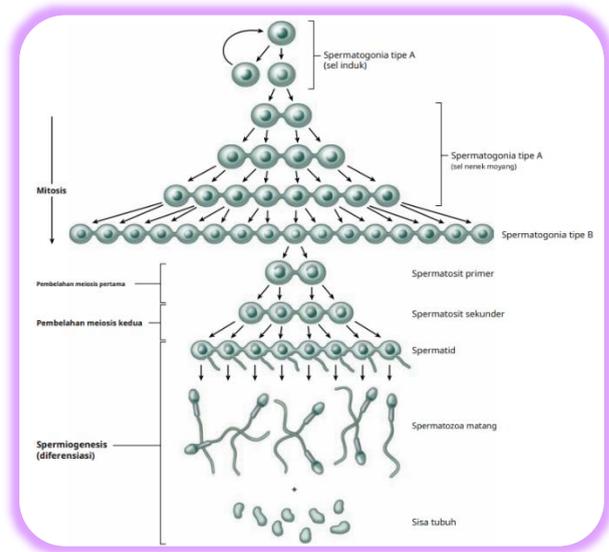
Gambar 6.4. Sel interstitial dan sel Sertoli



Gambar 6.6. Tubulus seminiferus: sel Sertoli dan spermatogenesis

(a, b) Gambar tubulus seminiferus menunjukkan sel myoid dan fibroblas di luar tubulus, serta spermatogonia dekat membran basal yang membelah mitosis. Spermatosit primer, sel terbesar, menjalani profase meiosis I selama 3 minggu dan membentuk

spermatosit sekunder yang cepat membelah menjadi spermatid haploid.



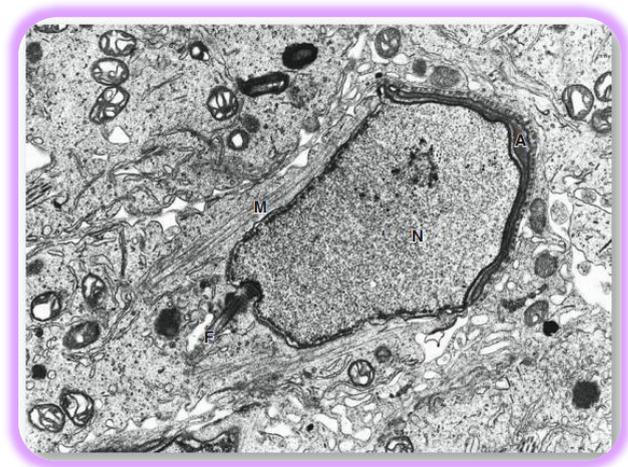
Gambar 6.7. Sifat klonal spermatogenesis

d. Sifat Klonal Sel Germinal Pria

Sel induk hasil mitosis spermatogonia tetap terpisah, tetapi pembelahan sel anak berikutnya memiliki sitokinesis tidak lengkap sehingga sel-sel tetap terhubung melalui jembatan sitoplasma (Gambar 6.7). Hal ini memungkinkan komunikasi sitoplasma antar sel selama mitosis dan meiosis. Jembatan ini membantu sel haploid menerima produk genom diploid lengkap, termasuk protein dan RNA dari kromosom X atau Y yang tidak ada di inti haploid. Sel germinal baru terpisah saat diferensiasi (Gambar 6.7). Proses dari mitosis akhir hingga pembentukan spermatid memakan waktu sekitar 2 bulan.

e. Spermiogenesis

Spermiogenesis, fase terakhir produksi sperma, adalah proses yang sensitif terhadap suhu di mana spermatid berdiferensiasi menjadi spermatozoa, yang sangat terspesialisasi untuk mengantarkan DNA pria ke sel telur. Tidak ada pembelahan sel yang terjadi selama proses ini, dan seperti halnya spermatogenesis, sel-sel yang terlibat tetap berhubungan dengan sel Sertoli. Spermatid haploid adalah sel kecil (berdiameter 7-8 μm) di dekat lumen tubulus seminiferus.



Gambar 6.8. Membedakan spermatid

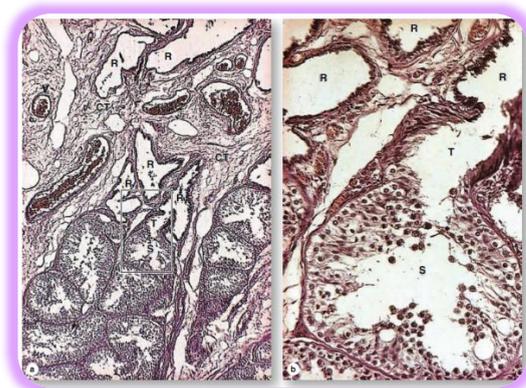
f. Sel Sertoli

Sel Sertoli adalah sel epitel kolumnar tinggi yang memberi nutrisi dan dukungan fisik pada sel spermatogenik, membagi tubulus seminiferus menjadi kompartemen basal dan adluminal (Gambar 6.4c-e). Setiap sel dapat menopang 30-50 sel germinal. Secara ultrastruktural, sel ini kaya organel seperti SER, RE kasar, Golgi, mitokondria, dan lisosom, serta memiliki inti eukromatik dengan nukleolus menonjol (Gambar 6.6). Sel

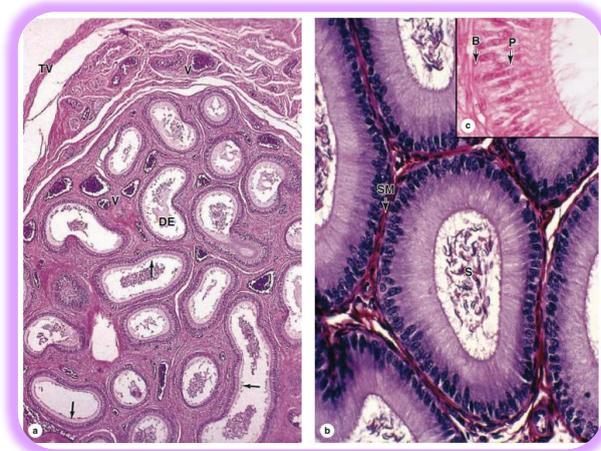
Sertoli membentuk penghalang darah-testis melalui sambungan oklusif di membran basolateral, melindungi sel spermatogenik dari respon autoimun (Gambar 6.5a). Spermatisit primer melewati penghalang ini ke kompartemen adluminal sambil tetap melekat pada sel Sertoli, dengan spermatisit dan spermatid berada dalam invaginasi permukaan sel tersebut.

2. Saluran Intratestikuler

Saluran intratestikuler terdiri dari tubulus lurus (atau tubuli recti), rete testis, dan saluran eferens, yang semuanya membawa spermatozoa dan cairan dari tubulus seminiferus ke saluran epididimis. Lengkungan tubulus seminiferus bergabung dengan rete testis melalui tubulus lurus pendek, yang awalnya hanya dilapisi oleh sel Sertoli. Saluran ini bermuara di rete testis, suatu jaringan saluran yang saling berhubungan yang dilapisi dengan epitel kuboid dan didukung oleh jaringan ikat mediastinum.



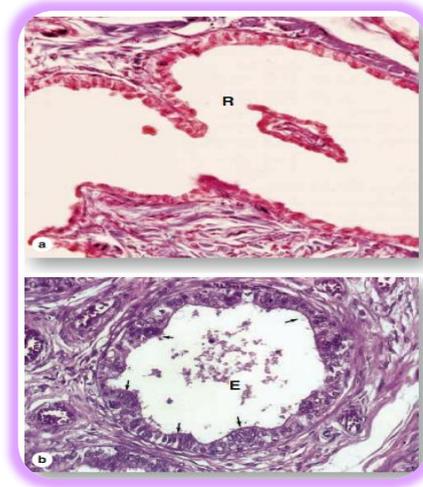
Gambar 6.9. Tubulus seminiferus, tubulus lurus dan rete testis



Gambar 6.11. Epididimis

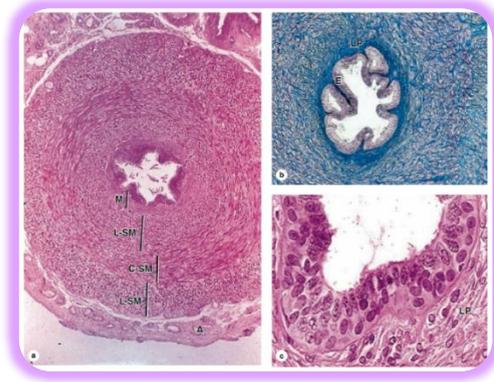
3. Saluran Genital Eksekrasi

Saluran ekskresi genital terdiri dari saluran epididimis, saluran (atau vas) deferens, dan uretra. Saluran-saluran ini mengangkut sperma dari skrotum ke penis saat ejakulasi. Saluran epididimis yang panjang dan melingkar, dikelilingi oleh jaringan ikat, terletak di skrotum sepanjang sisi superior dan posterior setiap testis (Gambar 6.2). Panjang saluran ini sekitar 4-5 m, mencakup daerah kepala tempat masuknya duktus eferen, badan, dan ekor yang membuka ke dalam duktus deferens. Perjalanan sperma melalui saluran epididimis biasanya memakan waktu 2-4 minggu, selama itu spermatozoa mengalami pematangan dan memperoleh kemampuan untuk membuahi.



Gambar 6.10. Rete testis dan saluran eferen

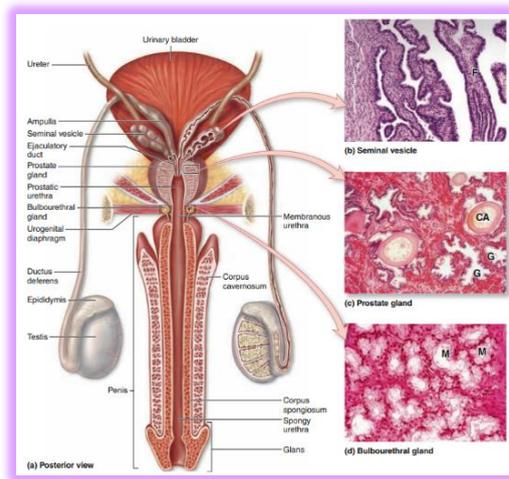
Cairan epididimis mengandung faktor dekapasitasi berupa glikolipid yang menghambat reaksi akrosom dan menurunkan fertilitas sperma; faktor ini hilang saat kapasitasi di saluran reproduksi wanita. Epitelnya bertipe kolumnar pseudostratifikasi dengan sel utama berseterosilia yang mensekresikan zat dan menyerap air, dikelilingi otot polos yang berkontraksi saat ejakulasi.



Gambar 6.12. Duktus deferens

B. Kelenjar Aksesori

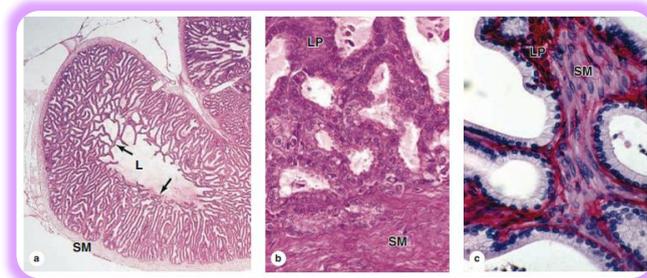
Kelenjar aksesori pada saluran reproduksi pria menghasilkan sekret yang bercampur dengan sperma selama ejakulasi untuk membentuk air mani, yang penting untuk reproduksi. Kelenjar genital aksesori terdiri dari vesikula seminalis (atau kelenjar), kelenjar prostat, dan kelenjar bulbourethral.



Gambar 6.13. Kelenjar aksesori pada saluran reproduksi pria

1. Vesikula Seminalis

Vesikula seminalis adalah tabung berliku sekitar 15 cm, dilapisi kapsul jaringan ikat dengan mukosa berlipat-lipat yang diisi epitel kolumnar sederhana atau pseudostratifikasi penuh butiran sekretorik (Gambar 6.14). Lamina propria mengandung serat elastis dan dikelilingi otot polos berlapis untuk mengosongkan kelenjar saat ejakulasi.

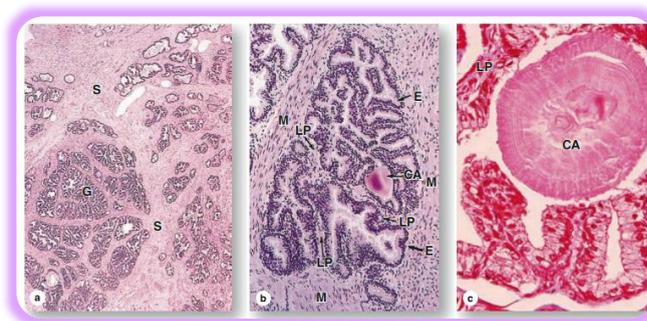


Gambar 6.14. Vesikula seminalis

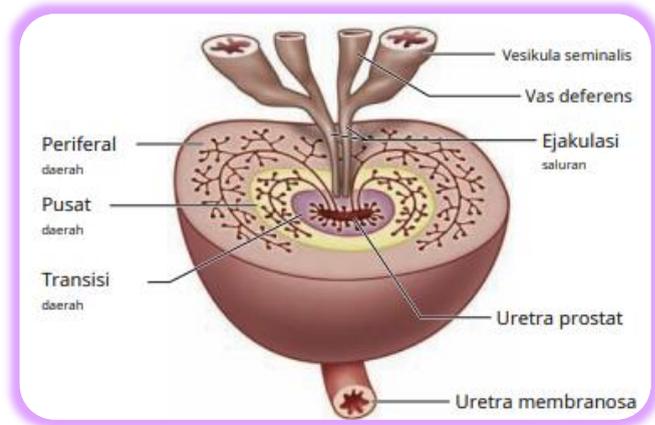
Vesikula seminalis merupakan sepasang kelenjar eksokrin yang mengeluarkan sebagian besar cairan mani, termasuk nutrisi bagi sperma.

2. Kelenjar Prostat

Kelenjar prostat adalah organ padat yang mengelilingi uretra di bawah kandung kemih. Prostat merupakan kumpulan 30-50 kelenjar tubuloacinar yang tertanam dalam stroma fibromuskular padat, di mana otot polos berkontraksi saat ejakulasi. Seperti ditunjukkan pada Gambar 6.15, kelenjar tersusun dalam tiga zona utama di sekitar uretra, yaitu: zona transisi, zona tengah, dan zona perifer.



Gambar 6.16. Kelenjar prostat



Gambar 6.15. Organisasi kelenjar prostat

Prostat terdiri dari 30-50 kelenjar tubuloacinar bercabang yang tersusun dalam tiga lapisan, yang ditunjukkan di sini secara skematis. Di sekitar uretra prostatika terdapat zona transisi yang berisi kelenjar mukosa.

3. Kelenjar Bulbourethral

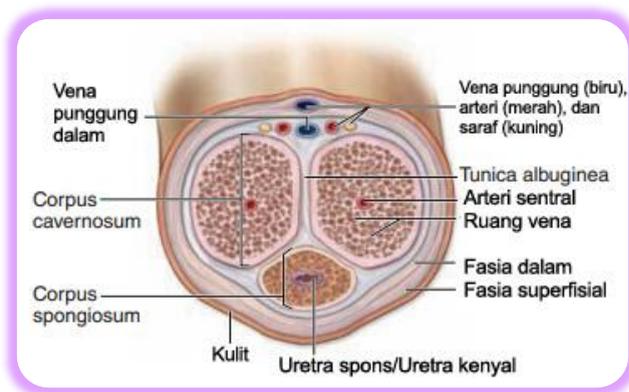
Kelenjar bulbourethral yang berbentuk bulat dan berpasangan (atau kelenjar Cowper), berdiameter 3-5 mm, terletak di diafragma urogenital (Gambar 6.13) dan bermuara di bagian proksimal uretra penis. Setiap kelenjar memiliki beberapa lobulus dengan unit sekretorik tubuloacinar yang dikelilingi oleh sel otot polos dan dilapisi oleh epitel kolumnar sederhana, yang mensekresi mukus yang juga bergantung pada testosteron (Gambar 6.13d). Selama ereksi, kelenjar bulbourethral, serta kelenjar uretra kecil yang banyak, secara histologis serupa di sepanjang uretra penis, melepaskan sekresi bening seperti lendir yang melapisi dan melumasi uretra sebagai persiapan untuk keluarnya sperma dalam waktu dekat.

C. Organ Reproduksi Eksternal

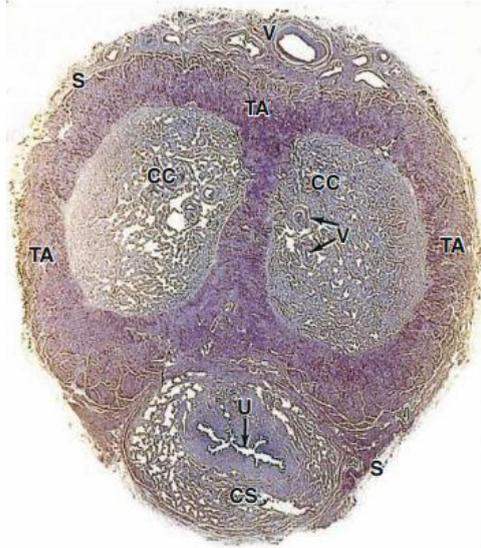
Penis

Penis terdiri dari tiga massa jaringan ereksi dan uretra yang diselimuti kulit (Gambar 6.1). Dua massa di punggung disebut corpora cavernosa, dan satu di ventral adalah corpus spongiosum yang mengelilingi uretra (Gambar 6.17). Ujung corpus spongiosum membentuk glans penis (Gambar 6.13a). Sebagian besar uretra penis dilapisi epitel kolumnar pseudostratifikasi, yang berubah menjadi epitel skuamosa berlapis di glans dan menyatu dengan epidermis tipis di permukaan luarnya. Uretra juga memiliki kelenjar kecil penghasil lendir. Pada pria tidak disunat, glans ditutupi preputium (kulup).

Ereksi terjadi saat rangsangan saraf parasimpatis menyebabkan relaksasi otot polos dan pelebaran arteri heliks, meningkatkan aliran darah ke ruang erektil dan menekan aliran vena. Ejakulasi dipicu oleh saraf simpatis yang mengurangi aliran darah masuk. Ereksi dimulai dengan pelepasan NO yang meningkatkan cGMP dan merelaksasi otot. Disfungsi ereksi dapat disebabkan oleh gangguan saraf, vaskular, atau psikologis. Sildenafil membantu mempertahankan ereksi dengan menghambat degradasi cGMP.



Gambar 6.17. Kelenjar prostat



Gambar 6.18. Histologi Penis

Soal Latihan

1. Jelaskan proses spermatogenesis secara histologis, termasuk lokasi, tahap-tahap, dan sel-sel yang terlibat!
2. Deskripsikan peran histologis Sel Sertoli dalam mendukung perkembangan sel germinal dalam tubulus seminiferus! Bagaimana struktur sel ini menunjang fungsinya?
3. Bandingkan struktur histologis dan fungsi antara vesikula seminalis, kelenjar prostat, dan kelenjar bulbourethral sebagai kelenjar aksesori pada sistem reproduksi pria!
4. Bagaimana peran hormon yang dihasilkan oleh sel Leydig terhadap fungsi sistem reproduksi pria secara keseluruhan? Jelaskan dalam konteks hubungan dengan hormon hipofisis!

5. Gambarkan struktur histologis penis, khususnya komponen jaringan erektil, dan jelaskan bagaimana struktur tersebut memungkinkan terjadinya ereksi!

Rangkuman

Sistem reproduksi pria terdiri dari testis, saluran reproduksi, kelenjar aksesori, dan penis. Testis merupakan organ utama yang menghasilkan spermatozoa dan hormon testosteron. Di dalam testis, tubulus seminiferus merupakan tempat terjadinya spermatogenesis, yaitu proses pembentukan sel sperma yang melibatkan pembelahan dan pematangan sel germinal. Sel Sertoli yang berada di dalam tubulus ini memberikan dukungan nutrisi dan struktur bagi sel-sel germinal.

Jaringan interstisial testis mengandung sel Leydig, yang mensekresi hormon testosteron sebagai respons terhadap LH. Sperma yang terbentuk akan dialirkan melalui saluran intratestikuler dan saluran genital eksekresi seperti epididimis dan vas deferens, tempat penyimpanan dan pematangan lebih lanjut.

Kelenjar aksesori terdiri dari vesikula seminalis, kelenjar prostat, dan kelenjar bulbourethral, yang semuanya berkontribusi terhadap pembentukan cairan semen. Penis sebagai organ kopulasi memiliki struktur histologis khas dengan jaringan erektil dan lapisan mukosa.

BAB 7

HISTOLOGI SISTEM REPRODUKSI WANITA

Pendahuluan

Sistem reproduksi wanita adalah sistem yang kompleks dan terdiri dari berbagai organ yang bekerja sama untuk memungkinkan terjadinya reproduksi. Organ utama dalam sistem ini meliputi ovarium (sepasang kelenjar penghasil sel telur atau oosit), saluran telur (tuba falopi) yang menghubungkan ovarium dengan rahim, rahim (tempat terjadinya implantasi dan perkembangan janin), vagina (saluran kelahiran dan tempat hubungan seksual), dan alat kelamin luar. Fungsi utama sistem reproduksi wanita adalah untuk menghasilkan gamet betina (oosit), menyediakan lingkungan untuk pembuahan oleh sperma, dan menampung serta mengembangkan embrio selama kehamilan.

Seperti pada pria, ovarium pada wanita juga berfungsi untuk menghasilkan hormon seks, seperti estrogen dan progesteron, yang mengatur siklus menstruasi serta mempengaruhi organ tubuh lainnya. Siklus reproduksi wanita dipengaruhi oleh perubahan hormonal yang terjadwal, dimulai dengan menarche dan berakhir pada menopause. Selama periode pascamenopause, organ reproduksi wanita mengalami involusi, atau penyusutan bertahap. Kelenjar susu, meskipun tidak merupakan bagian dari sistem reproduksi genital, berperan dalam reproduksi karena fungsinya dalam menyusui, yang berhubungan langsung dengan perubahan hormon dalam tubuh wanita.

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan struktur histologis ovarium, termasuk perkembangan awal ovarium, jenis-jenis folikel, proses folikulogenesis, atresia folikel, ovulasi, dan pembentukan korpus luteum.
2. Menguraikan struktur dan fungsi histologis saluran tuba (tuba uterina) serta peranannya dalam proses fertilisasi dan transportasi oosit/embrio.
3. Menganalisis struktur histologis uterus, meliputi lapisan miometrium dan endometrium, serta perubahan siklik endometrium selama siklus menstruasi.
4. Menjelaskan karakteristik histologis serviks dan vagina, termasuk tipe epitel, perubahan selama siklus reproduksi, serta fungsi lendir serviks.
5. Mengidentifikasi struktur histologis genitalia eksterna wanita dan memahami hubungannya dengan fungsi reproduktif dan seksual.
6. Mengaitkan antara struktur histologis sistem reproduksi wanita dengan siklus hormon ovarium, serta dampaknya terhadap fisiologi reproduksi.
7. Menunjukkan pemahaman tentang gangguan histologis yang dapat terjadi pada sistem reproduksi wanita, seperti endometriosis, displasia serviks, dan atrofi vagina pascamenopause.

Uraian Materi

A. Ovarium dan Perkembangannya

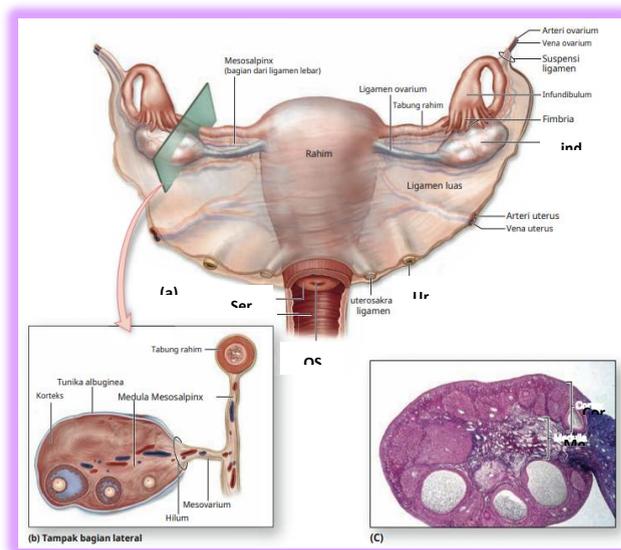
1. Ovarium

Ovarium adalah organ berbentuk almond dengan panjang sekitar 3 cm, lebar 1,5 cm, dan tebal 1

cm. Ovarium dilapisi oleh epitel kuboid sederhana (epitel permukaan atau germinal) yang terus berlanjut menjadi mesothelium. Di bawah epitel ini terdapat lapisan kapsul jaringan ikat padat yang disebut tunika albuginea, mirip dengan struktur pada testis. Ovarium terdiri dari dua bagian utama yaitu korteks dan medula

2. Perkembangan Awal Ovarium

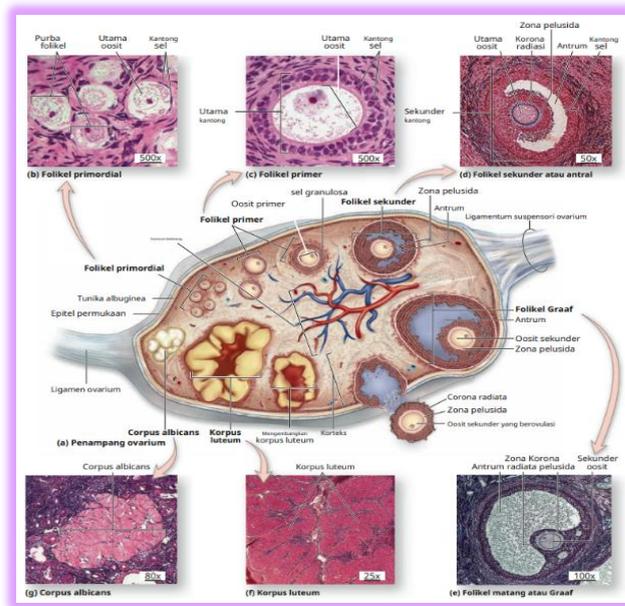
Pada bulan pertama kehidupan embrio, sel germinal primordial bermigrasi ke gonad dan berkembang menjadi oogonia, yang jumlahnya meningkat hingga lebih dari 7 juta pada bulan kelima. Mulai usia tiga bulan, oogonia memasuki profase meiosis pertama menjadi oosit primer dan membentuk folikel ovarium. Pada bulan ketujuh, sebagian besar telah berubah menjadi oosit primer, namun banyak mengalami atresia. Saat pubertas tersisa sekitar 300.000 oosit, dan selama masa reproduksi sekitar 450 oosit akan ovulasi, sisanya mengalami degenerasi.



Gambar 7.1 Sistem reproduksi wanita dan gambaran ovarium

3. Folikel Ovarium

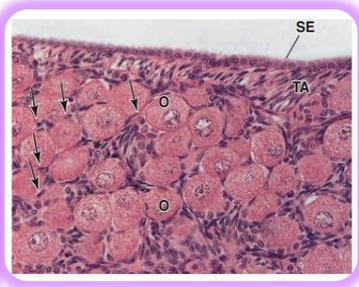
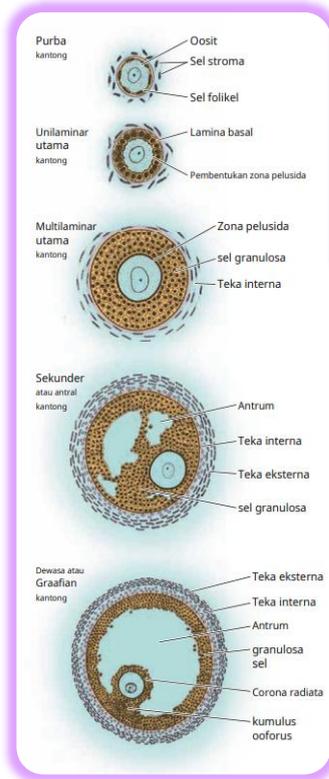
Folikel ovarium terdiri dari oosit yang dikelilingi oleh satu atau lebih lapisan sel epitel di dalam lamina basal. Folikel yang terbentuk selama kehidupan janin—folikel primordial—terdiri dari oosit primer yang diselimuti oleh satu lapisan sel folikel pipih (Gambar 7.2b; Gambar 7.3 dan 7.4). Folikel ini terdapat di korteks ovarium bagian superfisial. Oosit pada folikel primordial berbentuk bulat dan berdiameter sekitar 25 μm , dengan inti besar yang mengandung kromosom pada profase meiosis pertama.



Gambar 7.2 Perkembangan folikel dan perubahan di dalam ovarium

Ovarium menghasilkan oosit dan hormon seks. Diagram potongan ovarium (a) memperlihatkan tahapan pematangan folikel, ovulasi, serta pembentukan dan degenerasi korpus luteum, meski tahapan ini terjadi bergantian dalam siklus

ovarium. Folikel primordial diperbesar untuk penjelasan. Bagian histologis menunjukkan folikel primordial (b), primer (c), sekunder (d), vesikuler besar (e), korpus luteum setelah ovulasi (f), dan korpus albicans saat degenerasi (g).



Gambar 7.3 Tahapan folikel ovarium, dari primordial hingga matang (kiri)

Gambar 7.4 Folikel primordial (kanan)

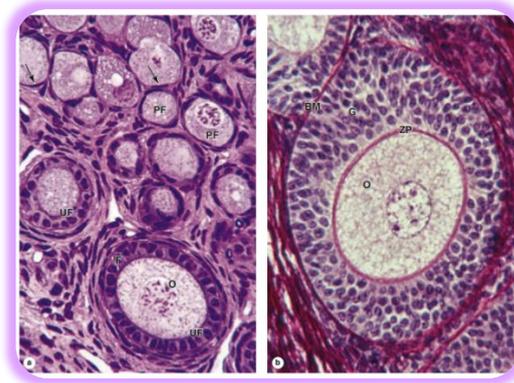
Daerah kortikal ovarium dilapisi epitel permukaan (SE) berbentuk kuboid, yang dulu disangka sumber oogonia sehingga disebut epitel germinal. Di bawahnya terdapat tunika albuginea (TA), lapisan jaringan ikat. Folikel primordial, terdiri dari oosit dikelilingi sel folikel datar, tersebar di stroma ovarium. Diagram potongan folikel

menunjukkan perubahan ukuran dan morfologi sel folikel dan teka di tiap tahap, dengan oosit besar berinti dan nukleolus menonjol di tengah folikel.

4. Pertumbuhan dan Perkembangan Folikel

Proses pertumbuhan folikel dimulai pada masa pubertas melalui pelepasan hormon FSH dari hipofisis. Setiap bulan, sekelompok kecil folikel primordial mulai berkembang, melibatkan pertumbuhan oosit, proliferasi sel folikel, dan diferensiasi fibroblas stroma di sekitarnya. Dengan pengaruh FSH, oosit tumbuh cepat pada tahap awal, mencapai ukuran sekitar 120 μm .

Sel folikel membentuk epitel kuboid (folikel primer unilaminar, lalu berkembang menjadi epitel berlapis (sel granulosa) dalam folikel primer multilaminar. Di antara oosit dan lapisan sel granulosa pertama terbentuk zona pelusida (5–10 μm), terdiri dari glikoprotein yang disekresikan oosit. ZP3 dan ZP4 berfungsi sebagai reseptor sperma dan mengaktifkan akrosom. Filopodia granulosa dan mikrovili oosit menembus zona pelusida untuk komunikasi sel melalui gap junction.

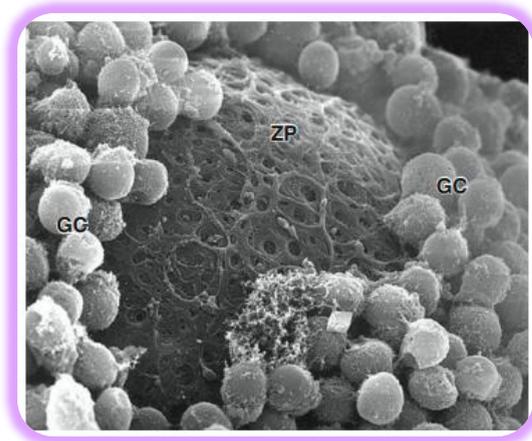


Gambar 7.5 Folikel primer: unilaminar dan multilaminar

Keterangan gambar 7.5:

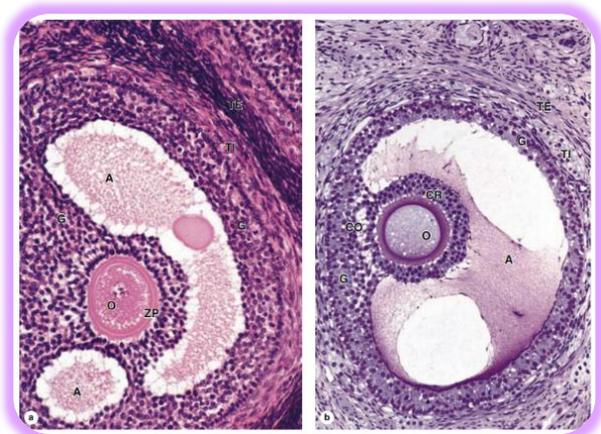
(a) Mikrograf korteks ovarium menunjukkan folikel primordial dengan sel folikel pipih dan folikel primer unilaminar yang memiliki satu lapisan sel kuboid di sekitar oosit primer besar.

(b) Mikrograf lain memperlihatkan folikel primer berlapis-lapis lebih besar dengan sel granulosa aktif yang berkembang biak, serta zona pelusida tebal antara sel granulosa dan oosit primer yang membesar.

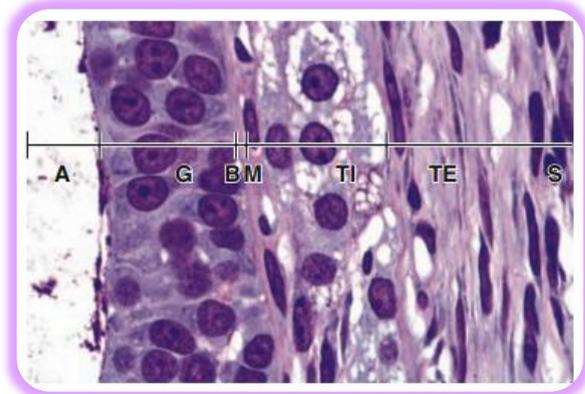


Gambar 7.6 Ultrastruktur folikel primer dan zona pelusida.

SEM folikel primer pecah menunjukkan oosit besar dikelilingi sel granulosa corona radiata dan zona pelusida, lapisan glikoprotein pengikat sperma. Saat folikel tumbuh ke korteks dalam, ruang kecil antar sel granulosa menyatu membentuk antrum, menandai folikel sekunder. Cairan antrum kaya GAG, faktor pertumbuhan, fibrinogen, dan steroid. Sel granulosa membentuk kumulus oophorus ke antrum, dengan corona radiata di sekitar zona pelusida yang keluar saat ovulasi. Pada folikel matang (Graaf), antrum membesar >2 cm dan tampak menonjol di permukaan ovarium.



Gambar 7.7 Folikel antral dan folikel matang

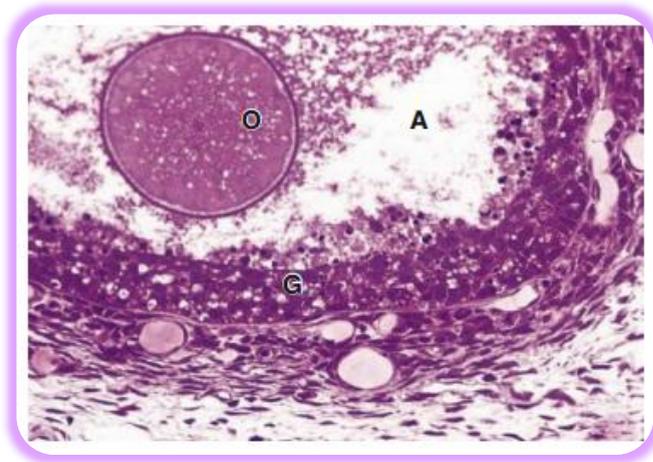


Gambar 7.8 Dinding folikel antral

5. Atresia Folikular

Kebanyakan folikel ovarium mengalami proses degeneratif yang disebut atresia, di mana sel-sel folikel dan oosit mati dan dibuang oleh sel-sel fagositik. Folikel pada setiap tahap perkembangan, termasuk folikel yang hampir matang, dapat mengalami atresia (Gambar 7.9). Atresia melibatkan apoptosis dan pelepasan sel granulosa, autolisis oosit, dan kolapsnya zona pelusida. Makrofag menyerang folikel yang

mengalami degenerasi dan memfagosit bahan apoptosis serta sisa-sisa lainnya.



Gambar 7.9 Atresia

Atresia adalah degenerasi folikel yang dapat terjadi di setiap tahap perkembangan, ditandai oleh apoptosis sel granulosa (G), autolisis oosit, dan pembersihan sisa sel oleh makrofag. Dalam folikel dengan antrum besar, tampak badan apoptosis dalam antrum (A) dan oosit degeneratif (O) tanpa corona radiata (Gambar 7.11).

Perkembangan folikel dikendalikan oleh FSH dari hipofisis anterior, yang distimulasi oleh GnRH dari hipotalamus. Estrogen, progesteron, dan inhibin memberi umpan balik negatif ke hipotalamus dan hipofisis. Menjelang ovulasi, lonjakan estrogen justru meningkatkan pelepasan GnRH, memicu lonjakan LH.

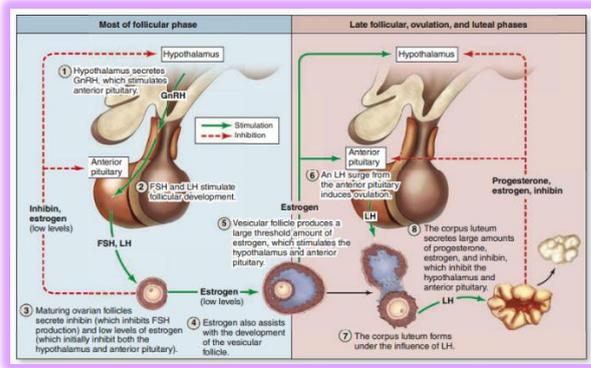
B. Proses Ovulasi dan Regulasi Hormonal

1. Ovulasi dan Regulasi Hormonalnya

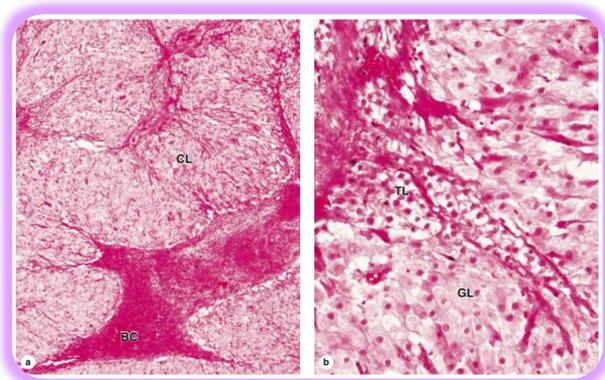
Ovulasi adalah proses pelepasan oosit dari ovarium yang dipicu hormon dan biasanya terjadi sekitar hari ke-14 dari siklus menstruasi 28 hari. Beberapa jam sebelum ovulasi, folikel dominan matang membentuk area iskemik berwarna pucat pada tunika albuginea, disebut kepala putik, tempat jaringan memadat akibat berkurangnya aliran darah. Umumnya hanya satu oosit dilepaskan per siklus, namun bisa juga tidak ada atau lebih dari satu.

Menjelang ovulasi, oosit menyelesaikan meiosis I, membentuk oosit sekunder dan badan polar pertama yang kecil dan tidak bertahan lama. Oosit sekunder lalu memulai meiosis II, namun berhenti di metafase dan hanya akan dilanjutkan jika terjadi pembuahan.

Folikel praovulasi menunjukkan antrum tunggal (A) besar berisi cairan folikel, dengan lapisan protein tipis akibat fiksasi. Oosit (O) menonjol ke dalam rongga cairan, dikelilingi corona radiata (CR). Corona dan oosit melekat pada sisi folikel dalam massa sel granulosa yang disebut kumulus ooforus (CO), terhubung dengan lapisan granulosa (G). Seluruh folikel dikelilingi oleh theca interna (TI) dan externa (TE).



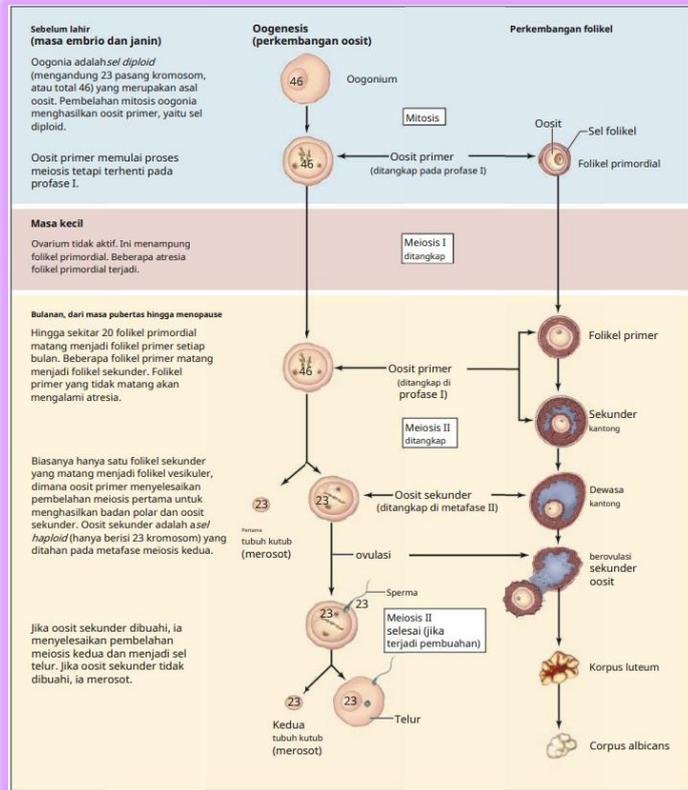
Gambar 7.10 Regulasi Hormonal Fungsi Ovarium



Gambar 7.11 Korpus Luteum

2. Oogenesis

Oogenesis adalah proses pembentukan oosit yang dimulai saat fase embrionik, di mana sel germinal primordial berkembang menjadi oogonia lalu oosit primer yang memasuki profase I meiosis dan berhenti di diploten, dorman dalam folikel primordial sampai pubertas. Saat pubertas, folikel primordial aktif berkembang di bawah pengaruh hormon FSH, biasanya hanya satu folikel dominan menyelesaikan meiosis I menghasilkan oosit sekunder dan badan polar pertama. Oosit sekunder memulai meiosis II, berhenti di metafase II, dan menyelesaikannya hanya jika terjadi pembuahan.



Gambar 7.12 Oogenesis

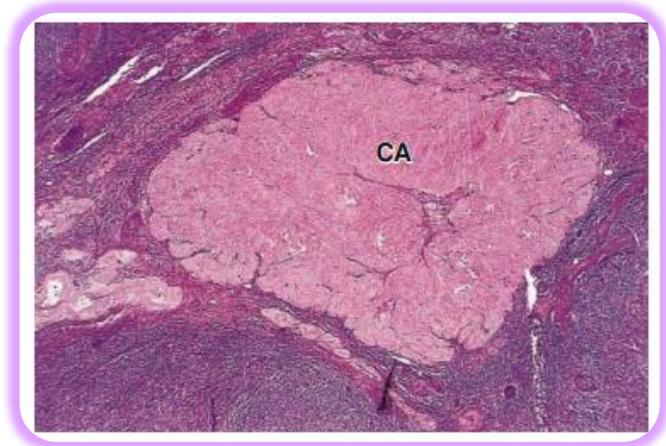
3. Peran Sel Granulosa dan Teka

Setelah ovulasi, sel granulosa membesar (20–35 μm) tanpa membelah, membentuk 80% korpus luteum dan disebut sel granulosa lutein, yang meningkatkan aktivitas aromatase untuk mengubah androstenedion menjadi estradiol. Sel teka interna berdiferensiasi menjadi sel teka lutein yang lebih kecil dan berkumpul di lipatan dinding korpus luteum. Di bawah pengaruh LH, kedua jenis sel ini mensekresikan progesteron dan androstenedion untuk mendukung fase luteal siklus menstruasi.

C. Saluran Reproduksi Wanita

1. Tuba Uterina (Saluran Telur / Oviduk)

Tuba uterina adalah saluran berpasangan yang menghubungkan ovarium dengan rahim, masing-masing sekitar 10–12 cm panjangnya dan tersuspensi oleh ligamen mesosalpinx yang memungkinkan mobilitas.



Gambar 7.13 Corpus Albicans

Corpus albicans (CA) adalah bekas luka jaringan ikat di lokasi corpus luteum setelah involusi, terdiri terutama dari kolagen dengan sedikit fibroblas, yang perlahan mengecil dan menghilang dalam stroma ovarium. Berbeda dengan atresia folikel, involusi corpus luteum melibatkan resorpsi sel lutein bertahap yang digantikan jaringan ikat, bukan degenerasi sel masif.

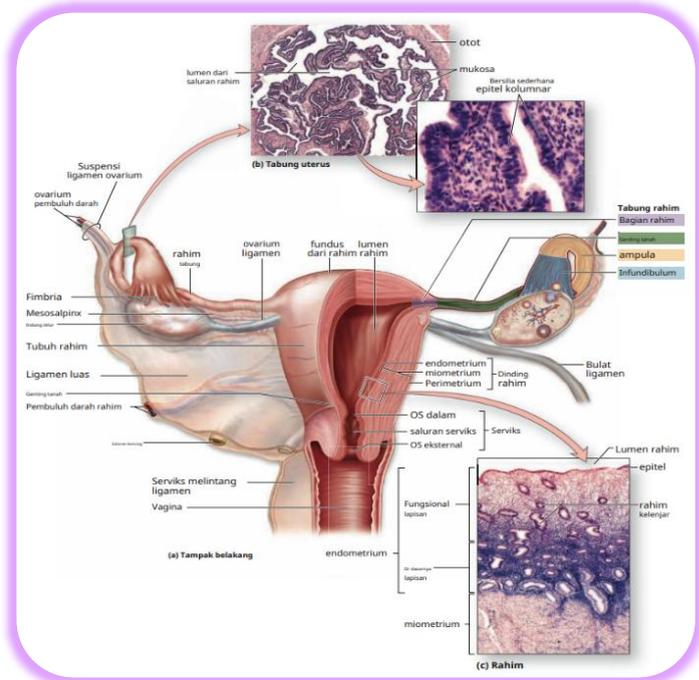
2. Fertilisasi (Pembuahan)

Fertilisasi adalah penyatuan gamet jantan dan betina yang terjadi di ampulla tuba uterina, hanya dapat dijangkau oleh sperma yang telah mengalami kapasitasi.

D. Uterus dan Siklus Menstruasi

1. Uterus atau Rahim

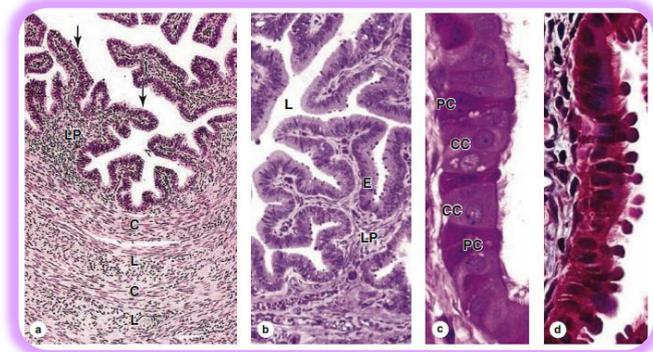
Rahim adalah organ berbentuk buah pir dengan dinding berotot dan tebal, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.14.



Gambar 7.14 Saluran Rahim dan Rahim

Saluran tuba berpasangan berfungsi menangkap oosit sekunder yang berovulasi, memberi nutrisi, menyediakan lingkungan pembuahan, dan mengangkut embrio ke rahim. Rahim terdiri dari corpus yang dimasuki tuba uterina kiri dan kanan, fundus di bagian atas, isthmus yang menyempit, dan serviks dengan kanal serviks yang memiliki bukaan os interna ke rahim dan os eksterna ke vagina. Dinding rahim didukung ligamen dan mesenterium, serta tersusun atas

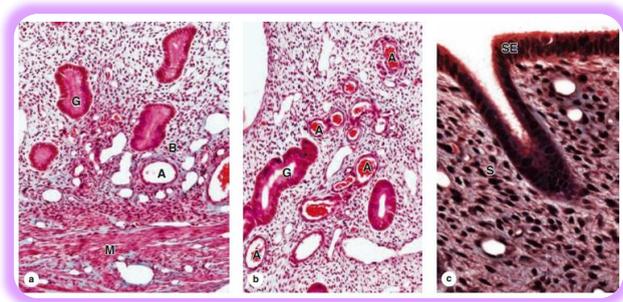
tiga lapisan utama: perimetrium, miometrium (otot polos tebal dan vaskular), dan endometrium. Ketiga lapisan ini berlanjut ke saluran tuba, dengan endometrium mengalami perubahan siklik yang dipengaruhi hormon ovarium lebih signifikan daripada mukosa tuba uterina.



Gambar 7.15 Mukosa Dinding Tuba Uterina

2. Miometrium

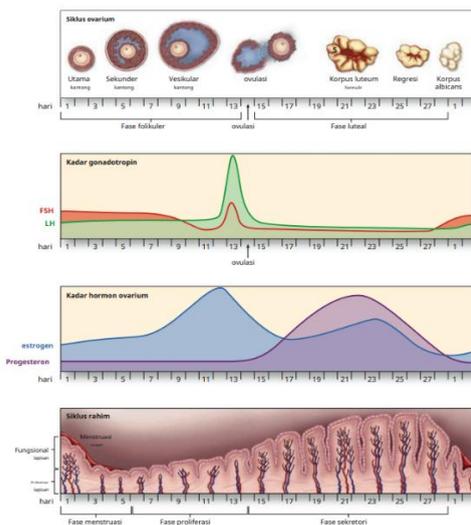
Miometrium adalah lapisan uterus tertebal, terdiri dari otot polos yang saling terjalin dan dipisahkan oleh jaringan ikat dengan pleksus vena dan limfatik. Selama kehamilan, miometrium mengalami hiperplasia, hipertrofi, dan peningkatan kolagen untuk memperkuat rahim, lalu berkontraksi saat persalinan. Setelahnya, otot menyusut dan mengalami apoptosis, mengembalikan ukuran rahim ke semula. Endometrium terdiri dari jaringan ikat dengan kolagen tipe III, fibroblas, dan substansi dasar, serta epitel kolumnar sederhana yang melapisi kelenjar tubular.



Gambar 7.16 Rahim

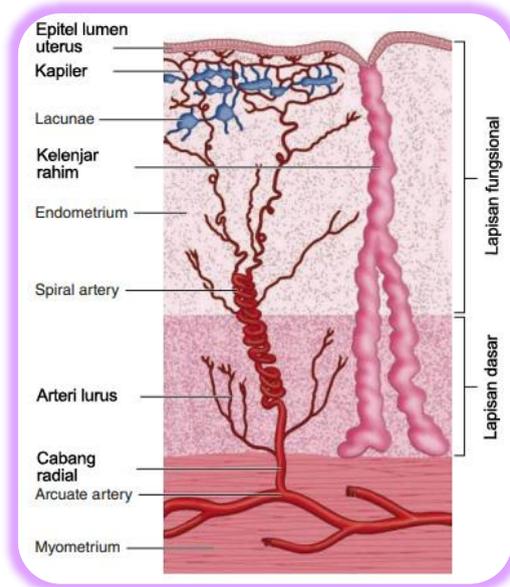
3. Siklus Menstruasi

Seluruh sistem reproduksi wanita, termasuk estrogen dan progesteron, mengontrol pertumbuhan dan diferensiasi sel epitel serta jaringan ikat terkait. Bahkan sebelum kelahiran, sel-sel ini dipengaruhi oleh sirkulasi estrogen dan progesteron ibu yang mencapai janin melalui plasenta. Setelah menopause, berkurangnya sintesis hormon-hormon ini menyebabkan involusi jaringan pada saluran reproduksi.



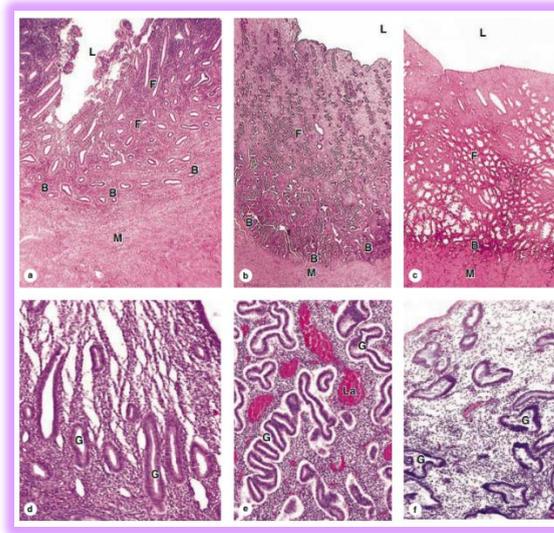
Gambar 7.17 Korelasi Siklus Ovarium dan Menstruasi dengan Kadar Hormon Pengontrolnya

Perkembangan siklik folikel ovarium dan korpus luteum, dikendalikan oleh FSH dan LH, menyebabkan fluktuasi estrogen dan progesteron. Estrogen memicu fase proliferasi uterus dengan puncak saat ovulasi. Setelah ovulasi, korpus luteum menghasilkan progesteron dan estrogen untuk mendukung pertumbuhan endometrium.



Gambar 7.18 Suplai Arteri ke Endometrium

Lapisan basal dan fungsional endometrium mendapat suplai darah dari arteri lurus dan arteri spiral, yang tumbuh saat lapisan fungsional menebal. Jika tidak terjadi kehamilan, penurunan progesteron menyebabkan penyempitan arteri spiral, iskemia, dan pengelupasan lapisan fungsional saat menstruasi. Refluks menstruasi dapat menyebabkan endometriosis, yang menimbulkan nyeri dan kemandulan. Siklus menstruasi (rata-rata 28 hari) meliputi menstruasi, fase proliferasi dengan penebalan endometrium, dan fase sekretori setelah ovulasi yang dipicu progesteron, mempersiapkan endometrium untuk implantasi embrio.



Gambar 7.19 Fase proliferasi, sekretori, dan pramenstruasi di dalam rahim.

E. Bagian Akhir Saluran Reproduksi

1. Serviks

Serviks adalah bagian bawah rahim berbentuk silinder yang secara histologis berbeda dari bagian rahim lainnya. Mukosa endoserviks dilapisi epitel kolumnar sederhana di atas lamina propria tebal dengan kelenjar mukus bercabang. Tidak memiliki arteri spiralis, ketebalannya konstan (2–3 mm), dan tidak mengalami perdarahan menstruasi. Eksoserviks di sekitar ostium eksterna dilapisi epitel skuamosa tak berkeratin, bertemu dengan epitel kolumnar di zona transformasi, area yang rentan neoplasia karena paparan lingkungan vagina.

Lendir serviks berubah sesuai hormon: encer saat ovulasi (mempermudah sperma), kental saat fase luteal (menghambat sperma), dan sangat kental saat hamil, membentuk sumbatan mukus (Gambar 7.21b). Dinding serviks dominan

jaringan ikat padat dan sedikit otot polos (Gambar 7.23), menjadikannya kaku untuk menopang janin. Menjelang persalinan, jaringan ikat mengalami remodeling dan pengurangan kolagen sehingga serviks melunak dan melebar.

2. Vagina

Dinding vagina terdiri dari mukosa, otot, dan adventitia tanpa kelenjar (Gambar 7.24). Epitel skuamosa berlapis setebal 150–200 μm menghasilkan glikogen di bawah pengaruh estrogen; glikogen ini diubah bakteri menjadi asam laktat, menurunkan pH dan melindungi dari patogen. Lamina propria kaya serat elastis, papila, serta limfosit dan neutrofil. Lendir vagina berasal dari kelenjar serviks dan Bartholin, terutama saat gairah seksual. Lapisan otot terdiri dari otot polos sirkular dan longitudinal, sedangkan adventitia berisi serat elastis, pleksus vena, limfatik, dan saraf.

Vaginitis atrofi terjadi pascamenopause karena penurunan estrogen, menyebabkan epitel menipis dan meningkatkan risiko infeksi. Karsinoma sel skuamosa primer jarang terjadi di vagina; kebanyakan kanker berasal dari serviks atau vulva.

Soal Latihan

Latihan Soal Esai – BAB VII: Histologi Sistem Reproduksi Wanita

1. Jelaskan proses perkembangan folikel ovarium dari folikel primordial hingga menjadi folikel de Graaf, serta peran hormonal yang terlibat!
2. Uraikan struktur histologis tuba uterina dan jelaskan bagaimana adaptasi morfologi ini berperan dalam proses fertilisasi dan transportasi embrio!

3. Jelaskan tiga fase utama dalam siklus menstruasi dan perubahan histologis yang terjadi pada endometrium selama masing-masing fase!
4. Deskripsikan struktur histologis serviks, termasuk zona transformasi, dan kaitkan dengan pentingnya pemeriksaan sitologi serviks (Pap smear).
5. Bandingkan struktur histologis vagina dan uterus, serta jelaskan bagaimana struktur ini disesuaikan dengan fungsi masing-masing organ.
6. Apa perbedaan utama antara lapisan miometrium dan endometrium pada uterus? Jelaskan perubahan yang terjadi pada kedua lapisan ini selama siklus menstruasi dan kehamilan.
7. Jelaskan fungsi fisiologis dan histologis dari klitoris dan labia minora dalam sistem reproduksi wanita.

Rangkuman

Bab ini membahas struktur dan fungsi histologis organ-organ reproduksi wanita, yang meliputi ovarium, tuba uterina, uterus, serviks, vagina, dan genitalia eksterna. Ovarium berperan dalam oogenesis dan produksi hormon, terdiri dari korteks dan medula, serta mengalami siklus folikular dan luteal. Folikel ovarium berkembang melalui tahapan primordial hingga de Graaf, dengan kemungkinan mengalami atresia jika tidak matang sempurna. Ovulasi dan pembentukan korpus luteum dikendalikan oleh hormon gonadotropin.

Tuba uterina memiliki epitel silindris bersilia dan sel sekretorik yang mendukung transportasi dan fertilisasi oosit. Uterus terdiri dari miometrium (otot polos) dan endometrium (mukosa) yang mengalami perubahan siklik selama siklus menstruasi, mencakup fase menstruasi, proliferasi, dan sekresi. Serviks memiliki zona transformasi antara epitel kolumnar dan skuamosa, tempat umum terjadinya perubahan pra-kanker.

Vagina dilapisi epitel skuamosa berlapis tanpa kelenjar, namun dilumasi oleh mukus dari serviks dan kelenjar vestibular. Genitalia eksterna wanita (vulva) meliputi labia, klitoris, dan vestibula, dengan peran penting dalam fungsi seksual. Bab ini juga menyinggung peran hormon estrogen dan progesteron dalam mengatur siklus dan kondisi histologis tiap organ.

BAB 8

HISTOLOGI SISTEM ENDOKRIN

Pendahuluan

Sel-sel sekretorik kelenjar endokrin melepaskan hormon langsung ke kompartemen vaskular di dekatnya untuk diserap kapiler dan didistribusikan ke seluruh tubuh, berbeda dengan kelenjar eksokrin yang memiliki saluran sekretori (Gambar 8.1). Sel endokrin biasanya berbentuk epitel dan berkumpul dalam kelompok atau tali. Hormon dapat bekerja pada sel target yang jauh melalui sirkulasi, atau secara lokal melalui sekresi parakrin (misalnya gastrin dari sel pilorus G ke kelenjar fundus), juxtacrine (molekul sinyal pada permukaan sel yang berdekatan), dan autokrin (berdampak pada sel itu sendiri atau tipe yang sama, seperti IGF). Kelenjar endokrin juga berfungsi sebagai target hormon lain dalam mekanisme umpan balik untuk mengontrol sekresi hormon. Hormon hidrofilik (protein, peptida) bekerja melalui reseptor permukaan sel, sedangkan hormon steroid dan tiroid yang hidrofobik beredar dengan protein pembawa dan mengaktifkan reseptor sitoplasma

Capaian pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan struktur histologis kelenjar endokrin utama seperti hipofisis, tiroid, paratiroid, adrenal, pankreas, dan pineal, serta membedakan karakteristik jaringan penyusunnya.
2. Menjelaskan asal embrional dan hubungan anatomi kelenjar endokrin dengan sistem saraf dan vaskular sebagai bagian dari regulasi fungsinya.
3. Mendeskripsikan mekanisme sekresi hormon yang dilakukan oleh masing-masing kelenjar dan menjelaskan pengaturan hormonal melalui umpan balik (feedback) positif dan negatif.
4. Menjelaskan peran histologis dan fungsional dari sel-sel endokrin dalam homeostasis tubuh, termasuk regulasi metabolisme, pertumbuhan, reproduksi, dan ritme sirkadian.
5. Mengidentifikasi perubahan patologis terkait disfungsi kelenjar endokrin berdasarkan perubahan morfologi dan aktivitas sekretorik sel-sel endokrin.
6. Menganalisis hubungan antara struktur histologis dan fungsi hormon yang dihasilkan, serta implikasinya terhadap kesehatan manusia secara sistemik.

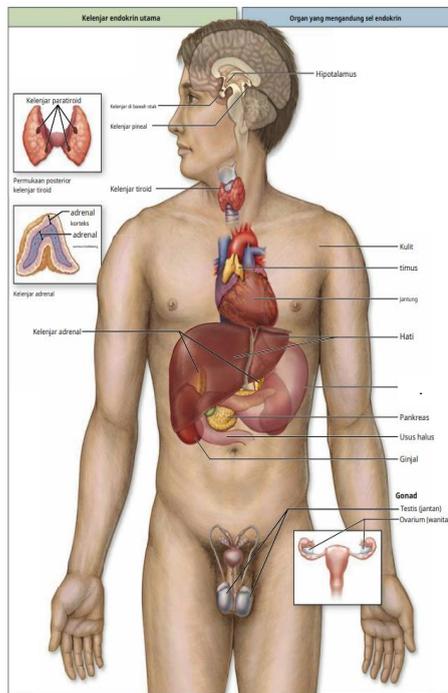
Uraian Materi

A. Kelenjar Hipofisis dan Regulasi Hormonal

1. Kelenjar Hipofisis (Hipofisis)

Kelenjar pituitari, atau hipofisis (dari bahasa Yunani "hipo", di bawah + "fisis", pertumbuhan), memiliki berat sekitar 0,5 g pada orang dewasa dan berukuran sekitar $10 \times 13 \times 6$ mm. Letaknya di bawah otak, di dalam rongga kecil pada tulang

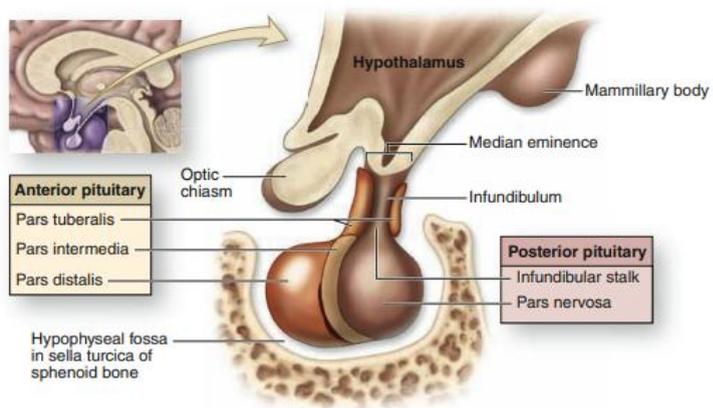
sphenoid, tepatnya di sella turcica (Gambar 8.2). Hipofisis terbentuk di dalam embrio, sebagian berasal dari otak yang sedang berkembang, dan sebagian lagi dari rongga mulut yang sedang berkembang. Komponen saraf berasal dari tunas neurohipofisis yang tumbuh turun dari dasar diencephalon masa depan sebagai tangkai (atau infundibulum) yang tetap melekat pada otak. Komponen oral berasal dari ektoderm yang keluar dari langit-langit mulut primitif dan tumbuh ke arah kranial, membentuk struktur yang disebut kantong hipofisis (Rathke).



Gambar 8.1 Lokasi Kelenjar Endokrin Utama

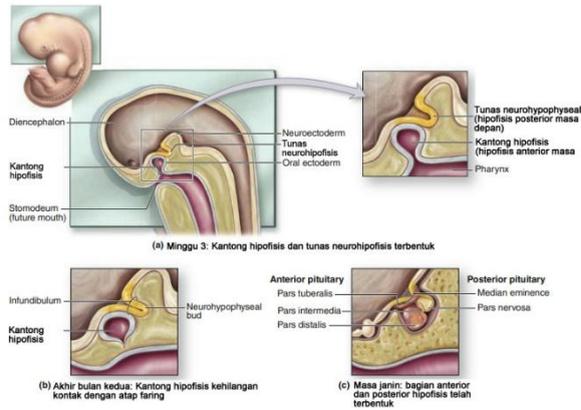
Selain kelenjar endokrin utama (kiri), sel endokrin juga tersebar di berbagai jaringan organ di seluruh tubuh, termasuk adiposit yang berfungsi endokrin penting dan jaringan dengan sinyal parakrin. Hipofisis berkembang dari kantong faring yang menyempit dan terpisah, dengan dinding anterior

yang menebal hingga lumen mengecil menjadi celah kecil. Hipofisis terdiri dari dua kelenjar berbeda secara fungsi dan asal: neurohipofisis posterior, yang menyerupai jaringan otak dengan pars nervosa dan tangkai infundibulum melekat pada hipotalamus, serta adenohipofisis anterior yang berasal dari ektoderm mulut dan terdiri dari pars distalis besar, pars tuberalis yang membungkus infundibulum, dan pars intermedia tipis di dekat pars nervosa.



Gambar 8.2 Kelenjar di Bawah Otak

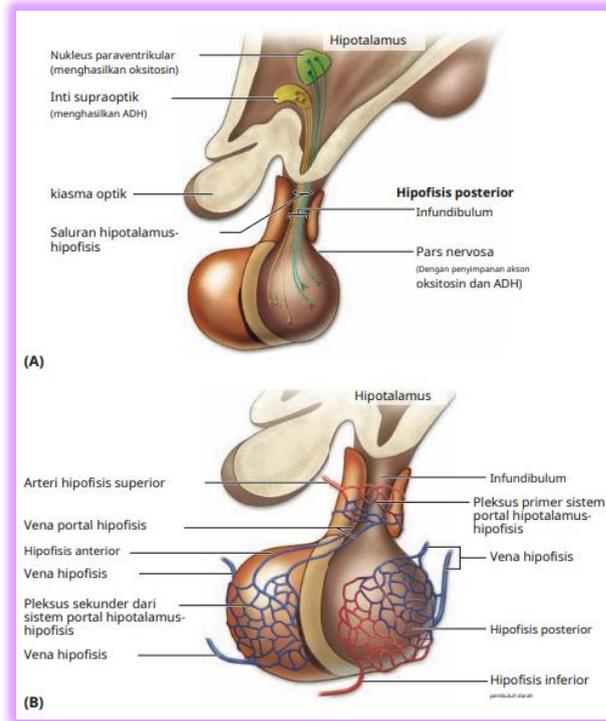
Kelenjar pituitari terdiri dari dua bagian: bagian anterior dan bagian posterior, yang keduanya melekat langsung ke daerah hipotalamus otak melalui tangkai infundibular. Kelenjar ini terletak di fossa tulang sphenoid, yang dikenal dengan sebutan sella tursika.



Gambar 8.3 Pembentukan kelenjar pituitari

Kelenjar pituitari terbentuk dari dua struktur embrio terpisah: kantong hipofisis (Rathke) yang berasal dari atap faring dan menjadi hipofisis anterior, serta tunas neurohipofisis dari diencephalon yang menjadi hipofisis posterior. Pada akhir bulan kedua, kantong hipofisis terlepas dan menyatu dengan tunas neurohipofisis, lalu keduanya berkembang sempurna selama masa janin.

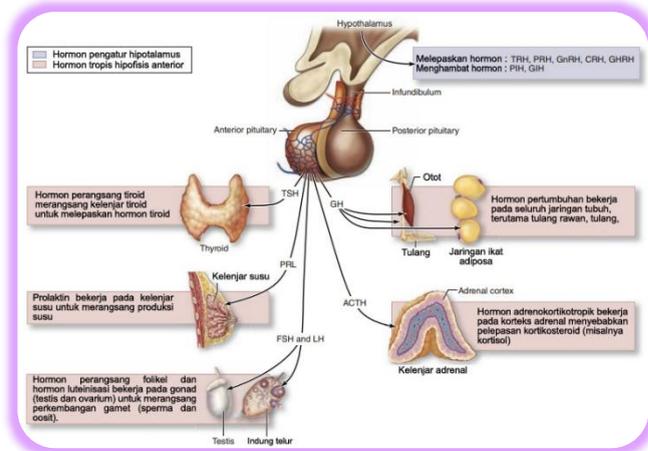
Koneksi saraf dan suplai darah antara pituitari dan otak sangat penting. Pituitari terhubung erat dengan hipotalamus melalui sistem portal vaskular yang mengantar peptida pengatur ke adenohipofisis, dan akson-akson yang menghubungkan hipotalamus dengan neurohipofisis. Hormon ADH dan oksitosin disintesis di inti supraoptik dan paraventricular hipotalamus, kemudian diangkut lewat akson dan dilepaskan ke kapiler dari arteri inferior.



Gambar 8.4 Saluran Hipotalamus-Hipofisis dan Sistem Portal

Sistem Portal Hipotalamus-Hipofisis mengalirkan darah dari arteri hipofisis superior melalui dua jaringan kapiler yang dihubungkan vena portal: pleksus kapiler pertama di sekitar infundibulum dan eminensia median, serta pleksus kedua di pars distalis adenohipofisis.

Suplai darah pituitari berasal dari arteri karotis interna, dengan arteri hipofisis superior mensuplai eminensia median dan infundibulum, serta arteri hipofisis inferior mensuplai neurohipofisis. Sistem portal ini membawa neuropeptida dari median eminensia ke adenohipofisis untuk mengatur pelepasan hormon endokrin.



Gambar 8.5 Hormon Pars Distalis dan Targetnya

Hipofisis anterior mengeluarkan enam hormon tropik utama yang diatur oleh faktor hipotalamus melalui darah hipotalamus-hipofisis. Adenohipofisis terdiri dari tiga bagian embrionik, dengan pars distalis sebagai bagian terbesar (75%), yang mengandung untaian sel endokrin, kapiler berfenestrasi, dan jaringan ikat.

Sebagian besar sel adalah somatotrof, sedangkan tirotrof paling sedikit. Pars tuberalis mengelilingi infundibulum dan didominasi sel gonadotrof. Pars intermedia mengandung sel kortikotrof yang memproduksi POMC, yang dipecah menjadi ACTH, MSH, γ -LPH, dan β -endorfin.

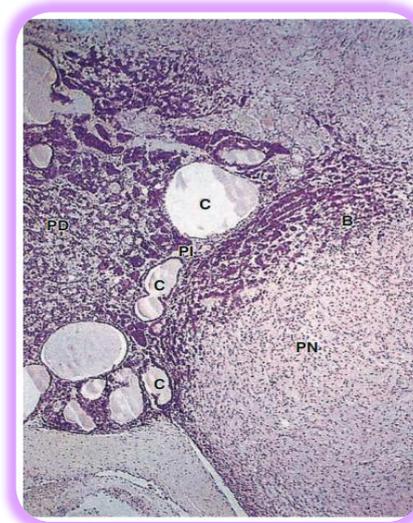
2. Kontrol Sekresi Hormon di Hipofisis Anterior

Aktivitas hipofisis anterior dikendalikan oleh hormon hipotalamus yang dilepaskan di eminensia median dan dibawa melalui sistem portal ke hipofisis anterior untuk merangsang atau menghambat sekresi hormon. Sebagian besar hormon hipotalamus bersifat merangsang, namun ada juga yang menghambat, dengan regulasi tambahan melalui umpan balik negatif dari hormon organ target, seperti pada sistem

tiroid. Faktor eksternal seperti ghrelin dan oksitosin juga memengaruhi sekresi hormon. Adenoma hipofisis jinak dapat menyebabkan kelebihan hormon, misalnya adenoma sel somatotropik yang memicu gigantisme atau akromegali.

3. Pars Intermedia

Pars intermedia (PI) adalah wilayah sempit yang terletak di antara pars distalis (PD) dan pars nervosa (PN), di mana banyak sel basofil (B) sering tampak menyerang pars nervosa. Sisa lumen dari kantong hipofisis embrionik biasanya tetap berada di wilayah ini dalam bentuk kista berisi koloid (C) dengan ukuran yang bervariasi.

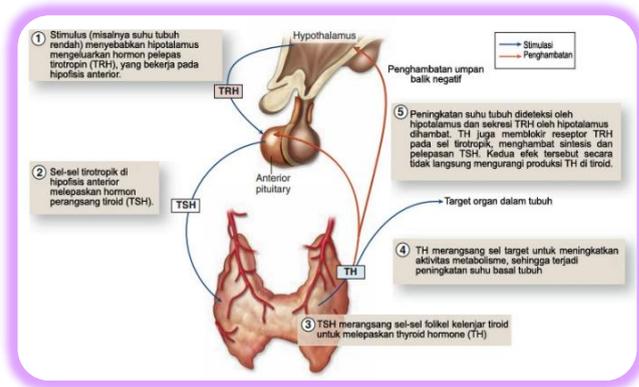


Gambar 8.6 Pars intermedia

4. Neurohipofisis (Hipofisis Posterior)

Neurohipofisis, terdiri dari pars nervosa dan tangkai infundibular, tidak mensintesis hormon, tetapi berisi sekitar 100.000 akson besar tak

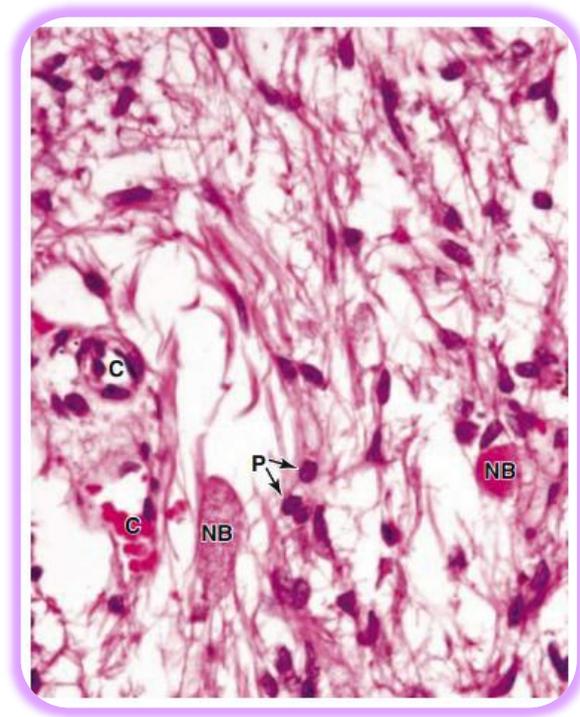
bermielin dari neuron di inti supraoptik dan paraventrikular hipotalamus. Selain itu, terdapat pituisit, sel glial bercabang mirip astrosit, sebagai sel dominan. Neuron-neuron ini menghasilkan hormon ADH (vasopresin) dan oksitosin, yang diangkut melalui akson ke pars nervosa dan disimpan dalam badan Herring, tampak sebagai struktur eosinofilik samar.



Gambar 8.7 Putaran umpan balik negatif mempengaruhi sekresi hipofisis anterior

Regulasi kelenjar tiroid melibatkan hubungan antara hipotalamus, hipofisis anterior, dan organ target: hipotalamus menghasilkan TRH yang merangsang pars distalis hipofisis anterior untuk mengeluarkan TSH, yang kemudian merangsang tiroid memproduksi hormon tiroid (TH). Hormon ini memberikan umpan balik negatif terhadap TRH dan TSH. Hormon-neurofisik disintesis sebagai satu rantai protein, lalu dibelah menjadi hormon peptida dan protein pengikat. Impuls saraf memicu pelepasan hormon dari badan neurosekretori di pars nervosa ke kapiler berfenestrasi dan masuk ke sirkulasi. Akson dari inti supraoptik dan paraventrikular menyatu di neurohipofisis; masing-masing terutama menghasilkan ADH dan oksitosin. ADH

dilepaskan ketika tonisitas darah meningkat, dideteksi oleh osmoreseptor hipotalamus.



Gambar 8.8 Pars nervosa: badan neurosekretori dan pituisit

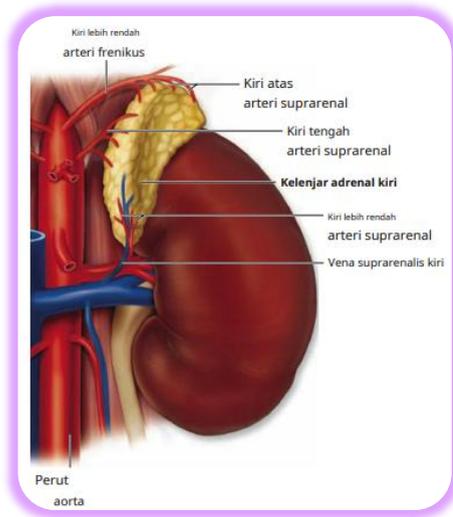
Pars nervosa hipofisis posterior terdiri dari akson tak bermielin dari hipotalamus dan disokong oleh pituicytes (P), sel glia terbanyak di area ini. Akson ini membentuk badan Herring (NB), tempat pelepasan oksitosin dan vasopresin (ADH), yang masuk ke kapiler berfenestrasi (C) untuk diedarkan ke tubuh.

B. Kelenjar Adrenal dan Fungsinya

1. Kelenjar Adrenal

Kelenjar adrenal (atau suprarenal) adalah organ berpasangan yang terletak di atas kutub superior ginjal, tertanam dalam jaringan adiposa dan fasia, seperti terlihat pada Gambar 8.1 dan 8.9. Bentuknya pipih setengah bulan, berukuran sekitar 4–6 cm panjang, 1–2 cm lebar, dan 4–6 mm tebal, dengan berat total sekitar 8 gram, meskipun dapat bervariasi.

Gambar 8.9 menunjukkan tampak anterior kelenjar adrenal kiri dan ginjal serta pembuluh darah utama yang menyuplai organ ini.



Gambar 8.9 Lokasi dan Suplai Darah Kelenjar Adrenal

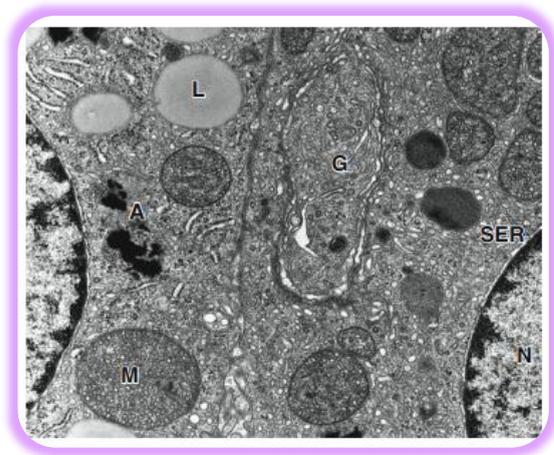
Korteks dan medula adrenal berasal dari embriion yang berbeda—korteks dari mesoderm dan medula dari puncak saraf—namun menyatu selama perkembangan dan memiliki fungsi serta struktur yang berbeda. Keduanya terdiri atas tali sel di sepanjang kapiler lebar, khas kelenjar endokrin. Kelenjar adrenal tidak memiliki hilus; arteri suprarenalis superior, media, dan inferior menembus kapsul dan membentuk pleksus arteri subkapsular (Gambar 8.9). Dari pleksus ini,

arteriol menuju korteks dan medula bercabang menjadi kapiler serta sinusoid berfenestrasi. Medula menerima suplai darah ganda: langsung dari arteriol meduler dan dari kapiler kortikal yang kaya hormon steroid. Darah keluar melalui vena suprarenalis (Gambar 8.9).

2. Korteks Adrenal

Sel-sel pada korteks adrenal memiliki karakteristik khas sel penghasil hormon steroid. Sitoplasma mereka bersifat asidofilik, mengandung banyak tetesan lipid, dan memiliki inti sentral. Secara ultrastruktural, sitoplasma sel ini mengandung retikulum endoplasma halus (SER) yang sangat berkembang, berbentuk tubulus saling berhubungan yang mengandung enzim untuk sintesis kolesterol dan konversi pregnenolon (steroid prohormon) menjadi berbagai hormon steroid aktif.

Mitokondria dalam sel korteks adrenal juga khas—sering berbentuk bulat, dengan krista tubular (bukan seperti rak, seperti yang umum pada sel lain). Mitokondria ini tidak hanya berperan dalam sintesis ATP, tetapi juga mengandung enzim penting untuk mengubah kolesterol menjadi pregnenolon, serta berperan dalam tahap-tahap lanjutan sintesis hormon steroid. Dengan demikian, fungsi endokrin korteks adrenal sangat bergantung pada kerja sama erat antara SER dan mitokondria.

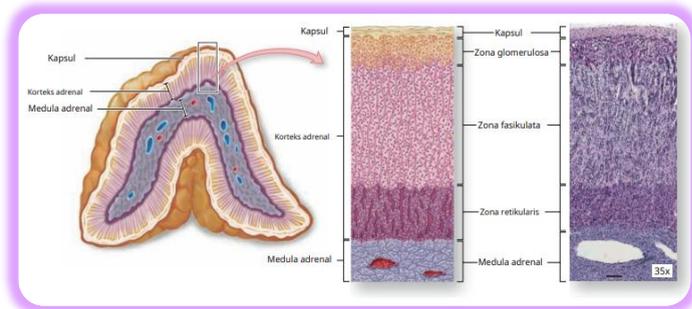


Gambar 8.10 Ultrastruktur Adrenalisit Kortikal

Gambar TEM dari dua adrenalisit di zona fasikulata menunjukkan ciri khas sel penghasil hormon steroid, seperti tetesan lipid (L) berisi ester kolesterol, mitokondria (M) dengan krista tubular untuk sintesis pregnenolon, serta retikulum endoplasma halus (SER) tempat reaksi enzimatik sintesis steroid berlangsung. Tampak juga autofagosom (A) untuk degradasi organel saat sel tidak aktif.

Struktur lain yang terlihat meliputi inti eukromatik (N), aparatus Golgi (G), RER, dan lisosom. Hormon steroid, tidak seperti hormon peptida, tidak disimpan dalam vesikula, melainkan berdifusi langsung keluar sel setelah disintesis karena sifatnya yang lipofilik.

Korteks adrenal terdiri dari tiga zona epitelial konsentris dengan morfologi dan fungsi biosintetik berbeda, masing-masing memproduksi kelas hormon steroid yang berbeda.



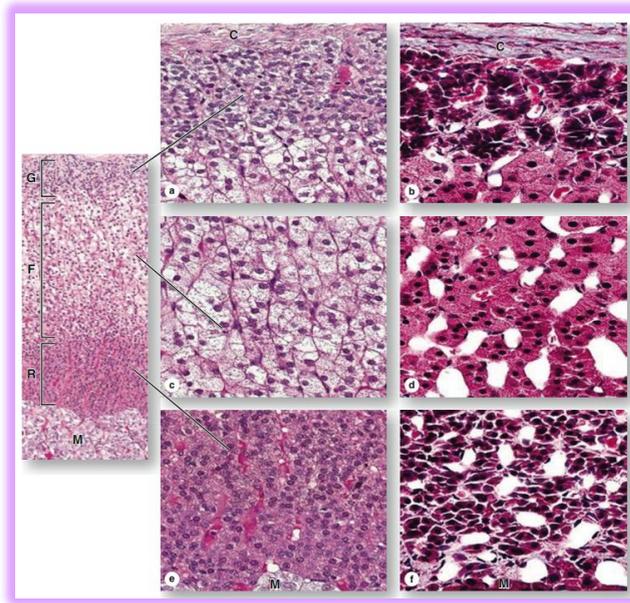
Gambar 8.11 Kelenjar Adrenal

Setiap kelenjar adrenal diselubungi kapsul yang membungkus korteks adrenal (asal mesodermal) dan medula adrenal (asal sel puncak saraf). Keduanya memiliki vaskularisasi baik melalui kapiler sinusoidal berfenestrasi. Korteks terdiri dari tiga lapisan, zona glomerulosa, zona fasciculata, dan zona reticularis

3. Medula Adrenal

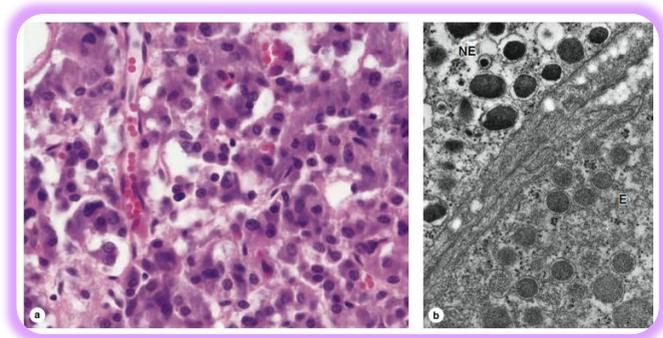
Medula adrenal tersusun dari sel polihedral besar pucat yang membentuk tali atau kelompok, didukung jaringan retikuler, kapiler sinusoidal, dan sel ganglion parasimpatis (Gambar 8.13). Sel utama, yaitu sel kromafin, berasal dari puncak saraf dan merupakan neuron simpatis postganglionik termodifikasi yang berfungsi sebagai sel sekretorik. Sel kromafin menyimpan dan mengeluarkan katekolamin (epinefrin dan norepinefrin) dalam butiran padat elektron—dengan sel epinefrin memiliki butiran lebih kecil dan kurang padat dibanding sel norepinefrin (Gambar 8.13). Katekolamin disimpan sebagai kompleks dengan kromogranin, Ca^{2+} , dan ATP, dan sekitar 80% yang disekresikan adalah epinefrin. Dipersarafi neuron simpatis preganglionik, sel kromafin merespons stres dengan pelepasan katekolamin, menghasilkan respons "fight-or-flight". Epinefrin meningkatkan

denyut jantung dan melebarkan bronkiolus, sedangkan norepinefrin menyempitkan pembuluh darah di kulit dan saluran cerna.



Gambar 8.12 Korteks Adrenal

Sel-sel penyekresi steroid di korteks adrenal tersusun dalam tiga lapisan konsentris yang jelas berbeda: zona glomerulosa (G), zona fasciculata (F), dan zona reticularis (R), yang mengelilingi medula (M). Seperti semua kelenjar endokrin, ketiga lapisan korteks adrenal memiliki jaringan mikrovaskular yang kaya. Gambar ini menunjukkan bagian dari dua kelenjar adrenal yang diwarnai dengan H&E (kiri) dan trikrom Mallory (kanan), di mana serat kolagen tampak berwarna biru.



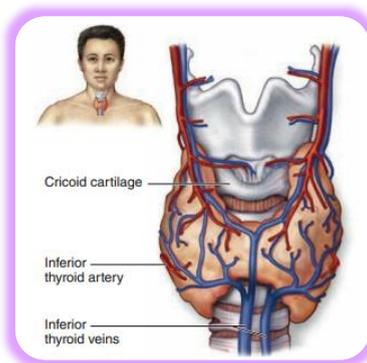
Gambar 8.13 Medula Adrenal

Sel-sel penyekresi hormon pada medula adrenal disebut sel kromafin, yang memiliki kemiripan dengan neuron simpatis.

C. Kelenjar Tiroid dan Perannya

1. Kelenjar Tiroid

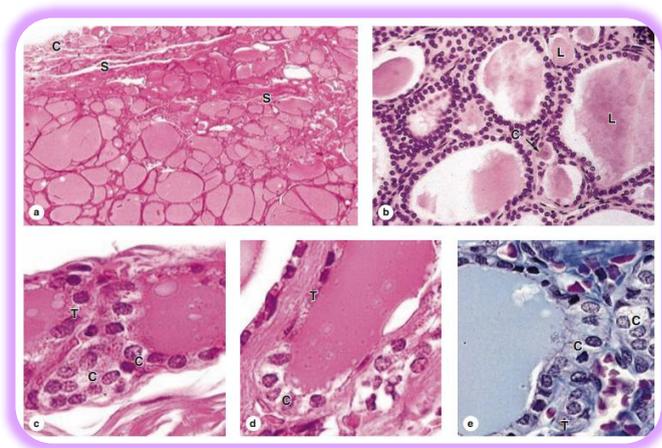
Kelenjar tiroid terletak di anterior dan inferior laring, dan terdiri dari dua lobus yang disatukan oleh tanah genting (Gambar 8.15). Kelenjar ini berasal dari endoderm usus depan dekat dasar lidah yang sedang berkembang. Kelenjar tiroid mensintesis hormon tiroid tiroksin (T₄) dan triiodothyronine (T₃), yang membantu mengontrol laju metabolisme basal dalam sel-sel tubuh, serta hormon polipeptida kalsitonin.



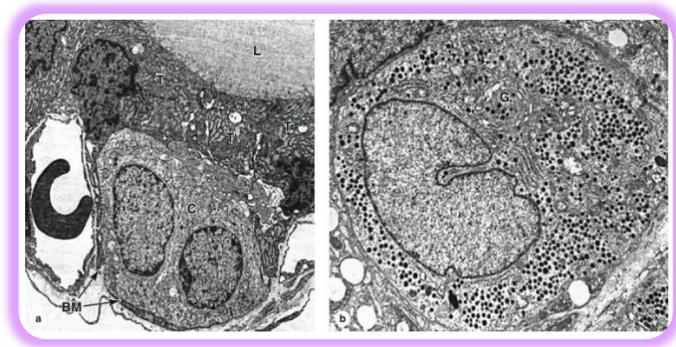
Gambar 8.15. Kelenjar Tiroid

Tiroid adalah kelenjar berbentuk kupu-kupu yang mengelilingi trakea di bawah laring. Parenkimnya terdiri dari jutaan folikel bulat berlapis epitel sederhana dengan lumen berisi koloid asidofilik yang menyimpan tiroglobulin, prekursor hormon tiroid, cukup untuk kebutuhan hingga tiga bulan (Gambar 8.16).

Kelenjar ini diselubungi kapsul fibrosa dengan septa yang membaginya menjadi lobulus dan mengandung pembuluh darah serta saraf. Folikel tersusun rapat dan dipisahkan oleh jaringan ikat retikuler tipis dengan vaskularisasi baik melalui kapiler berfenestrasi. Aktivitas sel folikuler (tiroisit) dipengaruhi TSH, dengan bentuk epitel bervariasi dari skuamosa (hipoaktif) hingga kolumnar rendah (aktif).



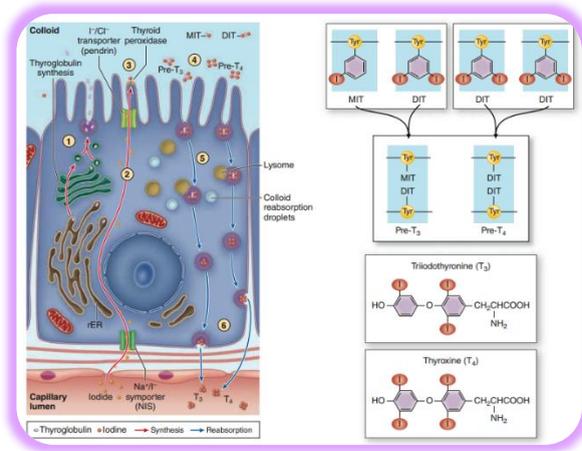
Gambar 8.16 Sel folikuler tiroid dan sel parafolikular



Gambar 8.17 Ultrastruktur sel folikuler dan parafolikular tiroid

2. Kelenjar Paratiroid

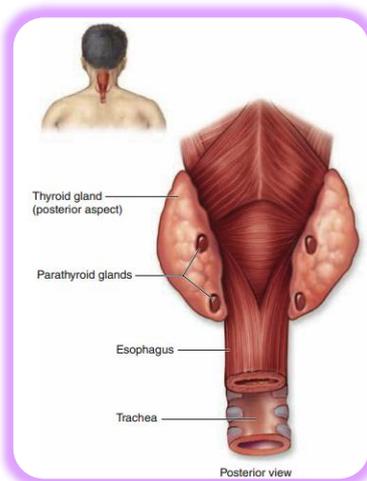
Kelenjar paratiroid terdiri dari empat massa kecil oval (3×6 mm, total berat $\sim 0,4$ gram) yang biasanya terletak di belakang kelenjar tiroid dan sering tertanam dalam kapsulnya (Gambar 8.19). Setiap kelenjar dilapisi kapsul tipis, memiliki septa jaringan ikat, dan stroma retikuler yang menopang untaian sel sekretorik. Pasokan darah berasal dari arteri tiroid inferior untuk memungkinkan difusi hormon yang cepat ke sirkulasi. Secara embriologis, paratiroid superior berasal dari kantung faring keempat dan inferior dari kantung ketiga, yang bermigrasi ke tiroid. Migrasi ini kadang tidak sempurna, sehingga 10% individu memiliki jaringan paratiroid ektopik, misalnya di timus.



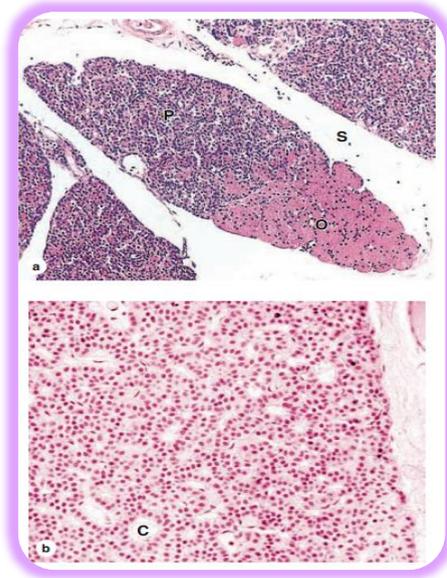
Gambar 8.18 Aktivitas Tiroisit dalam Sintesis Hormon Tiroid

3. Sel Utama Kelenjar Paratiroid dan Fungsi PTH

Sel utama (chief cells) kelenjar paratiroid adalah sel endokrin kecil poligonal dengan inti bulat dan sitoplasma pucat yang mengandung butiran sekretorik hormon paratiroid (PTH) (Gambar 8.20). PTH mengatur kadar kalsium plasma melalui tiga target utama, yakni tulang, ginjal dan usus halus.



Gambar 8.19 Kelenjar paratiroid



Gambar 8.20. Sel Utama Paratiroid

Soal Latihan

1. Jelaskan perbedaan utama antara adenohipofisis dan neurohipofisis berdasarkan asal embrional, jenis sel, dan fungsinya.
2. Uraikan proses sintesis, penyimpanan, dan pelepasan hormon tiroid (T3 dan T4) oleh sel folikular di kelenjar tiroid.
3. Bandingkan struktur histologis dan fungsi hormon dari tiga zona pada korteks adrenal: zona glomerulosa, zona fasciculata, dan zona reticularis.
4. Deskripsikan sel-sel utama pada pulau Langerhans pankreas dan peran masing-masing dalam regulasi kadar glukosa darah.
5. Apa itu corpora arenacea? Jelaskan peran fungsional kelenjar pineal dalam mengatur ritme sirkadian dan bagaimana hormon melatonin dipengaruhi oleh cahaya.

6. Jelaskan bagaimana kelenjar paratiroid berperan dalam homeostasis kalsium dan sebutkan tiga target utama kerja hormon paratiroid (PTH).
7. Sistem neuroendokrin difus (DNES) sering ditemukan di saluran pencernaan dan saluran pernapasan. Jelaskan fungsi sistem ini dan apa yang membedakannya dari kelenjar endokrin klasik.

Rangkuman

Sistem endokrin terdiri dari jaringan dan organ yang mensekresikan hormon ke dalam aliran darah untuk mengatur berbagai fungsi fisiologis. Bab ini membahas kelenjar endokrin utama seperti hipofisis (anterior dan posterior), kelenjar tiroid, paratiroid, adrenal (korteks dan medula), pankreas (pulau Langerhans), dan kelenjar pineal.

Kelenjar hipofisis memiliki dua bagian: adenohipofisis (asal ektoderm oral) yang menghasilkan hormon tropik, dan neurohipofisis (asal neuroektoderm) yang menyimpan dan melepaskan ADH dan oksitosin. Tiroid terdiri dari folikel yang menyimpan tiroglobulin dan mensekresikan T3 dan T4, sedangkan sel parafolikularnya menghasilkan kalsitonin. Paratiroid menghasilkan PTH yang penting untuk homeostasis kalsium.

Kelenjar adrenal terdiri dari korteks (menghasilkan steroid: aldosteron, kortisol, androgen) dan medula (menghasilkan katekolamin: epinefrin dan norepinefrin). Pankreas endokrin memiliki sel-sel alfa, beta, delta, dan PP yang mengatur kadar glukosa darah. Kelenjar pineal memproduksi melatonin, mengatur ritme sirkadian, dan merespon cahaya melalui input saraf dari retina.

Sistem ini bekerja secara integral dalam menjaga keseimbangan internal tubuh dan berperan penting dalam pertumbuhan, metabolisme, serta reproduksi.

GLOSARIUM

Histologi	cabang dari anatomi biologi yang mempelajari susunan struktur seluler dan fungsi fisiologisnya, yang tersusun menjadi jaringan kompleks. Jaringan-jaringan tersebut umumnya memiliki struktur terorganisir dan terdiri atas tiga komponen utama, yaitu sel, zat intraseluler, dan cairan.
Histoteknik	metode atau prosedur dalam persiapan spesimen histologi melalui serangkaian proses hingga siap untuk diamati di bawah mikroskop, khususnya oleh dokter patologi anatomi.
TEM	<i>Transmission Electron Microscope</i>
PSH	Perbesaran X100; pewarnaan Pikrosirius-Hematoksilin
FAK	focal adhesion kinase
Mikrovili	tonjolan kecil dan tipis seperti jari pada permukaan apikal sel. Pada berbagai jenis epitel, mikrovili dapat sangat melimpah, tersusun secara teratur, dan membentuk struktur menyerupai pinggiran kuas (<i>brush border</i>) atau perbatasan bergaris (<i>striated border</i>)
Silia	struktur apikal yang lebih panjang dan sangat motil, berukuran lebih besar daripada mikrovili, dan memiliki

	susunan mikrotubulus internal alih-alih mikrofilamen
Urothelium	epitel berlapis yang melapisi sebagian besar saluran kemih. Sel-sel superfisialnya berbentuk bulat atau menyerupai kubah, dan memiliki fitur membran khusus yang memungkinkan mereka menahan efek hipertonik urin serta melindungi sel-sel di bawahnya dari paparan zat toksik dalam urin.
Sistem kardiovaskular	merupakan sistem peredaran darah yang terdiri dari jantung, komponen darah, dan pembuluh darah. Sistem ini berperan dalam menyediakan dan mendistribusikan suplai oksigen serta nutrisi ke seluruh jaringan tubuh yang diperlukan dalam proses metabolisme
VEGF	Vascular Endothelial Growth Factor
Sinus karotis	sedikit pelebaran arteri karotis interna bilateral, yang merupakan cabang dari arteri karotis komunis (elastis); mereka bertindak sebagai baroreseptor penting yang memantau tekanan darah arteri
Kapiler	pembuluh darah terkecil yang hanya terdiri atas satu lapisan sel endotel yang membentuk tabung silindris. Struktur sederhana ini merupakan lokasi utama pertukaran molekul antara darah dan cairan interstisial jaringan

INDEKS

- adhesif, 13
anatomi, 1, 115, 126, 228, 248
Arteri, 53, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 108, 179, 221
Aterosklerosis, 68
biologi, 1, 2, 248, 4, 5
cairan, 1, 24, 25, 26, 28, 40, 41, 54, 55, 56, 63, 65, 73, 78, 86, 93, 94, 97, 98, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 110, 123, 161, 166, 178, 185, 187, 188, 189, 196, 200, 204, 214, 248, 249
darah, viii, 4, 7, 10, 15, 17, 29, 30, 31, 39, 40, 42, 44, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 95, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 110, 111, 114, 118, 138, 139, 141, 145, 146, 152, 154, 158, 159, 160, 165, 166, 167, 176, 179, 181, 182, 184, 185, 190, 196, 202, 214, 221, 231, 232, 233, 236, 237, 238, 241, 243, 244, 246, 247, 249
ekstraseluler, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 16, 19, 40, 41, 51, 91
elektrolit, 40, 109, 136, 165, 171, 172, 185
embrio, 187, 205, 206, 207, 218, 221, 223, 229, 231
epitel, vii, ix, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 50, 51, 54, 60, 63, 64, 110, 111, 114, 116, 117, 122, 127, 128, 129, 136, 141, 143, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 153, 154, 156, 162, 163, 173, 174, 176, 177, 181, 183, 185, 188, 191, 195, 196, 199, 201, 202, 206, 207, 208, 209, 210, 219, 220, 222, 223, 224, 225, 227, 243, 248, 249
ginjal, viii, 8, 17, 23, 29, 31, 32, 33, 40, 41, 79, 80, 84, 85, 94, 165, 166, 167, 168, 169, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 183, 184, 185, 237, 245
hidung, 4, 30, 31, 145, 146, 147, 148, 149, 163
hipertensi, 61, 68, 69, 79, 168
Histologi, vii, viii, ix, 1, 2, 118, 128, 154, 174, 178,

183, 203, 223, 248, 253,
 254, 2, 5
 jantung, viii, 13, 18, 39, 53,
 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60,
 61, 62, 63, 64, 67, 69, 73,
 74, 76, 77, 79, 80, 90, 92,
 99, 100, 101, 107, 108, 124,
 241, 249
 Jaringan, vii, viii, 1, 2, 3, 4, 5,
 7, 21, 46, 51, 56, 58, 60, 61,
 63, 64, 67, 70, 73, 74, 75,
 80, 110, 124, 157, 190, 204,
 248, 2
 Kapiler, 53, 54, 69, 71, 75,
 80, 85, 86, 87, 88, 91, 93,
 94, 96, 97, 101, 102, 103,
 104, 105, 108, 170, 173,
 183, 249
 kelenjar endokrin, 4, 38,
 39, 85, 94, 95, 227, 228,
 230, 238, 241, 247
 kemih, viii, 7, 17, 29, 31, 33,
 36, 165, 166, 178, 182, 183,
 184, 185, 200, 249
 Kerongkongan, 124, 125,
 143
 kulit, 4, 7, 15, 29, 34, 37, 43,
 44, 48, 79, 83, 114, 117,
 165, 202, 241
 mata, 30, 32, 2
 Membran, 7, 8, 9, 41, 51, 88,
 161
 mikroskop, vii, 1, 2, 3, 7, 8,
 9, 10, 18, 20, 25, 159, 248
 mulut, viii, 4, 29, 32, 109,
 112, 114, 115, 117, 121,
 122, 123, 124, 125, 142,
 149, 229, 230
 nutrisi, 7, 53, 54, 72, 79, 82,
 94, 114, 133, 134, 172, 187,
 195, 200, 204, 218, 249
 oksigen, 7, 53, 54, 60, 72, 82,
 160, 249
 organ, vii, ix, 2, 3, 4, 5, 7, 29,
 34, 35, 38, 39, 41, 46, 51,
 53, 54, 73, 74, 78, 79, 82,
 83, 85, 86, 88, 90, 109, 110,
 112, 121, 122, 142, 145,
 185, 191, 200, 204, 205,
 206, 218, 224, 225, 230,
 234, 235, 237, 247
 otot polos, 56, 61, 64, 65, 66,
 67, 68, 69, 70, 73, 74, 75,
 76, 77, 78, 80, 81, 83, 89,
 90, 92, 96, 97, 99, 100, 104,
 108, 110, 111, 125, 129,
 138, 153, 154, 155, 156,
 170, 182, 185, 198, 199,
 200, 201, 202, 219, 223, 224
 patologi, 1, 248
 pembuluh, viii, 4, 7, 10, 17,
 29, 31, 53, 54, 55, 56, 57,
 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67,
 68, 70, 72, 73, 74, 75, 78,
 80, 81, 83, 86, 87, 89, 92,
 97, 101, 103, 104, 105, 106,
 107, 108, 110, 111, 114,
 118, 136, 141, 146, 152,
 154, 160, 167, 190, 237,
 241, 243, 249
 pencernaan, vii, ix, 4, 7, 22,
 23, 39, 40, 42, 94, 109, 110,
 111, 112, 113, 114, 115,
 124, 125, 126, 132, 133,
 142, 143, 247
 pernapasan, vii, viii, 4, 7, 24,
 26, 35, 36, 39, 71, 145, 146,

147, 148, 149, 150, 151,
 159, 161, 162, 163, 164, 247
 pria, 20, 23, 27, 150, 187,
 188, 189, 190, 195, 199,
 202, 203, 204, 205
 reproduksi, vii, viii, ix, 23,
 187, 188, 189, 198, 199,
 203, 204, 205, 206, 207,
 220, 224, 228, 247
 sekresi, 4, 29, 30, 31, 32, 41,
 47, 48, 49, 51, 109, 110,
 111, 114, 122, 124, 125,
 126, 128, 133, 166, 168,
 172, 173, 182, 185, 187,
 201, 224, 227, 228, 234, 235
 sel, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,
 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,
 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24,
 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32,
 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39,
 40, 41, 42, 43, 46, 47, 48,
 49, 50, 51, 53, 54, 56, 59,
 60, 61, 63, 65, 66, 67, 68,
 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77,
 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85,
 86, 87, 88, 89, 93, 95, 96,
 97, 102, 103, 104, 105, 106,
 108, 110, 114, 116, 119,
 121, 122, 128, 129, 130,
 131, 132, 133, 134, 136,
 137, 146, 148, 153, 154,
 155, 159, 160, 161, 163,
 164, 166, 168, 169, 170,
 171, 172, 177, 178, 181,
 185, 187, 188, 190, 191,
 193, 194, 195, 196, 198,
 201, 203, 204, 205, 207,
 208, 209, 210, 211, 212,
 213, 214, 215, 216, 217,
 220, 223, 224, 227, 228,
 230, 233, 234, 235, 236,
 238, 239, 240, 241, 242,
 243, 244, 245, 246, 247,
 248, 249
 Sistem, viii, 53, 54, 57, 59,
 60, 74, 97, 98, 106, 109,
 111, 112, 113, 133, 142,
 145, 146, 163, 164, 165,
 171, 172, 176, 177, 182,
 183, 187, 189, 204, 205,
 207, 223, 232, 247, 249
 struktur, vii, ix, 1, 2, 3, 4, 7,
 8, 10, 11, 12, 16, 19, 20, 21,
 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31,
 43, 48, 50, 51, 53, 55, 56,
 59, 67, 70, 77, 80, 81, 82,
 85, 87, 89, 99, 100, 102,
 104, 107, 108, 109, 110,
 111, 115, 116, 118, 122,
 142, 145, 146, 150, 152,
 157, 159, 162, 163, 166, 169,
 184, 185, 187, 188, 203,
 204, 206, 207, 223, 224,
 228, 229, 231, 235, 238,
 246, 248
 sumsum tulang
 belakang, 5
 tubuh manusia, vii, ix, 2, 3,
 24, 50, 254
 Urin, 180, 182
 usus, 6, 20, 21, 22, 28, 29,
 30, 31, 42, 43, 44, 85, 88,
 94, 97, 109, 112, 126, 130,
 132, 133, 134, 135, 136,
 137, 138, 139, 140, 142,
 143, 242, 245
 Vena,, viii, 54
 wanita, 187, 198, 205, 206,
 207, 220, 224, 225
 Zat, 1

DAFTAR PUSTAKA

- Eckel CM. Human Anatomy Lab Manual. New York, NY: McGraw-Hill; 2008.
- Fitzpatrick TB, et al. Dermatology in General Medicine. New York, NY: McGraw-Hill; 1971.
- Gartner L, 2017, Textbook of Histology.
- Guntoro (2019) *Struktur Data, Badoy Studio*. Available at: Berman I. Color Atlas of Basic Histology. 3rd ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2003.
- Hartwell L, Hood L, Goldberg M., et al. Genetics: From Genes to Genomes. 4th ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2010.
- Junquiera LC, 2014, Basic Histology : Text and Atlas
- Kaushansky K, Lichtman M, Beutler E, et al. Williams Hematology. 8th ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2010.
- Kiezerbazeum AL, 2016, Histology and Cell biology: an introduction to pathology.
- Lesson, C.R., Lesson, T.S, dan Paparo, A.A. 1996. Textbook of Histologi : 106-113, Jakarta: EGC.
- Lewis R, Gaffin D, Hoefnagels M, et al. Life. 5th ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2004.
- Lichtman MA, Shafer MS, Felgar RE, Wang N: Lichtman's Atlas of Hematology. New York, NY: 2007. <http://www.accessmedicine.com>.
- McKinley M, O'Loughlin VD. Human Anatomy. 2nd ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2008.
- McKinley M, O'Loughlin VD. Human Anatomy. 3rd ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2012.
- McKinley MP, O'Loughlin VD, Bidle TS. Anatomy & Physiology: An Integrative Approach. New York, NY: McGraw-Hill; 2013.
- McKinley MP, O'Loughlin VD, Bidle TS. Anatomy & Physiology: An Integrative Approach, 2nd Edition. New York, NY: McGraw-Hill; 2016.
- Mitic, Laura L.; Van Itallie, Christina M.; Anderson, James M. (Agustus 2000). "Fisiologi Molekuler dan Patofisiologi Sambungan Ketat I. Struktur dan fungsi sambungan rapat: pelajaran dari hewan mutan dan protein" (PDF) . Jurnal Fisiologi Amerika. Fisiologi

- Gastrointestinal dan Hati . 279 (2): G250–G254. doi : 10.1152/ajpgi.2000.279.2.g250 . ISSN 0193-1857 . PMID 10915631 . S2CID 32634345 . Diarsipkan dari versi asli (PDF) pada 09-03-2019.
- Murray RK, Bender DA, Botham KM, et al. Harper's Illustrated Biochemistry. 28th ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2009.
- Muttaqin, Arif. 2009. Asuhan keperawatan klien dengan gangguan sistem kardiovaskuler. . Jakarta. Penerbit: Salemba Medika
- Ovalle, Wiliam K, 2008, Netter's Essential Histology
- Raven P, Johnson GB, Losos JB, et al. Biology. 7th ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2005. Schneeberger, Eveline E.; Lynch, Robert D. (Juni 2004). "Persimpangan ketat: kompleks multifungsi" (PDF) . Jurnal Fisiologi Amerika. Fisiologi Sel . 286 (6): C1213–C1228. doi : 10.1152/ajpcell.00558.2003 . ISSN 0363-6143 . PMID 15151915 . S2CID 1725292 . Diarsipkan dari versi asli (PDF) pada 22-02-2019.
- Syaifuddin, H. 2002. Anatomi fisiologi berbasis kompetensi untuk keperawatan dan kebidanan. Jakarta: Penerbit EKG
- Syaifuddin, Haji. 2006. Anatomi fisiologis mahasiswa keperawatan. Jakarta Penerbit: EKG
- Syaifuddin. 2009. Fisiologi tubuh manusia untuk mahasiswa keperawatan. Jakarta Penerbit: Salemba Medika.
- Tambayong, J, 1995. Synopsis Histologi : 17. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Weiss L, Greep RO. Histology. 4th ed. New York, NY: McGraw-Hill; 1977. Widmaier EP, Raff H, Strang KT. Vander's Human Physiology. 11th ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2008.
- Young B, 2014, Wheater's Functional Histology

Tim Penulis



dr. Delia Yusfarani, M.Kes

Penulis adalah seorang Dokter, alumni Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya (UNSRI) Palembang tahun 2003, lahir di Palembang, 28 Desember 1978. Selanjutnya Penulis melanjutkan Pendidikan program Magister Kesehatannya di STIK Bina Husada Program Pascasarjana Palembang pada tahun 2008.

Pengalaman penulis sebagai Dokter pernah bekerja ±13 tahun sebagai tenaga fungsional dokter umum dan Kepala Puskesmas di beberapa Puskesmas di daerah Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan sejak tahun 2004 – 2017. Namun saat ini penulis memilih untuk mengabdikan diri sebagai Dosen dan aktif mengajar di Perguruan Tinggi (Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Biologi).

Penulis memiliki kepakaran dibidang Sains Kedokteran dan Sains Kesehatan. Namun sejak menjadi dosen di Prodi Biologi, penulis diberikan kepercayaan untuk mengampu mata kuliah Histologi. Hal inilah yang mendorong penulis untuk membuat Buku Ajar Histologi : Struktur Mikroskopik dan Fungsi Jaringan Tubuh; untuk Mahasiswa. Penulis berharap buku ini memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi mahasiswa, tenaga pengajar, maupun pembaca lainnya. Serta bermanfaat dalam pengembangan ilmu Sains dan Kedokteran.

No. Whatsapp : +62 822-8182-8186

Email : deliyusfarani_uin@radenfatah.ac.id



Robiatun, M.Kes

Penulis ialah ASN dan akademisi di bidang ilmu biomedik, dengan konsentrasi bidang Biologi Kedokteran. Penulis merupakan alumni Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya (UNSRI) Palembang tahun 2013.

Penulis berpengalaman sebagai dosen di STIK Siti Khadijah Palembang (1991-1998), ASN di Dinas Kesehatan Banyuasin (1998-2018), ASN dan dosen Luar Biasa pada Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi serta Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang dari tahun 2018 sampai dengan sekarang. Sebagai Pembina Ikatan Putera Puteri Fakultas Sejak tahun 2021 hingga sekarang

Selain menulis, bekerja sebagai ASN, mengajar, meneliti dan pengabdian kepada masyarakat, penulis juga aktif berbagai kegiatan dari tingkat prodi hingga universitas. Penulis berharap "Semoga buku ini tak hanya membantu memahami histologi secara teoritis, tapi juga menguatkan dasar keilmuan yang esensial dalam pengembangan ilmu Sains dan Kedokteran baik mahasiswa, dosen dan pembaca pada umumnya.

No. Whatsapp : +62 812-7170-6277

Email : robirobi_andalausi68@radenfatah.ac.id



Anita Restu Puji Raharjeng, M.Si., M.BioMed.Sc.

Ketertarikan penulis terhadap bidang ilmu biologi dimulai pada tahun 2002, yang membawanya untuk masuk ke jurusan Biologi Universitas Negeri Malang. Setelah lulus S1, penulis melanjutkan S2 di Universitas Brawijaya dengan konsentrasi Bioteknologi Molekuler. Setelah menyelesaikan S2 pertamanya, penulis melanjutkan pendidikan S2 kembali di Australia, tepatnya di James Cook University, pada Fakultas Kedokteran dengan jurusan Biomedical Science dengan konsentrasi Ilmu Nuklir. Penulis kemudian melanjutkan studi S3 di Universitas Gadjah Mada jurusan Biologi.

Penulis memiliki kepakaran di bidang Biomedical Science. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis aktif sebagai peneliti di bidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang dilakukannya didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Penulis telah banyak melakukan penelitian dengan kolaborasi baik di dalam maupun di luar negeri. Rekam jejak penulisan karya ilmiahnya dapat dicek di Google Scholar dengan ID <https://scholar.google.co.id/citations?user=iRp3uCAAAAJ&hl=en>, Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57219323981>, Sinta ID: <https://sinta.kemdikbud.go.id/authors/profile/6023919> dan ORCID id: <https://orcid.org/0000-0002-8308-4574> Selain sebagai peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang tercinta ini. Pada tahun 2024, penulis meraih juara 1 Lomba Karya Tulis Ilmiah Internasional (LKTI) yang diadakan oleh Persatuan Pelajar Indonesia di Malaysia (PPIM), selain itu penulis juga aktif menulis opini di koran lokal maupun nasional.

Nomor whatsapp: +6281234761510

Email Penulis: anitaraharjeng_uin@radenfatah.ac.id



Dr. Rian Oktiansyah, M.Si.

Penulis memiliki ketertarikan di bidang Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) sejak awal perjalanan akademiknya di SMA Negeri 3 Prabumulih. Penulis memulai pendidikan Sarjana di program Pendidikan Biologi di Universitas Sriwijaya, yang berhasil diselesaikan pada tahun 2013. Setelah itu, penulis melanjutkan studi magister di bidang Biosains Hewan di Institut Pertanian Bogor (IPB) dan meraih gelar Magister Sains pada tahun 2016. Penulis kemudian melanjutkan studi doktoral di bidang Ilmu MIPA di Universitas Sriwijaya dan berhasil meraih gelar Doktor pada tahun 2024.

Sebagai seorang yang mendalami bidang Fisiologi Hewan, penulis aktif menulis artikel ilmiah yang telah dipublikasikan di berbagai jurnal nasional dan internasional bereputasi. Saat ini, penulis aktif mengajar Fisiologi Hewan dan Histologi di Program Studi Biologi, Universitas Islam Negeri Raden Fatah, Palembang. Sebagai seorang akademisi, penulis berharap dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan ilmu biologi dan membawa dampak positif bagi kemajuan ilmu pengetahuan di Indonesia.

No. Whatsapp : +62 813-6701-0980

Email : rianoktiansyah@radenfatah.ac.id



Andi Saputra, M.Bmd

Penulis adalah seorang akademisi di bidang ilmu biomedik, dengan konsentrasi fisiologi kedokteran. Penulis merupakan alumni Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya (UNSRI) Palembang tahun 2017.

Pengalaman penulis sebagai Dosen Tetap Non ASN Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang dari tahun 2018 sampai dengan sekarang.

Selain mengajar, menulis, meneliti dan pengabdian kepada masyarakat, penulis juga aktif berbagai kegiatan dari tingkat prodi hingga universitas UIN Raden Fatah Palembang. Penulis berharap "Semoga buku ini tak hanya membantu memahami histologi secara teoritis, tapi juga menguatkan dasar keilmuan yang esensial dalam pengembangan ilmu Sains dan Kedokteran baik mahasiswa, dosen dan pembaca pada umumnya.

No. Whatsapp : +62 813-6871-4339

Email : andisaputra@radenfatah.ac.id

Tentang Editor



Suci Haryanti, M. Pd.

Anak kelima dari pasangan Alm Hamdani dan Manih, pada kelahiran 28 Juni 1982. Istri dari Irsad Maulana dan Ibu dari Rakha Ibnu Maulana, Nafisah Airis Maulana. Wanita yang berprofesi sebagai pendidik menamatkan jenjang Pasca Sarjana (S2) dalam bidang Pendidikan MIPA di Universitas Indraprasta, saat ini sedang berkonsentrasi pada Teknologi Pendidikan mengambil gelar Doctor (S3) di Universitas Negeri Jakarta (UNJ). Wakil Direktur 2 dan Dosen tetap di ARO KIP, Ketua pada organisasi sosial 'Optometri Berbagi.'

Menulis buatnya adalah *Passion* yang kini telah menjadi candu, dengan menerbitkan buku solo "Enjoy Matematika dengan Defragmentasi" sebuah novel cantik nan menggugah "Seperti Senja Menanti Pagi" buku "Statistika Untuk Penelitian jilid 1 dengan Aplikasi SPSS" dan buku monograf "Gaya Belajar Kognitif & Struktur Berpikir (Defragmentasi) Pada Matematika," buku puisi Aksara Mentari Pagi dan Aksara Rindu, bukan hanya itu, ia juga menulis puluhan buku antologi baik fiksi atau pun non fiksi (*book chapter*) dan aktif pada komunitas menulis fiksi "Kabar Ezrin dan *Row Publishing*". **Telah mengeditori 120 lebih buku, yang merupakan editor tetap bersertifikasi BNSP dan tahun 2023-2024 terpilih sebagai editor terbaik kategori terpopuler. Ia juga bagian dari Tim Internal pada divisi kerjasama pada Penerbit Media Sains Indonesia.** Aktif dalam menulis dan menerbitkan artikel di jurnal nasional maupun internasional.

Mengulik perkataan Syaid Quthb "satu peluru hanya menembus satu kepala. Namun satu tulisan dapat menembus ribuan kepala" dengan menulis kita akan mampu mengubah peradaban untuk kedepanya. Semangat ... dan salam literasi!

Histologi mengajak Anda menjelajahi dunia mikroskopis tubuh manusia yang menakjubkan. Buku ini mengungkap rahasia kehidupan di tingkat seluler, mulai dari jaringan epitel dasar hingga sistem organ kompleks seperti kardiovaskular, pencernaan, pernapasan, perkemihan, reproduksi, dan endokrin. Setiap bab menjelaskan bagaimana sel-sel berinteraksi dan bekerja sama dalam harmoni sempurna untuk mempertahankan kehidupan. Dirancang khusus untuk mahasiswa kedokteran, keperawatan, dan ilmu kesehatan juga masyarakat luas, buku ini menghubungkan struktur mikroskopis dengan fungsi dan relevansi klinisnya. Dilengkapi ilustrasi berkualitas tinggi, soal latihan, dan rangkuman yang mudah dipahami, buku ini menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik. **Histologi** adalah buku ajar komprehensif yang akan mengubah cara Anda memahami keajaiban tubuh manusia.

Tim Penulis

- Delia Yusfarani
- Robiatun
- Anita Restu Puji Raharjeng
- Rian Oktiansyah
- Andi Saputra

Untuk akses **Buku Digital**,
Scan **QR CODE**



Media Sains Indonesia
Melong Asih Regency B.40, Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
Email : penerbit@medsan.co.id
Website : www.medsan.co.id

