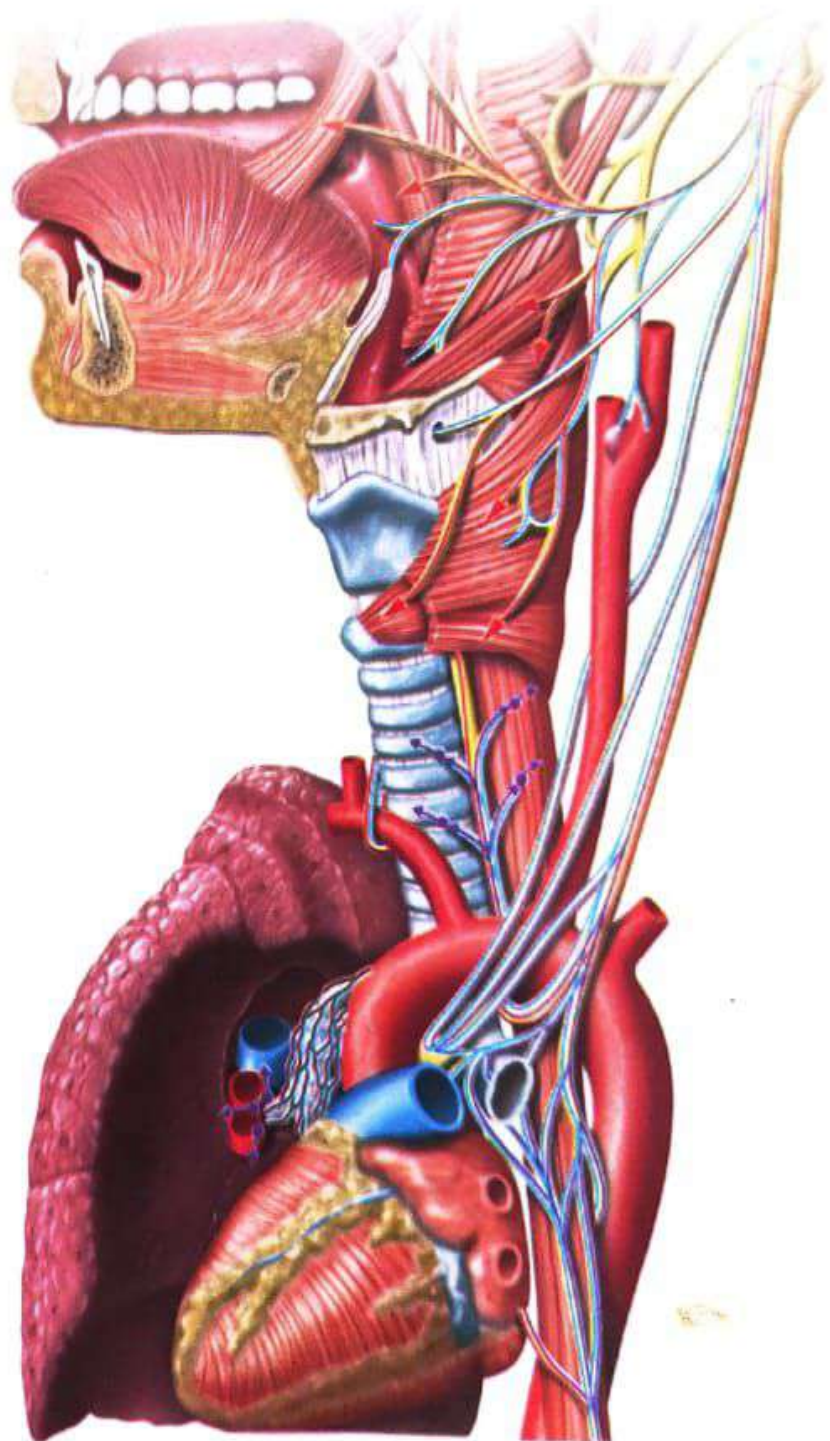


Waschke Böckers Paulsen

Editor Edisi Bahasa Indonesia dan Latin:
Santoso Gunardi dan Isabella Kurnia Liem

Edisi Bahasa Indonesia dan Latin

Buku Ajar Anatomi Sobotta



ELSEVIER

Jens Waschke, Tobias M. Böckers, Friedrich Paulsen

Buku Ajar

Anatomi Sobotta

Edisi pertama

Penulis:

Prof. Dr. Wolfgang Arnold, Witten
Prof. Dr. Ingo Bechmann, Leipzig
PD Dr. Anja Böckers, Ulm
Prof. Dr. Lars Bräuer, Erlangen
Prof. Dr. Faramarz Dehghani, Halle (Saale)
Prof. Dr. Thomas Deller, Frankfurt
Dr. Martin Gericke, Leipzig
Prof. Dr. Bernhard Hirt, Tübingen

Dr. Martin Krüger, Leipzig
Dr. Daniela Kugelmann, München
Prof. Dr. Martin Scaal, Köln
Dr. Dr. Michael J. Schmeißer, Ulm
Prof. Dr. Michael Scholz, Erlangen
PD Dr. Stephan Schwarzacher, Frankfurt
Prof. Dr. Volker Spindler, München
PD Dr. Andreas Vlachos, Frankfurt

Editor Edisi Bahasa Indonesia dan Latin:

Dr. Santoso Gunardi, MS, PAK(K)
dr. Isabella Kurnia Liem, MBIomed, PhD, PA

ELSEVIER

ELSEVIER

Elsevier (Singapore) Pte Ltd
3 Killiney Road, 08-01 Winsland House 1
239519 Singapore

Buku Ajar Anatomi Sobotta, 1st Bahasa Indonesia and Latin edition, by Santoso Gunardi & Isabella Kurnia Liem
Copyright © 2018 Elsevier Singapore Pte Ltd.

Buku Ajar Anatomi Sobotta, edisi Bahasa Indonesia dan Latin pertama, oleh Santoso Gunardi & Isabella Kurnia Liem
Hak cipta © 2018 Elsevier Singapore Pte Ltd.

ISBN: 978-981-4570-42-8

This adapted translation of Sobotta Anatomie Das Lehrbuch, 1e, by Jens Waschke, Tobias M. Böckers & Friedrich Paulsen, was undertaken by Elsevier Singapore and is published by arrangement with Elsevier GmbH.

Terjemahan adaptasi Sobotta Anatomie Das Lehrbuch, 1e, oleh Jens Waschke, Tobias M. Böckers & Friedrich Paulsen dilakukan oleh Elsevier Singapore dan diterbitkan atas persetujuan oleh Elsevier GmbH.

Sobotta

Anatomie Das Lehrbuch

Alle Rechte vorbehalten

1. Auflage 2015

© Elsevier GmbH, München

Der Urban & Fischer Verlag ist ein Imprint der Elsevier GmbH.

ISBN: 978-3-437-44080-9

Dilarang menerbitkan atau menyebarkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun dan dengan cara apa pun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau sistem penyimpanan dan pengambilan informasi, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Izin dapat diminta dari Health Sciences Rights Department,
Elsevier di Singapura: telepon: +65-6349 0200, faksimili: +65-6733 1817.
Elsevier (Singapore) Pte Ltd, 3 Killiney Road
#08-01 Winsland House I, Singapore 239519

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

PASAL 72

KETENTUAN PIDANA SANKSI PELANGGARAN

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu Ciptaan atau memberikan izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyerahkan, menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau baranghasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Perhatian

Adaptasi buku ini dilakukan oleh Elsevier Singapore Pte Ltd dan sepenuhnya menjadi tanggung jawabnya. Para klinisi dan peneliti harus selalu berpegangan pada pengalaman dan pengetahuan masing-masing dalam mengevaluasi dan menggunakan informasi, metode, bahan atau eksperimen yang dicantumkan di sini. Karena kemajuan pada ilmu kedokteran sangat pesat, maka harus selalu dilakukan verifikasi diagnosis dan dosis obat. Untuk kepentingan hukum, pihak Elsevier, pengarang buku, editor, para kontributor buku tidak bertanggungjawab terhadap segala sesuatu yang berhubungan dengan adaptasi atau jika terjadi cedera dan/atau kerusakan terhadap individu manusia atau properti yang berkaitan dengan kelalaian atau kepatuhan dalam penggunaan buku ini, atau hal lainnya, atau yang berkaitan dengan penggunaan atau pengoperasian metode, produk, instruksi, atau ide yang tercantum di dalam materi buku ini.

Manajer Penerbitan: Hooi Ping Chee
Editor Pengembangan: Suthichana Tharmapalan

Dicetak di Indonesia

Pendahuluan

Anatomi adalah ilmu tentang tubuh. Dalam anatomi dipelajari struktur yang akan menjadi dasar morfologis untuk fungsi. Melalui kombinasi antara metode morfologi yang moderen, melalui pendekatan biologi molekuler, biokimia, biomekanika, bioinformatika dan teknik elektrofisiologi, maka saat ini anatomi menjadi ilmu yang berorientasi pada fungsi, klinis dan penelitian struktur. Tanpa pemahaman anatomi, tidak akan ada pengetahuan tentang struktur dan fungsi serta kelainan patologi yang dapat dikenali dengan baik.

- Kita akan sering ditanya, apakah anatomi manusia ada yang berubah, karena pada dasarnya semua sudah diketahui. Hal ini benar bila dilihat dari sudut pandang anatomi makroskopis yang ada di setiap buku ajar anatomi. Kalau begitu mengapa masih diperlukan lagi buku ajar anatomi? Dengan menerbitkan buku ajar ini, ada beberapa hal penting yang dapat kami sampaikan:
- Sebuah buku ajar dengan mutu yang baik, sedekat mungkin cocok dengan buku **Atlas Anatomi**, haruslah memfasilitasi pembelajaran. Kami mengambil suatu tradisi, bahwa sejak muncul terbitan pertama Atlas Anatomi Manusia-Sobotta selalu disertai dengan buku panduan. Tradisi demikian menjadikan suatu keuntungan, karena buku ajar ini dan atlasnya tidak hanya berasal dari satu penerbit, namun juga para penulis atlas berkontribusi terhadap desain buku ajar tersebut. Dari bidang neuroanatomi, kami sangat beruntung, karena mendapatkan banyak pakar neuroanatomi yang aktif melakukan penelitian di bidang susunan saraf pusat, sehingga buku ini memiliki isi yang relevan dan terkini terkait bidang tersebut.
- Buku ini mencakup **anatomi makroskopis** dan dikaitkan dengan **embriologinya** serta berisi juga histologi yang penting, sehingga menambah kejelasan anatomi makroskopis tersebut. Menurut kami histologi penting juga, karena itu bagaimanapun juga, mahasiswa perlu menyediakan buku ajar histologi, dan tidak belajar histologi dari buku anatomi.
- Kebanyakan mahasiswa membeli juga buku **Neuroanatomi** secara terpisah. Alasan utamanya adalah, karena di dalam buku-buku anatomi tradisional seringkali neuroanatomi

diberikan di berbagai bab atau terpisah-pisah, sehingga menyulitkan mahasiswa untuk mempelajarinya secara komprehensif. Pada buku ajar ini, neuroanatomi dijadikan bab tersendiri, sehingga tidak diperlukan lagi untuk membeli buku neuroanatomi secara terpisah.

- Terdapat bab khusus tentang "Kepala" yang berguna bagi mahasiswa **Kedokteran gigi**. Di dalamnya terdapat topik yang relevan, disajikan dengan gambar-gambar yang jelas dan banyak.
- **Laporan kasus** praktis diberikan untuk menunjukkan relevansi pengetahuan anatomi pada saat kepaniteraan klinis kelak.
- Secara ekstensif buku ini menghubungkan dunia makroskopik dengan **aspek fungsional dan klinis**. Karena itu Anda tidak lagi belajar anatomi belaka, tetapi belajar dan meneruskan apa yang telah dipelajari dalam konteks profesi masa depan, yaitu dokter praktik dan klinikus aktif.
- Dalam setiap bab terdapat acuan pembelajaran berbasis kompetensi yang harus dipelajari dan telah disesuaikan dengan Kompetensi Dasar Kedokteran Nasional (di Indonesia dikenal dengan Standar Kompetensi Dokter Indonesia) dan Kompetensi Dasar Kedokteran Gigi Nasional (Standar Kompetensi Dokter Gigi Indonesia).

Meskipun buku ini ditulis dengan konsep baru, namun ada satu hal yang tidak dapat diabaikan, yaitu menyediakan waktu untuk belajar. Setiap orang harus berinvestasi dengan waktu belajar. Buku ini dirancang untuk membantu memfasilitasi pembelajaran melalui gambaran hidup struktur anatomi; kami ingin membuat orang penasaran dan tertarik tentang masa depan profesionalnya dengan menyampaikan isi pembelajaran yang menarik. Bila perlu buku ini selalu siap sedia digunakan sebagai pendamping sepanjang studi kedokteran, kedokteran gigi dan kedokteran molekuler.

Kami berharap Anda menikmati buku ajar ini.

Erlangen, Ulm, München, musim panas 2015
Friedrich Paulsen, Tobias M. Böckers dan Jens Waschke

Penulis utama dan daftar penulis

Penulis utama

Prof. Dr. Jens Waschke
Ludwig-Maximilians-Universität
München
Departemen Anatomi – Ketua I
Pettenkofenstr. 11
80336 München

Prof. Dr. Tobias M. Böckers
Universität Ulm
Institut Anatomi dan Biologi sel
Albert-Einstein-Allee 11
89081 Ulm

Prof. Dr. Friedrich Paulsen
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Institut Anatomi II
Universitätsstr. 19
91054 Erlangen

Penulis

Prof. Dr. Wolfgang Arnold
Universität Witten/Herdecke
Fakultas Gigi, Mulut dan Maxilla-facial
Alfred-Herrhausen-Str. 44
58455 Witten

Dr. Martin Gericke
Universität Leipzig
Institut Anatomi
Liebigstr. 13
04103 Leipzig

Dr. Dr. Michael J. Schmeißer
Universität Ulm
Institut Anatomi dan Biologi sel
Albert-Einstein-Allee 11
89081 Ulm

PD Dr. Anja Böckers, MME
Universität Ulm
Institut Anatomi dan Biologi sel
Albert-Einstein-Allee 11
89081 Ulm

Prof. Dr. Bernhard Hirt
Eberhard-Karls-Universität Tübingen
Institut Anatomi
Bagian anatomi makroskopis dan klinik
Elfriede-Aulhorn-Str. 8
72076 Tübingen

Prof. Dr. Michael Scholz, MME
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Institut Anatomi II
Universitätsstr. 19
91054 Erlangen

Prof. Dr. Lars Bräuer
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Institut Anatomi II
Universitätsstr. 19
91054 Erlangen

Dr. Martin Krüger
Universität Leipzig
Institut Anatomi
Liebigstr. 13
04103 Leipzig

PD Dr. Stephan Schwarzacher
Goethe-Universität
Dr. Senckenbergische Anatomie
Institut Anatomi I – Neuroanatomie klinik
Theodor-Stern-Kai 7
60590 Frankfurt

Prof. Dr. Faramarz Dehghani
Martin-Luther-Universität Halle-
Wittenberg
Institut Anatomi dan Biologi sel
Große Steinstr. 52
06108 Halle (Saale)

Dr. Daniela Kugelmann
Ludwig-Maximilians-Universität
München
Departemen Anatomi – Ketua I
Pettenkofenstr. 11
80336 München

Prof. Dr. Volker Spindler
Ludwig-Maximilians-Universität
München
Departemen Anatomi – Ketua I
Pettenkofenstr. 11
80336 München

Prof. Dr. Thomas Deller
Goethe-Universität
Dr. Senckenbergische Anatomie
Institut Anatomi I –
Neuroanatomie klinik
Theodor-Stern-Kai 7
60590 Frankfurt

Prof. Dr. Martin Scaal
Universität zu Köln
Institut Anatomi II
Neuroanatomie dan Anatomi Makroskopis
Joseph-Stelzmann-Str. 9
50931 Köln

PD Dr. Andreas Vlachos
Goethe-Universität
Dr. Senckenbergische Anatomie
Institut Anatomi I – Neuroanatomie Klinik
Theodor-Stern-Kai 7
60590 Frankfurt

Karyawan

Prof. Dr. Ingo Bechmann
Universität Leipzig
Institut Anatomi
Liebigstr. 13
04103 Leipzig

Penerjemah edisi Bahasa Indonesia dan Latin:

Jan S. Purba, MD, PhD
Departemen Neurologi
Fakultas Kedokteran, Universitas
Indonesia

Dr. med. Setiawan, dr
Departemen Anatomi, Fisiologi dan
Biologi Sel
Fakultas Kedokteran, Universitas
Padjadjaran

**Dr. med. Abraham Simatupang, dr.,
MKes**
Departemen Farmakologi dan Terapi
Fakultas Kedokteran, Universitas Kristen
Indonesia

**Dr. rer. physiol. dr. Septelia Inawati
Wanandi**
Departemen Biokimia dan Biologi
Molekuler
Fakultas Kedokteran, Universitas
Indonesia

Daftar isi

I ANATOMI DAN EMBRIOLOGI UMUM				
1	Anatomi Umum	3	2.3 Perkembangan Praimplantasi	49
	Friedrich Paulsen, Faramarz Dehghani		2.3.1 Pembelahan dan Pematatan	49
	Penerjemah: Setiawan		2.3.2 Blastokista dan Implantasi	50
1.1	Ruang Lingkup	5	2.4 Gastrulasi	51
1.2	Susunan Tubuh Manusia	5	2.4.1 Cakram Mudigah Bilaminar	51
1.2.1	Pembagian	5	2.4.2 Pembentukan Cakram Mudigah	51
1.2.2	Proporsi Tubuh	7	2.5 Perkembangan Ektoderm	54
1.2.3	Deskripsi Lokasi	9	2.5.1 Induksi Neuroektoderm	54
1.2.4	Istilah Umum	10	2.5.2 Neurulasi	55
1.3	Kulit dan Jaringan Penunjang Kulit	15	2.5.3 Krista Neuralis	55
1.3.1	Tipe Kulit dan Lapisan Kulit	16	2.6 Perkembangan Mesoderm	56
1.3.2	Jaringan Penunjang Kulit	16	2.6.1 Mesoderm Axiale	56
1.4	Sistem Muskuloskeletal	18	2.6.2 Mesoderm Paraxiales	57
1.4.1	Tulang Rawan	18	2.6.3 Mesoderm Intermedia	59
1.4.2	Tulang	18	2.6.4 Mesoderm Laterale	60
1.4.3	Sendi	23	2.7 Perkembangan Entoderm	61
1.4.4	Otot	29	2.8 Gerak Melipat Embrio	62
1.5.	Sistem Pembuluh Darah	33	2.8.1 Lengkung Kraniokaudal	63
1.5.1.	Pembuluh Darah Tubuh dan Paru	33	2.8.2 Lipatan Lateral	63
1.5.2	Sirkulasi Portal	37	2.9 Jaringan Ekstraembrional	63
1.5.3	Sirkulasi Prenatal	38	2.9.1 Trofoblas	63
1.5.4	Sirkulasi Limfatik	38	2.9.2 Rongga Chorion dan Kantung Kuning Telur ..	64
1.6	Mukosa, Kelenjar, Rongga Serosa	41	2.9.3 Amnion	64
1.6.1	Mukosa	41	2.9.4 Allantois	65
1.6.2	Kelenjar	41	2.10 Perkembangan Dini Ekstremitas	65
1.6.3	Rongga Serosa	41	2.10.1 Pembentukan Tunas Ekstremitas	65
1.7	Sistem Saraf	42	2.10.2 Pola Pembentukan Pada Bakal Ekstremitas ..	66
2	Embriologi Umum	45	2.10.3 Asal Tulang dan Otot Ekstremitas	67
	Martin Scaal		2.11 Perkembangan Dini Kepala dan leher ..	67
	Penerjemah: Setiawan		2.11.1 Lengkung Pharynx	67
2.1	Pendahuluan	47	2.11.2 Celah Pharynx dan Kantung Pharynx ...	71
2.2	Pembuahan	47	2.11.3 Perkembangan Lidah dan Glandula	
2.2.1	Translokasi dan Kapasitasi	47	Thyroides	71
2.2.2	Reaksi Akrosom dan Fusi Sel Gamet	48	2.11.4 Perkembangan Wajah	71
2.2.3	Perpaduan Materi Genetik	49	2.11.5 Perkembangan Rongga Mulut dan	
			Rongga Hidung	72
II MUSKULOSKELETAL				
3	Tubuh	77	3.1.3 Sekat Rongga Badan	89
	Penerjemah: Setiawan		3.1.4 Dinding Perut	92
3.1	Dinding Ventral Tubuh	78	3.2 Dinding Belakang Tubuh	106
3.1.1	Struktur Umum	78	3.2.1 Struktur Umum	106
3.1.2	Dinding Dada	79	3.2.2 Otot Punggung	108

3.2.3	Neurovaskular Dinding Belakang Tubuh	114	4.7	Arteri Ekstremitas Atas	187
3.3	Tulang Belakang, Medulla Spinalis Dan Dada	117	4.7.1	A. Subclavia	188
3.3.1	Embriologi	117	4.7.2	A. Axillaris	189
3.3.2	Tulang Belakang	118	4.7.3	A. Brachialis	190
3.3.3	Situs Medulla Spinalis	132	4.7.4	A. Radialis	191
3.3.4	Dada	135	4.7.5	A. Ulnaris	192
4	Ekstremitas Atas	141	4.8	Vena Ekstremitas Atas	193
	Volker Spindler, Jens Waschke		4.8.1	Vena Superficial	193
	Penerjemah: Septelia Inawati Wanandi		4.8.2	Vena Profunda	194
4.1	Tinjauan	143	4.9	Pembuluh Limfe Ekstremitas Atas	194
4.2	Perkembangan Ekstremitas Atas dan Bawah	144	4.9.1	Pembuluh Limfe Epi- dan Subfascial	194
4.2.1	Perkembangan	144	4.9.2	Kelenjar Limfe Axilla	194
4.2.2	Tulang	145	4.10	Aspek penting topografi lengan	195
4.2.3	Otot	145	4.10.1	Trigonum Clavipectoralis	195
4.2.4	Saraf	147	4.10.2	Rongga Ketiak	195
4.2.5	Pembuluh Darah	147	4.10.3	Celah Ketiak dan Celah Triceps	196
4.3	Gelang Bahu	147	4.10.4	Siku	197
4.3.1	Tulang Gelang Bahu	147	4.10.5	Saluran Karpal dan Kanal GUYON	197
4.3.2	Persendian dan Jaringan Ikat Penghubung Gelang Bahu	148	5	Ekstremitas Bawah	199
4.3.3	Mekanika Gelang Bahu	150		Volker Spindler, Jens Waschke	
4.3.4	Otot Gelang Bahu	150		Penerjemah: Septelia Inawati Wanandi	
4.4	Lengan Bawah	152	5.1	Tinjauan	201
4.4.1	Tulang Lengan Atas	152	5.2	Panggul	202
4.4.2	Sendi Bahu	153	5.2.1	Susunan dan Bentuk	202
4.4.3	Mekanika Sendi Bahu	154	5.2.2	Tulang Panggul	203
4.4.4	Otot Bahu	155	5.2.3	Persendian dan Jaringan Ikat Panggul	204
4.5	Lengan Bawah dan Tangan	158	5.2.4	Mekanika Persendian Panggul	205
4.5.1	Tulang Lengan Bawah	158	5.3	Tungkai Atas	206
4.5.2	Sendi Siku	159	5.3.1	Tulang Tungkai Atas	206
4.5.3	Hubungan Persendian Antara Tulang-Tulang Lengan Bawah	159	5.3.2	Sendi Panggul	208
4.5.4	Mekanika Sendi Siku dan Sendi Radioulnar Distal	159	5.3.3	Mekanika Sendi Panggul	208
4.5.5	Otot	160	5.3.4	Otot-otot Sendi Panggul	209
4.5.6	Pembagian Tangan dan Tulang Tangan	161	5.3.5	Fascia Lata dan Tractus Iliotibialis	213
4.5.7	Persendian Tangan	163	5.4	Tungkai Bawah	213
4.5.8	Mekanika Persendian Tangan	165	5.4.1	Tulang Tungkai Bawah	214
4.5.9	Otot Lengan Bawah dan Tangan	167	5.4.2	Hubungan Antara Tibia dan Fibula	215
4.5.10	Perangkat Bantu Otot di Daerah Tangan	174	5.4.3	Sendi Lutut	215
4.6	Saraf dan Ekstremitas Atas	177	5.4.4	Mekanika Sendi Lutut	218
4.6.1	Persarafan Sensorik	177	5.4.5	Otot Sendi Lutut	220
4.6.2	Pembagian Plexus Brachialis	177	5.5	Kaki	222
4.6.3	N. Axillaris	181	5.5.1	Tulang Kaki	223
4.6.4	N. Radialis	182	5.5.2	Persendian Kaki	224
4.6.5	N. Musculocutaneus	184	5.5.3	Mekanika Sendi Kaki	226
4.6.6	N. Medianus	184	5.5.4	Arkus Kaki	227
4.6.7	N. Ulnaris	186	5.5.5	Otot-Otot Tungkai Bawah dan Kaki	229
4.6.8	N. Cutaneus Brachii Medialis dan N. Cutaneus Antebrachii Medialis	187	5.5.6	Petunjuk Bantu untuk Otot-Otot di Daerah Tungkai Bawah dan Kaki	235
			5.6	Persarafan Ekstremitas Bawah	236
			5.6.1	Pembagian Plexus Lumbosacralis	236
			5.6.2	N. Ischiadicus	241
			5.7	Arteri Ekstremitas Bawah	243
			5.7.1	A. Iliaca Externa	244
			5.7.2	A. Femoralis	244

5.7.3	A. Poplitea	245	5.10 Aspek Penting Tungkai Secara Topografis	250	
5.7.4	A. Tibialis Anterior	247	5.10.1	Lacuna Musculorum Dan Lacuna Vasorum	250
5.7.5	A. Tibialis Posterior	247	5.10.2	Trigonum Femoris dan Kanal Adduktor	251
5.8	Vena Ekstremitas Bawah	247	5.10.3	Daerah Bokong	252
5.9	Pembuluh Limfe Ekstremitas Bawah	248	5.10.4	Fossa Poplitea	253
5.9.1	Saluran Limfe	248			
5.9.2	Kelenjar Limfe Inguinalis	249			
5.9.3	Kelenjar Limfe Panggul	249			

III ORGAN INTERNA

6	Viscera Thorax	257	6.5	Rongga Thorax	292
	Daniela Kugelmann, Jens Waschke Penerjemah: Abraham Simatupang		6.5.1	Gambaran Umum	292
6.1	Jantung	259	6.5.2	Mediastinum	292
6.1.1	Tinjauan	259	6.5.3	Rongga Pleura	293
6.1.2	Fungsi	259	6.5.4	Pernapasan	294
6.1.3	Perkembangan Jantung dan Pembuluh Darah	260	6.5.5	Perkembangan Rongga Tubuh	295
6.1.4	Sirkulasi Darah Sebelum dan Sesudah Lahir	264	6.6	Neurovaskular Rongga Thorax	298
6.1.5	Lokasi dan Proyeksi	266	6.6.1	Gambaran Umum	298
6.1.6	Garis Besar Atrium dan Ventrikel	268	6.6.2	Arteri Rongga Thorax	298
6.1.7	Dinding Jantung dan Pericardium	270	6.6.3	Vena Cavitas Thoracica	299
6.1.8	Rangka Jantung dan Katup Jantung	271	6.6.4	Pembuluh Limfatik Rongga Thorax	301
6.1.9	Sistem Konduksi dan Persarafan Jantung	273	6.6.5	Saraf Pada Cavitas Thoracica	302
6.1.10	Pembuluh Darah Jantung	275	7	Viscera Perut	303
6.1.11	Pembuluh Vena dan Limfatik Jantung	277		Jens Waschke Penerjemah: Abraham Simatupang	
6.2	Trachea dan Paru	278	7.1	Gaster	306
6.2.1	Ikhtisar dan Fungsi	278	7.1.1	Gambaran Umum	306
6.2.2	Perkembangan Trachea dan Paru	279	7.1.2	Fungsi Gaster	306
6.2.3	Topografi dan Struktur Trachea dan Bronchus Utama	280	7.1.3	Perkembangan Gaster, Bursa Omentalis, Omentum Minus dan Omentum Majus	307
6.2.4	Neurovaskular Trachea dan Bronchus Utama	281	7.1.4	Proyeksi Gaster	309
6.2.5	Royeksi Paru	281	7.1.5	Garis Besar dan Struktur Gaster	309
6.2.6	Struktur Paru	283	7.1.6	Perluasan Permukaan Mukosa Gaster	310
6.2.7	Neurovaskular Paru	285	7.1.7	Topografi	310
6.3	Esophagus	286	7.1.8	Arteri pada Gaster	311
6.3.1	Gambaran Umum, Fungsi dan Perkembangan	286	7.1.9	Vena Gastrica	312
6.3.2	Struktur dan Proyeksi	287	7.1.10	Pembuluh Limfatik Gaster	312
6.3.3	Struktur	287	7.1.11	Persarafan Gaster	313
6.3.4	Penyempitan Esophagus	288	7.2	Usus	314
6.3.5	Mekanisme Penutupan	288	7.2.1	Gambaran Umum	314
6.3.6	Neurovaskular	289	7.2.2	Fungsi Intestinum	314
6.4	Thymus	291	7.2.3	Perkembangan	314
6.4.1	Gambaran Umum, Fungsi dan Perkembangan	291	7.2.4	Garis Besar dan Proyeksi Intestinum Tenue	316
6.4.2	Struktur	292	7.2.5	Garis Besar dan Proyeksi Intestinum Crassum	317
6.4.3	Neurovaskular	292	7.2.6	Karakteristik Intestinum Tenue dan Intestinum Crassum	320
			7.2.7	Topografi Intestinum Tenue dan Intestinum Crassum	320
			7.2.8	Pembuluh Nadi Intestinum	322

7.2.9	Pembuluh Balik Intestinum	324	8	Viscera Pelvis	355
7.2.10	Pembuluh Limfatik Intestinum	324		Jens Waschke	
7.2.11	Persarafan Intestinum	326		Penerjemah: Abraham Simatupang	
7.3	Hepar	326	8.1	Ginjal	358
7.3.1	Gambaran Umum	327	8.1.1	Gambaran Umum	358
7.3.2	Fungsi Hepar	327	8.1.2	Fungsi Ginjal	358
7.3.3	Perkembangan Hepar dan Vesica Biliaris	327	8.1.3	Perkembangan Ginjal	359
7.3.4	Proyeksi Hepar	328	8.1.4	Proyeksi dan pembagian ginjal	360
7.3.5	Struktur	329	8.1.5	Sistem Pembungkus Ginjal	361
7.3.6	Bagian dan Segmen Hepar	330	8.1.6	Topografi	362
7.3.7	Histologi Hepar	330	8.1.7	Neurovaskular Ginjal	363
7.3.8	Topografi	331	8.2	Kelenjar Adrenal	364
7.3.9	Arteri pada Hepar	332	8.2.1	Gambaran Umum	364
7.3.10	Vena pada Hepar	332	8.2.2	Fungsi Kelenjar Adrenal dan Perkembangannya	364
7.3.11	Anastomosis Portocavalis	333	8.2.3	Susunan, Proyeksi dan Topografi Kelenjar Adrenal	365
7.3.12	Pembuluh Limfatik Hepar	334	8.2.4	Neurovaskular Kelenjar Adrenal	365
7.3.13	Persarafan Hepar	335	8.3	Tractus Urinarius	365
7.4	Vesica Biliaris dan Saluran Biliaris	335	8.3.1	Gambaran umum dan Fungsi	365
7.4.1	Gambaran Umum dan Fungsi	335	8.3.2	Perkembangan Tractus Urinarius	365
7.4.2	Proyeksi dan Topografi Vesica Biliaris	335	8.3.3	Pelvis Renalis dan Ureter	367
7.4.3	Struktur Vesica Biliaris dan Saluran Biliaris Ekstrahepatik	336	8.3.4	Kandung Kemih	368
7.4.4	Susunan Neurovaskular Vesica Biliaris dan Saluran Biliaris	337	8.3.5	Urethra	369
7.4.5	Segitiga-CALOT	338	8.3.6	Mekanisme Penutupan Vesica Urinaria dan Urethra	369
7.5	Pancreas	338	8.3.7	Neurovaskular Tractus Urinarius	370
7.5.1	Gambaran Umum	338	8.4	Rectum dan Canalis Analis	370
7.5.2	Fungsi Pancreas	338	8.4.1	Gambaran umum dan Fungsi	370
7.5.3	Perkembangan	339	8.4.2	Pembagian, Proyeksi dan Struktur Rectum dan Canalis Analis	370
7.5.4	Proyeksi dan Gambaran Umum Pancreas	340	8.4.3	Mesorectum	372
7.5.5	Sistem Ductus Pancreas	341	8.4.4	Organ Kontinensia	372
7.5.6	Topografi	341	8.4.5	Arteri Rectum dan Canalis Analis	375
7.5.7	Neurovaskular Pancreas	341	8.4.6	Vena Rectum dan Canalis Analis	375
7.6	Lien	343	8.4.7	Pembuluh Limfatik Rectum dan Canalis Analis	376
7.6.1	Gambaran Umum	343	8.4.8	Persarafan Rectum dan Canalis Analis	377
7.6.2	Fungsi Lien	343	8.5	Organ Genitalia Laki-Laki	378
7.6.3	Perkembangan	343	8.5.1	Gambaran Umum	378
7.6.4	Proyeksi, Struktur dan Topografi Lien	343	8.5.2	Fungsi Organ Genitalia Laki-laki	379
7.6.5	Neurovaskular Lien	344	8.5.3	Perkembangan Organ Genitalia Laki-laki	379
7.7	Rongga Peritoneum	344	8.5.4	Penis dan Scrotum	381
7.7.1	Gambaran Umum	345	8.5.5	Testis dan Epididymis	383
7.7.2	Omentum Majus dan Omentum Minus	346	8.5.6	Ductus Deferens dan Funiculus Spermaticus	383
7.7.3	Recessus Rongga Peritoneum	346	8.5.7	Kelenjar Kelamin Tambahan	384
7.8	Neurovaskular Cavitas Peritonealis	348	8.5.8	Neurovaskular Organ Genitalia Eksterna dan Interna Laki-laki	387
7.8.1	Gambaran Umum	348	8.6	Organ Genitalia Perempuan	390
7.8.2	Arteri Cavitas Peritonealis	348	8.6.1	Gambaran Umum	390
7.8.3	Vena Cavitas Peritonealis	349	8.6.2	Fungsi Organ Genitalia Perempuan	391
7.8.4	Pembuluh Limfatik Cavitas Peritonealis	350			
7.8.5	Persarafan Cavitas Peritonealis	351			

8.6.3	Perkembangan Organ Genitalia Eksterna dan Interna Perempuan	391	8.8	Neurovaskular Spatium Extraperitoneale dan Cavitas Pelvis	401
8.6.4	Vulva	393	8.8.1	Gambaran Umum	401
8.6.5	Ovarium dan Tuba Uterina	394	8.8.2	Arteri Retroperitoneum dan Cavitas Pelvis	402
8.6.6	Uterus	395	8.8.3	Vena Retroperitoneum dan Cavitas Pelvis	403
8.6.7	Vagina	396	8.8.4	Pembuluh Limfatik Retroperitoneum dan Cavitas Pelvis	405
8.6.8	Neurovaskular Organ Genitalia Eksterna dan Interna Perempuan	396	8.8.5	Saraf Retroperitoneum dan Rongga Panggul	407
8.7	Spatium Retroperitoneale dan Cavitas Pelvis	399	8.9	Dasar Panggul dan Regio Perinealis	408
8.7.1	Gambaran Umum	399	8.9.1	Gambaran Umum	408
8.7.2	Ruang Retroperitoneal	400	8.9.2	Dasar Panggul	408
8.7.3	Rongga Subperitoneal	400	8.9.3	Regio Perinealis	410

IV KEPALA DAN LEHER

9	Kepala	417	9.5	Telinga	485
	Lars Bräuer, Friedrich Paulsen Penerjemah: Jan Sudir Purba		9.5.1	Embriologi	486
9.1	Cranium	419	9.5.2	Telinga Luar	487
9.1.1	Neuro- dan Viscerocranium	419	9.5.3	Telinga Tengah	490
9.1.2	Perkembangan Cranium – Embriologi	419	9.5.4	Telinga Dalam	497
9.1.3	Atap Tengkorak	421	9.6	Hidung	500
9.1.4	Dasar Tengkorak	422	9.6.1	Gambaran Umum	501
9.1.5	Tulang-Tulang Viscerocranium	426	9.6.2	Perkembangan	501
9.1.6	Tulang Neurocranium	430	9.6.3	Hidung Bagian Luar	502
9.2	Jaringan Lunak	432	9.6.4	Rongga Hidung	504
9.2.1	Gambaran Umum	432	9.6.5	Sinus Paranasalis	508
9.2.2	Kulit Kepala	433	9.6.6	Neurovaskular	510
9.2.3	Wajah dan Jaringan Lunak	437	9.7	Rongga Mulut, Alat Pengunyah, Lidah, Palatum, Dasar Mulut, Kelenjar Liur	511
9.2.4	Daerah Permukaan Lateral Wajah	444	9.7.1	Rongga Mulut	512
9.2.5	Bagian Dalam Sisi Lateral Wajah	447	9.7.2	Alat Pengunyah – Gigi	515
9.3	Saraf Otak	451	9.7.3	Organ Pengunyah – Otot pengunyah	522
9.3.1	N. Olfactorius [N. I]	452	9.7.4	Peralatan Pengunyah – Sendi Temporomandibularis	523
9.3.2	N. Opticus [N. II]	453	9.7.5	Lidah	526
9.3.3	N. Oculomotorius [N. III]	454	9.7.6	Palatum	529
9.3.4	N. Trochlearis [N. IV]	455	9.7.7	Dasar Mulut	533
9.3.5	N. Trigemini [V]	456	9.7.8	Jalur Aliran Limfatik Diaphragma Oris	535
9.3.6	N. Abducens [N. VI]	458	9.7.9	Kelenjar Liur	536
9.3.7	N. Facialis [N. VII]	459	10	Leher	541
9.3.8	N. Vestibulocochlearis [N. VIII]	461		Penerjemah: Jan Sudir Purba	
9.3.9	N. Glossopharyngeus [N. IX]	462	10.1	Gambaran Umum	543
9.3.10	N. Vagus [N. X]	464	10.1.1	Anatomi Permukaan Leher	543
9.3.11	N. Accessorius [N. XI]	465	10.1.2	Daerah Leher dan Trigonum Cervicalis	544
9.3.12	N. Hypoglossus [N. XII]	467	10.2	Sistem Muskuloskeletal Leher	544
9.4	Mata	467	10.2.1	Komponen Pasif	544
9.4.1	Embriologi	468	10.2.2	Komponen Aktif – Otot Leher	545
9.4.2	Struktur Pelindung dan Tambahan pada Mata	469			
9.4.3	Rongga Mata	474			
9.4.4	Bulbus Oculi	481			

10.3 Fascia Cervicalis dan Ruang Jaringan Ikat	551	10.6 Larynx	572
10.3.1 Fascia Leher	552	10.6.1 Gambaran Umum	573
10.3.2 Ruang Jaringan Ikat pada Leher	553	10.6.2 Perkembangan	573
10.4 Lintasan Neurovaskular Leher	555	10.6.3 Kerangka Larynx	574
10.4.1 Arteri Leher	555	10.6.4 Ruang Larynx	581
10.4.2 Vena Leher	558	10.6.5 Struktur Plicae vocales dan Plicae vestibulares	582
10.4.3 Saraf Leher	560	10.6.6 Neurovaskular	583
10.4.4 Nodus Lymphoideus Leher	567	10.7 Pharynx	584
10.5 Glandulae Thyroidea dan Parathyroidea	569	10.7.1 Perkembangan	585
10.5.1 Letak dan Fungsi	569	10.7.2 Pembagian Pharynx	585
10.5.2 Perkembangan	570	10.7.3 Dinding Pharynx	586
10.5.3 Neurovaskular	571	10.7.4 Otot Pharynx	586
		10.7.5 Neurovaskular	587
		10.7.6 Proses Menelan	590
		10.7.7 Limfatik Pharynx	590

V NEUROANATOMI

11 Neuroanatomi Umum	593	11.4 Sistem Ventriculus dan Struktur Sekitar	617
Tobias M. Böckers		11.4.1 Gambaran Umum dan Susunan	617
Penerjemah: Jan Sudir Purba		11.4.2 Embriologi	617
11.1 Embriologi	594	11.4.3 Bagian Dalam Ruang Liquor	619
11.1.1 Gambaran Umum	594	11.4.4 Bagian Luar Ruang Liquor Cerebrospinalis – Spatium Subarachnoideum	620
11.1.2 Perkembangan Bagian Otak Lainnya	596	11.4.5 Cairan – Liquor Cerebrospinalis	620
11.1.3 Perkembangan Medulla Spinalis	602	11.4.6 Organ Circumventricular	622
11.1.4 Perkembangan Sistem Saraf Tepi	602	11.5 Pembuluh Darah Otak	623
11.2 Struktur Sistem Saraf	603	11.5.1 Gambaran Umum	623
11.2.1 Gambaran Umum	603	11.5.2 A. Carotis Interna dan Cabang-Cabangnya	627
11.2.2 Struktur SSP	603	11.5.3 Aa. vertebralis/A. Basilaris Beserta Cabang-Cabangnya	631
11.2.3 Morphologi SSP	605	11.5.4 Pasokan Vaskular Sentral	633
11.2.4 Distribusi Substantia Grisea SSP Telencephalon	609	11.5.5 Pendarahan Medulla Spinalis	634
11.2.5 Pembagian Substantia Alba SSP	612	11.5.6 Topografi dan Daerah Pasokan Arteri	635
11.3 Meninges	613	11.5.7 Nama Klinis Bagian Pembuluh Darah	638
11.3.1 Gambaran Umum	613	11.5.8 Vena Utama Otak	639
11.3.2 Embriologi	614	11.5.9 Pencitraan Sistem Vaskular	644
11.3.3 Pachymeninx – Dura Mater	614	Bibliografi	645
11.3.4 Leptomeningx	615	Indeks	649
11.3.5 Neurovaskular Meninges	616		

1.1 Definisi, tinjauan, dan evolusi rongga tubuh

Definisi

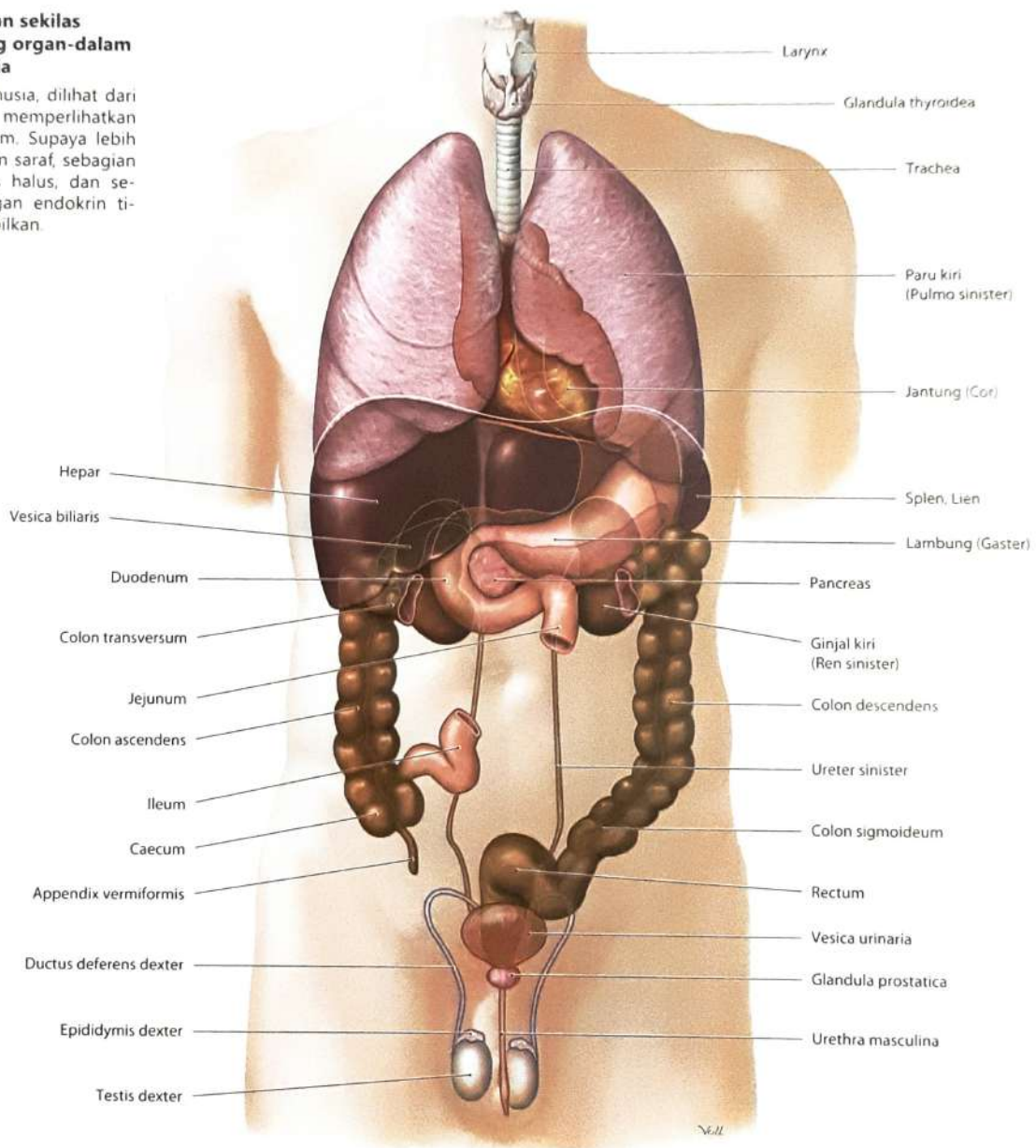
Sama seperti hampir semua organisme tingkat tinggi, tubuh manusia dapat dikelompokkan secara hirarki dalam beberapa tingkatan struktur:

- Sel adalah unit biologis terkecil yang dapat hidup secara mandiri
- Jaringan tersusun dari sel-sel—yang hampir semuanya sejenis—dan matriks ekstrasel—yang dibuat oleh sel-sel jaringan tersebut. Jaringan merupakan jalinan sel-sel, yang mempunyai fungsi yang sama.

- Organ adalah gabungan beberapa jaringan yang membentuk suatu struktur. Organ menggabungkan fungsi berbagai jaringan yang membentuknya.
- Sistem organ merupakan gabungan beberapa organ yang memiliki fungsi umum yang serupa. Sebagai contoh, organ-organ pencernaan kita masukkan ke dalam sistem pencernaan. Secara morfologis, masing-masing organ biasanya saling terhubung. Selain istilah "sistem organ".
- Organisme terbentuk dari beberapa sistem organ.

A Tinjauan sekilas tentang organ-dalam manusia

Tubuh manusia, dilihat dari ventral, memperlihatkan organ-dalam. Supaya lebih jelas, sistem saraf, sebagian besar usus halus, dan sebagian organ endokrin tidak ditampilkan.



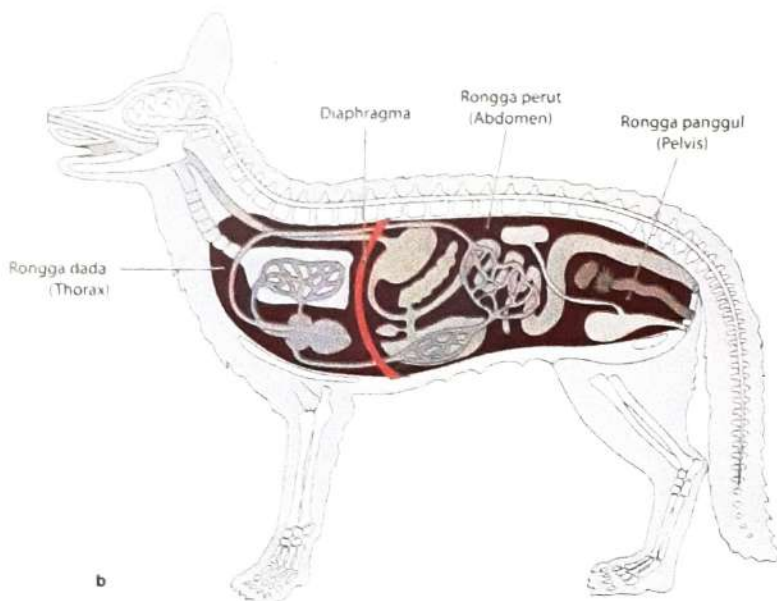
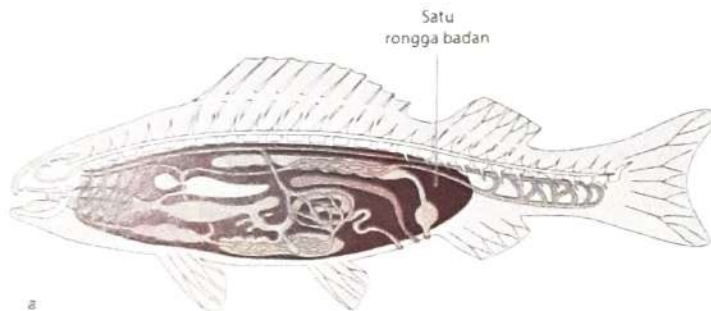
Struktur dan perkembangan sistem organ pada embrio — 1. Rongga tubuh

B Sekilas tentang sistem organ

Walaupun menurut definisi, setiap kelompok jaringan yang membentuk morfologi tertentu dianggap sebagai organ (menurut definisi tersebut, setiap otot adalah suatu organ), dalam kehidupan sehari-hari istilah "organ" ini biasanya digunakan untuk organ yang ada di dalam rongga kepala, leher, dan rongga tubuh lainnya. Karena itu, organ yang terletak di dalam tubuh disebut organ-dalam atau viscera. Buku atlas ini antara lain dimaksudkan untuk membantu pembelajaran anatomi umum ketika melakukan diseksi, sehingga masing-masing organ dalam disajikan dalam kerangka topografisnya, seperti melakukan diseksi. Karena dalam proses evolusinya, setiap organ membentuk sistem morfologis maupun fungsional yang saling terkait dan tidak mengikuti anatomi topografi, buku ini membahas berbagai sistem organ, termasuk embriologinya di bagian awal. Uraian ringkas ini diperlukan untuk memahami lokasi, bentuk, dan fungsi organ-dalam pada organisme dewasa. Perhatikan Saraf tepi, sumsum tulang, dan darah biasanya tidak disebut sebagai "organ". Demi lengkapnya, saraf tepi, sumsum tulang, dan darah juga akan dibahas, karena merupakan bagian dari seluruh sistem organ.

*Organ yang terletak di dalam leher atau rongga kepala dan ditulis dengan huruf miring tidak dibahas di sini.

Sistem	Organ*
Sistem pencernaan	Rongga mulut termasuk geligi dan kelenjar ludah, pharynx, Oesophagus, lambung (Gaster), usus halus (Intestinum tenue), usus besar (Intestinum crasum), Rectum, Pancreas, hati (Hepar) dengan Vesica biliaris.
Sistem respirasi	Rongga hidung dan sinus paranasales, Larynx, Trachea, paru-paru
Sistem urinari	Ginjal (Ren), ureter, Vesica urinaria, uretra
Sistem genital	♀ Uterus, Tuba uterina, Ovarium, Vagina, kelenjar Bartholin ♂ Testis, Epididymis, Ductus deferens, Vesica seminalis, Prostata, kelenjar-Cowper
Sistem sirkulasi	Jantung, pembuluh darah, darah, dan sumsum tulang
Sistem imun	Sumsum tulang, tonsil, Thymus, limpa (Splen), Nodus lymphoideus, Ductus thoracicus
Sistem endokrin	Thyroid, kelenjar paratiroid, kelenjar adrenal, kelenjar paraganglia, Pancreas (sel pulau), Ovarium, Testis, Hypophysis, Hypothalamus
Sistem saraf	Otak, Medulla spinalis, sistem saraf tepi (dengan komponen somatik dan otonom)



C Evolusi rongga tubuh

Pada ikan (a), semua organ-dalam terdapat di dalam satu rongga tubuh, sedangkan pada mamalia (b), Diaphragma memisahkan rongga dada dari rongga Abdomen. Berdasarkan kemiripan sejarah perkembangannya, struktur kedua rongga tubuh itu pada prinsipnya sama. Secara fungsional, hampir tidak ada perbedaan nama anatomi untuk struktur dengan jenis yang sama (contohnya, pleura-peritoneum). Pada mamalia, tidak terdapat batas anatomis yang jelas antara rongga Abdomen dan rongga Pelvis sehingga kedua rongga tersebut membentuk satu rongga, yang hanya dipisahkan secara topografis oleh lingkaran panggul. Pemisahan secara anatomis rongga Abdomen dan rongga Pelvis mempunyai makna klinis tersendiri: radang dan tumor dapat menyebar di kedua kompartemen tersebut tanpa hambatan Diaphragma menghambat penyebaran tumor atau radang dari rongga Abdomen ke rongga Thorax dan sebaliknya.

1.2 Diferensiasi lempeng benih (organogenesis) dan perkembangan rongga tubuh

A Diferensiasi lempeng-lempeng germinal (menurut Christ dan Wachtler)

Setelah pembentukan cakram embrional berlapis tiga, pada akhir minggu ketiga, perkembangan embrio (lihat **B**) serta materi pembentuk berbagai sistem jaringan dan organ (sel progenitor yang berdiferensiasi menjadi jaringan dan organ tertentu) terus mengikuti program pertumbuhan tubuh. Pada masa embrional berikutnya (minggu ke-4-8), ketiga lempeng germinal (ektoderm, mesoderm, dan endoderm) berdiferensiasi hingga membentuk semua organ utama, baik organ dalam maupun organ luar (organogenesis). Pada saat yang sama, ketiga lempeng embrional mulai melipat menyebabkan perubahan besar bentuk dalam dan luar embrio. Di akhir masa embrional, ciri-ciri utama tubuh sudah terlihat dan organ-organ berada di tempat masing-masing, baik yang di dalam maupun di luar rongga tubuh.

EKTODERM	Tabung saraf (neural tube)		Otak, retina, Medulla spinalis
	Crista neuralis	Crista neuralis kepala	
Crista neuralis badan			Ganglion sensorik dan otonom, glia perifer, medula adrenal, sel pigmen, dan pleksus intramural
Ektoderm permukaan	Plakoda ektoderm		Adenohypophysis, ganglion kranial sensorik, epitel penghidu, telinga dalam, lensa
			Enamel gigi, epitel rongga mulut, kelenjar ludah, rongga hidung, Sinus paranasales, Canalis lacrimalis, Meatus acusticus externus, epidermis, rambut, kuku, kelenjar kulit
MESODERM	Aksial	Corda dorsalis, Mesoderm prekordal	Otot-otot mata luar
	Paraksial		Vertebrae, Costae, otot lurik, jaringan ikat, dermis dan subkutis di punggung dan bagian kepala, otot polos, pembuluh darah
	Intermedia		Ginjal, Gonad, Ductus genitourinarii
	Mesoderm lempeng lateral	visceral (splanchnopleura)	
parietal (somatopleura)			Sternum, ekstremitas tanpa otot (kartilago, tulang dan ligamen), dermis dan hipodermis pada di dinding tubuh ventrolateral, otot polos, jaringan ikat, selaput serosa parietal
ENDODERM			Epitel di saluran usus, saluran pernapasan, kelenjar pencernaan, kelenjar faring, Tuba auditoria (pharyngotympanica), rongga timpani, Vesica urinaria, Thymus, Glandula parathyroidea, Glandula thyroidea

B Pembentukan tabung saraf (neurulasi) dan somit (menurut Sadler)

a, c dan e Lempeng germinal, dilihat dari dorsal, tanpa amnion;

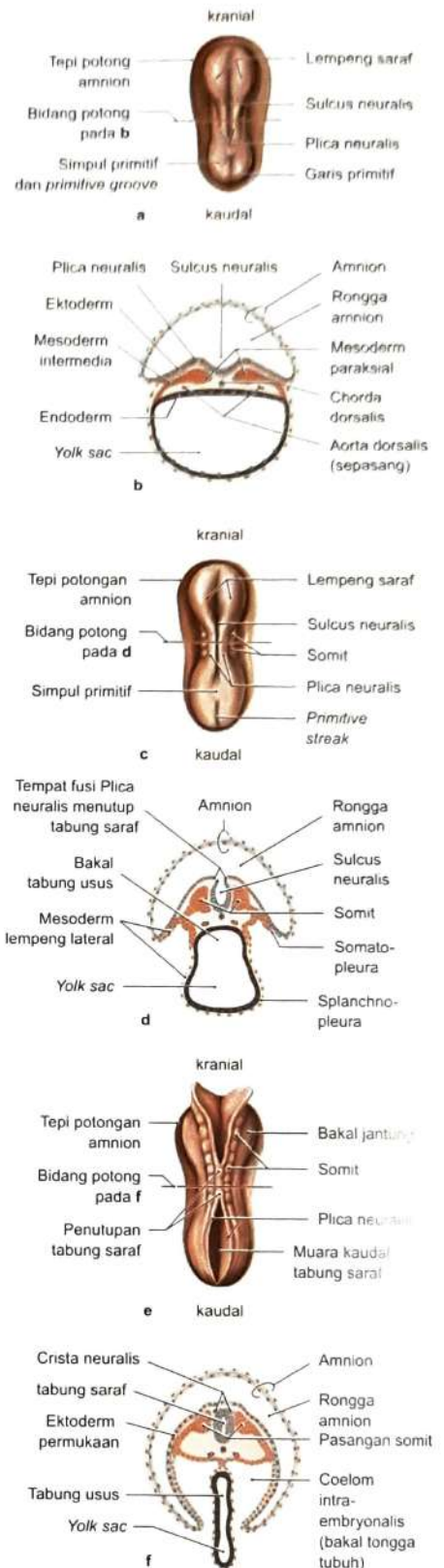
b, d dan f potongan transversal secara skematik pada setiap tahap, setinggi bidang potong pada a, c, dan e, sesuai umur p.o. (= pascaovulasi, postovulationem)

Pada saat neurulasi (= pembentukan tabung saraf dari sulcus neuralis = bakal SSP), neuroektoderm berpisah dari ektoderm-permukaan karena pengaruh induktif Chorda dorsalis, dan sel-sel tabung saraf dan Crista neuralis bermigrasi ke dalam embrio.

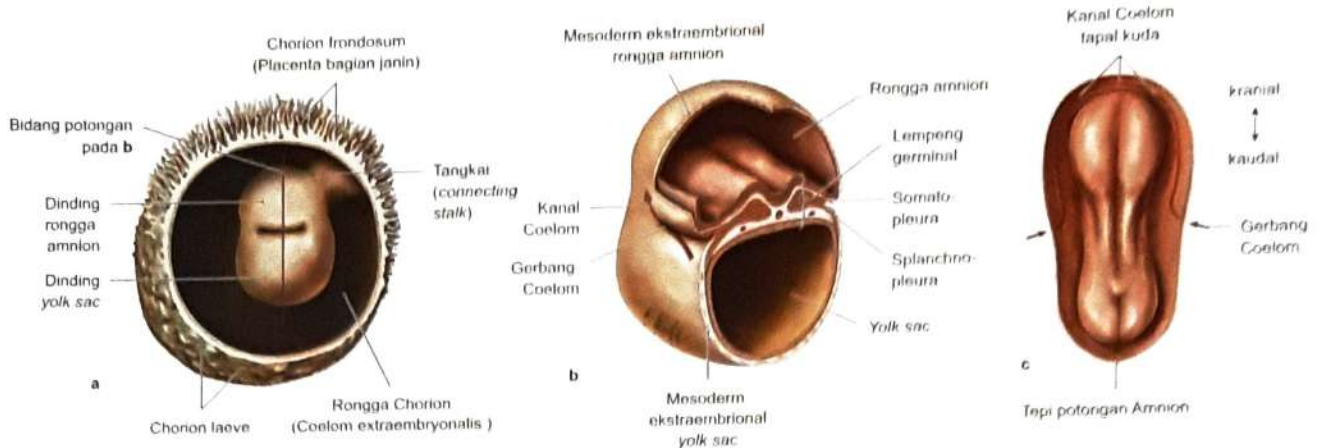
a dan b Lempeng germinal pada 19 hari: Sulcus neuralis berkembang di daerah lempeng saraf.

c dan d Lempeng germinal pada 20 hari: Pada mesoderm paraksial, di kedua sisi Sulcus neuralis dan Chorda dorsalis, terbentuk somit-somit pertama (mengandung materi sel untuk Columna spinalis, otot, dan jaringan subkutan). Di sebelah lateral mesoderm paraaksial adalah mesoderm intermedia dan di sebelah lateralnya lagi adalah mesoderm lateral. Sulcus neuralis mulai membentuk tabung saraf (neural tube) dan mulailah pelipatan embrio.

e dan f Embrio pada 22 hari: Di kedua sisi tabung saraf yang sudah menutup sebagian dan telah bermigrasi ke dalam, dapat terlihat 8 pasang somit. Di dalam mesoderm lempeng lateral, muncul Coelom intraembryonal, yang merupakan bakal calon rongga tubuh, dengan satu lapisan parietal (somatopleura) dan satu lapisan visceral (splanchnopleura). Pada sisi yang menghadap ke coelom, somatopleura dan splanchnopleura membentuk lapisan mesotel, yang nantinya membentuk membran serosa untuk rongga perikardium, pleura, dan peritoneum. Membran ini berupa selapis epitel gepeng sel mesenkim. Materi Crista neuralis mulai bermigrasi ke dalam mesoderm; somit-somit berdiferensiasi membentuk sklerotom, myotom, dan dermatom.



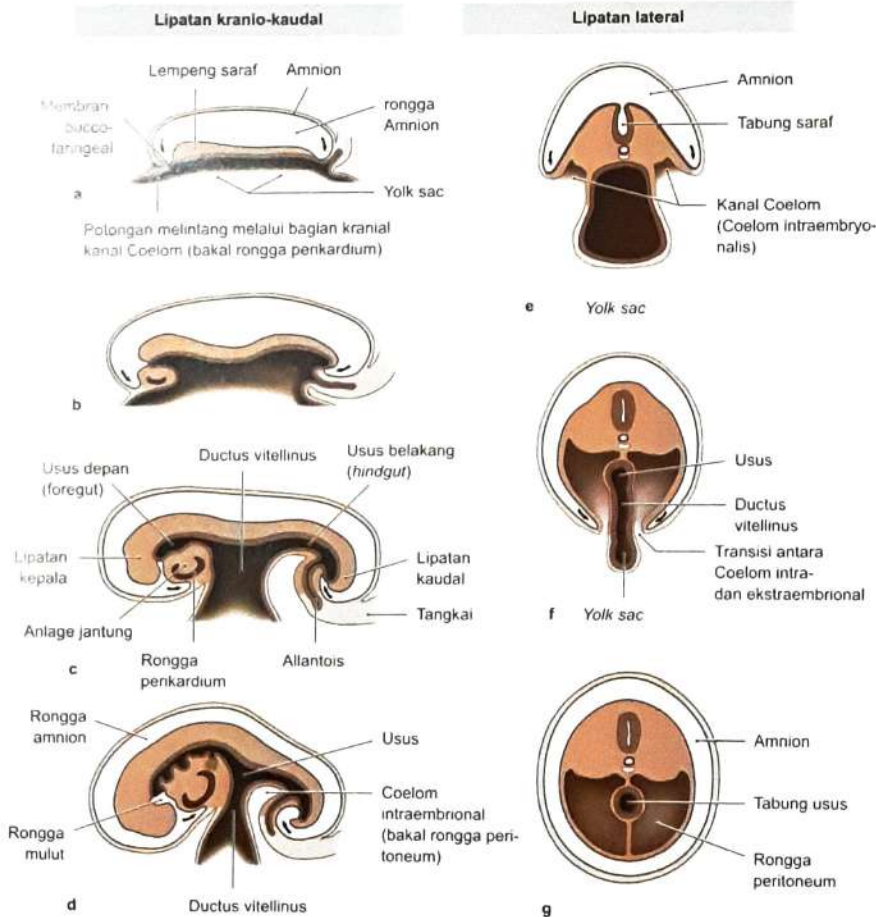
Struktur dan perkembangan sistem organ pada embrio — 1. Rongga tubuh



C Pembentukan Coelom intra-embrial (menurut Waldeyer)
a Bagian dalam rongga korion yang dibuka (Coelom ekstraembrional), **b** Potongan melintasi rongga amnion, Lempong germinal dan yolk sac (rongga korion dihilangkan), **c** Gambaran lempeng germinal (kanal Coelom diwarnai merah).

Rongga tubuh serosa definitif (rongga perikardium, pleura, dan peritoneum) akan terbentuk dari Coelom intraembrial mulai pada perkembangan minggu ke-4 dalam bentuk celah-celah antar-sel (tidak diperlihatkan di sini) yang terlihat di mesoderm lempeng lateral (lihat B) Dengan cara ini, Coelom intraembrial—yang diawali berbentuk celah—membelah lempeng mesoderm lateral menjadi lempeng parietal (somatopleura) dan lempeng viseral (splanchnopleura). Pada pinggiran lempeng germinal, Ektoderm permukaan yang berada di dekat somatopleura masuk ke dalam mesoderm ekstraembrional

amnion, sedangkan endoderm yang berada di dekat splanchnopleura masuk ke dalam mesoderm ekstraembrional yolk sac. Jadi, Coelom intraembrial melinggi mulut yolk sac seperti sebuah cincin (disebut juga cincin Coelom). Di bagian kranial embrio, cincin Coelom tertutup dari Coelom ekstraembrional (rongga khorion), dan membentuk kanal Coelom intraembrial berbentuk tapal kuda, kalau dilihat dari atas. Coelom intraembrial dan ekstraembrional kaudal saling berhubungan melalui gerbang Coelom (lihat D). Selanjutnya, melalui pelipatan embrio, Coelom intraembrial dan ekstraembrional kaudal menjadi semakin terpisah. Kejadian selanjutnya adalah Coelom intraembrial membentuk kompartemen, dengan satu rongga perikardium yang terbentuk dari bagian kranial Coelom, dan rongga pleura berpasangan dan peritoneum yang terbentuk dari bagian lateral Coelom.

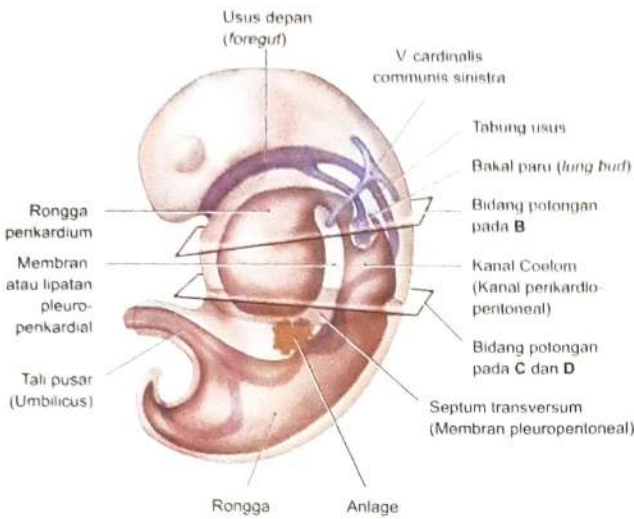


D Pelipatan embrio

a-d Potongan median-sagittal; **e-g** Potongan frontal setinggi yolk sac.

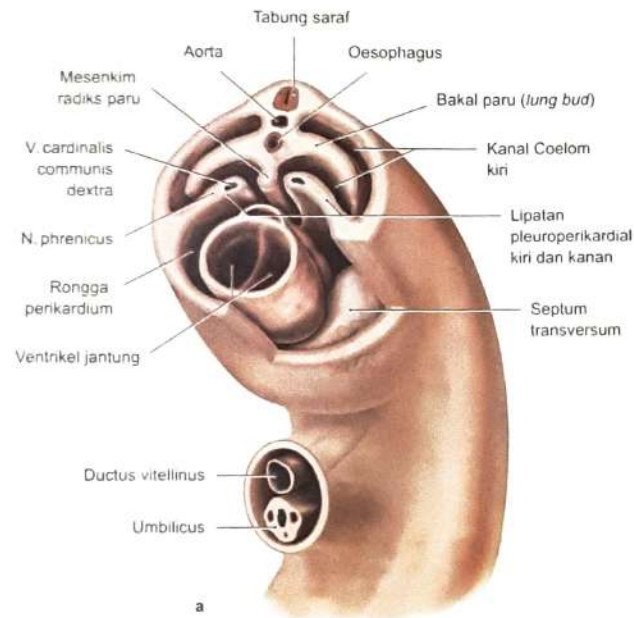
Selama pelipatan, embrio tumbuh dengan cepat dan menonjol dari permukaan lempeng germinal awalnya. Pertumbuhan lempeng saraf yang pesat mengakibatkan pemanjangan ke arah kranial dan kaudal. Akibatnya embrio menjadi melengkung (a-d). Selain itu, pembentukan somit juga mengakibatkan ekspansi embrio ke lateral (pelipatan lateral) di bagian atas yolk sac (e-g). Dengan demikian, kanal Coelom semakin bergeser ke ventral embrio. Melalui pelipatan kranial (lipatan kepala), ujung kanal Coelom yang tak-berpasangan berpindah ke bawah usus-depan dan meluas ke dalam rongga perikardium. Pelipatan ekor kaudal memindahkan tangkai penghubung (bakal tali pusar) dan alantois ke sisi ventral embrio. Pada pelipatan lateral, Coelom intraembrial semakin terpisah dari Coelom ekstraembrional. Di satu sisi, proses-proses pelipatan tersebut menyebabkan semakin mengecilnya jarak antara endoderm embrial (bakal tabung usus) dan yolk sac (bakal tali pusar); di sisi lain, menyatukan bagian kaudal kiri dan kanan kanal Coelom hingga hanya terbentuk satu rongga Coelom besar, yang akan menjadi rongga peritoneum (posisi rongga pleura, lihat hlm. 6)

1.3 Pembentukan kompartemen Coelom intra-embrional



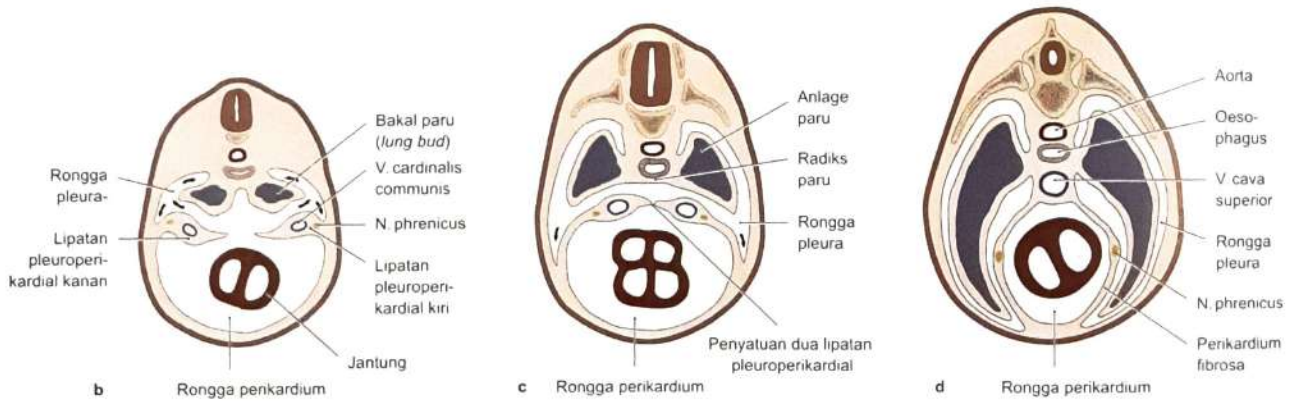
A Ringkasan tentang pembentukan kompartemen Coelom intraembrional (menurut Drews)

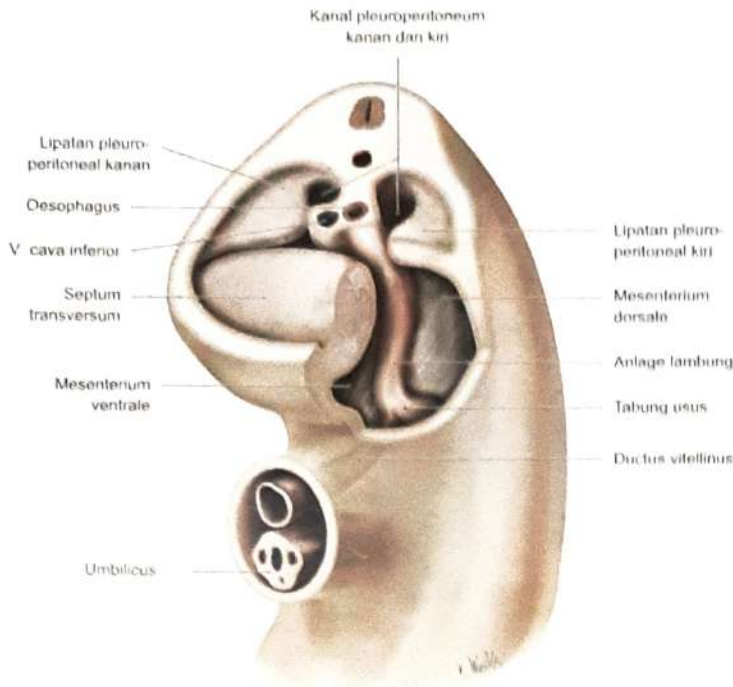
Embrio pada sekitar 4 minggu (dilihat dari kiri). Karena pelipatan kranial, ujung kranial kanal Coelom yang tak berpasangan berada di bawah usus depan dan meluas ke rongga perikardium. Melalui kanal Coelom (yang disebut kanal kanal perikardio-peritoneal), rongga perikardium di kedua sisi tabung usus berhubungan dengan rongga peritoneum yang terletak di kaudal. Bagian bakal rongga peritoneum yang masih belum melipat mula-mula terbuka ke lateral ke arah rongga khorion. Kuncup paru yang berkembang dari tabung usus menuju ke kanal-kanal Coelom tadi, membentuk sepasang rongga pleura. Dengan membentuk sekat-sekat pemisah, pada tahap berikutnya, rongga pleura tersebut memisahkan diri dari rongga perikardium (membran atau lipatan pleuroperikardial) dan dari rongga peritoneum (septum transversum/membran atau lipatan pleuropentoneal) (lihat B). Pada bidang frontal, lipatan-lipatan kedua kanal Coelom (perikardio-peritoneal) di daerah sekitar Venae cardinales communes. Kedua saluran tersebut melebur dengan mesoderm yang terletak di sebelah ventral tabung usus (bakal Oesophagus). Pada dinding kaudolateral kanal Coelom, terbentuk lipatan-lipatan pleuropentoneal dan membentuk bakal Diaphragma, yang bersama dengan Mesenterium dorsalis oesophagus dan septum transversum, (lihat D).



B. Pemisahan rongga perikardium dari rongga pleura (menurut Sadler)

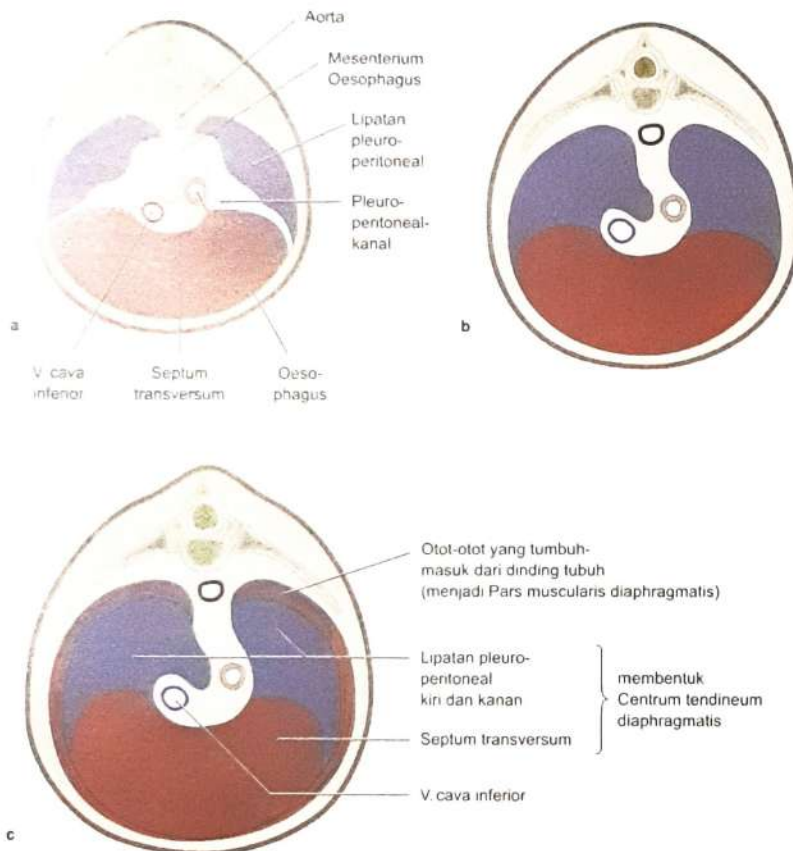
Embrio pada 5 minggu. Potongan frontal setinggi bakal rongga perikardium, untuk bidang potong lihat gambar A. Pada minggu ke-5, di antara rongga perikardium yang tak berpasangan dan kedua kanal Coelom, tumbuh dua lipatan mesoderm tipis (lipatan pleuroperikardial) dari sisi lateral yang akan saling bertemu. Di dalamnya, terbentuk cikal bakal Venae cardinales communes dan Nervus phrenicus. Bersamaan dengan tumbuhnya kuncup paru ke dalam kanal Coelom (lihat hlm. 26, perkembangan paru), terbentuk dua rongga pleura, yang terus mengembang dan akhirnya terpisah dari rongga perikardium. Pemisahan dengan rongga perikardium baru selesai setelah kedua lipatan pleuroperikardial menyatu dengan mesenkim pangkal paru. Melalui penyatuan kedua Venae cardinales sebelah kranial, terbentuk vena cava superior; dan dari kedua lipatan pleuroperikardial, berkembang juga calon perikardium fibrosus (lihat hlm. 14, perkembangan jantung).





C Pemisahan rongga pleura dari rongga peritoneum (menurut Sadler)

Setelah rongga pleura terpisah dari rongga perikardium, keduanya untuk sementara masih terhubung dengan rongga peritoneum melalui kanal pleuroperitoneal. Penutupan sempurna baru terjadi pada minggu ke-7 bersama dengan berkembangnya Diaphragma, yang terbentuk dari beberapa struktur yang berbeda (lihat D). Bila penutupan kanal pleuroperitoneal tak sempurna, dapat terbentuk *hernia diafragmatika kongenital* (contohnya, *hernia Bochdalek*), yang memungkinkan organ dalam abdomen masuk ke dalam rongga pleura.



D Perkembangan Diaphragma (menurut Sadler)

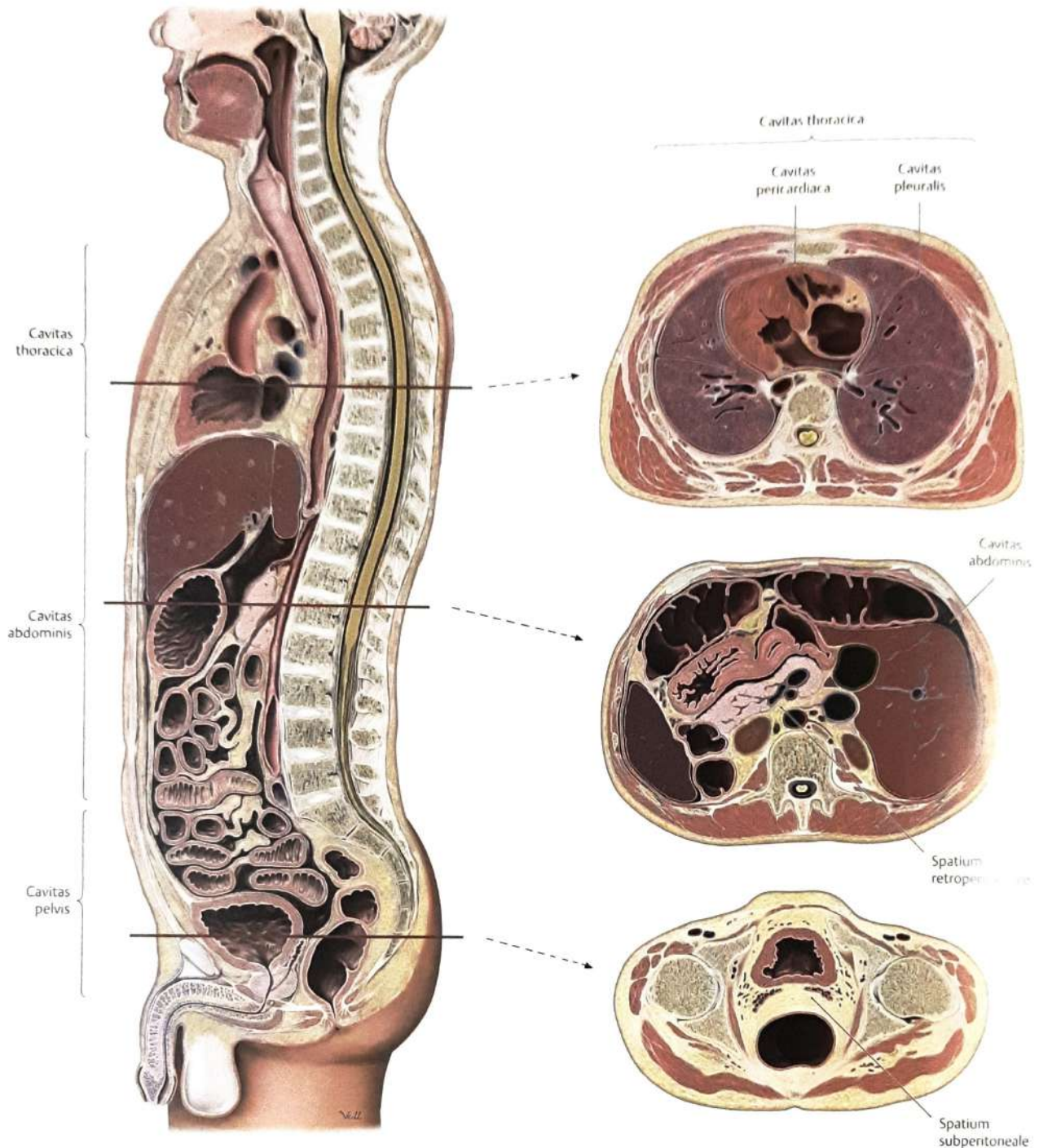
Pada pembentukan Diaphragma, terdapat 4 struktur berbeda yang berperan.

- Septum transversum,
- Lipatan pleuroperitoneal kiri dan kanan,
- Mesenterium dorsale oesophagus, dan
- Otot dinding tubuh.

Pada minggu ke-4, Septum transversum sudah terbentuk sebagai lempeng mesenkim yang tebal di daerah antara rongga perikardium dan *yolk stalk*. Pada minggu ke-6, septum transversum bergeser ke arah kaudal (a). Tepat di bawahnya, terbentuk bakal hati di dalam Mesenterium ventrale. Dalam proses selanjutnya, septum transversum bergabung dengan kedua lipatan pleuroperitoneal dan membentuk bakal Centrum tendineum (b). Dari Mesenterium dorsale Oesophagus dan otot-otot dinding tubuh di dekatnya, akhirnya terbentuk Pars muscularis diaphragmatis (c).

Perhatikan: Inervasi motorik untuk Diaphragma dilaksanakan oleh nervus phrenicus (C3, C4, dan C5), yang terletak di dalam lipatan pleuroperikardial, tepat di samping bakal Vena cardinalis communis. Otot lurik Diaphragma (dari somit), serta Septum transversum, alinya berasal dari daerah leher. Karena itu, menjadi jelas mengapa pasokan saraf Diaphragma (Nerviervus phrenicus) berasal dari Medulla spinalis cervicalis.

1.4 Pembagian dan arsitektur rongga tubuh

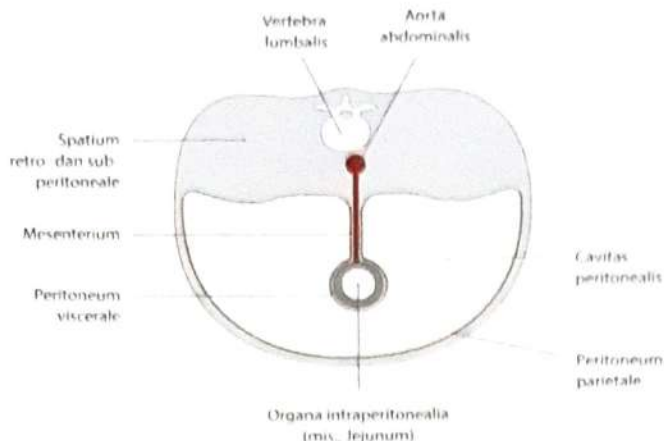


A Pembagian rongga tubuh

Potongan median sagital, dilihat dari kiri. Ditemukan tiga rongga tubuh besar, yang tersusun dari atas ke bawah:

- Rongga dada (Cavitas thoracica),
- Rongga perut (Cavitas abdominis), dan
- Rongga panggul (Cavitas pelvis).

Seluruh sisi rongga tubuh tersebut ditutup oleh bagian-bagian dinding badan. Sebagian besar dinding tersebut berupa otot dan jaringan ikat. Pada dinding, juga terdapat unsur tulang; di rongga dada, ada tulang iga; di Pelvis, ada tulang panggul. Pada bagian atas, ruang jaringan ikat rongga dada terus menyambung ke leher. Otot-otot dasar Pelvis menutup Apertura pelvis inferior. Sesuai dengan lokasinya di dalam salah satu rongga tersebut, organ di dalamnya diberi nama organ Thorax, Abdomen, atau Pelvis (lihat C).



B Arsitektur rongga-rongga tubuh

Penampang lintang tubuh manusia (skematis), dilihat dari atas. Pada prinsipnya, setiap rongga tubuh dapat dibagi atas dua ruang dengan struktur yang berbeda

- **Ruang berongga** dinding dalam rongga dan dinding luar organ-organ yang ada di dalamnya dilapisi oleh lapisan epitel yang halus, lembab, dan berkilap, yang disebut membran serosa. Bagian membran serosa yang membungkus organ disebut *lapisan visceral* (visera = organ dalam), bagian yang melapisi dinding rongga disebut *lapisan parietal* (paries = dinding). Organ yang terletak di dalam rongga ini dapat bergerak bebas dan hanya tersambung ke ruang jaringan ikat melalui suatu jembatan jaringan ikat "meso", yang juga dilapisi oleh membran serosa (lihat di bawah).
- **Ruang jaringan ikat** yang menjadi jalur lewatnya saraf dan pembuluh darah dan ke organ. Organ-organ yang terletak di dalam ruang ini terikat oleh jaringan ikat dan tidak banyak bergerak bebas.

Struktur umum ini berlaku untuk ketiga rongga tubuh, tetapi nama-nama untuk setiap bagian berbeda-beda. (lihat C).

- Di dalam **Thorax**, sebagian besar jaringan ikat terletak di bagian tengah yang disebut mediastinum. Di sini, terdapat rongga perikardium

- (Cavitas pericardiaca), sebagai rongga serosa. Di sebelah kanan dan kiri mediastinum, terdapat dua rongga serosa pleura (Cavitates pleurales).
- Di dalam **Abdomen**, ruang jaringan ikat terletak di belakang rongga serosa (rongga peritoneum), di dalam Spatium extraperitoneale abdominis.
- Di dalam **Pelvis**, ruang jaringan ikat terletak di belakang maupun di bawah rongga peritoneum, di dalam Spatium extraperitoneale pelvis.

Dengan demikian, semua organ di Thorax, Abdomen, dan Pelvis, dibagi menurut lokasinya di dalam ruang jaringan ikat atau di salah satu ruang berongga serosa (lihat C)

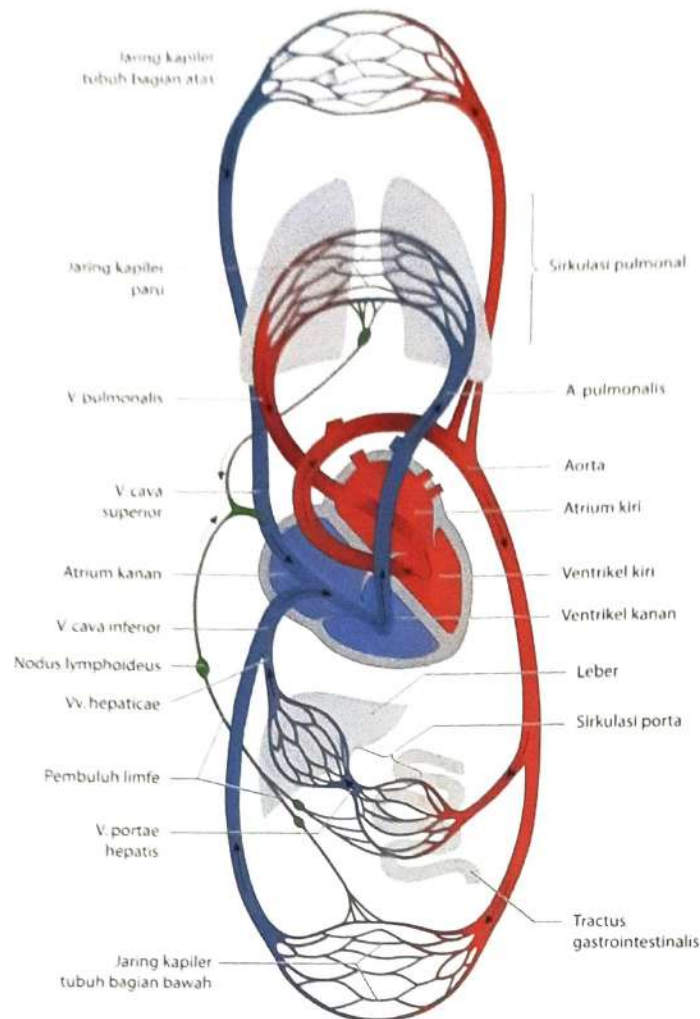
Perhatikan. Sementara Thorax dan Abdomen disekat dengan tegas oleh Diaphragma, batas antara Abdomen dan Pelvis tidak jelas. Batasnya ditentukan dengan patokan-patokan tulang di dinding Pelvis. Jadi, Abdomen dan Pelvis pada prinsipnya tetap berada dalam satu ruang, yang menjadi ruang bersama untuk penyakit.

Mesenterium adalah suatu lapisan jaringan ikat yang dilapisi oleh epitel peritoneum pada kedua sisinya. Di dalamnya, berjalan lintasan neurovaskular ke organ (pembuluh darah, pembuluh limfatik, dan saraf). Dalam konteks organ, mesenterium sering disebutkan dengan awalan "meso" (mis., Mesocolon).

C Ruang-ruang dan rongga tubuh dengan organ-organnya di Thorax, Abdomen, dan Pelvis

Rongga tubuh dan isinya	Rongga serosa dan organ yang ada di dalamnya	Selaput serosa	Ruang jaringan ikat dan organ yang ada di dalamnya
Cavitas thoracica (rongga dada, Thorax) Organ-organ Thorax	<ul style="list-style-type: none"> • Cavitates pleurales (rongga pleura berpasangan) dengan paru: <i>Organa intrapleuralia</i> • Cavitas pericardiaca (Pericardium) dengan jantung: <i>Organum intrapericardialium</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pleura visceralis atau parietalis • Pericardium serosum: Lamina visceralis dan parietalis 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediastinum ("ruang tengah") di antara kedua rongga pleura serta di belakang dan di depan rongga perikardium yang tak berpasangan, dengan organ-organ mediastinum = Oesophagus, Trachea, dan Thymus juga semua pembuluh, dan saraf – <i>Organa mediastinalia</i>
Cavitas abdominis (Abdomen atau rongga perut) Organ abdominal	<ul style="list-style-type: none"> • Cavitas peritonealis abdominis (rongga peritoneum Abdomen) bersama dengan: Gaster, sebagian Intestinum dan Colon, Splen, Hepar, Vesica biliaris, dan Caecum, serta Appendix vermiformis: <i>Organa intraperitonealia</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Peritoneum viscerales dan parietale 	<ul style="list-style-type: none"> • Spatium extraperitoneale (atau retroperitoneale) abdominis (dan pelvis), yaitu di luar (atau di belakang) rongga peritoneum Abdomen (dan Pelvis) dengan Ren, Ureter, Glandula suprarenale, dan Pancreas serta sebagian Duodenum, Colon, dan Rectum – <i>Organa extraperitonealia</i>
Cavitas pelvis (Pelvis; rongga panggul) Organ panggul	<ul style="list-style-type: none"> • Cavitas peritonealis pelvis (rongga peritoneum Pelvis) dengan: Fundus dan Corpus uteri, Ovarium, Tuba uterina dan bagian Rectum paling atas: <i>Organa intraperitonealia</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Peritoneum viscerales dan parietale 	<ul style="list-style-type: none"> • Spatium extraperitoneale (atau retro- dan subperitoneale) pelvis, rongga peritoneum di luar (di belakang dan di bawah) Pelvis dengan: Vesica urinaria dengan bagian Ureter di dekatnya, Prostata, Glandula vesiculosa, Cervix uteri, Vagina, dan beberapa bagian Rectum – <i>Organa extraperitonealia</i>

2.1 Tinjauan dan prinsip struktur dinding



A Tinjauan sistem kardiovaskular

Sistem kardiovaskular merupakan sistem pembuluh tertutup, yang dialiri oleh darah. Sirkulasi ini penting agar oksigen, nutrisi, dan hormon terus diterima oleh organ serta karbon dioksida dan produk buangan metabolisme organ diangkut ke organ sekresi. Selain itu, aliran darah juga membawa sel dan protein sistem kekebalan. Sel-sel tersebut terus-menerus berpatroli mencari patogen dan menggunakan darah sebagai medium transportasi. Serupa dengan mesin pemanas sentral, darah juga dapat mengalirkan panas, sehingga sirkulasi darah juga bagian dari peredaran panas di tubuh. Di samping fungsi layanan tersebut, darah juga mempunyai sistem khusus untuk menghentikan kebocoran: faktor-faktor pembekuan darah. Ketika sistem pembuluh terluka, faktor tersebut akan teraktivasi. Peredaran darah berlangsung karena ada jantung, yang berfungsi laksana pompa-isap-tekan.

Sistem sirkulasi darah dapat dibagi menjadi dua sirkuit utama:

- Sirkulasi sistemik (sistem bertekanan tinggi, dengan tekanan darah rata-rata 100 mmHg di dalam arteri besar), dan
- Sirkulasi paru (sistem bertekanan rendah, dengan tekanan rata-rata 12 mmHg; beda tekanan dengan sirkulasi sistemik hampir 10!).

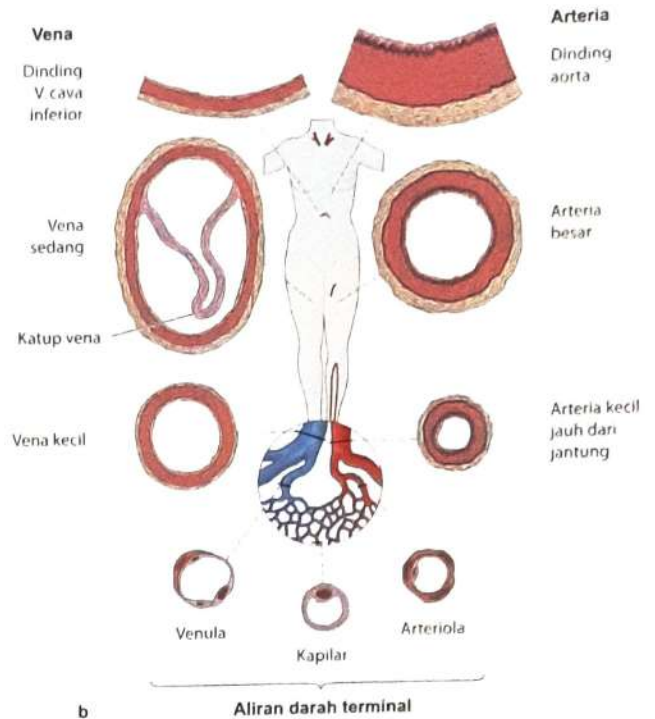
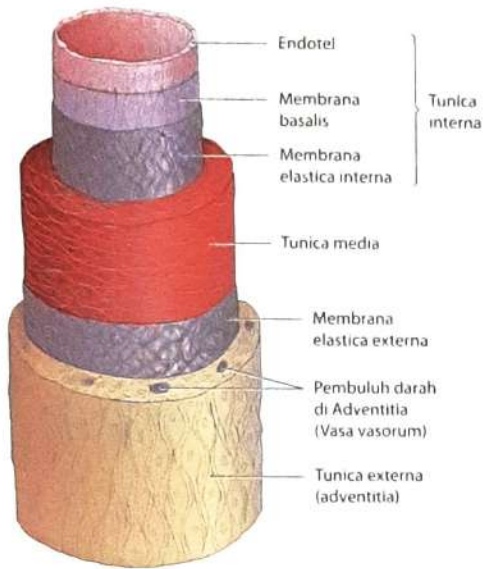
Berkenaan dengan sistem pembuluh, dsistem peredaran tersebut dapat dibagi menjadi 4 bagian:

- Arteri dan arterioli: menghantarkan darah keluar dari jantung menuju organ
- Kapiler: menghubungkan arterioli dengan venula dan berperan dalam pertukaran zat di dalam organ.
- Venula dan vena: menerima darah dari kapiler dan meneruskannya kembali ke jantung
- Jantung: berfungsi sebagai pompa sirkulasi dan memompa darah kembali ke arteri.

Sistem pembuluh limfatik merupakan sistem pembuluh tambahan yang mengangkut cairan keluar dari organ. Sistem tersebut mulai dengan kapiler limfatik di dalam organ dan menghantarkan cairan limfatik ke sistem vena.

Perhatikan: Penyebutan pembuluh sebagai arteri atau vena didasarkan pada konstruksi dinding dan sistem tekanan tinggi atau rendah, tidak menurut kadar oksigen dalam darah, seperti yang digambarkan di sini. Dalam sirkulasi paru-paru, arteria pulmonalis membawa darah vena (= biru), sedangkan vena pulmonalis membawa darah arteri (= merah).

Struktur dan perkembangan sistem organ pada embrio — 2. Sistem peredaran darah



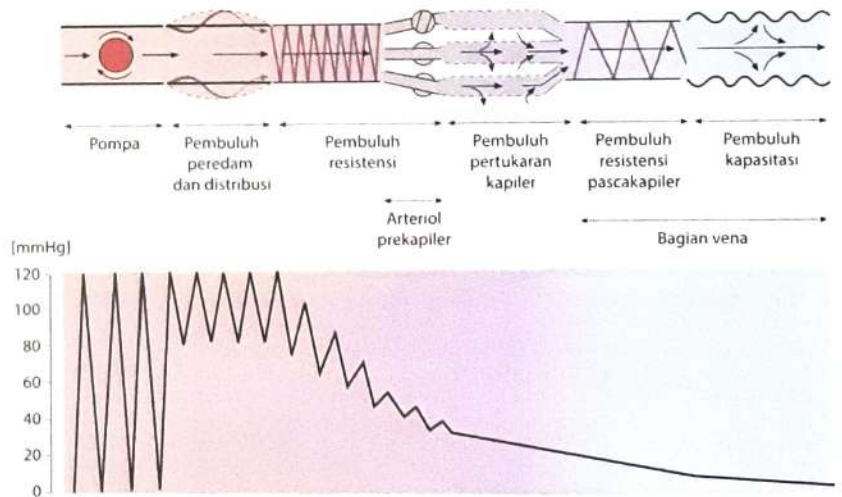
B Struktur dasar dinding pembuluh besar

- a Dinding pembuluh besar (arteri, vena) pada prinsipnya terdiri dari 3 bagian:
- Tunica intima, lapisan endotel—yang tersusun dari selapis epitel gepeng dan sel-selnya tersusun memanjang searah aliran darah—bersama dengan jaringan ikat sub-endotelial di bawahnya;
 - Tunica media, sel-sel otot polos yang tersusun berbentuk cincin, bersama dengan serabut elastik membrana elastica interna (yang memisahkan endotel intima dari tunica media) dan membrana elastica externa (yang memisahkan tunica media dari tunica adventitia);
 - Tunica adventitia, jaringan ikat longgar, yang mengikat pembuluh darah tersebut dengan sekitarnya dan memungkinkan sedikit pergeseran jika organ bergerak; terdapat juga pembuluh darah, pembuluh limfatik, dan saraf.

- b Selain mempunyai struktur berlapis-tiga yang identik dengan arteri, vena mempunyai jumlah sel otot polos lebih sedikit di substantia media dan kurang kencang daripada di arteri, sehingga tunica media vena terlihat lebih kendur. Kedua karakteristik struktur vena tersebut disebabkan oleh tekanan darah vena yang lebih rendah dibandingkan dengan tekanan darah di dalam arteri. Di samping itu, vena di ekstremitas juga mempunyai katup-katup vena. Pembuluh-pembuluh pertukaran yang kecil, yaitu kapiler, tidak mempunyai lapisan otot, melainkan hanya terdiri dari lapisan endotel dan membran basal.

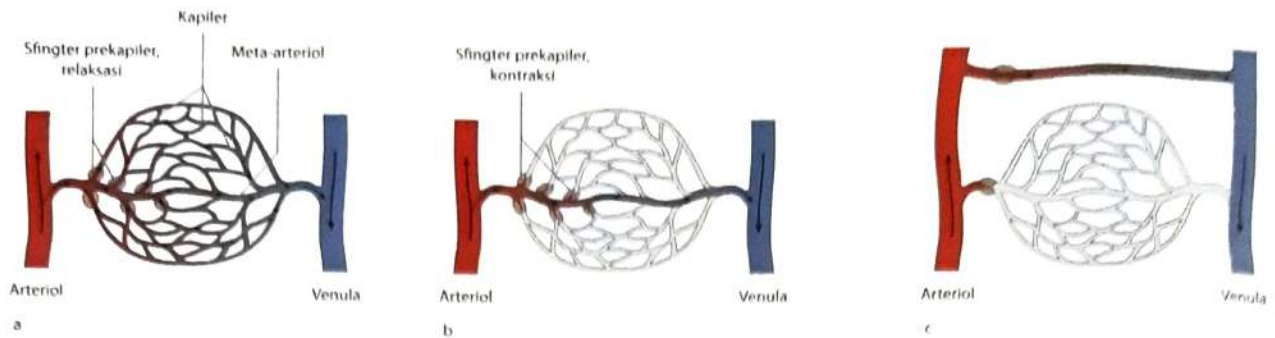
C Kondisi tekanan darah di berbagai bagian sistem kardiovaskular

Hampir tidak ada fungsi sistem organ yang terkait erat dengan morfologinya seperti pada sistem kardiovaskular, karena tekanan darah lebih tinggi membuat pembuluh berdinding tebal dan tekanan yang lebih rendah membuat pembuluh berdinding tipis. Karena itu, pengetahuan mengenai karakteristik tekanan darah sangat penting untuk menjelaskan morfologi. Pada arteri besar di dekat jantung, tekanan darah sangat berfluktuasi mengikuti siklus jantung-ventrikel kiri mencapai puncak tekanan pada sistolik 120 mmHg, sedangkan tekanan diastolik turun hingga 0 mmHg. Karena karakteristik dinding arteri yang ada di dekat jantung, lonjakan-lonjakan tekanan darah dapat diredam dan selanjutnya diatur oleh pembuluh darah penahan (*resistance vessels*), sehingga tekanan di kapiler selalu sama. Yang paling rendah adalah tekanan di vena sentral di dekat jantung, yang berdinding lebih tipis, sehingga, bagian ini dapat mengembang dan menyimpan darah, bagaikan kantong air.



Perhatikan: Masing-masing bagian dalam sistem pembuluh darah mempunyai fungsi spesifik, seperti ditunjukkan pada gambar di atas.

2.2 Pembuluh darah terminal dan sistematika perjalanan utama pembuluh darah



A Pembuluh darah terminal

a Fungsi utama arteri dan vena adalah transportasi darah, sedangkan fungsi utama pembuluh darah terminal adalah pertukaran zat antara darah dan jaringan. Bagian pertukaran ini disebut juga sebagai sirkulasi mikro.

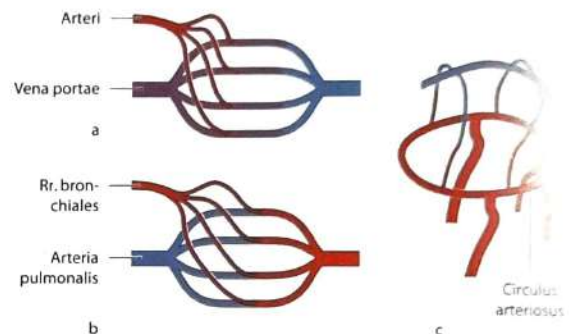
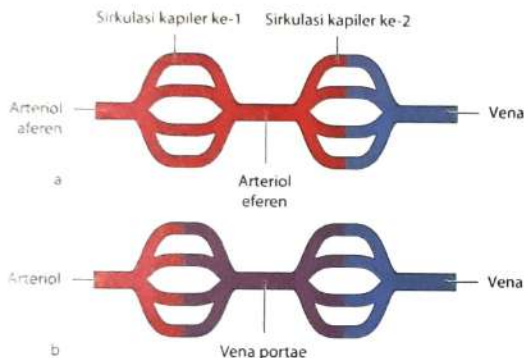
Yang termasuk pembuluh darah terminal adalah:

- Arteriol
- Kapiler
- Venula

b Mengetahui aliran darah ke organ-organ, yang penting adalah bahwa tidak semua kapiler mendapat aliran darah yang sama. Untuk

mengatur aliran darah kapiler, terdapat sfingter prakapiler dan sel-sel otot polos. Perfusi pembuluh terminal di dalam suatu organ tertentu tidak hanya tergantung pada fungsi organ, melainkan bervariasi sesuai dengan dinamika fungsi masing-masing organ.

c Di samping itu, terdapat juga anastomosis vena dengan arteri yang mengatur sirkulasi pada suatu kelompok kapiler yang saling berdekatan dan membentuk satu unit fungsional. Dengan demikian, aliran ke salah satu daerah kapiler dapat saja dihentikan. Kemampuan pengaturan aliran darah kapiler merupakan masalah utama pada kasus syok: darah dapat "terkurung" di dalam sistem kapiler.



B Kondisi-kondisi khusus pembuluh darah

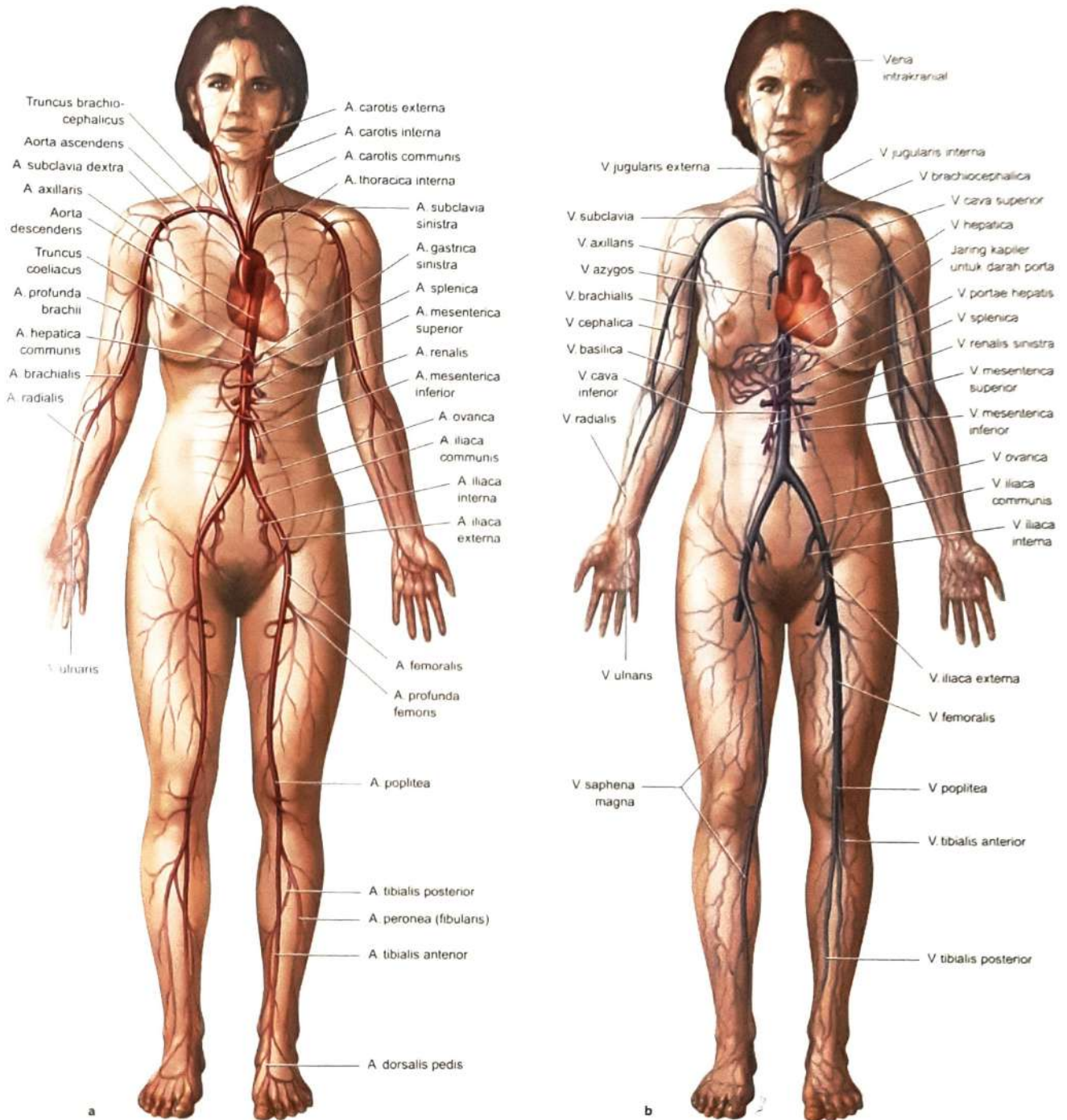
Disamping, cara perfusi organ seperti di atas (arteri-kapiler-vena), pada beberapa kasus khusus, ada juga pola aliran istimewa pada beberapa organ.

a Aliran darah arteri melalui dua sirkulasi kapiler secara seri: dua sirkulasi kapiler yang saling terhubung secara seri ditemukan di ginjal; darah arteri pada mulanya mengalir melalui glomeruli, kemudian mengalir ke kapiler medulla ginjal.

b Aliran darah melalui dua sirkulasi vena (sistem vena porta): mengalirkan darah vena melalui dua daerah kapiler yang terhubung secara seri, yang disebut sirkulasi vena porta. Untuk memperjelas, darah yang keluar dari kapiler pertama di beri berwarna ungu, karena belum terdeoksigenasi sempurna. Sistem vena porta seperti itu ditemukan pada saluran pencernaan; di sini, darah vena dari organ-organ Abdomen yang tak-berpasangan (lambung, usus, Lien) ditampung ke dalam vena porta dan masuk ke dalam sirkulasi kapiler kedua di dalam hepar.

C Suplai ganda untuk organ

Hati (Hepar) mendapat suplai darah arteri dari arteria hepatica maupun darah vena dari vena porta (Vena portae hepatis) (**a**). Pembuluh darah yang bertanggung jawab untuk penyuplai darah beroksigen adalah arteria hepatica, yang disebut Vas privatum. Pembuluh yang berisi darah yang mengandung zat-zat yang akan dimetabolisme di dalam hati disebut Vas publicum. Suplai darah melalui dua arteri juga ditemukan di dalam paru (**b**). Di sini, Vas publicum-nya adalah Arteriae pulmonales (tetapi mengandung darah vena) dan Vasa privata-nya adalah Rami bronchiales aortae. Di otak, terdapat varian lain yang terdiri dari banyak suplai darah, empat arteri membentuk lingkaran sirkulasi tertutup satu sama lain (Circulus arteriosus), yang sehingga keempat pembuluh langsung memasok otak (**c**). Ketiga varian suplai darah melalui beberapa pembuluh darah tersebut memberikan kemungkinan kompensasi, seandainya salah satu pembuluh tidak berfungsi.



D Sirkulasi pembuluh besar

Pada gambar, ditampilkan arteri (a) dan vena (b) besar pada manusia. Dalam pembahasan organ berikutnya, diperlukan pengetahuan tentang pembuluh-pembuluh darah besar; pembuluh pemasok organ yang lebih kecil akan dibahas bersama dengan organ-organnya.

2.3 Zona kardiogenik, proses pembentukan tabung jantung

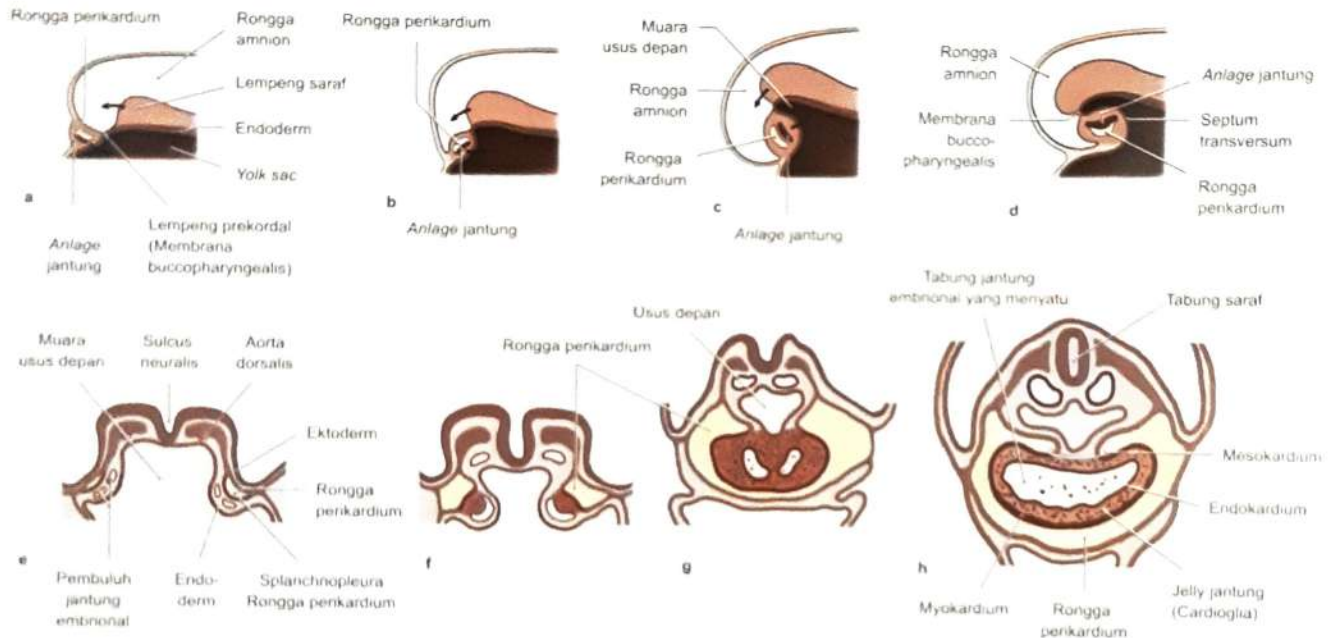
Keistimewaan

Sistem kardiovaskular sangat istimewa karena merupakan sistem organ pertama yang mulai berfungsi pada akhir minggu ketiga perkembangan embrio manusia (kontraksi pertama tabung jantung-[endothel] primitif). Keistimewaan kedua adalah lengkung jantung (lihat di bawah) merupakan struktur asimetris pertama pada tubuh manusia. Karena embrio manusia tidak mempunyai *yolk* yang memadai, yaitu nutrisi

melalui difusi yang hanya cukup untuk waktu yang singkat, sejak dini embrio membutuhkan sirkulasi ekstra-embrio. Sirkulasi plasenta merupakan daya penggerak selama masa embrio dan janin—berbeda dengan sirkulasi *yolk sac*, yang terbentuk lebih awal dan tidak memiliki efek hemodinamik yang penting (lihat D).

A Asal-muasal Jaringan Jantung (Zona kardiogenik)

Rongga amnion dan cakram embrional, dilihat dari dorsal. Selama perkembangan minggu ketiga (fase prasomit), pada janin manusia, terbentuk mesoderm kardiogenik yang akan berkembang menjadi jantung dan membentuk zona serupa tapal kuda (zona/lempeng kardiogenik) yang terdiri dari jaringan mesenkim yang menebal. Lempeng ini terletak di sebelah antero-lateral lempeng saraf. Pada fase ini, jaringan mesenkim masih terletak di dasar atau di bawah rongga Coelom intra-embryonal yang juga berbentuk tapal kuda dan berbatasan dengan bakal rongga perikardium (lihat **Be**) sebagai splanchnopleura (=lapisan mesoderm dari lempeng lateral yang menghadap ke usus). Ketika proses pelipatan embrio ke arah kranio-kaudal dan lateral mulai, zona kardiogenik—yang mulanya terletak di sebelah rostral (yaitu, 'di atas' atau di bagian depan lempeng benih) dan sebelah lateral—bermigrasi ke arah ventral di bawah usus depan, bersama dengan celah coelom dorsal (lihat **Bc**).

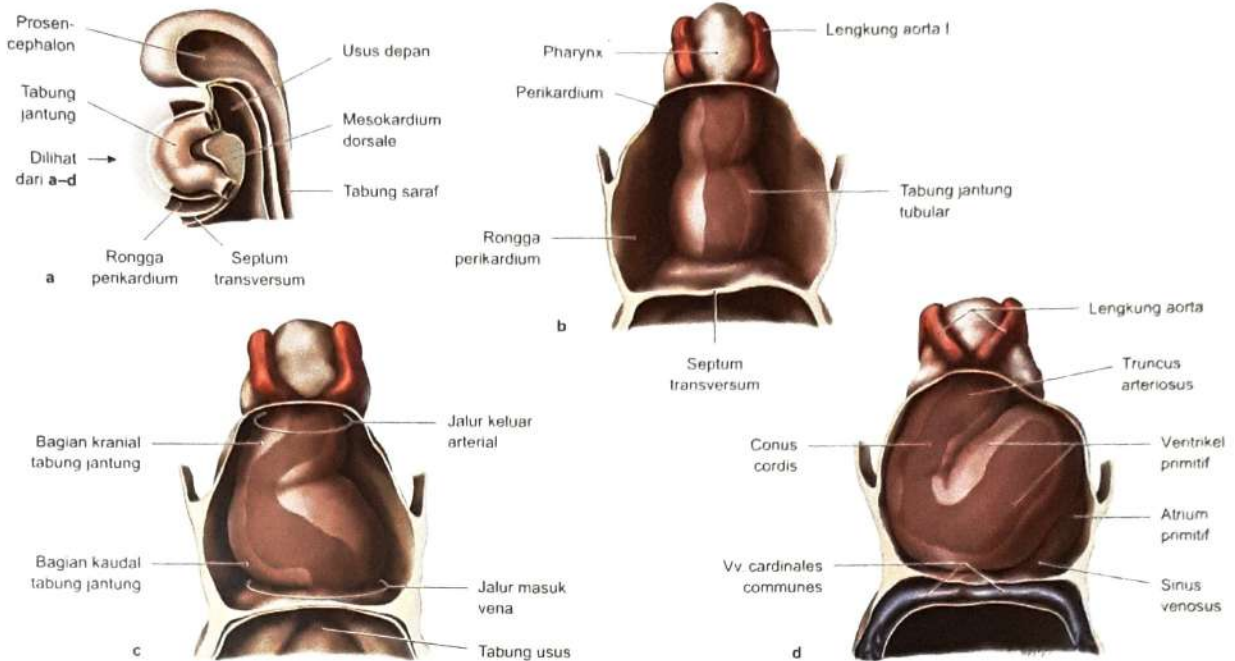


B. Pembentukan *Anlage* jantung pada pelipatan embrio

a-d Potongan sagital, **e-h** potongan lintang (hari 21-23 perkembangan/4-12 somit); tampak lateral (**a-d**) dan rostral (**e-h**), untuk lokasi masing-masing bidang potong lihat gambar **A**

Sebagai akibat pelipatan kranio-kaudal (**a-d**) *anlage* (= primordium) jantung dan rongga perikardium di dekatnya berputar 180° dan bergerak ke bawah bakal usus-depan (pergerakan jantung ke bawah). Lempeng prekordal (di sini berkembang bakal lubang mulut), yang sebelumnya terletak pada posisi kaudal, sekarang berada di sebelah rostral (di atas) *anlage* jantung. Dengan cara ini, Septum transversum (*anlage* Centrum tendineum diaphragmatis) juga bergerak ke arah kaudal di bawah *anlage* jantung dan perikardium. Dalam proses pelipatan lateral yang sedikit terlambat (**e-h**), *anlage* jantung yang tadinya berpasangan menyatu membentuk tabung jantung tidak-berpasangan (**h**). Di dalam

jaringan mesenkim zona kardiogenik, yakni di antara endoderm usus-depan dan splanchnopleura rongga perikardium, muncul banyak pembuluh embrional dengan lapisan endotel yang berkembang dari periblast hemangioblast. Splanchnopleura di dekatnya akan menebal dan berkembang menjadi otot jantung (Myocardium), setelah menyatu dengan pasangannya. Di antara *anlage* Endocardium dan Myocardium, terdapat struktur yang menyerupai membran basal yang luas dan terbentuk dari matriks gelatin ekstraseluler (gelatin jantung/cardioglia). Dengan demikian, tabung jantung embrio yang menyatu mempunyai tiga lapisan dari dalam ke luar: Endocardium, cardioglia, dan Myocardium. Lapisan visceral perikardium, yaitu Epicardium, berkembang dari sel prekursor di area sekitar Sinus venosus, yang kemudian tumbuh menutupi seluruh Myocardium.



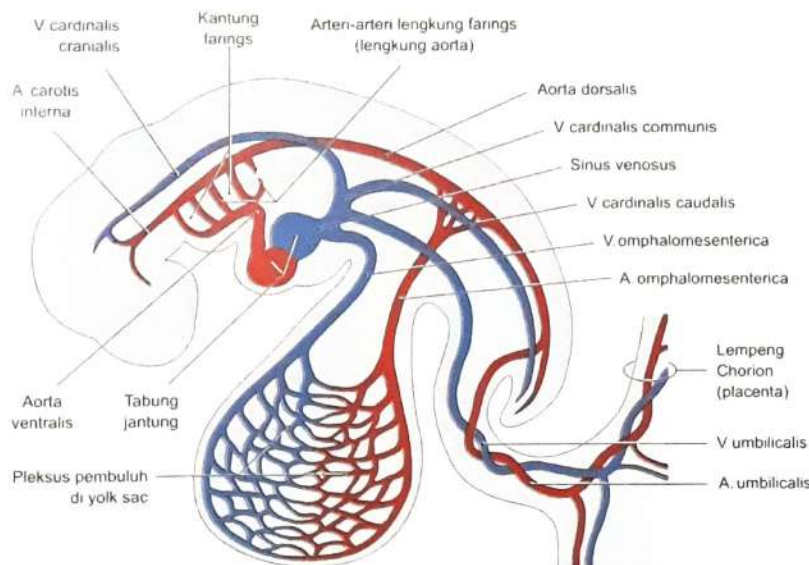
C Pembentukan Lengkung Jantung

a Dilihat dari kiri-lateral; b–d dilihat dari depan (dari rongga perikardium yang dibuka).

Seiring dengan pelipatan kranial embrio, primordium (*anlage*) jantung dan bakal rongga perikardium berpindah ke arah ventral dan kaudal. Pada awal perkembangan minggu ke-4, tabung jantung akan memanjang dan melengkung membentuk yang disebut lengkung jantung (*cardiac loop*), yang pada awalnya masih menggantung pada MesoCardium dorsale pada dinding belakang rongga jantung. Ligamentum suspensorium (penggantung) ini selanjutnya akan menghilang (pembentukan *Sinus transversus pericardii*), sehingga tabung jantung hanya terfiksasi di jalur masuk vena dan jalur keluar arteri pada perikardium (lihat c).

Semasa pembentukan lengkung jantung, bagian kranial tabung jantung bergeser ke arah ventrokaudal dan kanan, sedangkan bagian kaudal bergeser ke dorsokranial dan kiri (d). Dengan demikian, jalur aliran masuk (*Porta venosa*) lengkung jantung terletak di sebelah dorsal, dan jalur aliran keluar terletak di sebelah ventral. Pada saat yang sama, tabung jantung terbagi-bagi oleh penyempitan dan penggembungan lokal menjadi beberapa bagian:

- Truncus arteriosus,
- Conus cordis,
- Ventrikel primitif,
- Atrium primitif, dan
- Sinus venosus.



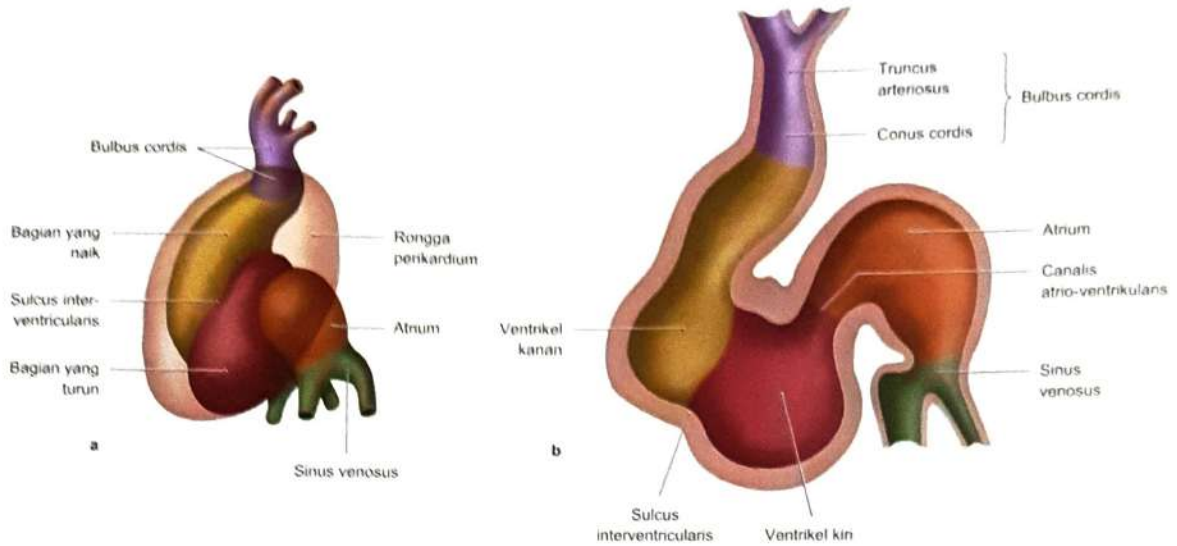
D Sirkulasi embrio dini (menurut Drews)

Dilihat dari lateral. Pada embrio manusia 3–4 minggu, sistem kardiovaskular terdiri dari satu tabung jantung yang mempunyai otot yang mampu berkontraksi dan tiga sistem sirkulasi:

- Sirkulasi tubuh intraembrio (Aorta ventralis dan Aorta dorsalis, arteri yang berasal dari Arcus branchiales dan Arcus pharyngeales, serta Vv. cardinales cranialis, caudalis, dan communes),
- Sirkulasi vitellina ekstraembrio (Arteriae dan Venae omphalomesentericae/vitellinae), dan
- Sirkulasi plasenta (Arteriae dan Venae umbilicales).

Darah miskin-oksigen di dalam keenam vena besar (2 vena vitellina, 2 Vena alantois atau Vena umbilicalis, dan 2 Vena cardinales communes) mengalir ke satu rongga penampungan vena di dekat jantung, yaitu sinus venosus, sebelum kembali ke peredaran tubuh atau ke *yolk sac* atau plasenta melalui tabung jantung dan kemudian melalui aorta dorsalis yang berpasangan (untuk Sinus venosus, lihat hlm. 17).

2.4 Perkembangan ruang-dalam jantung, takdir sinus venosus



A Lengkung jantung dan bagian-bagian jantung yang berkembang dari lengkung jantung

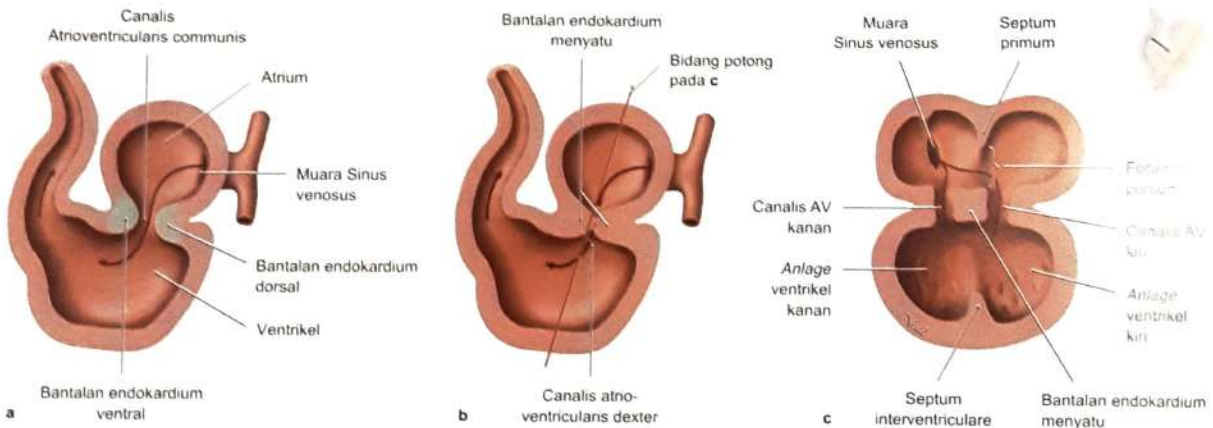
a Lengkung jantung (*cardiac loop*), dilihat dari kiri, **b** potongan sagital melalui lengkung jantung.

Pada akhir minggu ke-3 atau awal minggu ke-4, -bagian-bagian jantung definitif tahap awal sudah bisa dilihat pada lengkung jantung:

- Bulbus cordis (= Truncus arteriosus dan Conus cordis) akan menjadi jalur keluar ventrikel kiri dan kanan yang ber dinding halus maupun bagian proksimal Pars ascendens aortae dan Truncus pulmonalis;
- Bagian lengkung jantung yang naik: akan menjadi ventrikel kanan;

- Bagian lengkung jantung yang turun: akan menjadi ventrikel kiri;
- Sulcus interventricularis: menjadi batas antara ventrikel kiri dan kanan definitif;
- Bagian setinggi Canalis atrioventricularis membentuk diri menjadi bakal katup atrioventrikularis.

Antara perkembangan hari ke-27 dan ke-37, terjadi serangkaian peristiwa pemisahan yang rumit di daerah atrium, ventrikel, dan jalur keluar (lihat hlm. 18), dengan pembagian lumen lengkung jantung menjadi jalur aliran darah jantung sisi "kanan" dan "kiri".

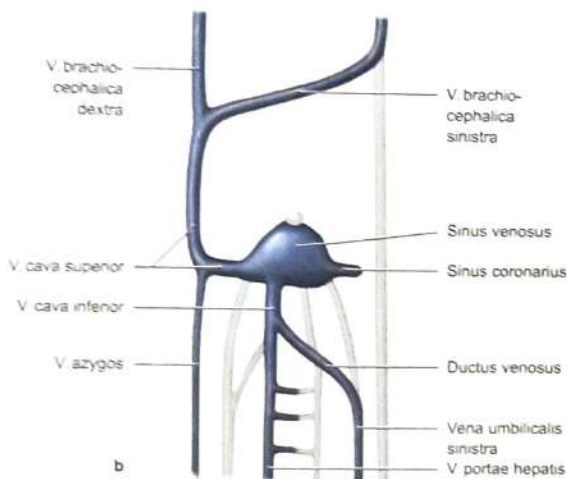
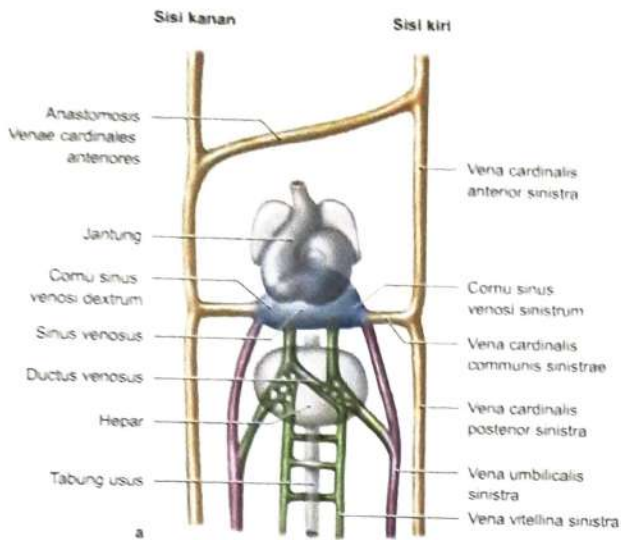


B Pembentukan bantalan endokardium dan perkembangan ruang-ruang jantung

a dan **b** Potongan sagital melalui lengkung jantung; **c** potongan frontal setinggi bantalan endokardium (bidang potong lihat **b**).

Pada perkembangan minggu ke-4, tabung jantung menyempit menjadi canalis atrioventricularis (kanal AV) di jalur aliran dari atrium ke ventrikel. Penyempitan ini terjadi karena pembentukan bantalan endokardium

dorsal dan ventral, yang merupakan penebalan lokal di daerah membran basal miokardium (*cardiac jelly*). Kedua bantalan endokardium menyatu dan selanjutnya memisahkan kanal AV menjadi jalur aliran darah kiri dan kanan (Canales atrioventriculares dexter dan sinister). Dari bantalan endokardium yang sudah bersatu tersebut, akan berkembang katup-katup atrioventrikuler yang memisahkan atrium dari ventrikel (Valvula mitralis dan Valvula tricuspidalis). Pada saat bersamaan, mulai terjadi pemisahan antara atrium dan ventrikel (lihat hal. 18).

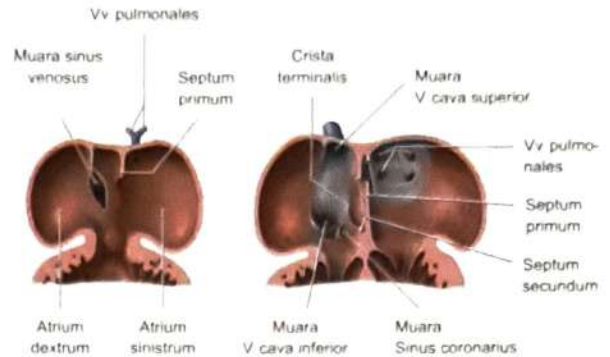


C Takdir sinus venosus dan muara venanya

a Minggu ke-4; b bulan ke-3; tampak ventral.

Sampai minggu ke-4, Sinus venosus merupakan bagian yang terpisah dari jantung di pangkal jalur aliran masuk vena. Sinus venosus bermuara di tengah-tengah Atrium yang belum terpisah. Pada Cornu sinus kiri dan kanan, bermuara tiga pasang vena besar di Atrium: Vena vitellina/omphalomesenterica, Vena umbilicalis, dan Vena cardinalis communis. Karena ada dua hubungan pendek kiri-kanan (lihat di bawah), jalur aliran masuk semakin bergeser ke sisi kanan tubuh; di sebelah kiri, sebagian besar vena mengalami obliterasi (lihat E).

- 1. Hubungan pendek kiri-kanan pertama:** Darah dari plasenta mengalir melalui Vena umbilicalis kiri dan Ductus venosus masuk ke hati (Hepar) dari sisi kanan dan, di sana, kemudian melalui Vena vitellina (bakal Vena cava inferior) menuju ke Cornu sinus kanan.
- 2. Hubungan pendek kiri-kanan kedua:** Kedua Venae cardinales anteriores terhubung melalui anastomosis. Kemudian, darah dari sirkulasi tubuh bermuara di Cornu sinus kanan melalui Vena cardinalis communis dexter (bakal Vena cava superior). Bersamaan dengan itu, Cornu sinus kanan menjadi lebih besar dan akan semakin menyatu dengan dinding atrium kanan (b). Cornu sinus kiri akan semakin mengecil dan berkembang menjadi Sinus coronarius.



D Perubahan Atrium

Pemisahan atrium primer tunggal (Atrium commune) menjadi atrium kiri dan atrium kanan mulai berlangsung pada minggu ke-5 dengan pembentukan Septum primum (lihat hlm 18). Pada saat bersamaan, mulai juga terjadi pembesaran atrium dengan mengintegrasikan jaringan dinding vena. Di sisi kanan, sebagian Cornu sinus kanan ikut membentuk dinding atrium kanan, sedangkan sebagian besar atrium kiri dibentuk dari integrasi Venae pulmonales primitif. Asal-usul bagian-bagian atrium masih bisa dilihat pada jantung dewasa.

- Bagian dinding yang licin berkembang dari jaringan dinding vena (Sinus venosus, Venae pulmonales).
- Bagian yang trabekular (terutama Auncula atri kiri dan kanan) berasal dari bekas Atrium commune.

Batas antara bagian dinding polos dan trabekular tersebut tampak jelas di atrium, berupa garis menonjol vertikal, Crista terminalis. Di bagian kranial, terdapat bekas katup sinus kanan; dan di bagian kaudal, terdapat katup Vena cava inferior dan katup Sinus coronarius.

E Perubahan bentuk Sinus venosus dan muara-muara venanya setelah minggu embrional ke-4 (lihat juga Cb)

Sinus venosus dan muara venanya hingga minggu ke-4	Struktur yang tetap di sisi kanan tubuh setelah minggu ke-4	Struktur yang tetap di sisi kiri tubuh setelah minggu ke-4
Cornu sinus kanan dan kiri	Bagian dinding licin atrium kanan	Sinus coronarius
Venae cardinales communes kanan dan kiri	Vena kanan menjadi bagian dari Vena cava superior	Vena kiri terintegrasi ke Sinus coronarius
Venae cardinales anteriores kanan dan kiri	Vena kanan menjadi bagian dari Vena cava superior	Vena kiri mengalami obliterasi
Venae cardinales posteriores kanan dan kiri	Vena kanan menjadi Vena azygos	Vena kiri mengalami obliterasi
Venae umbilicales kanan dan kiri	Vena kanan mengalami obliterasi	Bagian distal dipertahankan hingga lahir
Venae vitellinae kanan dan kiri	<ul style="list-style-type: none"> • Bagian proksimal vena kanan menjadi Vena cava inferior • Bagian distal vena kanan menjadi Vena portae hepatis 	Vena kiri mengalami obliterasi

2.5 Sekat-sekat jantung (Septum atriale, interventriculare, dan aorticopulmonale)

Prinsip dasar perkembangan septum jantung

Pembentukan septum jantung dimulai akhir minggu ke-4 dan berlangsung sekitar tiga minggu. Pada saat ini, embrio sudah tumbuh sekitar 5 hingga 17 mm. Melalui pembentukan berbagai septum, tabung jantung menjadi dua tabung yang terpisah. Hasilnya adalah satu jalur aliran kiri dan satu jalur aliran kanan. Pemisahan definitif kedua sirkuit aliran darah tersebut baru sempurna pada saat lahir karena penutupan Foramen ovale (lihat hlm. 20), ketika paru-paru bayi sudah mulai memberikan oksigen ke darah arteri.

A Sekat atrium (Septum atriale)

a, c, e, g, i, k Potongan frontal, dilihat dari ventral; **b, d, f, h, j** potongan sagital, dilihat dari kanan

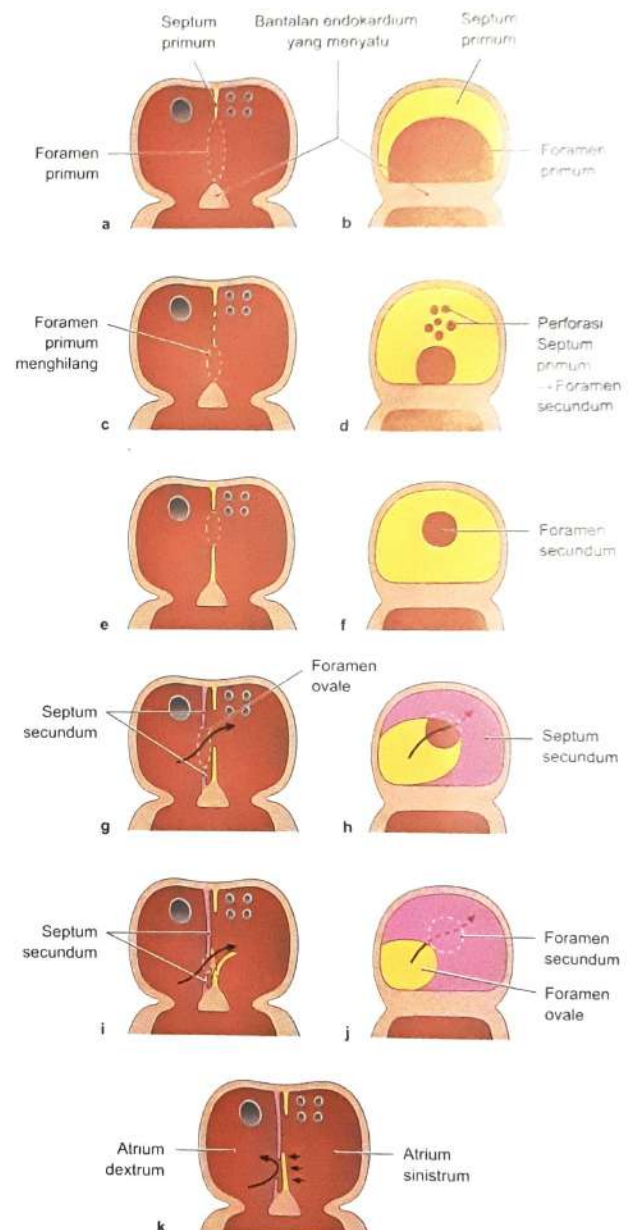
Septum primum dan Foramen secundum: pada akhir minggu ke-4, atrium primer tunggal (*Atrium commune*) secara bertahap terbagi menjadi dua atrium. Dari atap atrium yang belum terbagi dua, tumbuh *Septum primum* berbentuk bulan sabit menuju ke arah bantalan endokardium yang telah menyatu di *Canalis atrioventricularis* (**a dan b**). Di antara tepi septum dan bantalan endokardium, terdapat satu lubang terbuka, yaitu *Foramen primum*. Namun, lubang ini akan semakin mengecil dan pada akhirnya hilang, karena *Septum primum* terus tumbuh. Pada saat bersamaan, bagian atas tengah *Septum primum* berlubang-lubang karena sel-selnya hilang akibat apoptosis. Lubang-lubang tersebut menyatu hingga terbentuk lubang besar baru di antara kedua atrium, *Foramen secundum* (**c dan d**). Karena terbentuk lubang baru tersebut, aliran darah dari atrium kanan ke atrium kiri yang kaya oksigen dapat terus berlangsung hingga lahir.

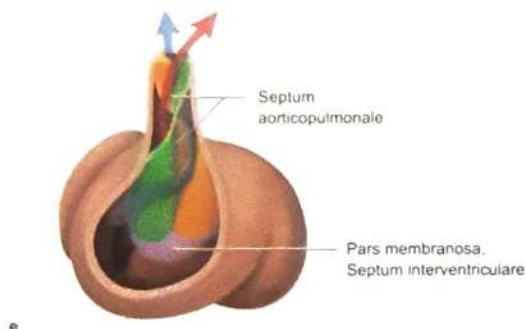
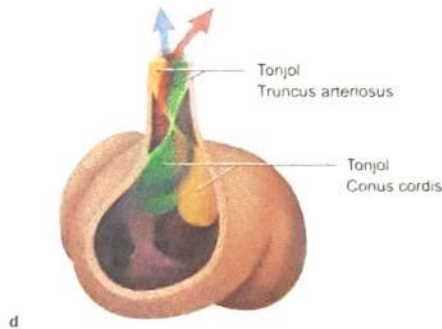
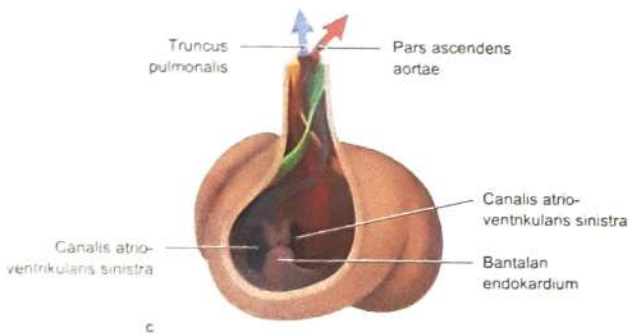
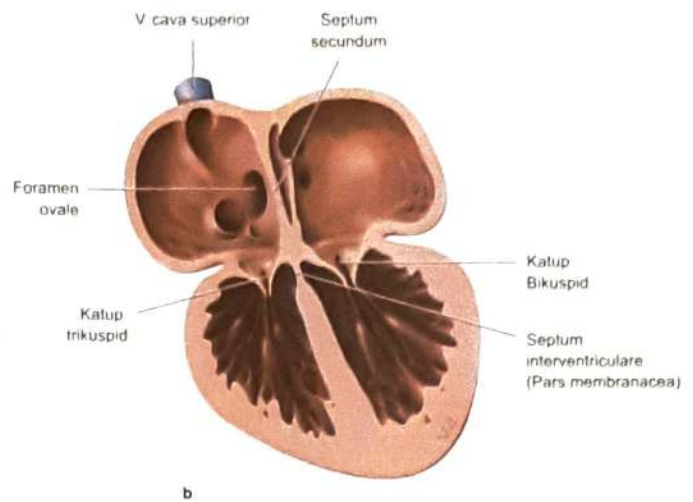
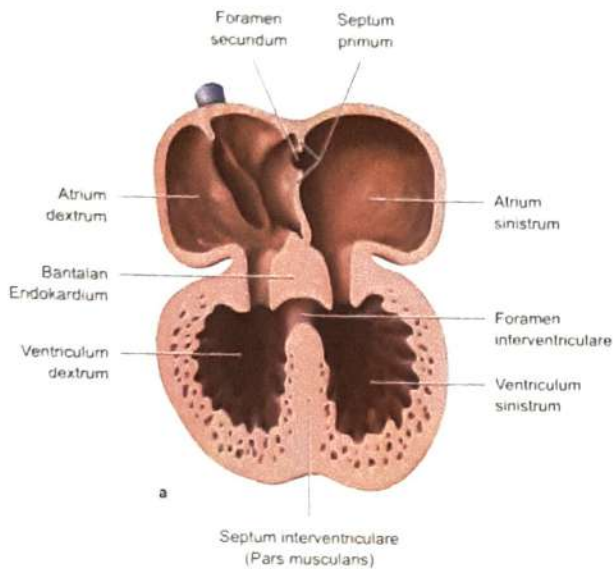
Septum secundum dan Foramen ovale: Mendekati akhir minggu ke-5, dari bagian ventrokranial dinding atrium kanan, tumbuh sekat berbentuk bulan sabit ke arah bantalan endokardium yang sudah menyatu, *Septum secundum* (**g dan h**). *Septum secundum* tidak tumbuh benar-benar mencapai bantalan endokardium, melainkan masih terdapat lubang, *Foramen ovale* (di dalam *Septum secundum*). *Septum secundum* tubuh terus melampaui *Foramen secundum* di dalam *Septum primum* (**i dan j**). Namun, darah tetap dapat mengalir dari atrium kanan ke atrium kiri. Hal ini terjadi karena perbedaan tekanan darah di dalam Atrium: sebelum lahir, tekanan di dalam Atrium kanan lebih besar dari Atrium kiri, karena darah dari Vena cava inferior mengalir masuk ke Atrium kanan dan menuju ke Atrium kiri. Dengan demikian, darah tersebut mempunyai cukup tekanan untuk membuka *Septum primum* (seperti mendorong pintu). Dengan begitu, aliran dapat melalui *Foramen ovale* lewat lubang di antara *Septum secundum* dan *Septum primum*, kemudian mengalir melalui *Foramen secundum* masuk ke dalam Atrium kiri (**i dan j**).

Penutupan Foramen ovale dan pemisahan Atrium definitif: Dengan berfungsinya sirkulasi paru-paru setelah lahir, tekanan darah di dalam Atrium kiri menjadi tinggi. Karena itu, *Septum primum* terdorong menempel ke *Septum secundum*, sehingga *Foramen ovale* menutup dan kedua Atrium terpisah selamanya (**k**). *Septum primum* membentuk dasar bakal Fossa ovalis dan tepi bebas *Septum secundum* akan menjadi Limbus (pinggiran) fossae ovalis. Kedua septum tersebut kemudian menyatu, sehingga biasanya *Foramen ovale* akan tertutup selamanya.

Perhatikan: Kalau kedua septum tidak menyatu sempurna, *Foramen ovale* akan tetap terbuka (*Foramen ovale persisten* = PFO). Namun, secara hemodinamika, kondisi ini dapat diabaikan karena ada perbedaan tekanan antara Atrium kanan dan kiri (bandingkan dengan hlm. 21). Tekanan yang lebih tinggi di dalam Atrium kiri menekan kuat *Septum primum* ke *Septum secundum*.

Perhatikan: Gangguan perkembangan septum jantung sangat berperan pada banyak malformasi jantung (contohnya: defek septum atrium dan ventrikel, transposisi pembuluh-pembuluh besar, tetralogi Fallot, lihat hlm. 21). Malformasi jantung adalah penyakit bawaan yang paling banyak, dengan insidensi 7,5 per 1000 kelahiran hidup. Saat ini, di Jerman, lahir sekitar 6000 anak dengan kelainan jantung setiap tahun.





B Pembentukan septum ventrikel dan jalur keluar aliran (Septi interventriculare dan aorticopulmonale) (menurut Sadler)

Pemisahan ventrikel jantung juga dimulai pada akhir minggu ke-4 dengan pertumbuhan dinding miokardium di antara bagian ventrikel primitif yang naik dan bagian ventrikel primitif turun.

Pembentukan septum ventrikel (a dan b): Garis otot berbentuk bulan sabit tumbuh ke dalam lumen ventrikel, yaitu *Pars muscularis septi interventricularis* (bagian otot di sekat antara kedua ventrikel jantung). Bagian ventrikel primitif yang naik dan bagian ventrikel primitif yang turun kemudian menyatu dengan bantalan endokardium Canalis atrioventricularis. Lubang yang masih ada di antara kedua ventrikel adalah *Foramen interventriculare*. Pada minggu ke-7, lubang ini ditutup secara permanen oleh jaringan ikat membranosa di septum ventrikel (*Pars membranacea* = berasal dari bantalan endokard) dan oleh bagian proksimal tonjol Conus cordis (lihat di bawah).

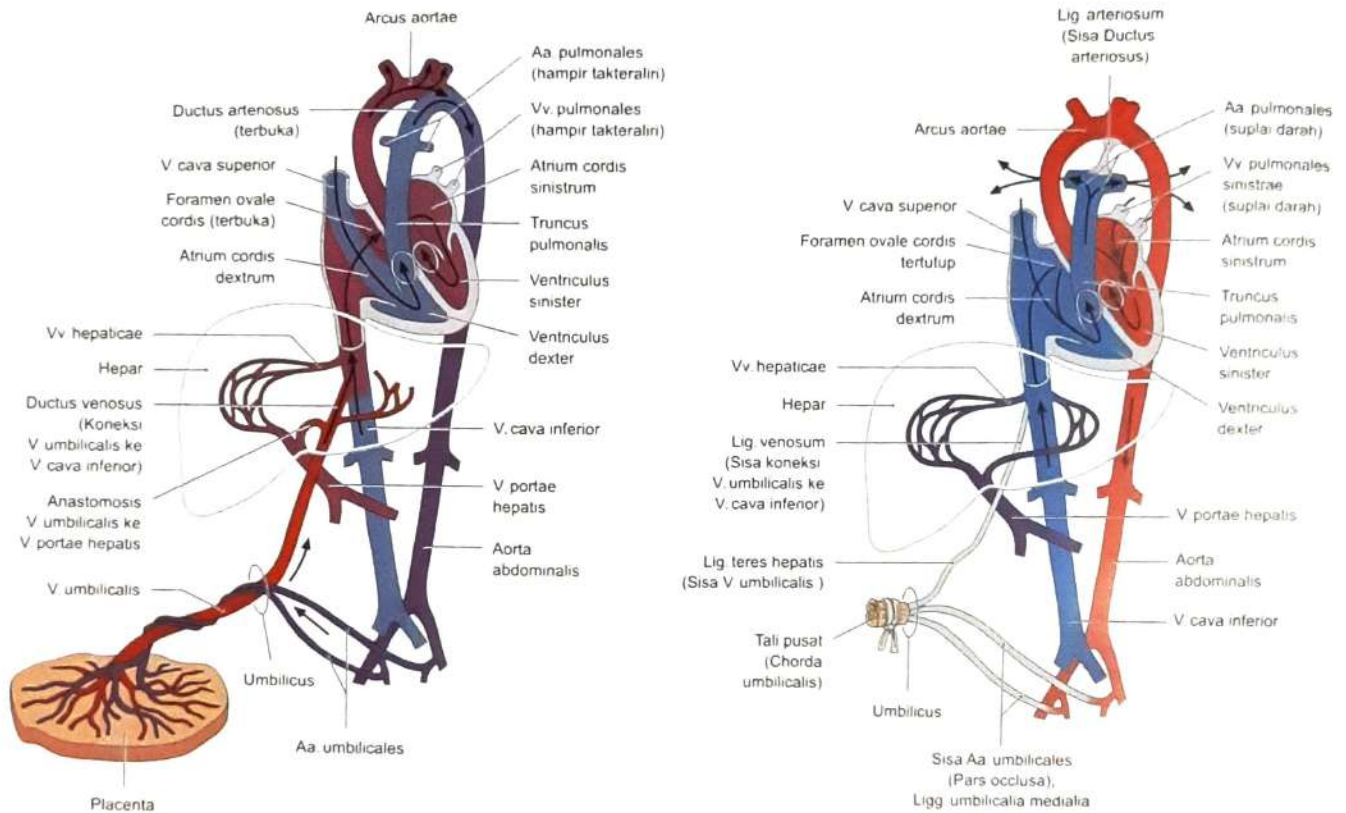
Pembentukan septum aliran keluar (c-e): Bersamaan dengan pembentukan Septum interventriculare, dimulai pemisahan jalur aliran darah dari kedua ventrikel (*Bulbus cordis*)—yang pada awalnya merupakan jalur bersama—menjadi *Pars ascendens aortae* dan *Truncus pulmonalis*. Proses ini terutama terjadi dengan pembentukan dua tonjolan memanjang parietal yang saling berhadapan di bagian bawah (*Conus arteriosus*) dan atas (*Truncus arteriosus*) jalur aliran keluar tersebut. Yang disebut tonjol konus atau tonjol trunkus tersebut terjadi karena proliferasi sel-sel mesenkim. Sel-sel prekursornya bermigrasi dari *Crista neuralis* sebelah kranial pada *Arcus pharyngeales*.

Perhatikan: Dari sel-sel *Crista neuralis* terutama berkembang sistem saraf tepi, tetapi—seperti terlihat pada gambar—sel-sel tersebut juga berkembang membentuk jantung; artinya sel *Crista neuralis* sebelah kranial sangat penting untuk perkembangan normal jalur keluar aliran darah jantung.

Dalam proses pembentukan septum, mungkin karena aliran darah yang keluar dari ventrikel mengalir berputar seperti spiral, tonjol konus dan trunkus memutar 180° seperti terpelintir. Dengan cara ini, setelah penyatuan tonjol-tonjol tersebut, terbentuklah *Septum aorticopulmonale* yang berbentuk spiral dan memisahkan aliran-keluar dari kedua ventrikel.

Pembentukan katup jantung: Di perbatasan antara *Conus cordis* dan *Truncus arteriosus*, yang menjadi asal muasal aorta dan *truncus pulmonalis*, muncul tiga tonjol subendokardial (disebut bantalan endokard) yang akan menjadi katup semilunar (katup aorta dan katup pulmonal). Pembentukan katup tersebut bersamaan dengan terbentuknya *Septum aorticopulmonale*.

2.6 Peredaran darah sebelum dan sesudah lahir serta kelainan jantung bawaan yang paling sering terjadi



A Peredaran sebelum lahir (menurut Fritsch dan Kühnel)

Karakteristik peredaran sebelum lahir adalah

- hampir tidak ada aliran darah paru,
- pertukaran gas terjadi di dalam plasenta,
- fetus mendapatkan O_2 dan nutrisi melalui plasenta, dan
- Pirau (*shunt*) kanan-ke-kiri pada jantung

Paru fetus yang belum mengembang tidak dialiri udara dan hampir tidak dialiri darah. Pertukaran gas O_2 dan CO_2 berlangsung di luar fetus, yaitu di dalam plasenta. Darah dari plasenta bagian fetus yang kaya akan oksigen (merah) dan nutrisi mencapai organ-organ fetus melalui Vena umbilicalis yang tak-berpasangan. Di dekat hati, V. umbilicalis bermuara ke Vena cava inferior melalui Ductus venosus (anastomosis vena-vena). Di sana, terjadi pencampuran darah yang kaya oksigen (dari Vena umbilicalis) dengan darah yang miskin oksigen (dari Vena cava inferior). Pada saat bersamaan, Vena umbilicalis meneruskan aliran darah yang kaya nutrisi ke Vena portae hepatis melalui anastomosis vena yang lain dan dibawa ke hati untuk menjalani proses metabolisme.

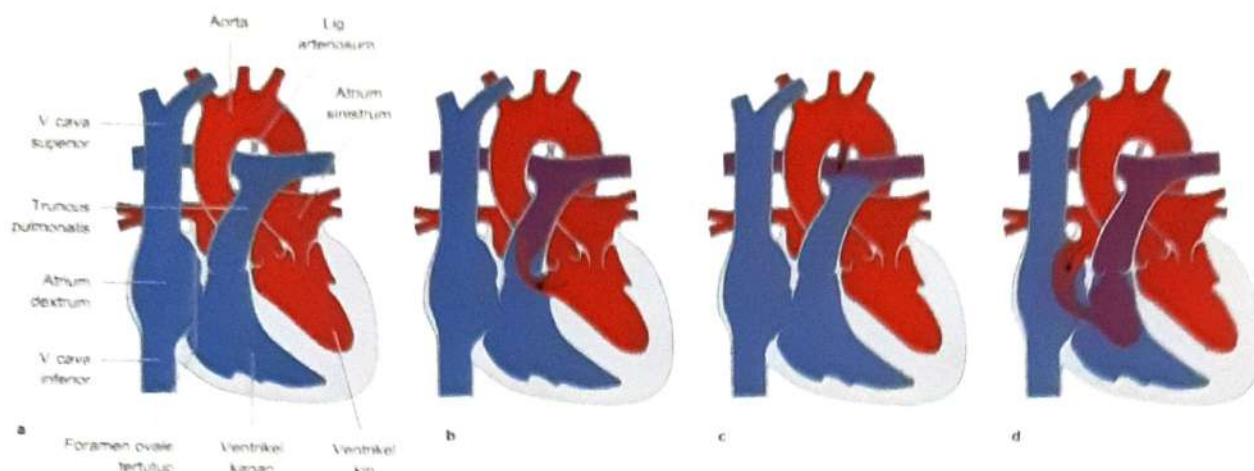
Aliran darah di jantung didominasi oleh pirau kanan-kiri. Dari kedua Venae cavae, darah mengalir ke atrium kanan. Melalui Foramen ovale yang terbuka, darah dari Vena cava inferior diteruskan ke atrium kiri (bandingkan dengan hlm. 18). Sementara itu, darah dari Vena cava superior melalui ventrikel kanan masuk ke dalam Truncus pulmonalis; dari sana, darah tidak diteruskan ke paru yang belum terbuka, melainkan melalui Ductus arteriosus (anastomosis arterioarterial) menuju ke aorta dan kemudian menuju ke pembuluh darah tepi. Melalui Arteria umbilicalis berpasangan (cabang Arteria iliaca interna), darah mengalir kembali ke Placenta. Karena paru hampir tidak dialiri darah, tidak ada darah yang melalui Venae pulmonales menuju ke Atrium kiri.

B Peredaran setelah lahir (menurut Fritsch dan Kühnel)

Pada saat lahir, pertukaran gas dan hemodinamika berubah total. Karakteristik peredaran setelah lahir adalah:

- tidak ada lagi peredaran darah plasenta,
- pernapasan paru dengan pertukaran gas di paru, dan
- penutupan fungsi pirau kanan-ke-kiri dan semua anastomosis janin

Ketika pernapasan mulai, paru akan berkembang dan dialiri udara sehingga mengambil alih fungsi pertukaran gas. Tahanan vaskular di pembuluh paru turun drastis ketika paru mengembang. Karena tekanan di dalam atrium kanan turun (tekanan di dalam atrium kiri sekarang lebih tinggi daripada di kanan), Foramen ovale akan tertutup (lihat hlm. 18). Ductus arteriosus juga akan tertutup, mula-mula hanya secara fungsional karena kontraksi otot polos, tetapi selanjutnya tertutup secara permanen dan menjadi Ligamentum arteriosum. Ventrikel kanan memompa darah melalui Arteriae pulmonales menuju ke paru yang sudah berkembang. Darah ventrikel kiri mencapai seluruh bagian tubuh melalui Aorta, dan mengalir kembali ke Atrium kanan melalui Venae cavae. Sekarang hemodinamika jantung benar-benar terbagi dua. Setelah Vena umbilicalis yang tidak lagi dialiri darah, Ductus venosus tertutup karena tidak ada lagi aliran ke Vena cava inferior dan selanjutnya Vena umbilicalis menjadi Ligamentum venosum; sambungan ke hati juga akan tertutup, biasanya seluruh Vena umbilicalis menebal menjadi Ligamentum teres hepatis. Arteriae umbilicales tetap terbuka hanya di bagian proksimal (pars patens), sedangkan pada bagian distal (pars occlusa) tertutup dan membentuk Ligamentum umbilicale mediale di kedua sisi.



C Kelainan jantung bawaan

Kelainan jantung merupakan jenis penyakit bawaan yang paling sering terjadi (insidensi sekitar 7,5 per 1000 kelahiran hidup). Penyebab umumnya adalah faktor genetik (contoh trisomi 21) atau faktor eksogen (contoh infeksi virus/rubella embriopati, alkohol, obat-obatan, sitostatika, radiasi pengion).

Perhatikan: Fase sensitif teratogen untuk jantung adalah antara minggu ke-4 dan ke-7 artinya pada waktu itu seorang wanita sering kali belum sadar bahwa ia hamil.

Dengan bantuan kemajuan diagnosis dan terapi yang tepat, hingga 85% pasien muda dapat bertahan hidup dan mencapai usia dewasa. Kelainan jantung bawaan yang paling sering ditemukan adalah *kelainan jantung nonsianotik primer* (sianosis = kulit/mukosa berwarna kebiruan karena kekurangan O₂ dalam darah), yaitu defek septum ventrikel (31%), defek septum atrium (10%), dan ductus arteriosus persisten (9%). Pada kelainan-kelainan ini, terjadi hubungan nonfisiologis antara jantung kanan dan kiri. Karena darah selalu mengalir dari sistem bertekanan tinggi ke sistem bertekanan rendah, dan jantung kiri bertekanan lebih tinggi daripada jantung kanan pada sirkulasi pascalahir, pada awalnya terjadi piraou kiri-ke-kanan pada kelainan-kelainan tersebut. Tekanan tinggi di jantung kiri disalurkan ke sirkulasi paru dan akhirnya "sampai" juga ke ventrikel kanan. Sebagai respons terhadap tekanan yang meningkat tersebut, dinding pembuluh darah paru menebal, sehingga menahan dan juga tekanan di dalam pembuluh darah paru meningkat terus (hipertensi pulmonal), hingga tekanannya menjadi lebih tinggi daripada tekanan sirkulasi tubuh. Dalam jangka panjang, piraou (*shunting*) akan terbalik (sekarang piraou kanan-ke-kiri = Reaksi-Eisenmenger) dan terjadi dekompensasi jantung kanan. Karena hanya sedikit darah yang mengalir melalui pembuluh paru, darah hanya mendapatkan sedikit oksigen dan menimbulkan sianosis secara sekunder. Kelainan jantung primer nonsianotik dapat ditoleransi dengan baik pada masa kanak-kanak, tetapi akan memperlihatkan gejala yang lebih parah pada usia dewasa. Jika Ductus arteriosus paten ditutup (contoh: secara endoskopis dengan kateter jantung) sebelum terjadi komplikasi, harapan hidup menjadi normal.

a Jantung setelah lahir yang normal Foramen ovale tertutup, Ductus arteriosus menipis hingga menghilang; dengan demikian, sirkulasi tubuh dan paru terpisah dengan sempurna.

b Defek septum ventrikel (ventricular septal defect = VSD): Kelainan ini lebih banyak terjadi di bagian membranosa Septum interventriculare karena bagian muskular Septum interventriculare tidak menyatu dengan Septum aorticopulmonale proximale. Karena itu, Foramen interventriculare tetap terbuka, pada setiap sistol, darah mengalir dari ventrikel kiri ke ventrikel kanan. Defek septum ventrikel tidak jarang disertai oleh pembentukan septum yang asimetrik pada jalur aliran keluar, misalnya penyempitan Truncus pulmonalis

(stenosis), Aorta "menumpang" di atas Septum ventrikel (*overriding aorta*), dan hipertrofi ventrikel kanan karena stenosis pulmonal (= *tetralogi Fallot*, defek jantung primer sianotik yang tersering). Anak-anak antara lain mengalami sianosis di mukosa, bibir, dan jari karena terlalu sedikit darah yang mengalir melalui sirkulasi paru untuk mendapatkan oksigen).

c Ductus arteriosus Persisten (PDA) sering terjadi pada bayi yang lahir prematur (75% kasus menutup secara spontan dalam minggu pertama). Gejala terjadi karena peningkatan arus balik darah dari aorta ke Truncus pulmonalis, sehingga beban volume sirkulasi paru terlalu tinggi (lihat di atas). Jika penutupan (misalnya, secara endoskopis dengan kateter jantung) dilakukan sebelum terjadi komplikasi, angka harapan hidup menjadi normal.

d Defek septum atrium (ASD = atrial septum defects) Tergantung pada lokasi defeknya, terdapat 3 jenis berbeda defek septum primum (ASD I), defek septum secundum (ASD II), dan defek sinus venosus (SV). Yang paling sering terjadi adalah defek septum secundum (75% dari semua kasus), yang disebabkan oleh resorpsi jaringan septum primum yang berlebihan di daerah Foramen ovale (Foramen secundum terlalu besar) atau karena pertumbuhan Septum secundum tidak adekuat (Foramen secundum tidak tertutup dengan baik, bandingkan dengan hal. 18). Karena itu, setelah lahir, darah juga mengalir dari atrium kiri ke atrium kanan dan—tergantung pada volume piraunya (*shunt*)—dalam jangka panjang, dapat menyebabkan beban volume pada sirkulasi paru. Hingga ukuran piraou tertentu, ASD II dapat menimbulkan keluhan yang berarti pada usia dewasa dan harus diperhitungkan. Karena itu, defek ASD-II harus sudah ditutup ketika pasien secara klinis masih belum memperlihatkan gejala. Pada umumnya, intervensi penutupan dapat dilakukan melalui kateter jantung dan payung-ganda yang bisa mengembang sendiri yang dibuat dari *alloy* nikel-titan.

Perhatikan: Jika septum primum dan septum secundum tidak menyatu dengan sempurna setelah lahir, pada umumnya masih ada sisa Foramen ovale masih terbuka secara anatomis (Foramen ovale persisten=PFO). Karena ada mekanisme katup dan perilaku tekanan yang ada, PFO tidak mempunyai arti penting pada hemodinamika (bandingkan dengan hal. 18), sehingga sebenarnya bukan merupakan kelainan jantung, melainkan suatu variasi normal (hampir 30% orang dewasa mengalaminya). Dalam kondisi patologis (misalnya setelah terjadi emboli paru akut yang mengganggu hemodinamika), bisa terbentuk piraou (*shunt*) kanan-ke-kiri. Melalui lobang piraou tersebut, trombus yang biasanya "tersaring" di paru bisa masuk ke sirkulasi tubuh dan menyebabkan stroke iskemik (emboli paradoksal). Trombus kecil pun potensial menjadi ancaman kehidupan yang akut. Kegiatan rutin sehari-hari (menipu, angkat beban berat, batuk, dll.) juga bisa mengubah tekanan intratoraks dengan cepat sehingga piraou kanan-ke-kiri dapat terinduksi pada PFO.

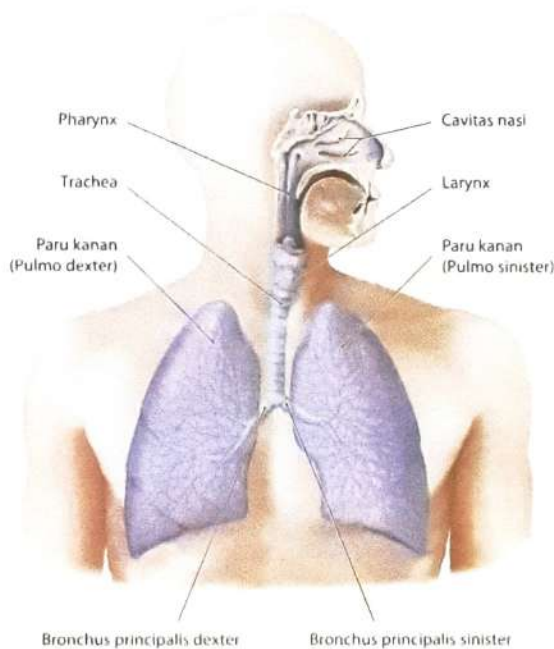
3.1 Tinjauan umum tentang sistem pernapasan

Pendahuluan dan tinjauan umum

Organ pernapasan melakukan pertukaran gas antara organisme dan atmosfer (pernapasan luar berbeda dari pernapasan dalam = pernapasan sel). Selain itu, organ pernapasan berperan dalam pembentukan suara (fonasi).

Udara masuk ke dalam sistem pernapasan melalui sistem pipa yang bercabang-cabang (Trachea dan Bronkhus), yang berfungsi *menyalurkan gas* ke perifer paru. Di sinilah terjadi *pertukaran gas*. Pada awal jalan napas, udara akan dihangatkan, dilembabkan, dan disaring. Darah diangkut ke paru melalui sistem percabangan kecil-kecil, yaitu *Aa pulmonales* dan cabang-cabangnya. Dengan cara ini, *karbon dioksida*, yang merupakan produk akhir metabolisme sel, dibawa

oleh darah ke paru. Selama pernapasan (*respirasi*), *oksigen* dari udara masuk dan diikat pada hemoglobin darah; pada saat yang sama, *karbon dioksida* dilepaskan ke udara. Karena karbon dioksida di dalam darah merupakan salah satu unsur dalam sistem *dapar (buffer) bikarbonat*, pernapasan mempengaruhi konsentrasi asam-basa melalui penguraian CO_2 . Pertukaran gas antara udara dan darah terjadi melalui *difusi* karena perbedaan tekanan parsial kedua gas tersebut (= perbedaan tekanan antara darah dan udara atmosfer). Antara udara dan darah tidak ada kontak langsung, melainkan terpisah oleh sawar-udara-darah. Dari paru, darah mengalir melalui *Vv. pulmonales* kembali menuju ke jantung, dan dari sana, dipompakan melalui peredaran sistemik.

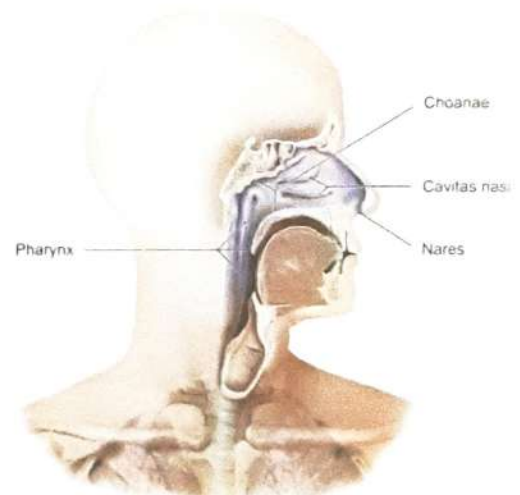


A Struktur jalan napas (jalan udara)

Menurut anatominya, jalan napas dibagi dalam dua kelompok:

- **Jalan napas bagian atas di kepala:**
 - hidung bagian luar (Nasus externus) rongga hidung (Cavitas nasi),
 - Sinus paranasales
 - Pharynx, hanya bagian paling atas (Pars nasalis pharyngis) yang sekedar menjadi jalan napas. Di bagian tengah (Pars oralis pharyngis), terjadi persilangan antara jalan pernapasan dan jalan makanan;
- **Jalan napas bagian bawah di leher dan dada:**
 - Larynx, yang berperan untuk pembentukan suara dan penutupan sementara jalan pernapasan ketika menelan
 - Trachea,
 - Dua bronkhus utama (Bronchi principales) merupakan lanjutan Trachea dan kemudian bercabang-cabang beberapa kali,
 - Alveoli berada di ujung percabangan ini; di sini, terjadi pertukaran gas seperti telah dijelaskan di atas.

Struktur histologi setiap bagian jalan napas akan dijelaskan kemudian pada bab organ.



a



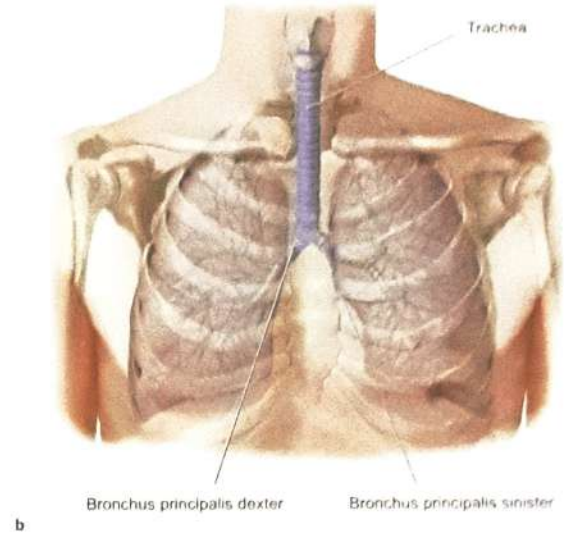
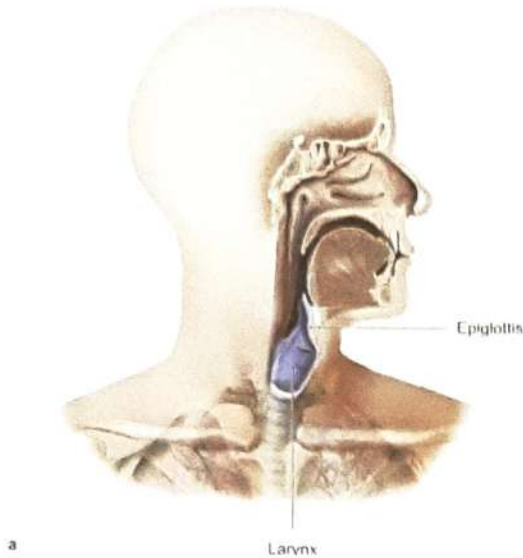
b

B Jalan napas bagian atas: hidung (Nasus), Sinus paranasales, dan Pharynx

a Rongga hidung utama (Cavitas nasi) dan Pharynx, dilihat dari kanan dengan kepala diputar ke kiri, **b** Cranium; sinus paranasales dilihat dari depan.

Udara yang dihirup masuk ke dalam Cavitas nasi melalui lubang hidung (Nares), yang terhubung ke Pharynx melalui lubang hidung bagian belakang (Choana). Pharynx meneruskan aliran udara ke Larynx. Sinus paranasales terhubung dengan Cavitas nasi melalui lubang-lubang yang sempit.

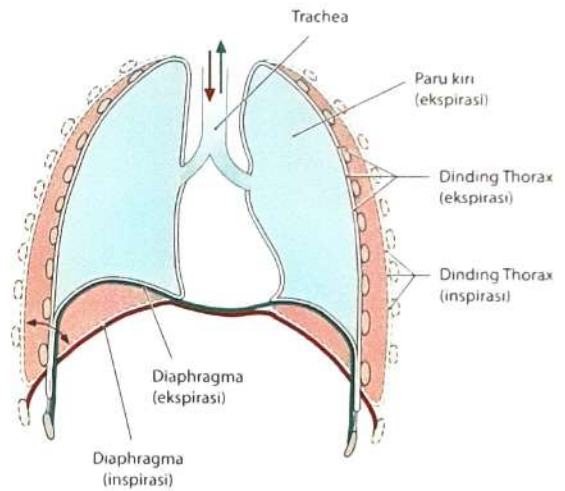
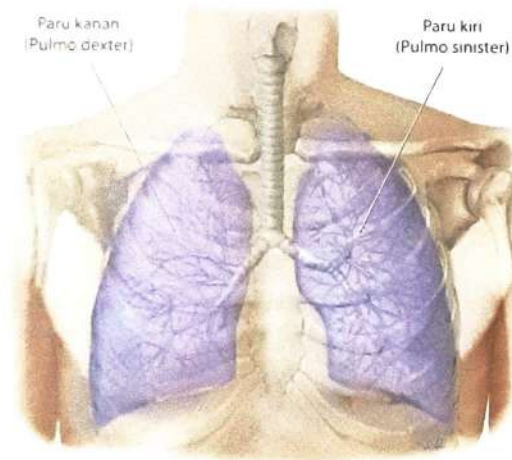
Perhatikan: Cavitas nasi tidak hanya berfungsi sebagai jalan napas, melainkan juga berperan sebagai organ penghidu.



C Jalan napas bagian bawah: Larynx dan Trachea

a Larynx, dilihat dari kanan, **b** Trachea, dilihat dari depan. Larynx berperan sebagai pintu masuk ke jalan napas bagian bawah. Katupnya, Epiglottis, dapat menutup jalan napas sementara, ketika proses menelan berlangsung. Dengan demikian, dapat dihindari makanan masuk ke jalan napas (jika tidak berfungsi, tersedak). Larynx juga berperan

sebagai pembentuk suara. Trachea secara anatomis merupakan kelanjutan Larynx ke arah bawah. Trachea terletak di leher dan Thorax dan bercabang menjadi dua bronkus utama, yang menyalurkan udara ke kedua paru. Larynx dan Trachea terbentuk oleh tulang rawan.



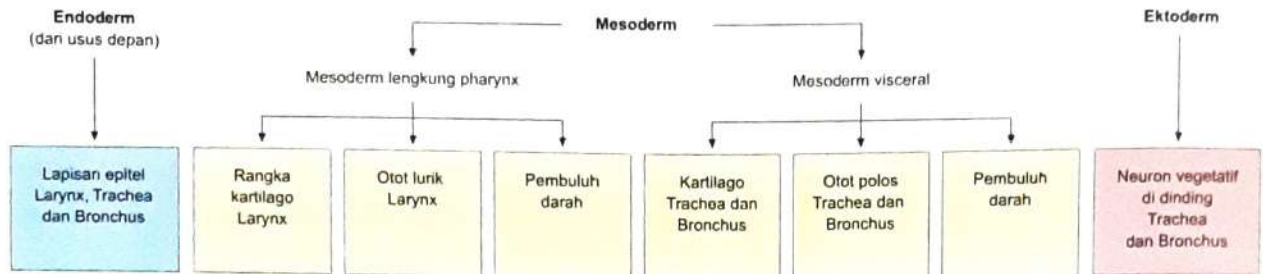
D Jalan napas bagian bawah: percabangan bronkhus dan paru

Percabangan bronkhus dan paru, dilihat dari depan. Kedua Bronchi principales terbagi menjadi 3 Bronchi lobares di sebelah kanan, 2 Bronchi lobares di sebelah kiri, kemudian bronkhus bercabang lagi beberapa kali, cabang terakhirnya adalah Alveoli, yang menjadi tempat pertukaran gas. Percabangan paru menjadi rangka struktural untuk paru. Kedua paru terletak di dalam rongga yang dilapisi oleh selaput paru atau selaput iga (yang disebut Pleura). Percabangan bronkhus secara keseluruhan berperan dalam penyaluran udara. Pertukaran gas terjadi terutama di dalam Alveoli.

E Prinsip dasar mekanisme pernapasan

Paru, dilihat dari depan (potongan frontal skematis). Karena aktivitas otot, Thorax mengembang ke depan, ke samping, dan ke bawah secara ritmik. Perubahan volume Thorax tersebut akan dialihkan ke paru melalui Pleura; dengan demikian, paru juga mengembang secara berirama dan, karena sifat elastisitasnya, kembali mengempis. Dengan cara demikian, Diaphragma serta struktur tulang dan otot pada dinding Thorax yang melingkupi paru berfungsi laksana sepasang pompa udara.

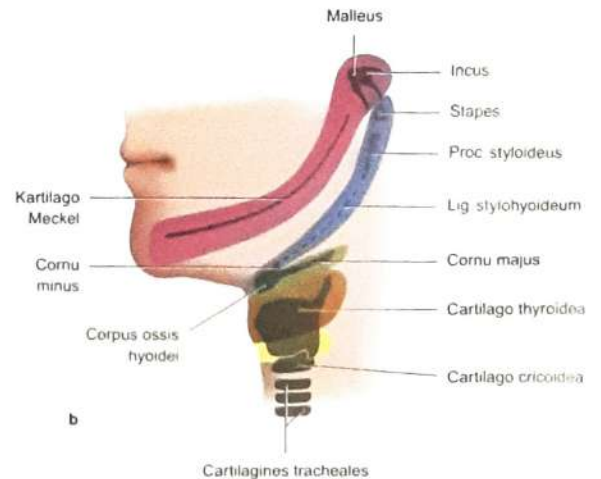
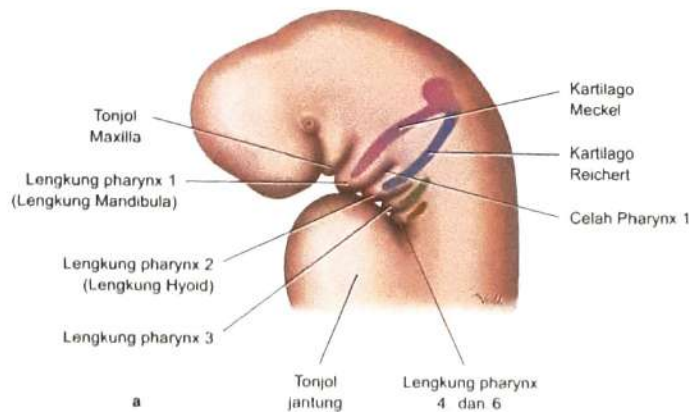
3.2 Perkembangan pangkal tenggorokan dan trachea; bakal paru-paru



A Perkembangan jalan napas dari 3 lapisan germinal

Pada perkembangan embrional Larynx, Trachea, dan percabangan bronkhus, ketiga lapisan germinal mempunyai peran. Trachea dan percabangan bronkhus tumbuh dari usus depan (*foregut*) di daerah

Oesophagus. Sebagian besar Larynx (tulang rawan, otot, pembuluh, dan saraf) berkembang dari lengkung faring (*Arcus branchialis*) ke-4 sampai ke-6. Sebaliknya, epitel Larynx berasal dari usus depan.

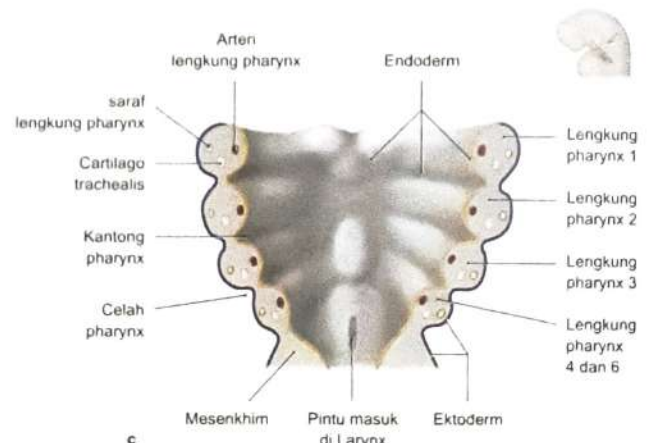


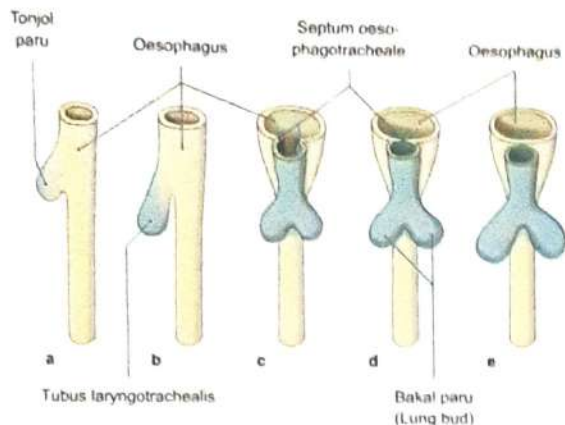
B Perkembangan pangkal tenggorokan embrio (Larynx) (menurut Sadler)

a Embrio, dilihat dari kiri; **b** Lokasi topografis pada organisme dewasa, dilihat dari kiri; **c** lengkung-lengkung faring pada embrio sekitar 6 minggu, dilihat dari dorsal, potongan frontal.

Pada **a**, dapat dilihat lengkung-lengkung faring. Dari lengkung faring ke-1 dan ke-2, terbentuk *Viscerocranium*; lengkung faring ke-3 membentuk sebagian besar *Os hyoideum*. Lengkung faring ke-4 dan ke-6 membentuk rangka Larynx yang terdiri dari tulang rawan dan otot-otot Larynx. Sesuai dengan latar-belakang embrionalnya, otot-otot lurik Larynx mendapat inervasi dari saraf otak (*N vagus*).

Perhatikan: Epitel larynx bukan berasal dari lengkung faring, melainkan berasal dari endoderm usus depan, seperti epitel Trachea dan bronkhus. Lengkung faring tampak dorsal pada embrio 6 minggu (**c**) memperlihatkan bakal lubang Larynx yang sangat dekat dengan lengkung faring ke-4 dan ke-6. Di tempat tersebut, jalan napas dan jalan makanan terpisah dan terus ke arah kaudal sebagai sistem pipa yang terpisah (lihat **C**).



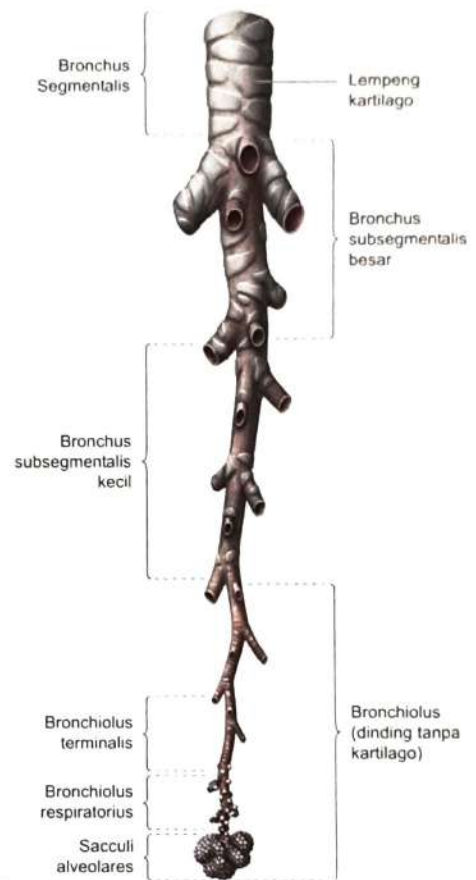
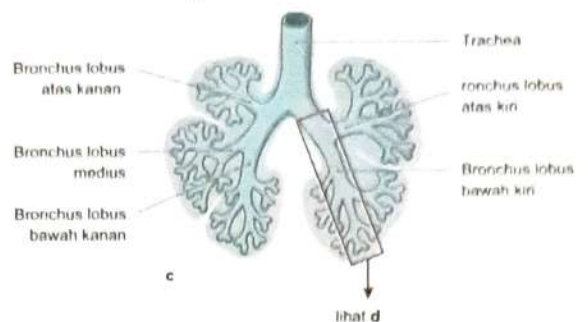
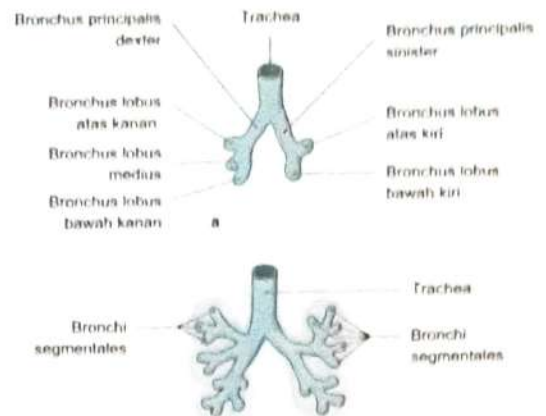


C Perkembangan Trachea dan paru: tabung laringotracheal (Tubus laryngotrachealis) dan kuncup paru

Usus depan, dilihat dari kiri (a dan b) dan ventral (c-e) Mendekati minggu ke-4, di sisi ventral usus depan muncul kantong keluar, *Diverticulum laryngotracheale* (a), yang terus memanjang menjadi tabung laringotrakeal (Tubus laryngotrachealis, b) Pada awalnya, tabung tersebut terbuka ke usus depan, tetapi tak lama kemudian terbentuk dua lipatan lateral yang disebut Septum oesophagotracheale (c dan d), sehingga hampir terpisah sama sekali dari usus depan. Dengan demikian, usus depan pada arah ventrodorsal terbagi menjadi 2 bagian (d):

- Di sebelah ventral septum, terdapat bakal jalan napas;
- Di sebelah dorsal septum, terletak bakal oesophagus (tentang lokasi usus depan, lihat hlm. 30)

Hanya pada bagian teratas tabung—di daerah bakal Larynx—sambungan ke usus depan masih terbuka (di sanalah bakal jalan masuk ke Larynx, lihat b). Pada ujung bawah tabung, terlihat ada tunas, satu kecil di kiri dan satu besar di kanan, yaitu kuncup paru (d). Kuncup paru adalah primordium paru. Kuncup-kuncup tersebut terus tumbuh ke bawah dan pada saat yang bersamaan semakin melebar ke samping (e). Di dalam setiap kuncup, terbentuk satu bronkus utama (Bronchus principalis sinister dan dexter).

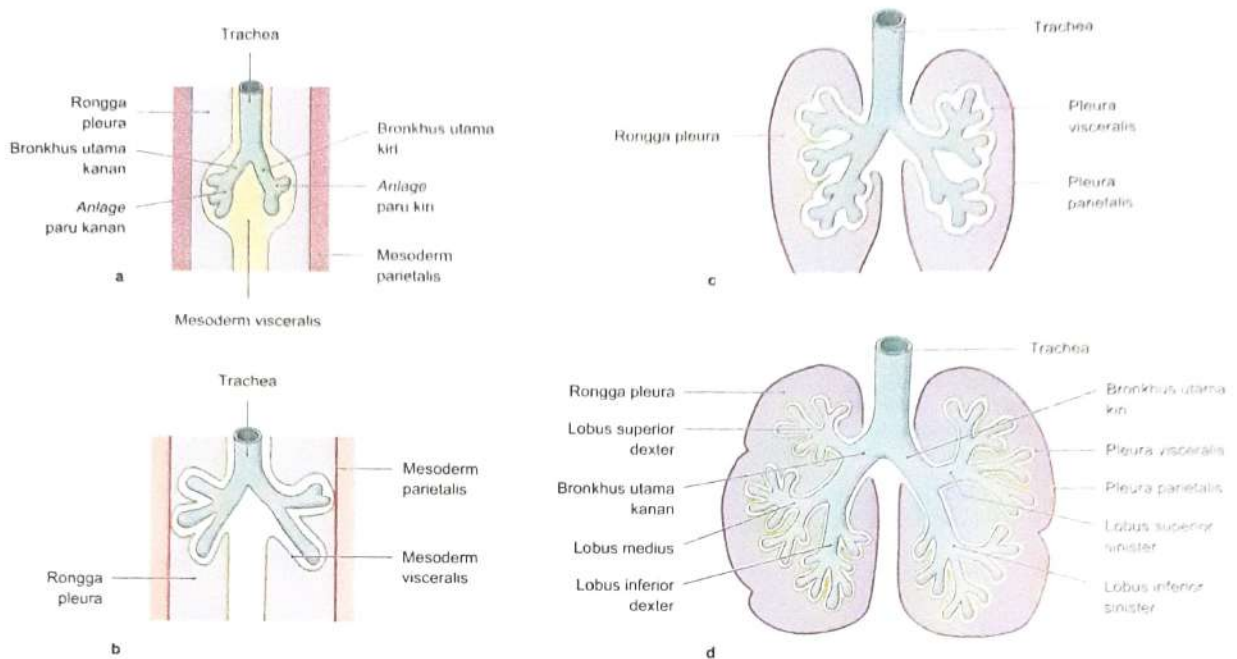


D Perkembangan Trachea dan paru: percabangan bronkhus

Percabangan bronkhus (pohon bronkhus) pada embrio minggu ke-5 (a), ke-6 (b), dan ke-8 (c), dilihat dari ventral; d gambaran satu percabangan bronkhus lengkap.

Kuncup-kuncup paru tersebut bercabang menjadi tiga bronkhus di kanan dan dua bronkhus di kiri, yaitu Bronchi lobares, yang menentukan struktur paru kanan menjadi tiga lobus dan kiri dua lobus. Bakal bronkhus lobaris tersebut terus tumbuh bercabang menjadi Bronchi segmentales, yang membagi paru-paru menjadi segmen-segmen (di kanan 10 segmen, di kiri paling sering 9 segmen). Percabangan selanjutnya menghasilkan Bronchi subsegmentales berukuran semakin kecil, hingga akhirnya menjadi Bronchioli terminales (d). Secara keseluruhan, tabung laringotrakeal—mulai dengan kuncup paru—membentuk 23 tahap percabangan dikotomi. Tujuh belas tahap pertama berlangsung sebelum lahir dan menghasilkan Alveoli sederhana—yang disebut alveoli primer—sebagian besar dalam bentuk kantong Alveoli (lihat hlm. 27). Enam tahap berikutnya berlangsung setelah lahir dan memperbesar volume paru karena terbentuk alveoli mature baru dalam jumlah banyak. Maturasi akhir paru mulai di segmen-segmen kranial paru dan berakhir di segmen bawah pada usia 8-10 tahun.

3.3 Perkembangan dan pematangan paru



A Perkembangan Trachea dan paru: rongga pleura (Cavitates pleurales)

Skema rongga pleura pada embrio minggu ke-5 (a) dan ke-6 (b); c dan d percabangan bronkhos, dilihat dari ventral. Sesuai dengan penjelasan di atas, percabangan bronkhos tumbuh ke lateral dan ke bawah menuju ke arah rongga abdomen dan mendorong mesoderm visceral di depannya (a), sehingga hampir bersentuhan dengan mesoderm parietal (b). Lapisan visceral pleura (selaput paru = Pleura pulmonalis atau Pleura visceralis) berasal dari mesoderm visceral di sekeliling tunas paru; dan lapisan parietal pleura (Pleura parietalis), yang melapisi bagian dalam rongga tubuh, berasal dari mesoderm parietal. Rongga tubuh (yang dilapisi dengan Pleura parietalis) akan semakin terisi oleh jaringan paru yang sedang bertumbuh (yang dilapisi oleh Pleura

visceralis) (c dan d). Secara keseluruhan, karena penampilannya serupa dengan saluran (kanal), hingga periode ini, rongga tubuh yang belum terbagi dikenal sebagai kanal Coelom; atau karena menghubungkan rongga perikardium (atas) dengan rongga peritoneum (bawah) juga dikenal sebagai *Canalis pericardioperitonealis*. Dua lipatan dari kiri dan dua lipatan dari kanan (Membrana pleuropericardialis) tumbuh bersama-sama ke arah medial dan menyatu di tengah, di rongga thorax (bakal mediastinum posterius, lihat hal. 71) sehingga memisahkan dua rongga-pleura dari rongga perikardium, yang ditempati jantung (lihat hal. 6). Septum transversum (bakal diaphragma, di sini tidak terlihat), memisahkan rongga pleura dari rongga abdomen, sehingga rongga tubuh yang mulanya satu ruang terbagi menjadi dua.

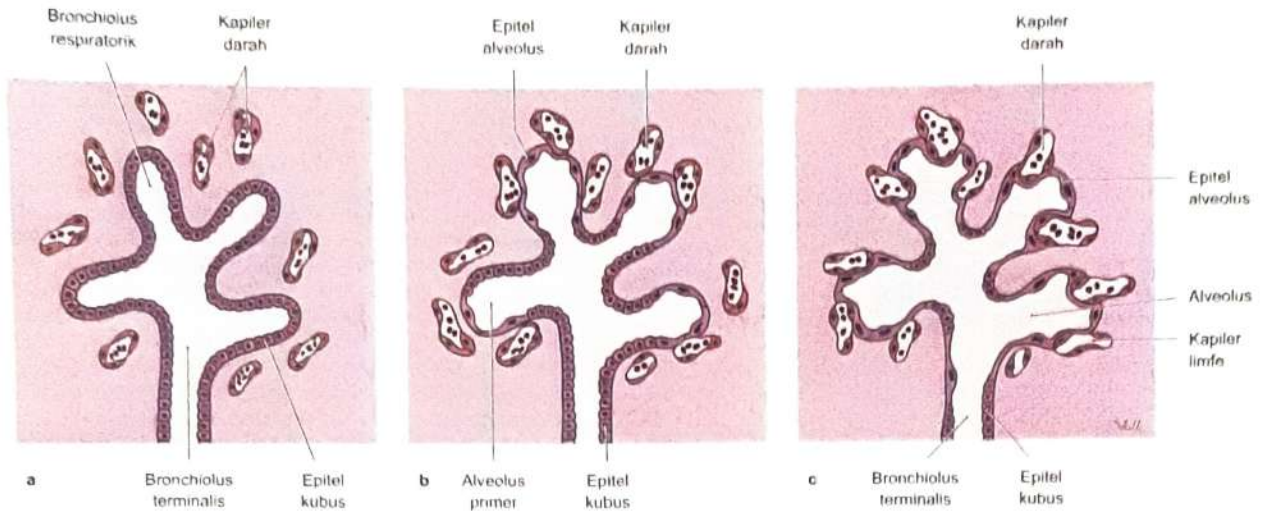
B Ringkasan tentang tahapan-tahapan perkembangan paru

Perkembangan paru berlangsung dalam 4 tahapan besar: tahap pseudoglandular, tahap kanalikular, tahap sakular, dan tahap alveolar.

Ketiga tahap pertama dimulai dan berakhir sebelum atau pada saat lahir (bandingkan C).

Perhatikan: tahap temporal berdekatan yang tumpang-tindih.

Tahap perkembangan	Sebelum lahir (minggu perkembangan)	Langkah perkembangan
Tahap pseudoglandular	5–17	Percabangan bronkhos hingga Bronchioli terminales; Bronchioli respiratorii dan Alveoli belum terbentuk
Tahap kanalikular	16–25	Percabangan Bronchiolus terminalis menjadi Bronkioli respiratorii, yang bercabang lagi menjadi Ductus alveolares dengan Alveoli-nya.
Tahap sakular	24 hingga lahir	Alveoli sederhana berkontak dengan kapiler, alveoli berdiferensiasi pertama kali dengan membentuk sel-sel epitel alveolus khusus tipe I dan II. Paru sudah mempunyai kemampuan pernapasan secara terbatas.
Tahap alveolar	Setelah lahir Sekitar kelahiran hingga usia sekitar 8–10 tahun	Kenaikan tajam jumlah alveoli melalui pemisahan terus-menerus dari yang sebelumnya berupa kuncup paru. Diferensiasi alveoli matang dengan pembentukan sawar-darah-udara

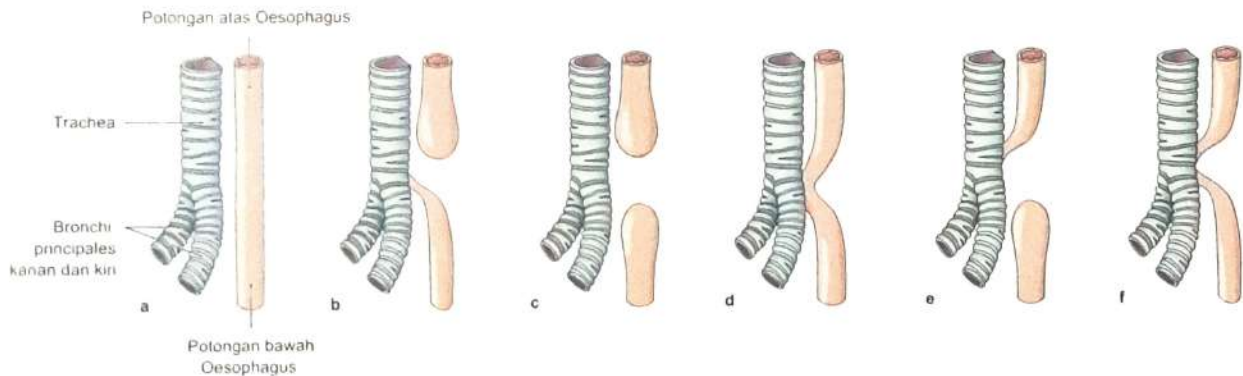


C Perkembangan paru: pembentukan Alveoli dan pematangan paru

Demi alasan pembelajaran, perkembangan Alveoli diuraikan secara terpisah dari tahap-tahap perkembangan yang diuraikan di depan, walaupun waktu perkembangannya bersamaan (lihat B). Dari saat munculnya kuncup paru pada minggu ke-5 hingga ke perkembangan bronkiolus terminalis pada minggu ke-17 (a), paru primitif menyerupai kelenjar eksokrin (yakni, tahap pseudoglandular, bandingkan B); Alveoli belum mengembang dan menyerupai kelenjar asinus dengan saluran keluar. Pada tahap kanikular, percabangan bronkhus bercabang-cabang lagi menjadi lebih kecil hingga yang paling, Bronkioli respiratorii, yang sudah menunjukkan bakal alveoli. Epitel kubus Bronkioli respiratorii berproliferasi menghasilkan sel epitel alveolar gepeng. Sel-sel tersebut mulai berkontak dengan kapiler (b), secara morfologis sesuai dengan sawar-darah-udara). Melalui proses ini, terbentuk alveolus primer (b). Pada bulan ke-7, jumlahnya mencukupi untuk menjamin bayi yang lahir prematur dapat bertahan hidup. Pada dua bulan terakhir sebelum kelahiran (tahap sakular), paru membesar karena percabangan bronkhus terus berlanjut dengan penambahan jumlah Bronkioli respiratorii dan alveoli. Terbentuk Sacculi alveolares pertama (lihat D, hlm 25) dan kapiler darah menjulur ke ruang-ruang alveolus (c). Di dalam alveoli,

lapisan epitel terus berdiferensiasi menjadi sel epitel alveolus tipe I dan tipe II (lihat hlm. 147). Sel tipe II memproduksi surfaktan, suatu fosfolipid yang menurunkan tegangan permukaan di alveoli, sehingga paru dapat mengembang pada tarikan napas pertama ketika bayi lahir. Pada saat lahir, baru terbentuk sekitar 15–20% (!) jumlah alveoli (sekitar 300 juta alveoli di dalam paru dewasa); sisa yang 80–85% terbentuk pada 8–10 tahun berikutnya melalui pembentuk baru dan diferensiasi yang terus-menerus (tahap alveolar).

Perhatikan. Di dalam rahim, paru berisi cairan (aspirat dari amnion dan sekret dari bronkhus). Ketika bayi bernapas pertama kali, cairan ini akan digantikan oleh udara. Jadi, pengembangan paru bukan disebabkan oleh perbesaran atau pengembangan paru, melainkan karena penggantian cairan dengan menghirup udara. Surfaktan menurunkan tegangan permukaan, sehingga alveoli yang berisi udara dapat mengembang dan tidak kolaps kembali. Kekurangan surfaktan bawaan mengakibatkan sindrom sesak napas (respiratory distress syndrom = RDS) yang mengancam jiwa. Pada kasus RDS, terapi surfaktan diberikan melalui nebulizer. Meskipun sudah ada langkah-langkah tersebut, perkembangan dan maturasi paru masih menjadi fase yang penting pada perkembangan embrional; gangguan perkembangan paru termasuk penyebab kematian yang paling sering pada bayi baru lahir.



D Perkembangan Trachea dan paru: bentuk-bentuk kelainan

a Normal, **b–f** Bentuk-bentuk kelainan. Gangguan perkembangan pada kuncup paru, termasuk pemisahannya dan usus depan, mengakibatkan beragam bentuk kelainan, bisa dengan dan tanpa hubungan antara Trachea dan Oesophagus. Seringkali, Oesophagus bagian atas buntu (b dan c), sehingga bayi tidak men-

dapatkan nutrisi (bayi tidak minum! Diperlukan operasi segera). Bila masih ada sambungan antara Oesophagus dan Trachea, terjadi kelainan Fistula oesophagotrachealis. Terdapat berbagai bentuk fistula (b, c–f) yang menyebabkan aspirasi susu, sehingga Trachea dan paru selalu mengalami inflamasi (bayi batuk setelah minum). Dengan demikian, Fistula oesophagotrachealis harus ditutup dengan operasi.

4.1 Ringkasan

Pendahuluan

Fungsi, lokalisasi istilah-istilah: Organ pencernaan (Organa digestoria) menerima bahan makanan cair dan padat, memanfaatkannya, dan membuang kembali bahan-bahan sisa yang tidak diproses secara terkendali (=pencernaan). Organ-organ ini merupakan sistem pipa memanjang yang berjalan kontinu dari kepala sampai ke Pelvis minoris dan melewati tiga rongga tubuh besar, yaitu di Thorax, Abdomen dan Pelvis. Seluruh sistem ini juga dinamai sebagai sistem pencernaan dan ruas-ruas yang terletak di dalam rongga tubuh disebut "Tractus gastrointestinalis". Selain istilah posisi dan arah yang biasa dipakai, untuk sistem pencernaan digunakan juga istilah "oral" dan "aboral", untuk memberitahukan arah memanjang di dalam sistem pipa tersebut: "oral" = "menuju ke mulut" (Os=mulut), "aboral"="menjauhi dari mulut".

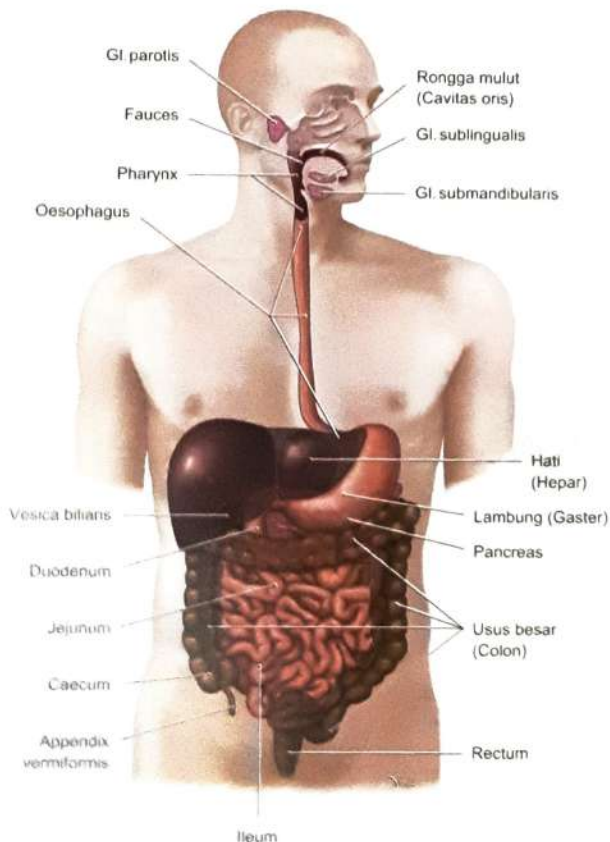
Susunan sistem pencernaan dan pemanfaatan makanan: Sistem pencernaan adalah sebuah sistem kontinu organ-organ yang kurang lebih berupa saluran pipa yang berurutan dalam satu rentetan, yang melewati bolus makanan. Di awal sistem saluran pipa ini (rongga mulut sampai ke lambung), penghancuran dan pelumatan makanan berada di garis depan, menyusul ruas terpanjang (usus halus sampai ke Colon) yang berfungsi meresorpsi komponen-komponen makanan dan air dari lumen ke sirkulasi darah. Penggalan terakhir (Rectum dan Canalis analis) berfungsi sebagai penyimpanan sementara dan ekskresi feses secara terkendali (defekasi). Di dalam sistem saluran pipa ini dilakukan:

- makanan padat yang dihancurkan dan dilumatkan dicampur dengan air menjadi bubur (Chymus) dan dipecah oleh enzim-enzim di dalam

lambung dan usus halus sehingga menjadi komponen-komponen yang bisa diserap. Komponen-komponen ini sebagian besar diserap langsung ke dalam aliran darah usus melalui lapisan epitel dinding usus dan diangkut melalui Vena portae ke Hepar dan di sana dilanjutkan ke berbagai proses-proses metabolisme. Namun, lemak diresorpsi melalui cairan limfe, sehingga memintas sirkulasi portal dan tidak melalui metabolisme di hati secara primer.

- Air juga sebagian besar diresorpsi melalui dinding usus, dan kemudian disalurkan ke darah dan limfe. Untuk pengaturan tekanan osmotik darah, ginjal mengontrol ekskresi air (lih. Organa urinaria, hal. 40).

Faktor-faktor yang menunjang proses pencernaan: Lambung dan ruas-ruas usus terus-menerus menggerakkan dan mencampur bubur chymus dengan gerakan mengayun yang lambat (Peristaltik), yang cenderung mendorong ke arah aboral, sehingga makanan yang sudah dicerna dibawa menuju ke Rectum. Peristaltik diatur oleh sistem saraf tersendiri di Tractus gastrointestinalis, yaitu sistem saraf enterik. Melalui kelenjar-kelenjar yang terhubung ujung-ke-sisi ("end-to-side") pada sistem saluran itu atau langsung berlokasi di dalam dinding sistem saluran pipa itu, bubur makanan diberi air, asam klorida, enzim, dan *solubilizing agent*, untuk membantu proses pencernaan. Di dalam Tractus gastrointestinalis, terdapat kelompok-kelompok sistem limfatik regional (amandel = tonsil dan folikel limfatik di dinding usus), sehingga sistem pencernaan berperan penting dalam sistem imun.



A Pembagian dan ruas-ruas organ pencernaan

Dari oral ke aboral, dapat dibedakan ruas-ruas sbb.:

Di **Cranium** dan **daerah leher atas**:

- Rongga mulut (Cavitas oris) dengan pintu masuk (Fauces) sebagai peralihan ke Pharynx.

Di **daerah leher tengah** dan **bawah** dan di **Thorax**:

- Ruas Pharynx tengah dan bawah (=Partes oralis dan laryngea pharingis),
- Oesophagus dengan Partes cervicalis dan thoracica.

Di **Abdomen**:

- Ruas Oesophagus bawah (Pars abdominalis),
- Lambung (Gaster),
- Usus halus (Intestinum tenue) dengan Duodenum, Jejunum, dan Ileum,
- Usus besar (Intestinum crassum) dengan Caecum dan Appendix vermiformis serta Colon ascendens, transversum, descendens dan sigmoideum).

Di **Pelvis**:

- Usus besar dengan Rectum dan Canalis analis.

Kelenjar-kelenjar yang terhubung:

- Kelenjar-kelenjar ludah di kepala (Gll.salivariae: Gll.submandibularis, sublingualis, parotis, serta kelenjar-kelenjar ludah kecil di rongga mulut),
- Kelenjar ludah perut (Pancreas) di Abdomen,
- Hati (Hepar) dengan kandung empedu (Vesica biliaris) di Abdomen.

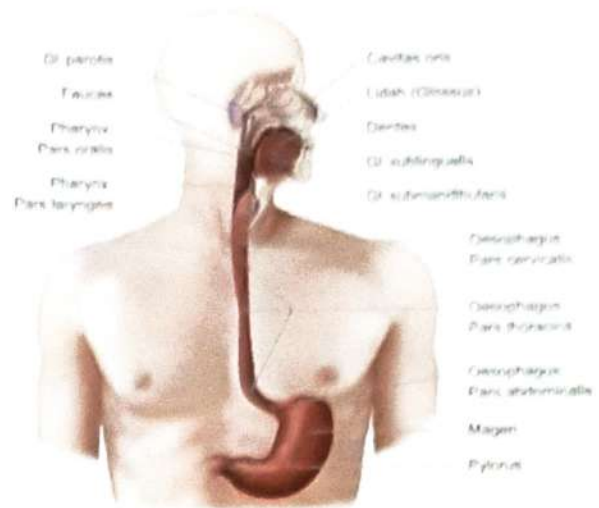
Banyak kelenjar kecil ditemukan di dinding organ pencernaan, mulai dari Oesophagus hingga ke Rectum

B Cavitas oris, Fauces, Pharynx, Oesophagus, dan Gaster

Rongga mulut (Cavitas oris) bersama dengan geligi (Dentes), lidah (Glossus), dan kelenjar ludah (Gll salivariae) berfungsi untuk menghancurkan dan membasahi makanan. Ketiga kelenjar ludah besar yang berpasangan, yaitu Gll sublingualis, submandibularis, dan parotis, mengeluarkan ludahnya ke dalam rongga mulut melalui saluran saluran ekskresi.

Fauces dan Pharynx: Saluran pencernaan berjalan dari rongga mulut melalui pintu masuk tenggorokan (Fauces) menuju ke tenggorok atau Pharynx. Pharynx memiliki tiga tingkat lantai dan sebagian juga merupakan jalan napas. Bagian terbawahnya—Pars laryngea pharyngis—memasuki Oesophagus. Beberapa buku ajar menganggap seluruh panjang Pharynx berada di leher.

Oesophagus dan lambung: Oesophagus merupakan kelanjutan Pharynx di leher ke arah aboral, melewati seluruh Thorax, dan setelah menembus Diaphragma berakhir pada lambung di Abdomen. Oesophagus berguna untuk menyalurkan cairan dan bubur makanan masuk ke lambung. Di dalam lambung, makanan yang masuk itu dihancurkan lebih lanjut dengan gerakan aktif lambung dan dicampur dengan asam klorida untuk denaturasi protein dan dicerna secara enzimatik. Setelah kurun waktu tertentu, bubur makanan dikeluarkan dari lambung secara bertahap dalam porsi-porsi kecil ke dalam usus halus.



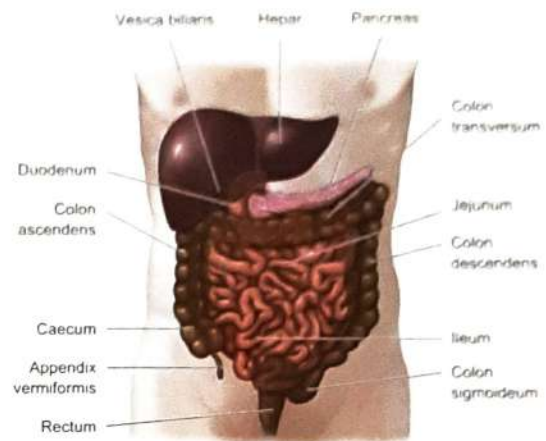
C Usus halus (Intestinum tenue), usus besar (Intestinum crassum), dan kelenjar-kelenjar di Abdomen (hati dengan kandung empedu dan Pancreas)

Usus halus dan Usus besar: segmen teratas usus halus, usus dua belas jari (Duodenum), berbentuk huruf "C" besar di belakang dan di bawah Hepar. Segmen-segmen usus halus sesudahnya, Jejunum dan Ileum, yang tidak dapat dipisahkan secara tegas satu sama lain, membentuk banyak sekali lekukan di belakang dinding perut depan dan dikelilingi oleh bingkai usus besar. Sari makanan diresorpsi di sepanjang usus halus, sedangkan air dan elektrolit di usus besar diresorpsi. Rectum bertugas untuk pelepasan tinja.

Hati (Hepar) terletak di perut kanan atas (a). Organ ini memetabolisasi berbagai substrat, yang disalurkan dari usus halus ke hati melalui suatu sistem pembuluh darah (!) vena tersendiri, yaitu sistem pembuluh vena porta (lih. hal. 13). Hati antara lain membentuk asam empedu, yang diekskresi ke Duodenum melalui saluran empedu. Asam-asam empedu mengemulsikan lemak di usus halus sehingga membantu pencernaan lemak. Empedu disimpan sementara di dalam kandung empedu (Vesica biliaris), yang terletak di bawah hati.

Pancreas (b), yang terletak melintang di perut atas di dekat Duodenum, memiliki dua macam kelenjar fungsional:

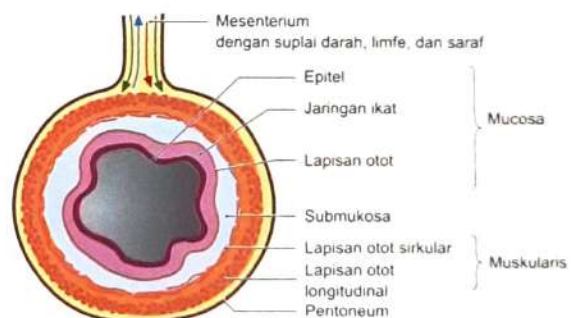
- satu yang disebut kelenjar eksokrin, yang mengekskresi sekret yang kaya enzim dan banyak mengandung air ("ludah perut") melalui sebuah saluran (Ductus pancreaticus) ke dalam Duodenum. Enzim-enzim itu berfungsi mencerna beragam substrat;
- satu yang disebut kelenjar endokrin ("organ pulau"), yang antara lain memproduksi hormon insulin dan glukagon untuk mengatur kadar gula darah.



D Skema stuktur histologis Tractus gastrointestinalis dalam potongan melintang

Secara keseluruhan, Tractus gastrointestinalis terdiri atas empat lapisan:

- Mukosa: lapisan epitel, lapisan perbatasan ke lumen.
- Submukosa: lapisan jaringan ikat di bawah mukosa, yang mengandung pembuluh darah, pembuluh limfe, serta saraf-saraf otonom.
- Muskularis: lapisan sesudah submukosa dan terdiri atas lapisan otot polos sirkuler dalam dan otot polos longitudinal luar.
- Adventitia atau Aerosa (bergantung pada posisi potongan gastrointestinalis): lapisan luar, yang berfungsi mengintegrasikan segmen Tractus gastrointestinalis dengan lingkungan di sekelilingnya.

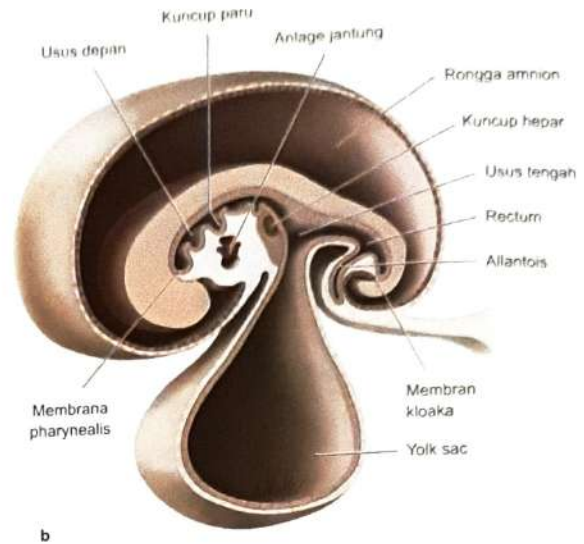
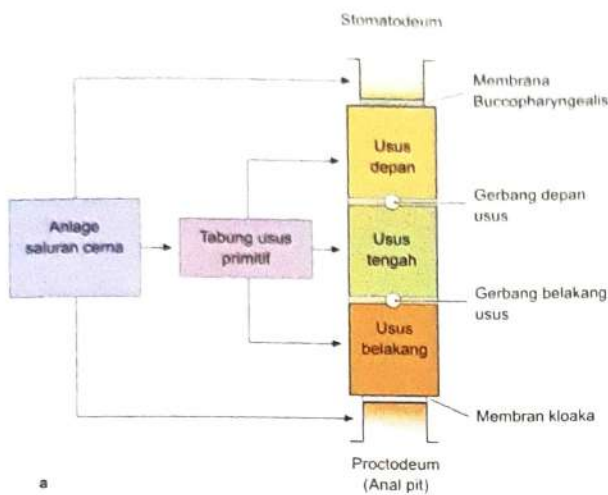


4.2 Perkembangan dan diferensiasi Tractus gastrointestinalis

Pendahuluan

Organ pencernaan berlokasi di dalam kepala, leher, dan rongga-rongga besar tubuh. Perkembangannya yang kompleks berpengaruh terhadap arsitektur rongga tubuh, sehingga uraian mengenai perkembangannya dikaitkan dengan perkembangan rongga-rongga tubuh. Di akhir

perkembangan, terbentuklah sebuah saluran berbentuk pipa kontinu yang mulai dari rongga mulut (sebagai "pintu masuk") sampai ke Anus (sebagai "pintu keluar"), yang—di Abdomen—dihubungkan dengan dua kelenjar (hati dengan kandung empedu dan Pancreas) secara "ujung-ke-sisi" ("end-to-side"), yang mengeluarkan sekretinya ke dalam pipa ini.



A Perkembangan Tractus gastrointestinalis: ringkasan (menurut Sadler)

a Ringkasan, **b** potongan memanjang melalui sebuah embrio pada awal minggu perkembangan ke-5.

Pipa usus embrional (= pipa usus primitif) berasal dari bagian dorsal *yolk sac*. Dengan terbentuknya dua gerbang usus, Tractus gastrointestinalis dibagi menjadi tiga ruas.

- Usus depan (foregut) yang terletak kranial,
- Usus tengah (midgut) yang nantinya menjadi ruas terpanjang, dan
- Usus belakang (hindgut) yang terletak kaudal.

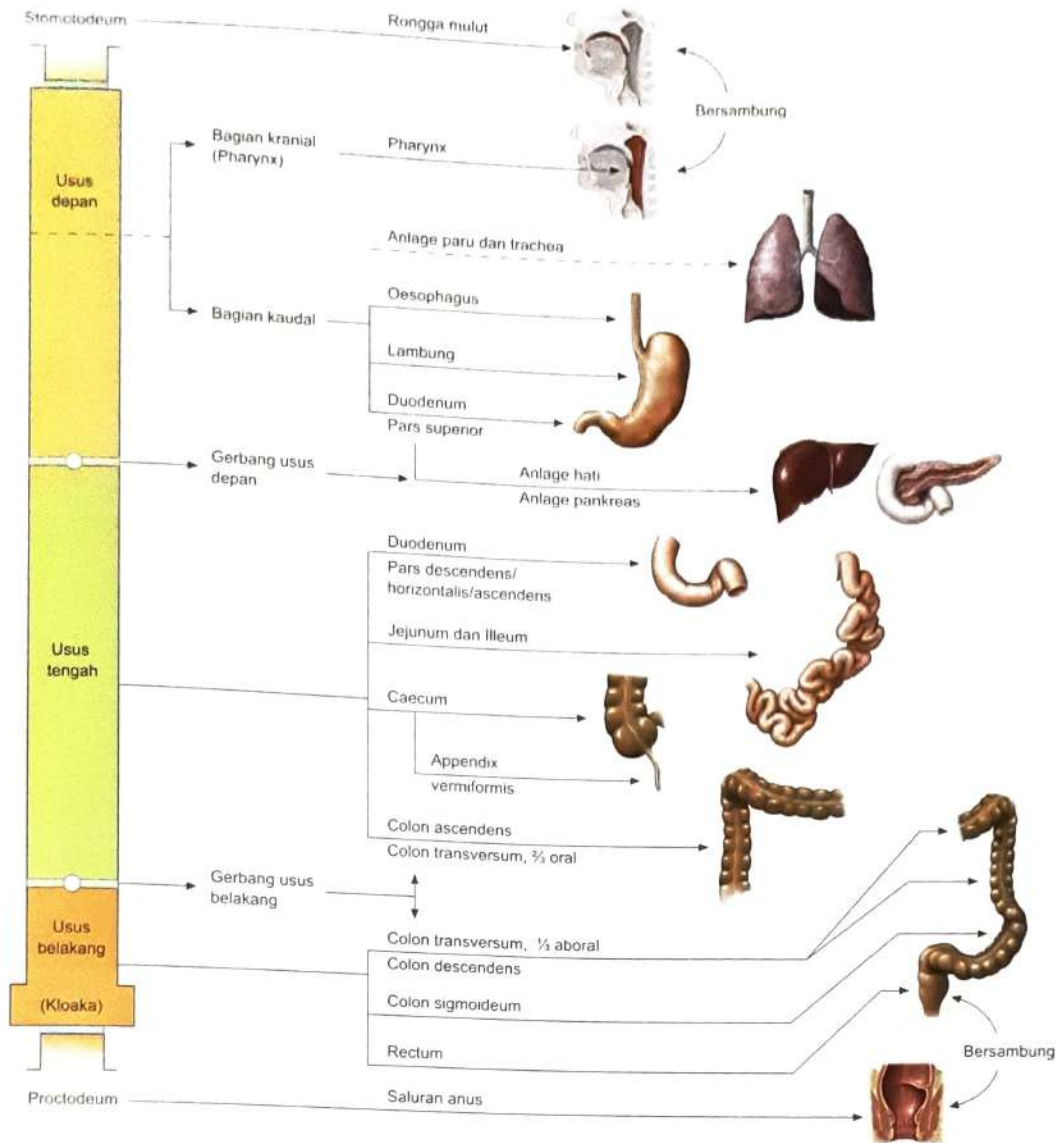
Pipa usus primitif kranial dan kaudal masih berujung buntu: usus depan tertutup oleh membran bucofaringeal dan usus akhir tertutup membran kloaka di ujung kaudal. Di sebelah luar kedua membran

itu, ditemukan dua cekungan ektodermal: di kranial adalah cekungan mulut (Stomatodeum), di kaudal adalah cekungan anus (Proctodeum). Usus tengah, yang pada awalnya masih sangat pendek, pada mulanya terhubung dengan *yolk sac* di seluruh panjangnya. Di kedua "ujung" segmen penghubung ini, di perbatasan usus depan-usus tengah terdapat gerbang usus depan dan di perbatasan usus tengah-usus belakang terdapat gerbang usus belakang. Dalam perkembangan embrional selanjutnya, karena pertumbuhan ukurannya, embrio itu terangkat dari alasnya dan melengkung ke depan (disebut sebagai pelipatan embrio). Secara bersamaan, beberapa ruas tambahan *yolk sac* diintegrasikan lagi ke dalam embrio sebagai usus primitif (dan bahkan usus tengah). Usus belakang berhubungan dengan Allantois (= tonjolan di bagian kaudal *yolk sac* pada stadium embrional awal, lihat **b**).



B Perkembangan Tractus gastrointestinalis dari lapisan germinal

Organ-organ dalam Tractus gastrointestinalis berkembang dari ketiga lapisan germinal.



C Diferensiasi Tractus gastrointestinalis

Dari pipa usus primitif, terbentuk semua ruas saluran pencernaan, yang epitelnya diturunkan dari Endoderm (lihat B). Membran bukofaringeal dan membran kloaka yang di luar terdiri dari lapisan ektoderm dan di dalam dari lapisan endoderm nantinya akan pecah (robek) agar saluran pencernaan dapat berhubungan dengan lingkungan luar (lihat hal. 37).

- **Usus depan** terbagi menjadi bagian kranial, yaitu usus tenggorok, yang merupakan asal muasal Pharynx; dan bagian kaudal, yang merupakan asal muasal Oesophagus, lambung, dan ruas teratas Duodenum (Pars superior duodeni) (lihat hal. 32). Batas antara kedua bagian usus depan tersebut menandai tempat munculnya kuncup paru, yang merupakan anlage paru dan Trachea (lihat hal. 25).
- **Usus tengah** membentuk seluruh bagian usus halus lainnya serta Colon sampai ke 2/3 oral Colon transversum.
- **Usus belakang** akhirnya membentuk bagian Colon yang lain serta Rectum yang terbentuk dari ruas terbawah usus belakang itu. Ruas ini

dinamai Cloaca. Dari Kloaka tidak hanya terbentuk Rectum, melainkan juga bagian sistem urogenital.

Batas antara usus depan dan tengah adalah suatu pintu yang disebut sebagai **gerbang usus depan**. Gerbang ini terletak di daerah Duodenum atas dan dianggap sebagai tempat tumbuhnya anlage hati, kandung empedu, dan Pancreas. Batas antara usus tengah dan belakang merupakan **gerbang usus belakang** di antara Colon transversum 2/3 oral dan 1/3 aboral, sebuah areal yang memiliki arti khusus dalam mengalokasikan invasi otonom dan dikenal sebagai medan Cannon-Bohm. Stomatodeum berdiferensiasi menjadi rongga mulut, sedangkan Fossa analis menjadi Canalis analis. Kedua anlage mendapatkan selaput epitelnya dari ektoderm dan menyambung langsung pada membran tenggorokan atau membran kloaka. Pada kedua tempat ini, epitel Endoderm dan Ektoderm saling menyambung secara ujung-ke-ujung (*end-to-end*). Dengan menghilangnya membran bukofaringeal dan membran kloaka, akhirnya pipa usus primitif berhubungan dengan dunia luar embrio.

4.3 Mesenterium dan anlage organ pencernaan di daerah kaudal usus depan; rotasi lambung

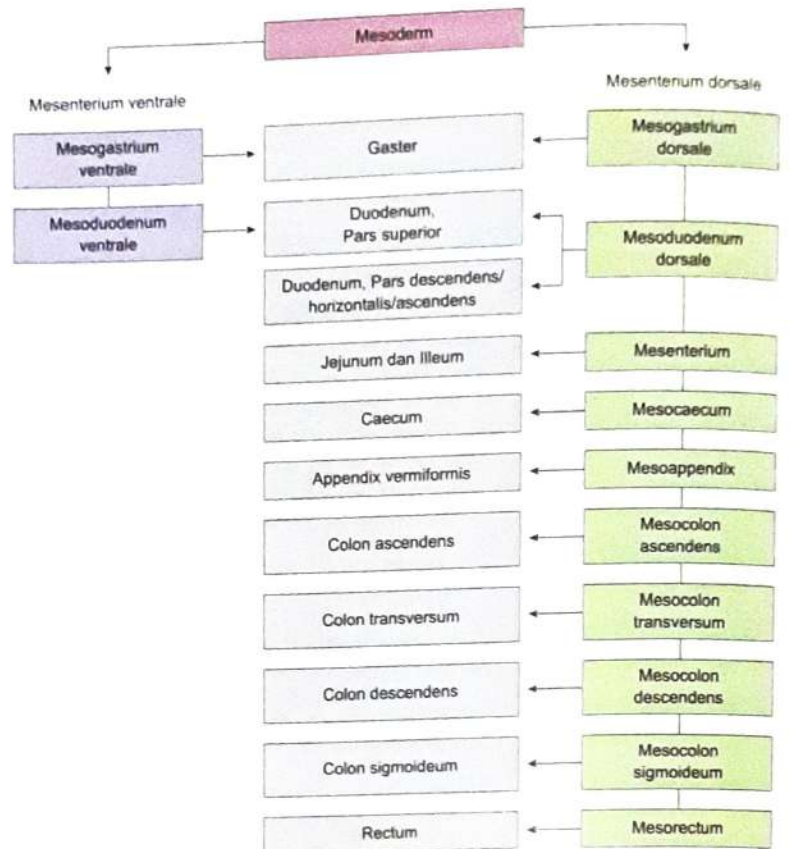
Pendahuluan

Dua proses sangat menentukan pada perkembangan embrional organ-organ pencernaan.

- Rotasi lambung di daerah kaudal usus depan (lihat hal 34).
- Rotasi jerat usus di daerah usus tengah dan usus belakang (lihat hal 36).

A Mesenterium pipa usus pada embrio (Ringkasan)

Oesophagus, lambung, dan Pars superior duodeni berkembang dari bagian kaudal usus depan. Seperti semua organ dalam sistem pencernaan yang ada di Abdomen dan Pelvis, organ ini memiliki Mesenterium dorsale (= jalur pemasok, yang berjalan menuju organ itu dari belakang, yaitu dari dinding posterior rongga peritoneum). Selain itu, di daerah lambung dan Pars superior duodeni terdapat Mesenterium ventrale, yang berjalan menuju ke organ dari dinding depan rongga peritoneum. Melalui Mesenterium ventrale ini, Vumbilicalis menyalurkan darah yang kaya oksigen dari Placenta ke lambung dan ke Vcava inferior embrio. Karena adanya Mesenterium tambahan ini, rongga peritoneum setinggi lambung dan Duodenum dibagi menjadi dua, belahan kiri dan kanan (lihat hal. 34)

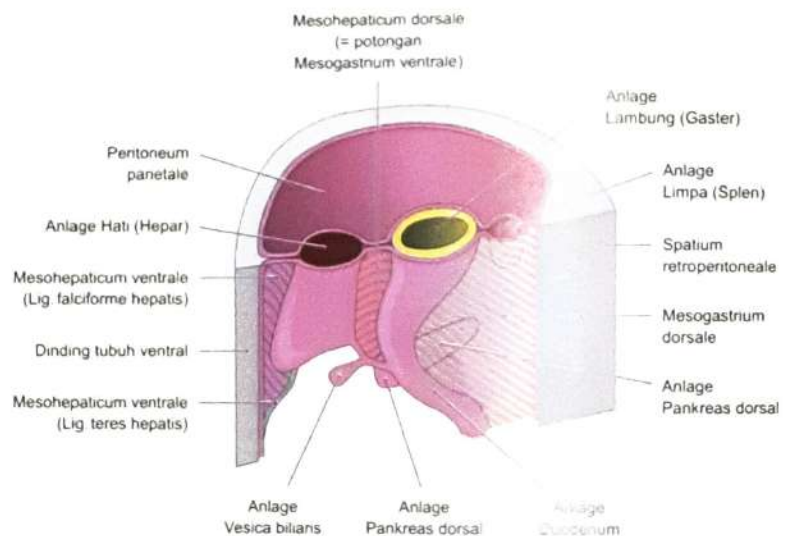


B Mesenterium bagian kaudal usus depan pada organisme embrio

Organ-organ berikut berkembang dari epitel Duodenum dan tumbuh ke dalam Mesenterium duodeni dan mesenterium Gaster (lihat A).

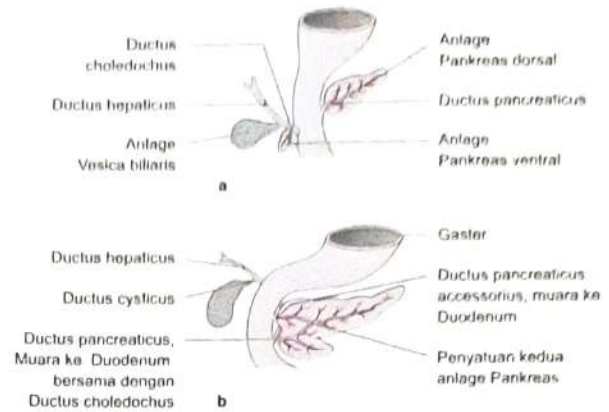
- Hati dan saluran empedu tumbuh ke dalam daerah di antara Mesoduodenum ventrale dan Mesogastrium ventrale;
- Di Mesoduodenum ventrale, berkembang anlage Pancreas ventral; di Mesoduodenum dorsale, berkembang anlage Pancreas dorsal

Limpa, sebuah organ limfatik (bukan organ pencernaan!), bermigrasi memasuki Mesogastrium dorsale sekitar minggu perkembangan ke-5 dari mesenkhim di Spatium retroperitoneale, yang terletak di rongga peritoneal dorsal. Dengan demikian, berkenaan dengan Mesenterium, limpa pada dasarnya mirip dengan anlage Pancreas dorsal. Pada rotasi lambung (lihat D), Mesenterium bersama-sama dengan organ-organ yang berada di dalamnya berpindah tempat (lihat hal. 34). Untuk penamaan Mesenterium ini pada organisme dewasa lihat E



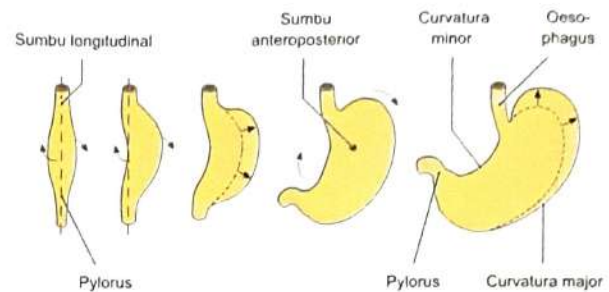
C Penyatuan anlage Pancreas dorsal dan ventral
(menurut Sadler)

Saluran gastrointestinal lambung dan anlage hati, saluran empedu, duodenum bertunas kedua anlage Pancreas (a) keduanya bermigrasi Pancreas ventral berkembang di dekat anlage saluran empedu Bersama dengan anlage saluran empedu, anlage Pancreas ventral ini ke anlage Pancreas dorsal, sehingga pada akhirnya bergerak menuju Mesoduodenum dorsale (b) (mengenai pengaruh rotasi lambung terhadap migrasi anlage Pancreas ventral lihat hal. 34) Kedua anlage pancreaticus minor dan major



D Rotasi lambung

Dilihat dari ventral. Mulai minggu perkembangan embrional ke-5, bila dilihat dari atas, lambung berputar searah jarum jam sebesar 90° tumbuh melebar secara asimetris. Dinding waktu yang sama, lambung sekarang berada di kiri dan tumbuh jauh lebih cepat daripada dinding kanan yang pada awalnya merupakan dinding depan. Akhirnya, seluruh karang terletak serong di Abdomen: Dindingnya yang semula di belakang menghadap ke kiri bawah sebagai Curvatura major, sedangkan dinding yang semula di depan menghadap ke kanan atas sebagai Curvatura minor. Kedua Mesenterium lambung (Mesogastrium ventrale dan dorsale) ikut serta dalam rotasi, dalam pertumbuhan asimetris, dan dalam penjurukan lambung itu. Mesogastrium ventrale berpindah ke arah kanan (dan atas), sedangkan Mesogastrium dorsale mengalami pertumbuhan kuat ke arah kiri (dan bawah).



E Penamaan Mesenterium di daerah usus depan bagian kaudal: Perbedaan embrio dan organisme dewasa

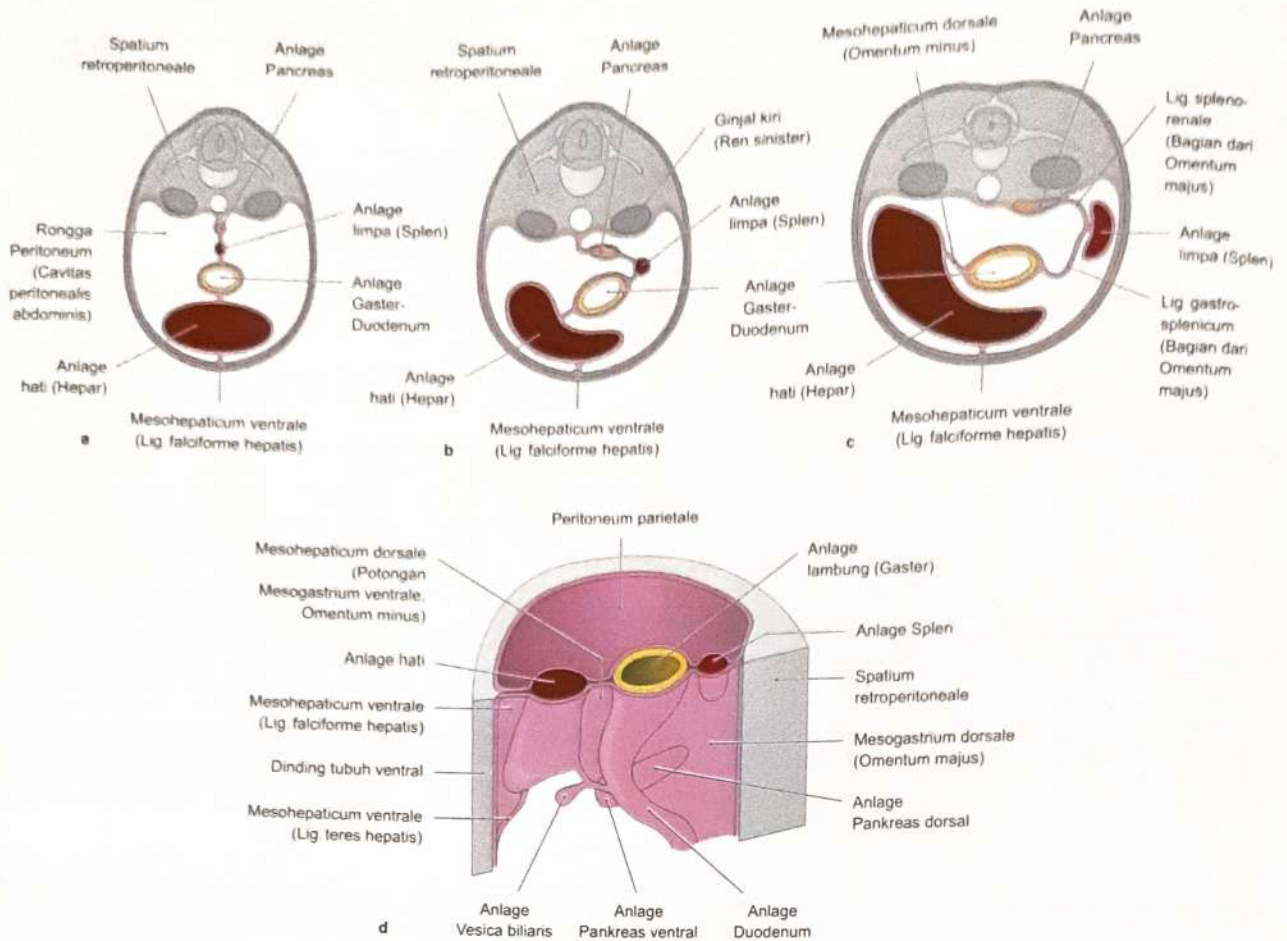
Kedua Mesenterium lambung, yaitu Mesogastrium dorsale dan ventrale, mengalami pembagian lebih lanjut menjadi Mesohepaticum ven-

trale dan Mesohepaticum dorsale (Hepar) serta Mesosplenicum (Splen = limpa) karena pertumbuhan hati dan limpa yang cepat pada embrio. Pada organisme dewasa (mature), Mesenterium-mesenterium ini diberi nama Omenta atau Ligamenta

Penamaan di organisme embrional	Penamaan di organisme matang
<p>Mesogastrium ventrale dengan subdivisi-subdivisinya</p> <ul style="list-style-type: none"> Mesohepaticum dorsale ("di belakang hati") Mesohepaticum ventrale ("di depan hati") 	<ul style="list-style-type: none"> Omentum minus; penghubung antara hati di satu sisi serta Curvatura minor lambung dan Pars superior duodeni di sisi lainnya, dapat dibagi menjadi: <ul style="list-style-type: none"> Lig.hepatogastricum (hati-lambung) dengan sebuah Pars flaccida dan Pars tensa Lig.hepatoduodenale (hati-Duodenum) Penghubung antara hati dan dinding badan depan; dapat dibagi menjadi: <ul style="list-style-type: none"> Lig.falciforme hepatis Lig.teres hepatis (mengandung V.umbilicalis yang mengalami obliterasi)
<p>Mesogastricum dorsale dengan subdivisi-subdivisinya</p> <ul style="list-style-type: none"> Setinggi anlage limpa (Splen) <ul style="list-style-type: none"> Mesosplenicum ventrale ("di depan limpa") Mesosplenicum dorsale ("di belakang limpa") Di atas anlage limpa (Splen) (di embrio tidak ada penamaan terperinci) Di bawah anlage limpa (Splen) (di embrio tidak ada penamaan yang terperinci) 	<ul style="list-style-type: none"> Dapat dibagi menjadi satu bagian yang dinamai Omentum majus (=penghubung antara Curvatura major dan Fundus lambung pada satu sisi; serta limpa, Colon transversum dan dinding belakang rongga peritoneum di sisi lainnya) dan beberapa ligamen: <ul style="list-style-type: none"> Lig.hepatosplenicum (penghubung lambung-limpa) Lig.phrenicosplenicum Lig.splenicorenale (= penghubung limpa-dinding belakang rongga peritoneum) Lig.gastrophrenicum (= penghubung lambung-dinding belakang rongga peritoneum) Omentum majus dengan Lig.gastrocolicum (= penghubung lambung-Colon transversum) Lig. phrenicocolicum (= penghubung dinding belakang rongga peritoneum dengan Flexura coli sinistra)

Perhatikan: Sering kali semua struktur yang berasal dari Mesogastrium dorsale pada organisme dewasa dianggap sebagai Omentum

4.4 Rotasi lambung dan topografi organ-organ di daerah usus-depan bagian kaudal; terjadinya Bursa omentalis



A Implikasi rotasi lambung dan mesenteriumnya terhadap topografi organ-organ di daerah usus depan bagian kaudal

a-c Potongan horizontal melalui Abdomen embrio pada tahap perkembangan yang berurutan; dilihat dari atas; d Gambar tiga dimensi dari a, dilihat dari kiri dan atas.

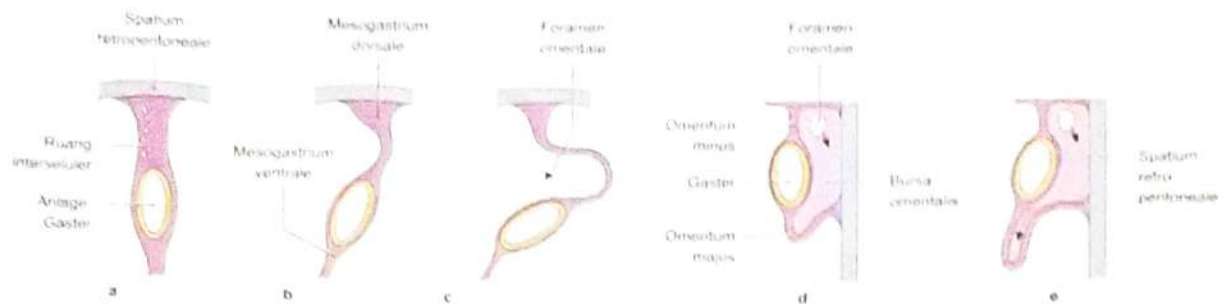
Duodenum: Duodenum ikut terlibat pada rotasi lambung, yang menyebabkan Duodenum berpindah ke arah kanan dan (karena penjurangan lambung) juga sedikit ke atas. Sampai berakhirnya rotasi lambung, Duodenum berkembang menjadi sebuah lengkung berbentuk huruf C, yang membuka ke arah belakang. Pada Duodenum, Mesoduodenum ventrale berputar ke kanan, sebuah kejadian yang berdampak terhadap posisi *anlage* Pancreas ventral di Mesoduodenum: selain itu, *anlage* Pancreas ventral ini—tanpa bergantung pada gerakan migrasi yang digambarkan di hal. 33—bermigrasi menuju ke *anlage* Pancreas dorsal, selama berlangsungnya rotasi "Meso" ini.

Pancreas: Kedua *anlage* Pancreas yang telah bersatu bersama dengan Duodenum berputar searah jarum jam, sehingga menjadi terletak melintang di Abdomen dan berpindah ke dinding belakang rongga peritoneum. Di sana, Peritoneum viscerale Pancreas—demikian juga Peritoneum viscerale Duodenum—bergabung dengan Peritoneum parietale dinding belakang rongga peritoneum. Jadi, Pancreas dan Duodenum mengalami retroperitonealisasi secara sekunder. Sisi depan kedua organ ini hanya dibatasi dari rongga perut oleh Peritoneum parietale.

Hati: Karena terletak di Mesogastrium ventrale, *anlage* Hepar bersama dengan Mesogastrium ini di Abdomen berpindah ke kanan dan atas. Oleh sebab itu, sebagian selaput peritoneum menempel ke selaput peritoneum Diaphragma. Pada lokasi persentuhan itu, hati tumbuh melekat pada Diaphragma dengan menghilangkan kedua lapis peritoneum. Tempat perlekatan yang tak berperitoneum ini pada Hepar dinamai "Area nuda"; pada Diaphragma sebagai "sarang hati". Hati tetap intraperitoneal, tetapi karena pertumbuhannya yang intensif, juga bergeser ke arah dorsal hingga mendekati ginjal kanan, sehingga letaknya juga lebih rendah daripada ginjal kiri.

Saluran empedu: Sebagian saluran empedu tetap berada di dalam *anlage* hati, sebagian lainnya menjulur sebagai saluran empedu di dalam Lig.hepatoduodenale—pinggir terluar Omentum minus—menuju ke Duodenum, tempat saluran itu bermuara. Dengan demikian, sebagian besar saluran empedu ekstrahepatik juga terletak intraperitoneal dan berjalan sampai di dekat Duodenum—setelah menembus Pancreas—tempat saluran ini menyatu dengan saluran Pancreas, di lokasi retroperitoneal sekunder.

Splen: Karena rotasi lambung, limpa (Splen)—yang *anlage*-nya terletak di Mesogastrium dorsale—berpindah ke kiri. Organ ini tetap terletak intraperitoneal di dalam mesogastrium ini.



B Terjadinya Bursa omentalis (menurut Sadler).

Lambung dan Mesogastrium. **a-c** Potongan horizontal melalui Abdomen, dilihat dari atas. **d** dan **e** Potongan sagital, dilihat dari kiri. Panah bawah di **e** menunjukkan bagaimana Omentum majus melakukan evaginasi panah atas di **c-e** menunjuk Foramen omentale, satu satunya lubang fisiologis di Bursa omentalis.

Karena rotasi lambung dan Mesogastrium, dinding lambung yang tadinya di kanan dipindahkan ke belakang yang sebelumnya di kiri berpindah ke depan. Mesogastrium dorsal dan ventral sekarang terletak seperti lembaran yang menghadap ke ventral—menahan lambung di tengah-tengahnya—di Abdomen. Dengan berputarnya lempeng ini,

masih tersisa sebagian rongga peritoneal yang terperangkap, yaitu Bursa omentalis yang terletak dorsal. Bursa omentalis ini dibatasi:

- ke belakang oleh dinding belakang rongga peritoneum (di depan Pancreas yang sekarang sudah terletak retroperitoneal, lihat **Ac**).
- ke depan oleh dinding belakang lambung (Gaster) dan kedua Mesogastrium.
- ke kanan oleh hati (Hepar).
- ke kiri oleh limpa (Splén).
- ke atas oleh Diaphragma (di sini tidak terlihat).
- ke bawah oleh kantong Mesogastrium dorsale.

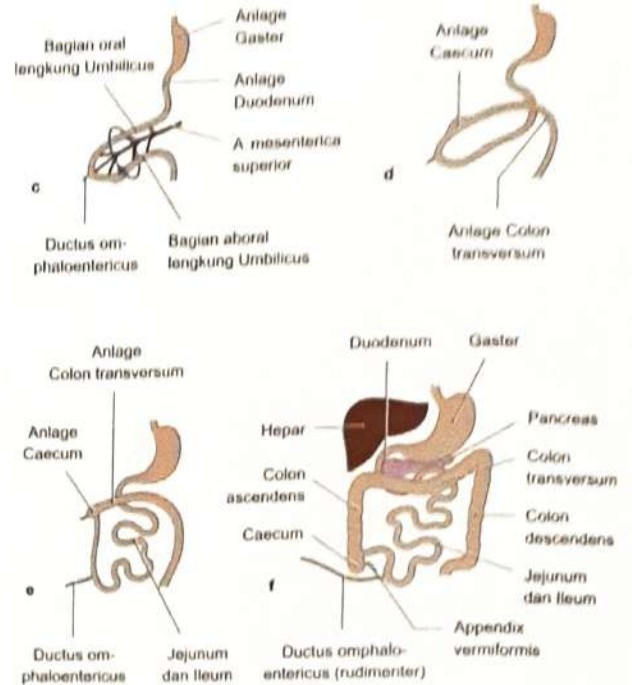
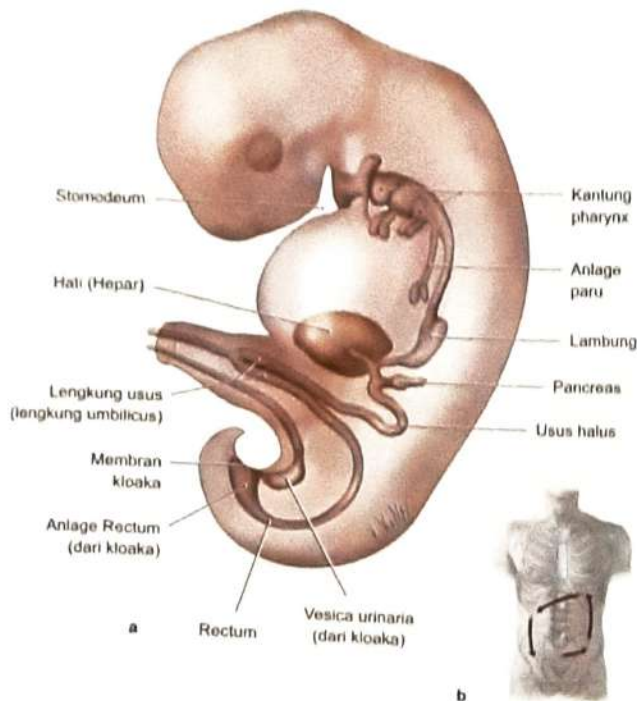
C Perkembangan embrional di daerah usus depan bagian kaudal: Rangkuman dan peritonealisasi

Untuk pembentukan struktur-struktur dewasa, proses-proses berikut sangat penting pada perkembangan embrional. Waktu perkembangan

ini saling tumpang tindih, tetapi disajikan secara kronologis agar lebih jelas.



4.5 Rotasi jerat usus dan perkembangan organ di daerah usus tengah dan belakang



A Rotasi dan diferensiasi jerat usus (intestinal loop) (menurut Sadler)

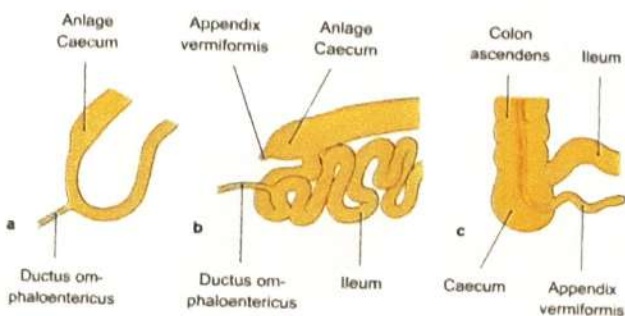
a Ringkasan tentang jerat usus: Embrio dilihat dari kiri, minggu perkembangan embrional ke-5; **b** Arah rotasi jerat usus: Abdomen dilihat dari depan; **c-e** Rotasi jerat usus: Jerat usus dilihat dari kiri (di **c**, lambung belum mengalami rotasi), **f** Tractus gastrointestinalis setelah berakhirnya rotasi lambung dan rotasi jerat usus, dilihat dari depan.

Di daerah usus tengah dan belakang (= setinggi usus halus dan usus besar serta Rectum), terutama antara pada minggu perkembangan embrional ke-6 dan ke-11, terjadi rotasi ke-2 yang disebut sebagai "rotasi jerat usus" (= tabung usus fetal yang berbentuk jerat/tali). Dalam kaitan ini, seluruh tabung usus memutar mengelilingi sebuah sumbu virtual, yang dibentuk oleh sebuah arteri usus yang besar—A. mesenterica superior—dan Ductus omphaloentericus (**c**). Dilihat dari depan, rotasi ini berjalan berlawanan dengan arah putar jarum jam (**d** dan **e**). Jerat usus itu memutar sebesar 270° dan, dalam waktu yang sama, sistem pipa jerat tersebut tumbuh memanjang dengan intensifnya. Dari yang

dulunya bagian oral (atas) jerat usus, berkembang Jejunum dan Ileum, yang tersusun sebagai begitu banyak konvolut (**e** dan **f**). Bagian aboral (bawah) menjadi sebuah segmen distal Ileum yang pendek, tetapi terutama menjadi Colon dan Rectum, yang tersusun seperti bingkai pigura yang mengelilingi konvolusi usus halus (**f**). Caecum dan Appendix vermiformis juga terbentuk selama rotasi (lihat **B**), yang dibagi menjadi tiga penggal kejadian agar lebih jelas:

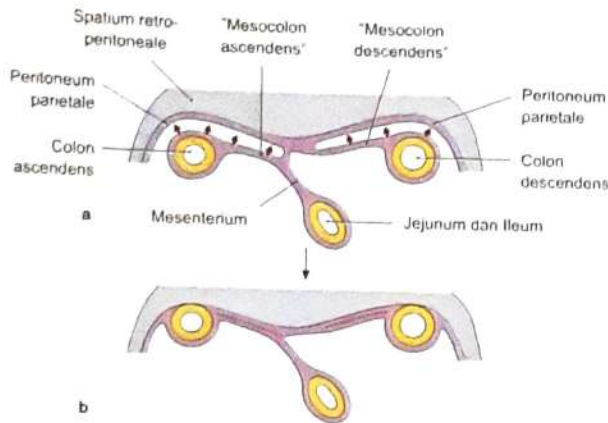
- Mengangkat jerat usus bagian aboral (rotasi 90°) (**c**),
- Menggeser bagian yang terangkat tersebut ke perut kanan atas → bagian oral dan aboral sekarang saling menyilang (**d** dan **e**),
- Menurunkan bagian aboral ke perut kanan bawah (**f**).

Perhatikan: Tahap pertama rotasi lengkung umbilikus (rotasi 90° pertama) terjadi di luar rongga abdomen di rongga ekstraembrional mulai dari minggu ke-6 (**c**). Rotasi di luar rongga tubuh ini disebut sebagai hernia umbilikus fisiologis. Pada minggu ke-10, jerat usus tersebut kembali masuk ke rongga abdomen.



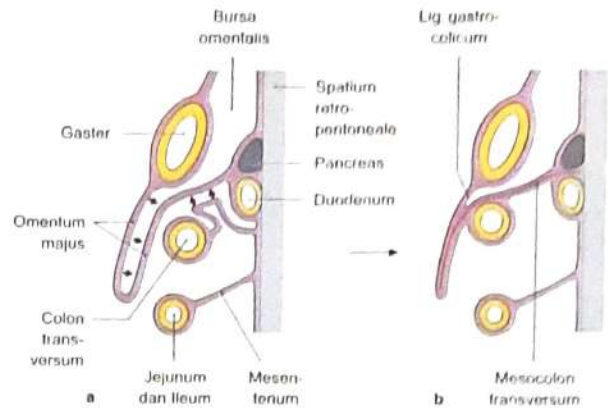
B Perkembangan Caecum dan Appendix vermiformis (menurut Sadler)

Di bagian aboral jerat usus, sekitar minggu perkembangan ke-6, terjadi evaginasi calon dinding usus besar yang tumbuh intensif yang menjulur ke arah samping (**a**). Evaginasi ini tumbuh ke arah lateral dan terutama ke arah kaudal dan pada minggu perkembangan embrional ke 7-8 membentuk sebuah tonjolan umbai, yaitu Appendix vermiformis (**b**). Karena evaginasi ke lateral itu, segmen usus ini menjadi bagian dari usus besar yang berujung buntu (= usus buntu, Caecum, **c**). Ileum sekarang bermuara ujung-ke sisi ("end-to-side") dari kiri, langsung ke peralihan Caecum ke Colon ascendens. Perkembangan Caecum berlangsung di luar rongga Abdomen. Caecum adalah segmen usus terakhir, yang bermigrasi kembali ke rongga Abdomen.



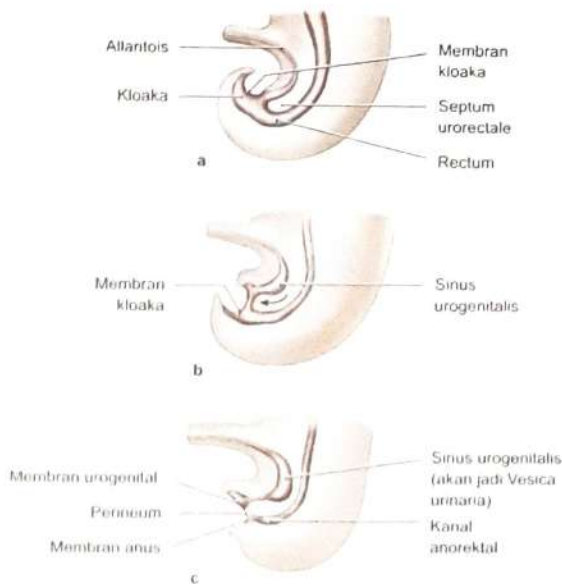
C Retroperitonealisasi dari Colon ascendens dan descendens (menurut Moore/Persaud)

Potongan horizontal melalui Abdomen, dilihat dari atas. Setelah rotasi jerat usus, Colon ascendens dan descendens terletak di Abdomen sebelah kanan dan kiri (a). Karena di belakang organ ini tidak ada ikalan usus halus, Colon bersama dengan mesocolonnya tumbuh menyatu dengan dinding peritoneum belakang (b). Dengan demikian, Colon ascendens dan descendens terletak peritoneal sekunder. Sebaliknya Colon transversum, yang menyilang di depan ikalan usus halus, tetap tinggal intraperitoneal dan tetap mempertahankan Mesenteriumnya, yaitu Mesocolon transversum. Jejunum dan ileum juga menetap intraperitoneal dan mempertahankan hubungan mesenteriumnya dengan dinding belakang rongga peritoneum.



D Perlengkapan Omentum majus (menurut Moore/Persaud)

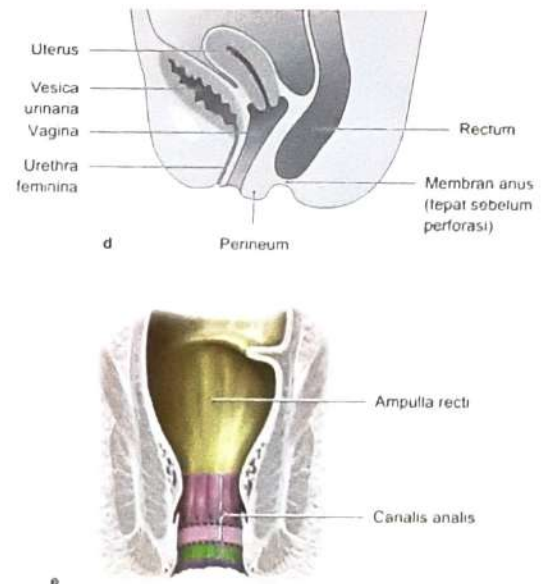
Potongan sagital melalui Abdomen, dilihat dari kiri. Mesogastrium dorsale (yang pada orang dewasa (*mature*) dinamai sebagai Omentum majus, bandingkan hal 33) menggantung dari Curvatura major lambung ke kiri dan bawah menuju ke dalam Abdomen. Mesogastrium ini tumbuh membesar ke bawah membentuk kantung, sebagian lembarannya tumbuh menyatu satu sama lain, sebagian tumbuh menyatu dengan Colon transversum dan Mesocolon transversum (a). Dengan demikian, terjadinya sebuah evaginasi kecil berbentuk kantung antara sisi bawah lambung dan sisi atas Colon (b), yang membentuk batas bawah Bursa omentalis (bandingkan hal 35). Bagian Omentum majus yang melengkuk dan menghubungkan lambung dengan Colon transversum dinamai Ligamentum gastrocolicum.



E Perkembangan Kloaka (menurut Sadler dan Moore/Persaud)

a-d Organ-organ visceral Pelvis, dilihat dari kiri; e kanal anorektal yang sudah matang, dilihat dari depan

Pada embrio, ujung bawah usus belakang bermuara bersama dengan saluran kemih dalam sebuah dilatasi usus belakang, yaitu Cloaca. Septum urorectale tumbuh ke kaudal sampai ke membran kloaka (a dan b) sehingga membagi kloaka menjadi segmen depan Sinus urogenitalis dan segmen belakang Canalis anorectalis (c). Sinus urogenitalis, tempat berkembangnya bagian-bagian sistem urogenital, dan Canalis anorectalis (sekitar minggu ke-7 embrional). Keduanya masih tetap tertutup oleh membran kloaka, yang sekarang terbagi menjadi Membrana



urogenitalis di depan dan Membrana analis di belakang. Di tempat pertemuan Septum urorectale dan bekas membran kloaka, terbentuklah Perineum. Pada tepi Membrana analis, terbentuk peninggian-peninggian mesenkim, yang disebut sebagai Plicae analis, sehingga membran itu sendiri pada minggu ke-9 berada di dalam sebuah cekungan yang bernama Proctodeum (d). Menjelang akhir minggu ke-9, Membrana analis robek, sekarang rectum memiliki hubungan ke luar (e). Jadi, Rectum terdiri dari dua segmen. Segmen atas Rectum yang berkembang dari usus belakang, dan segmen bawah rectum yang berkembang dari Cloaca.

4.6 Ringkasan perkembangan di daerah usus tengah dan belakang; gangguan perkembangan

A Perkembangan embrional di daerah dari usus tengah dan belakang: Ringkasan dan peritonealisasi

Pada dasarnya, diferensiasi usus tengah dan belakang dapat dibagi

menjadi dua aspek: "Rotasi jerat usus" dan "Selaput peritoneum dan pembentukan Cloaca".

Rotasi jerat usus

Seluruh pipa dari usus tengah dan belakang (yang disebut sebagai "jerat usus") memutar mengelilingi sebuah sumbu virtual yang terbentuk dari A. mesenterica dan Ductus omphaloentericus. Selama rotasi itu, pipa usus bertumbuh dan berdiferensiasi lebih lanjut.

Rotasi jerat usus berupa rotasi sebesar 270° berlawanan arah dengan jarum jam bila dilihat dari depan. 90° rotasi pertama terjadi di luar rongga tubuh ("hernia fisiologis"). Konvolusi usus dipindahkan kembali lagi masuk ke dalam Abdomen sampai minggu perkembangan embrional ke-11.

Bagian oral jerat usus tumbuh memanjang dengan sangat hebatnya. Bagian ini menjadi banyak konvolut dan berdiferensiasi menjadi segmen usus halus Jejunum dan Ileum, yang tetap terhubung dengan dinding rongga peritoneal dorsal dengan Mesenteriumnya.

Bagian aboral jerat usus Selama proses rotasi membentuk bingkai mengelilingi konvolusi Jejunum dan Ileum dan membentuk masing-masing segmen Colon, yang memposisikan dirinya di kanan, melintang dan kiri di dalam Abdomen.

Di bagian aboral (bagian usus besar) jerat usus, terbentuk sebuah evaginasi lateral di dekat sumbu A. mesenterica superior. Dari evaginasi ini, terbentuk usus buntu (Caecum), yang membentuk umbai cacang (Appendix vermiformis).

Proses rotasi tersebut menentukan posisi usus halus dan usus besar satu sama lain: Sebuah bingkai usus besar dengan likala-ikalan usus halus di dalamnya. Retroperitonealisasi yang terjadi sesudahnya menentukan selaput peritoneum final untuk pipa usus.

Perkembangan selaput peritoneum dan pembentukan kloaka

Setelah rotasi jerat usus, Caecum terletak di perut kanan bawah. Colon ascendens dan descendens bergerak mundur ke arah dorsal dan mengalami retroperitonealisasi sekunder. Colon transversum dan sigmoideum tetap intraperitoneal dengan Mesocolonnya.

Colon transversum dan Mesocolon transversum melengket dan tumbuh menyatu dengan Omentum majus, yang dahulunya adalah Mesogastrium dorsale (pada kurvatur lambung kiri). Dengan demikian, Bursa omentalis yang terletak di belakang lambung tertutup ke arah bawah.

Pelebaran usus belakang – yang disebut sebagai Kloaka – dibagi sepenuhnya oleh Septum urorectale menjadi Sinus urogenitalis (depan) dan kanal anorektal (belakang). Septum tumbuh ke arah kaudal sampai bersentuhan dengan membran kloaka.

Dengan terbaginya kloaka, membran kloaka juga mengalami pembagian menjadi Membrana urogenitalis (depan) dan Membrana analis (belakang). Membrana analis agak meleak ke dalam karena pembentukan lipatan mesenkim samping, sehingga terbentuklah Proctodeum.

Proctodeum meleak masuk ke arah Perineum, dan selanjutnya terbentuklah bagian bawah Canalis analis. Dengan robeknya Membrana analis pada minggu perkembangan ke-9, Rectum yang tercipta dari Cloaca memiliki hubungan dengan dunia luar embrio.

Rectum, yang terletak dalam di Pelvis, juga bergerak mundur ke arah dorsal dan kehilangan Mesorectumnya pada sebagian besar panjangnya. Rectum mengalami retroperitonealisasi. Canalis analis yang berkembang dari Proctodeum tidak memiliki selaput peritoneal secara primer.

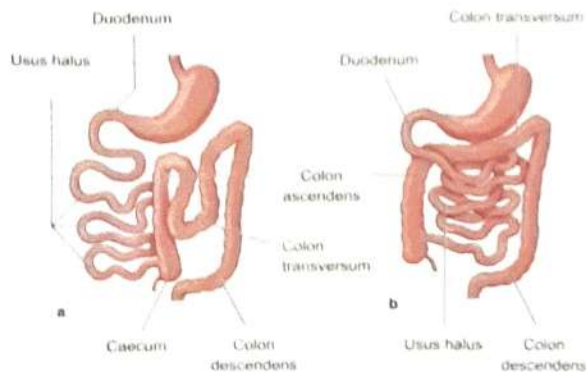
B Rekapitulasi gerakan rotasi pipa usus dan selaput-selaput peritoneum

Rotasi organ	Menghasilkan lokasi organ sebagai berikut	Hasil peritonealisasi
Rotasi lambung bersama dengan Mesogastrium ventrale dan dorsale	<ul style="list-style-type: none"> Hati dan kandung empedu di Abdomen kanan atas Limpa (Splén) di Abdomen kiri atas Sebagian besar Duodenum dan seluruh Pancreas dorsal melekat pada dinding rongga peritoneum 	<ul style="list-style-type: none"> Intraperitoneal dengan Omentum minus dan Lig. falciforme/teres hepatis Intraperitoneal Retroperitoneal sekunder
Rotasi jerat usus bersama dengan Mesenterium	<ul style="list-style-type: none"> Komponen oral jerat usus membentuk segmen-segmen usus halus Jejunum dan Ileum dengan Mesenteriumnya masing-masing Bagian aboralnya membentuk usus besar dan Rectum dengan Mesocolon dan Mesorectum, serta membentuk sebuah bingkai di sekitar Intestinum tenue Colon ascendens, Colon descendens, dan Rectum tumbuh melekat dengan dinding dorsal rongga peritoneum 	<ul style="list-style-type: none"> Mesenterium masih tetap; Jejunum dan Ileum tetap intraperitoneal Colon trasversum dan Colon sigmoideum mempertahankan Mesocolon: intraperitoneal Colon ascendens, Colon descendens dan Rectum kehilangan mesokolonnya: retroperitoneal sekunder

C Perkembangan abnormal Tractus gastrointestinalis

Makna klinis malformasi yang disampaikan di sini, yang sebagian sangat jarang ditemukan kecuali divertikel Meckel, sangat berbeda-beda. Obstruksi total atau stenosis lumen yang sangat berat di Tractus gastrointestinalis biasanya mengancam nyawa bila tidak diterapi, sebaliknya penyempitan ringan bisa saja tanpa gejala. Volvulus segmen-segmen usus biasanya juga menyebabkan gambaran penyakit yang membahayakan jiwa karena gangguan pasase yang diakibatkannya.

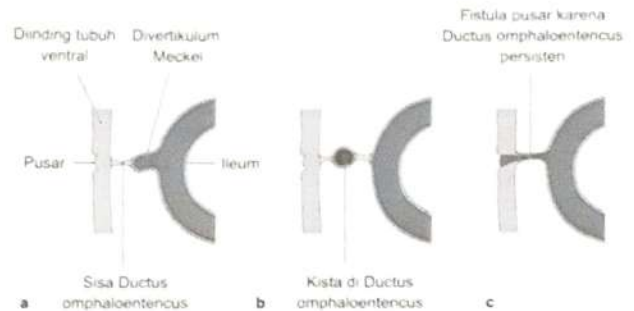
Atresia duodeni	Duodenum solid, tanpa lumen
Stenosis duodeni	Penyempitan lumen Duodenum (kemungkinan karena Pancreas anulare)
Atresia saluran empedu	Perlengketan seluruh atau sebagian saluran empedu ekstrahepatis sejak lahir atau didapat
Pancreas anulare	Stenosis duodeni (lihat atas) karena Pancreas yang berbentuk cincin
Omphalokel	Usus halus terletak ekstrakorporal di dalam Umbilicus karena reposisi tidak terlaksana setelah rotasi jerat usus
Malrotasi	Rotasi jerat usus keliru atau tidak terjadi (lihat E)
Volvulus	Pembelitan suatu segmen usus karena tidak terjadi fiksasi oleh Mesenterium; bahaya Ileus
Stenosis intestinalis	Penyempitan lumen usus.
Atresia intestinalis	Penutupan total lumen usus, membahayakan jiwa bila tidak dikoreksi
Divertikel Meckel	Gangguan involusi Ductus omphaloentericus dengan divertikel di Ileum (lihat D)



E Gangguan-gangguan perkembangan saluran pencernaan: Malrotasi (menurut Sadler)

Dilihat dari ventral. Malrotasi berikut ini dapat ditemukan tanpa gejala selama tidak ada bagian usus yang saling membelit satu dengan lainnya dan tidak menyebabkan gangguan motilitas gastrointestinal (yang disebut sebagai volvulus, lihat C).

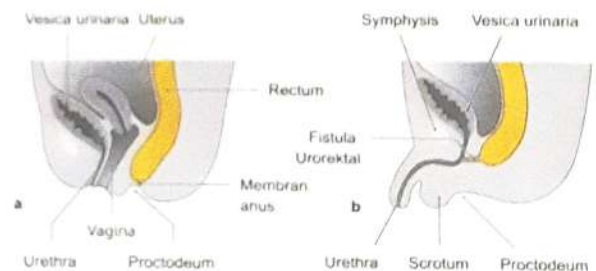
- a Rotasi bukan 270° tetapi hanya 90°: usus besar tetap terletak di sebelah kiri usus halus, tidak terbentuk sebuah bingkai yang mengelilingi usus halus.
- b Rotasi sesuai arah jarum jam (dilihat dari depan), di sini 90° segmen jerat yang awalnya aboral menjadi terletak di belakang bagian oral, Colon transversum di belakang konvolut usus halus.



D Rudimen Ductus omphaloentericus (menurut Sadler)

Ductus omphaloentericus (Ductus vitellinus) yang awalnya terbuka pada umumnya mengalami obliterasi sempurna pada embrio, sehingga hubungan ileum-dinding badan tidak ada lagi. Tetapi obliterasi itu terkadang berjalan tidak sempurna, atau berkas jaringan ikat yang terjadi setelah obliterasi tetap terpelihara dan memfiksasi ileum pada dinding depan badan. Manifestasi kelainan ini bisa berbeda-beda:

- a Dinding ileum mengalami evaginasi sebagian, suatu berkas fibrosa masih tetap ada. Dengan demikian, terjadilah divertikel Meckel (biasanya 40–60 cm sebelah oral dari katup ileosekal), di sini proses inflamasi dapat berlangsung (seringkali mengandung jaringan lambung dan Pancreas ektopik).
- b Sebuah kista tertinggal di dalam berkas fibrosa (disebut sebagai Enterokistoma). Kista ini dapat menimbulkan keluhan dan harus dibedakan dari tumor.
- c Ductus omphaloentericus tetap terbuka seluruhnya; terbentuk sebuah fistula di **Ductus omphaloentericus**. Dalam keadaan yang ekstrem isi usus keluar dari Umbilicus, akibatnya adalah peradangan. Bila masih tertinggal rudimen Ductus omphaloentericus berupa tali fibrosa antara ileum dan Umbilicus, usus halus yang begitu mobil itu dapat melilitkan diri pada tali tersebut dan selanjutnya menyebabkan strangulasi (paralisis usus, yang disebut sebagai ileus, seringkali menjadi penyebab kematian, bila tidak ditangani).



F Malformasi kanal anal (menurut Sadler)

Viscera pelvis embrio, dilihat dari kiri. Pada satu dari 5000 kelahiran, membrana analis tidak terbuka. Karena itu, Rectum tidak berhubungan fisiologis ke dunia luar. Di sini, disampaikan dua malformasi yang paling sering terjadi, yang boleh dikatakan merupakan tonggak utama sebuah malformasi perkembangan.

- a Anus imperforatus: Canalis analis pada dasarnya terbentuk, tetapi Membrana analis tidak mengalami perforasi, melainkan tetap ada.
- b Atresia ani (dengan pembentukan fistula): Pada malformasi di daerah Septum urorectale, yaitu tidak terbentuknya anlage Canalis analis, terjadi saluran non-fisiologis (fistula) yang menghubungkan Rectum ke Perineum atau ke sistem urogenital—pada perempuan dapat juga ke Vagina.

Tidak adanya hubungan fisiologis Rectum ke luar dan fistula harus dikoreksi secara operatif.

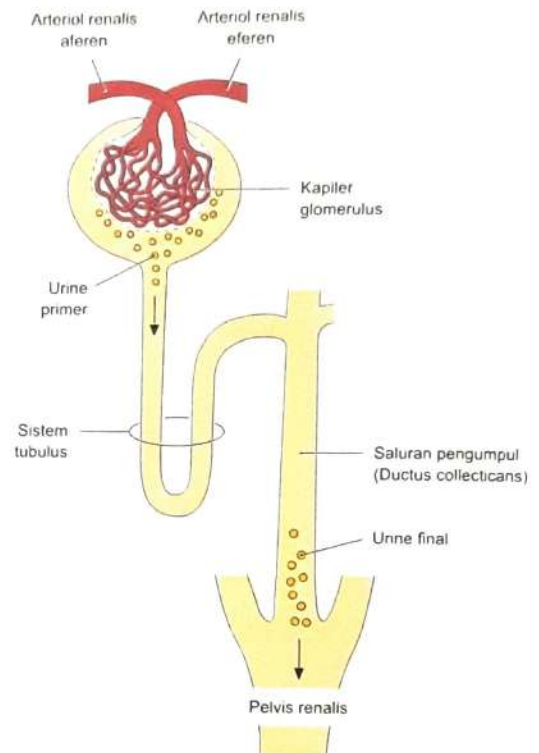
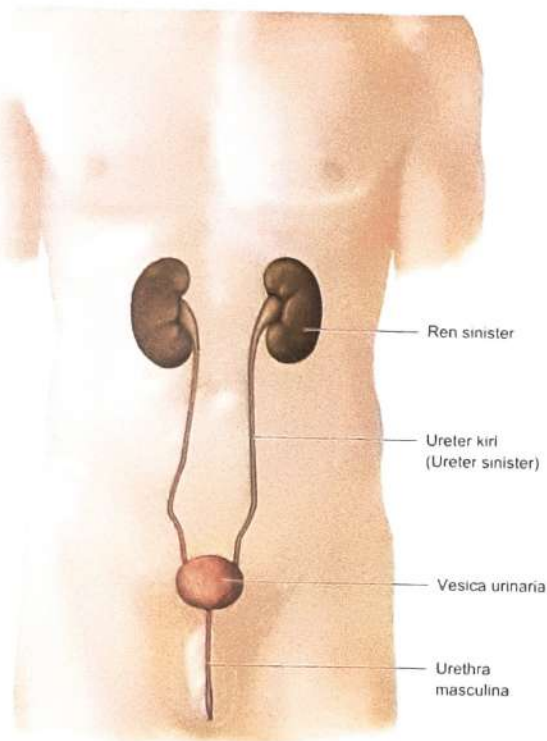
5.1 Ringkasan

Pendahuluan

Organa urinaria meliputi sebuah daerah yang luas dari Abdomen sampai ke Pelvis. Karena organ-organ ini secara ontogenetis sangat dekat berhubungan dengan Organa genitalia, keduanya seringkali dirangkum menjadi Organa urogenitalia. Meskipun demikian, karena alasan didaktis, kedua sistem berikut dibicarakan secara terpisah.

Organa urinaria mengatur keseimbangan air dan mineral (elektrolit) organisme dan juga tekanan onkotik di dalam tubuh. Organ-organ ini mengekskresi produk-produk metabolisme dan zat-zat yang merusak dalam bentuk cairan, yaitu *urin*. Sebagai pelarut, zat-zat yang diekskresi oleh ginjal di urin ini tersebut memanfaatkan air yang juga diekskresikan.

Melalui regulasi jumlah air di tubuh, ginjal juga mempengaruhi tekanan darah, melalui sekresi atau retensi (resorpsi) ion-ion natrium, kalium, kalsium dan klorida, organ ini ikut berpartisipasi dalam regulasi kadar elektrolit fisiologis yang penting di dalam darah. Keseimbangan asam-basa darah dipengaruhi oleh sekresi dan/atau retensi proton (H^+). Banyak sekali obat-obatan juga diekskresikan melalui ginjal. Akhirnya, ginjal mempengaruhi tekanan darah melalui produksi enzim renin, dan mempengaruhi pembentukan eritrosit melalui produksi hormon eritropoetin. Selain itu, Organa urinaria memainkan peran penting dalam metabolisme vitamin D.



A Ringkasan tentang Organa urinaria

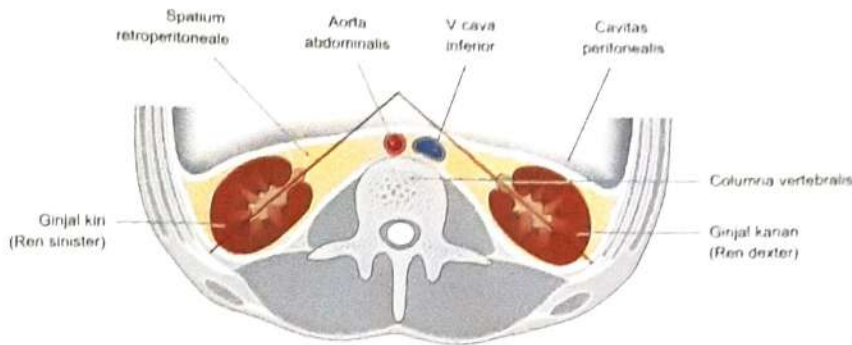
Organa urinaria laki-laki, dilihat dari depan. Pada organa urinaria, dapat dibedakan

- Ginjal yang terbentuk berpasangan (Renes), memproduksi urin secara kontinu;
- Saluran urin yang terbentuk berpasangan (Ureter), menyalurkan urin dari ginjal ke kandung kemih;
- Kandung kemih tunggal (Vesica urinaria), secara temporer menyimpan urin dan mengeluarkannya secara terkontrol;
- Urethra tunggal, pada perempuan, sebagai Urethra feminina dan hanya merupakan organ urin, pada laki-laki, sebagai saluran urin-sperma (Urethra masculina) juga merupakan organ seksual. Dalam sistem urinaria, Urethra berfungsi mengeluarkan urin dari kandung kemih ke luar. Pada sistem genitalia laki-laki, urethra juga merupakan jalur pengeluaran sperma.

B Prinsip dasar produksi urin

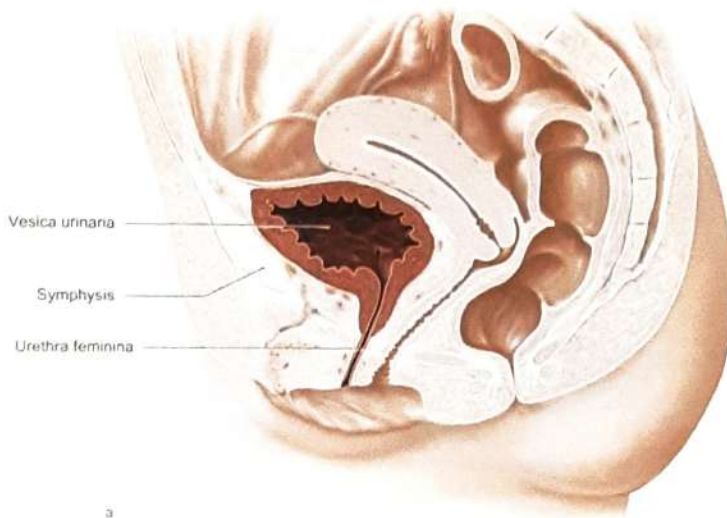
Gambar memperlihatkan sebuah nefron sebagai satuan struktural terkecil di ginjal (lihat hal. 44).

Di dalam jerat-jerat kapiler (*capillary loops*) yang begitu bercabang-cabang—semuanya dipasok oleh cabang-cabang Arteria renalis—difiltrasi suatu ultrafiltrat darah (yang disebut sebagai urin primer) ke dalam sebuah sistem ruang berongga, yang terdiri dari saluran-saluran sangat halus yang dirangkai berturutan (Tubuli). Urin primer, yang jumlahnya pada orang dewasa hampir mencapai 170 liter/24 jam, dipadatkan di dalam sistem pipa ini sampai menjadi sekitar 1% dari volume awal (melalui resorpsi elektrolit dan air ke dalam darah). Akhirnya, terbentuk komposisi final urin. Urin final ini (1–2 liter/24 jam) dikeluarkan melalui Ductus colligentes ke dalam Pelvis renalis dan disalurkan ke kandung kemih oleh Ureter.

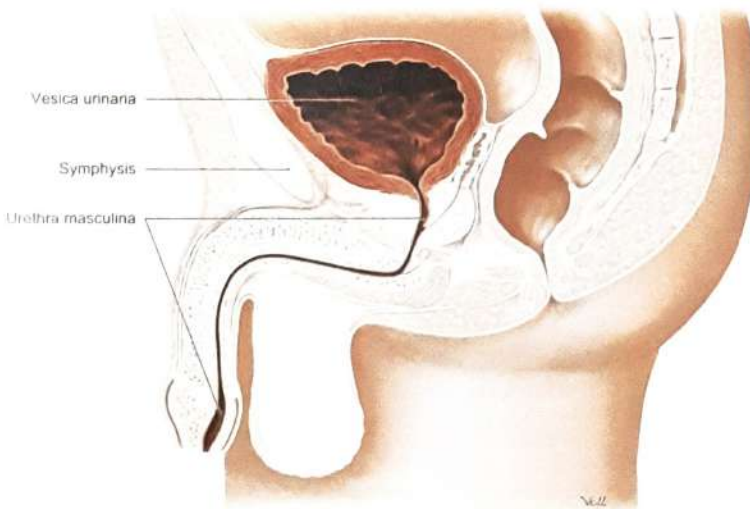


C Posisi ginjal dan Ureter

Potongan horizontal melalui tubuh setinggi Corpus vertebrae lumbalis 1, dilihat dari atas. Kedua ginjal terletak sangat jauh di dorsal di ruang retroperitoneum (Spatium retroperitoneale) tertanam di dalam sebuah kapsul yang terdiri dari lemak dan jaringan ikat di kedua sisi Vertebra. Melalui ruang ini, juga berjalan kedua Ureter (di sini tidak terlihat) ke arah bawah masuk ke dalam Pelvis minoris, lalu ke kandung kemih. Hilum kedua ginjal menghadap serong ke arah medial dan ventral (sumbu berwarna merah).



a



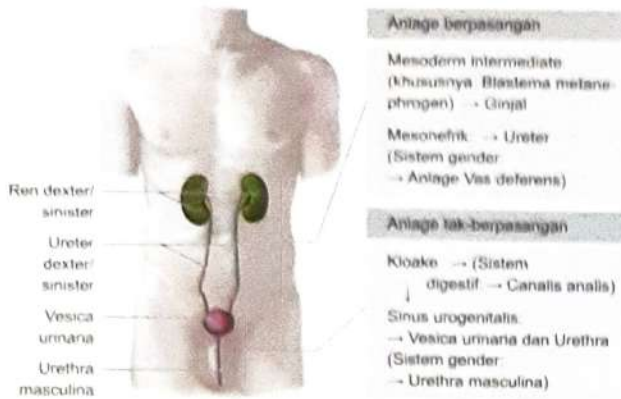
b

D Posisi kandung kemih dan Urethra

Potongan mediansagital melalui Pelvis perempuan (a) dan laki-laki (b), masing-masing dilihat dari kiri.

Pada kedua jenis kelamin, kandung kemih terletak di dalam Pelvis minoris, tepat di belakang Symphysis. Pada perempuan, organ ini terletak di depan Vagina serta di depan-bawah Uterus; pada laki-laki, di depan Rectum. Tergantung pada isinya pengisiannya, bentuk kandung kemih mendatar atau seperti bola. Urethra perempuan lurus dan pendek, Urethra laki-laki berjalan di dalam Penis dan lebih panjang serta melengkung.

5.2 Perkembangan ginjal, Pelvis renalis dan Ureter

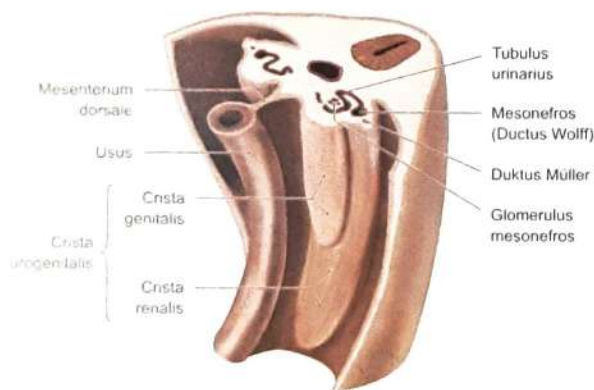


A Ringkasan tentang perkembangan embrional Organa urinaria

Perkembangan embrional Organa urinaria kompleks dan timpang tindih dengan perkembangan Organa genitalia dan digestiva.

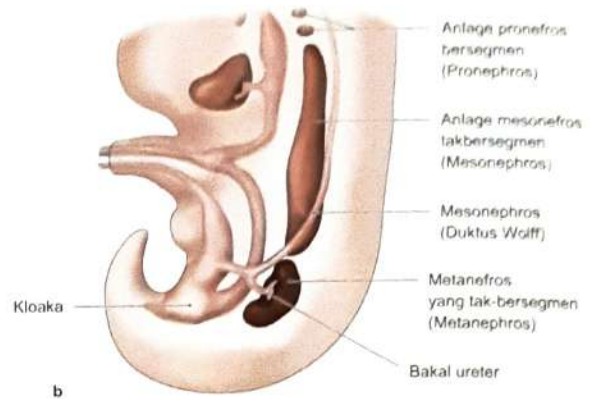
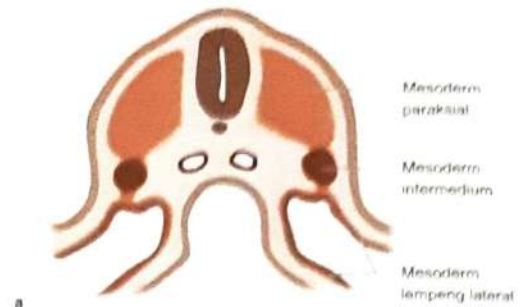
- dengan Organa genitalia: Perkembangan beberapa segmen Systema genitalium laki-laki (lihat hal. 52) dibarengi oleh perkembangan Mesonephron (=ginjal primordial), Ureter, dan Sinus urogenitalis;
- dengan Organa digestiva: juga Canal analis berasal dari Cloaca.

Perkembangan embrional Organa urinaria dapat dibagi menjadi perkembangan ginjal (Ren) dan Ureter yang berpasangan serta perkembangan kandung kemih (Vesica urinaria) dan Urethra yang tunggal. Ginjal dan Ureter berkembang dari Mesoderm intermedia, sedangkan kandung kemih dan Urethra dari Sinus urogenitalis, yang berkembang dari bagian ventral Cloak, di daerah bakal dasar Pelvis (lihat hal. 37). Kedua segmen ini baru akan menemukan sambungannya satu sama lain dalam perjalanan perkembangan embrionalnya, Sinus urogenitalis berasal dari Endoderm, sehingga organ urinaria terjadi dari dua lempeng mudigah yang berlainan.



B Crista urogenitalis

Dinding badan belakang embrio, dilihat dari atas dan kiri. Anlage ginjal dan Organa genitalia interna terletak saling bertetangga dekat. Keduanya menonjol ke arah ventral ke rongga badan pada kedua sisi dalam bentuk dua krista yang meninggi: Crista renalis dan Crista genitalis. Anlage gonad dalam hal ini terletak di sebelah ventromedial anlage ginjal. Duktus Müller (*Duktus paramesonephricus*), yang akan membentuk Tuba uterina dan Uterus pada perempuan, terletak di sebelah ventrolateral anlage ginjal.



C Anlage ginjal di Mesoderm intermedium

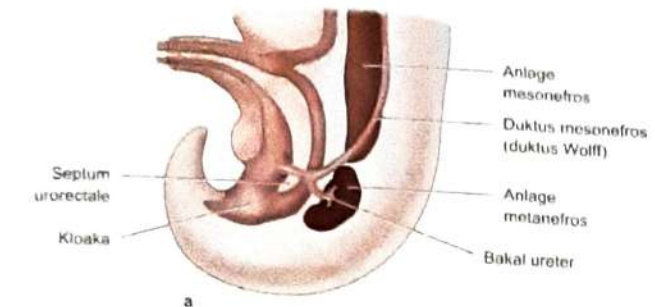
a Potongan melintang melalui embrio, umur sekitar 21 hari, dilihat dari kranial; **b** Embrio dilihat dari kiri (berbeda dengan "a", gambar ini tidak memperlihatkan stadium perkembangan embrio, melainkan hanya menunjukkan bagaimana seharusnya nampak dan bagaimana susunan letak masing-masing anlage ginjal, seakan-akan semuanya berada dalam kurun waktu bersamaan).

Ginjal berkembang berpasangan dalam bentuk Mesoderm khusus, yang disebut sebagai Mesoderm intermedium, yang terorganisasi pada kedua sisi di bagian belakang rongga badan. Mesoderm intermedium bersegmen-segmen di leher dan di daerah Thorax atas dan terbagi dalam nefrotom-nefrotom; di Thorax bawah dan di Abdomen, Mesoderm intermedium ini merupakan sebuah berkas homogen (= berkas nefrogen). Perkembangan ginjal di dalam Mesoderm mengambil tiga bentuk anlage yang waktunya berurutan, dari kranial ke kaudal:

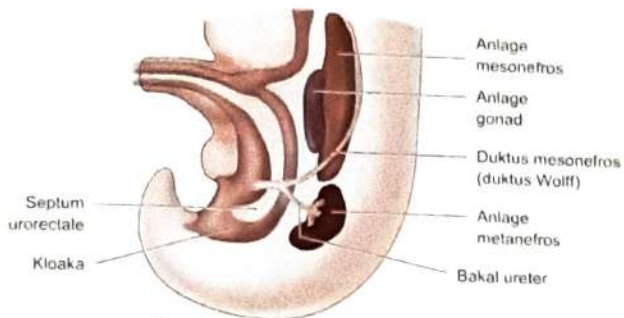
- Pronephros di daerah leher dan dada atas,
- Mesonephros di daerah dada bawah dan abdominal,
- Metanephros di daerah abdominal dan Pelvis.

Pronephros mengalami regresi tanpa meninggalkan sisa karena tidak ada kegiatan fungsional; regresi sudah dimulai sewaktu Mesonephros masih terbentuk. Mesonephros yang memproduksi urin dalam waktu singkat pada fase embrional—sebagian besar juga mengalami regresi. Yang masih tersisa adalah beberapa kanal kecil mesonefrik, yang akan menjadi Duktus testiculares pada masa perkembangan genital (lihat hal. 54), dan struktur yang disebut sebagai Duktus mesonephricus (*ductus Wolff*). Duktus mesonephricus memang sudah dibentuk sebelum pembentukan Pronephros, tetapi kemudian "diambil-alih" oleh Mesonephros. Sewaktu Mesonephros masih mengalami regresi, Metanephros yang terbentuk paling kaudal, bersama dengan satu bagian saluran Mesonephros, membentuk ginjal definitif.

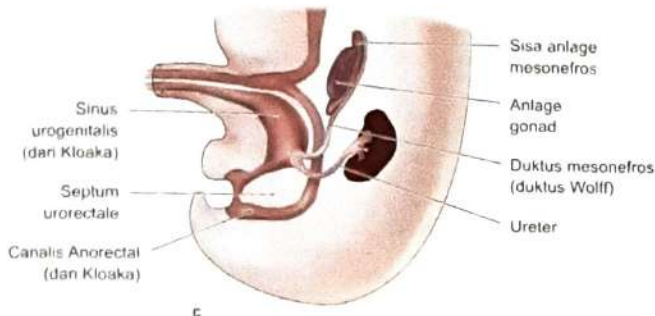
Perhatikan: Pada orang dewasa, ginjal definitif terletak tepat di bawah Diaphragma, tetapi pembentukannya terjadi di daerah Pelvis dan baru naik ke atas secara sekunder (disebut sebagai ascensus ginjal, lihat D).



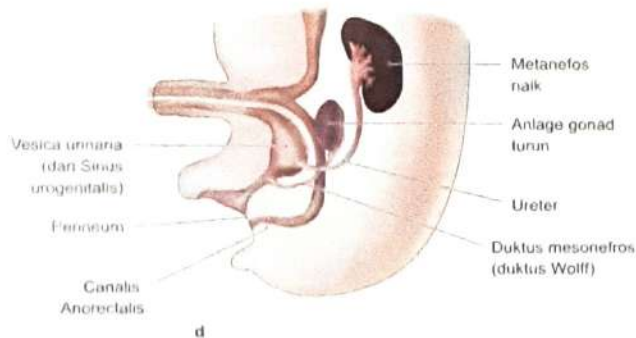
a



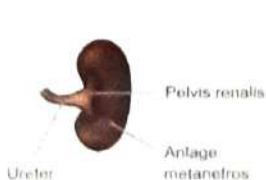
b



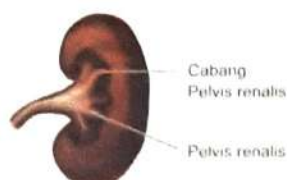
c



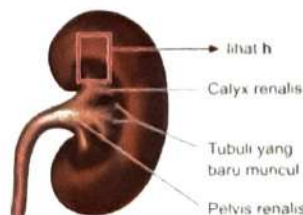
d



e



f



g



h

D Perkembangan Ureter dan ginjal

Kuncup Ureter dan Metanephros (a) serta ascensus ginjal (b-d) pada embrio, masing-masing dilihat dari kiri, e-h perkembangan Metanephros selanjutnya (mengenai posisi Crista urogenitalis, lihat B).

a Metanephros berkembang mulai dari minggu embrional ke-5 di segmen terbawah Mesoderm intermedium. Karena itu, segmen ini juga dinamai "blastema metanefrogen". Masih dari ruas saluran Pronefros yang paling bawah, yang bersandar di dekat blastema, ini juga bertunas sebuah kuncup saluran yang masuk ke dalam anlage Metanephros, yang disebut sebagai kuncup Ureter. Gagang kuncup ini, yang awalnya pendek memanjang pada pertumbuhan selanjutnya menjadi saluran urin (Ureter), ujung kuncup itu, yang menyusup masuk ke dalam Metanephros, berdiferensiasi di sini menjadi bagian dari ginjal yang sudah terbentuk definitif, yaitu Pelvis renalis bersama dengan Calices serta sistem saluran pengumpulnya ("collecting ducts" atau Tubuli colligentes) (lihat e-h).

Perhatikan: Ureter pada stadium ini masih belum memiliki hubungan langsung dengan Cloaca, tempat awal berkembangnya kandung kemih, melainkan bermuara secara tidak langsung ke dalam Cloaca melalui saluran Pronefros (asal-usul Ureter). Namun, ujung lainnya sudah terhubung dengan ginjal.

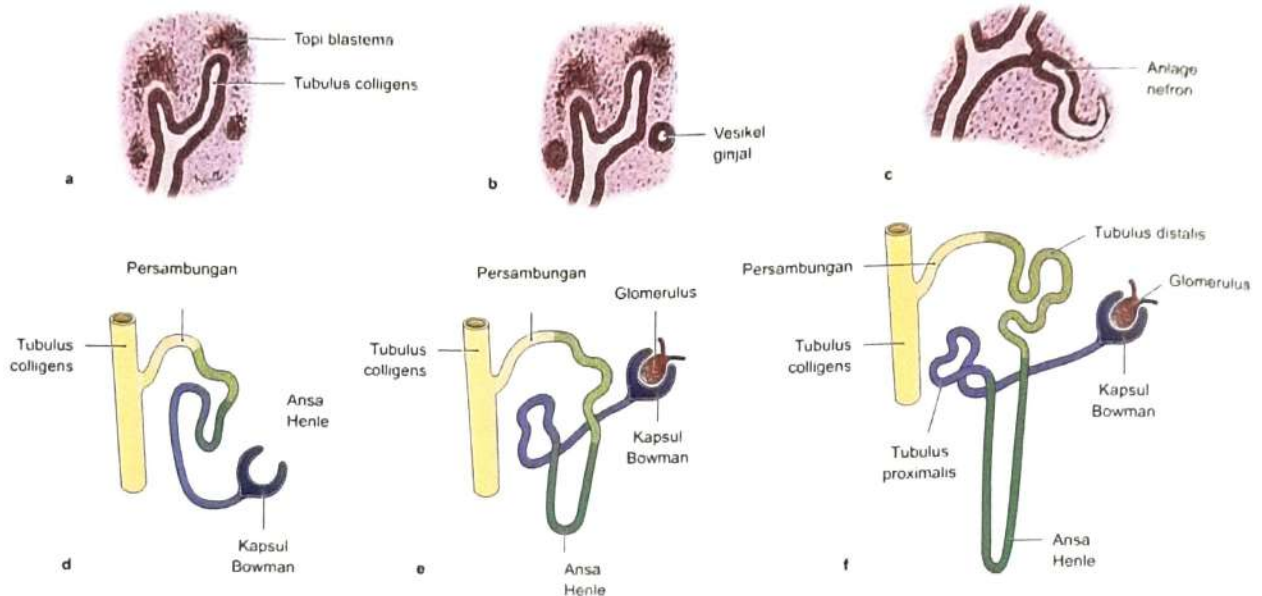
b-d Metanephros bersama dengan kuncup Ureter yang sudah menyusup ke dalamnya sekarang berpindah dari daerah Pelvis ke arah kranial dan nantinya akan terletak tepat di bawah Diaphragma (disebut sebagai ascensus ginjal). Ascensus ini hanya sebagian saja yang benar-benar merupakan gerakan naik, selain itu, kenaikannya juga terjadi karena berkurangnya kelengkungan tubuh dan pertumbuhan daerah lumbosakral yang lebih cepat. Bila ascensus salah satu atau kedua ginjal tidak terlaksana, ditemukan keadaan yang disebut sebagai ginjal pelvis (lihat hal 45). Anlage gonad terletak di sebelah ventral Metanephros. Bersamaan dengan proses "saling menarik" itu, anlage gonad turun bersama dengan sisa-sisa Pronefros ("Descensus gonad").

e-h Kuncup calon ureter melebar setelah menyusup (e) ke dalam Metanephros menuju ke Pelvis renalis dengan 2-3 Calices yang besar (f). Kuncup ureter itu terus-menerus menyusup masuk ke dalam jaringan Metanephros melalui pencabangan dikotom berturut-turut, sehingga terjadilah banyak saluran-saluran kecil, (g) "Saluran-saluran kecil" (Tubuli) itu di dalam ginjal membentuk Ductus colligentes (h), yang masing-masing secara berkelompok berkonvergensi masuk ke Calyx renalis dan bermuara pada sebuah Papilla di dalam Calyx renalis. Generasi terakhir saluran pengumpul itu tidak lagi bercabang. Dengan demikian, dari kuncup Ureter, terbentuk

- Ureter,
- Pelvis renalis,
- Calices renales,
- Papilla dengan saluran-salurnya, dan
- Ductus colligentes dengan tubuli penghubungnya (lihat hal. 44).

Perhatikan: Blastema metanefrogenik membentuk bagian ginjal definitif yang memproduksi urin, sedangkan kuncup Ureter membentuk sistem saluran urin.

5.3 Perkembangan nefron dan kandung kemih; sambungan Ureter; malformasi



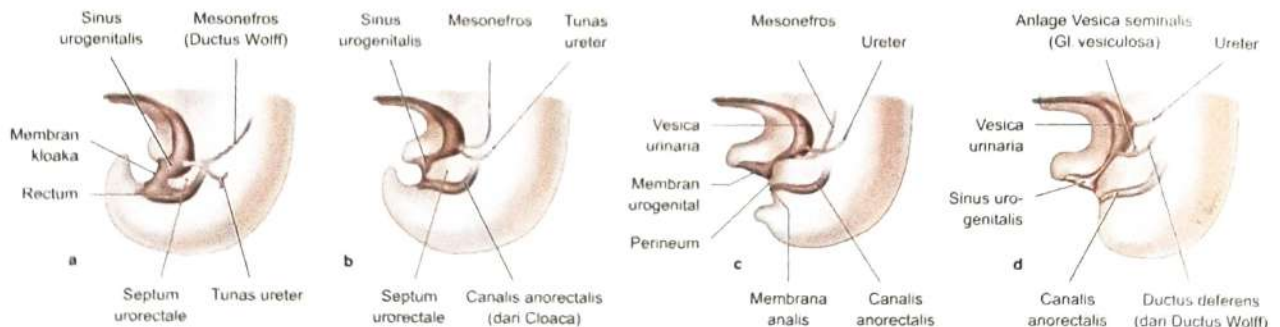
A Perkembangan nefron

Nefron adalah unit fungsional ginjal yang terkecil, yang terdiri dari sebuah konvolusi (lekuk-lekuk) pembuluh darah kapiler, yang mengeluarkan urin primer melalui ultrafiltrasi ke dalam sistem pipa (= sistem tubulus) kanal-kanal kecil ginjal. Di dalam sistem tubulus ini, urin primer pada hakekatnya mengalami pemekatan melalui resorpsi air dan elektrolit, sehingga menjadi urin sekunder atau urin final (bandingkan hal. 40). Perkembangan nefron merupakan langkah terakhir Metanephros untuk memulai fungsinya, yang terdiri dari dua komponen, yaitu:

- Sebuah sistem pembuluh darah dihubungkan pada sistem kanal-kanal kecil ginjal (produksi urin)
- Sistem kanal-kanal kecil yang dihubungkan pada sistem saluran pengumpul atau Ductus colligentes (saluran ekskresi urin)

Pembentukan nefron diinduksi oleh percabangan kuncup Ureter dan setiap ujung ductus colligens dilindungi oleh sebuah topi blastema (a).

Sel-sel topi blastema bermigrasi menuju ke samping Ductus colligens dan membentuk gelembung-gelembung ginjal (b). Selanjutnya, dari setiap gelembung kecil itu, bertunas sebuah saluran kecil yang bernama tubulus ginjal (c), yang tumbuh memanjang dengan disertai proses diferensiasi segmen-segmennya. Ujung distalnya tersambung dengan Ductus colligens melalui suatu tubulus penghubung (d). Ujung proksimalnya melakukan invaginasi (Capsula Bowman) yang diisi oleh suatu konvolusi pembuluh kapiler (Glomerulus), yang dipasok oleh sebuah cabang Arteri renalis (e). Dengan berlanjutnya pertumbuhan memanjang dan diferensiasi tubulus itu, terbentuk sebuah sistem tubulus dengan lengkung Henle ('loop of Henle') (f), yang membantu memekatkan volume urin primer (sekitar 170 l/hari) menjadi 1% volumenya untuk menghasilkan urin final. Setelah mencapai minggu embrional ke-13, hampir 20% nefron telah mampu berfungsi sepenuhnya dan memproduksi urin.

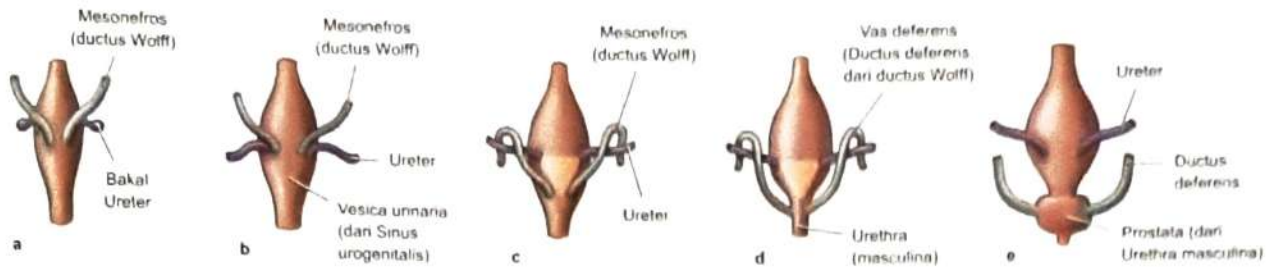


B Perkembangan kandung kemih dan Urethra

Embrio, dilihat dari kiri, umur 5 (a), 7 (b) dan 8 minggu (c), d sekitar 10 minggu.

Dengan berkembangnya kandung kemih dan Urethra, tersedianlah sebuah sistem, yang digunakan untuk penyimpanan sementara dan pengeluaran urin. Keduanya berkembang dari Cloaca, organ ekskresi bersama untuk sistem urin dan digestif. Cloaca, yang masih tertutup oleh membran kloaka di bagian bawah, dibagi dua oleh sekat jaringan ikat yang tumbuh dari atas ke bawah (Septum urorectale) menjadi

Sinus urogenitalis yang sekarang terletak di ventral dan Canal analis yang terletak di dorsal (a-c). Bila Septum urorectale telah mencapai membran kloaka, membran itu terbagi menjadi Membrana urogenitalis di ventral dan Membrana analis di dorsal. Tempat persentuhan antara Septum urorectale dan membran kloaka disebut sebagai Perineum. Dengan menghilangnya Membrans urogenitalis dan Membrana analis, Sinus urogenitalis dan Canal analis dapat berhubungan dengan dunia luar. Bagian atas Sinus urogenitalis membentuk kandung kemih, bagian bawahnya menjadi Urethra (d).

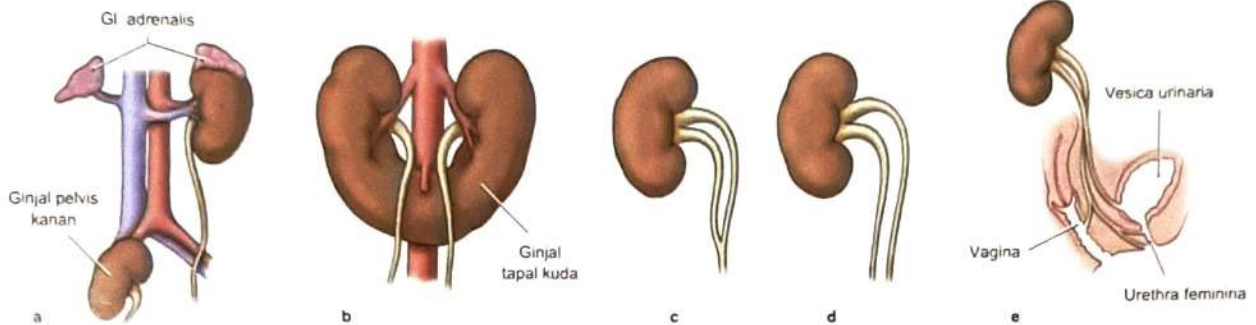


C Sambungan Ureter pada kandung kemih

Kandung kemih dan Ductus mesonephricus (Wolff), dilihat dari dorsal Ureter pada awalnya tidak memiliki hubungan langsung dengan Cloaca, melainkan bermuara secara tidak langsung melalui saluran-Ductus mesonephricus ke dalam Cloaca (a) Karena diferensiasi dan pertumbuhan kandung kemih, kedua Ductus mesonephrici terus masuk ke dalam dinding kandung kemih dan kemudian terus turun ke bawah. Oleh sebab itu, dalam kurun waktu perkembangan yang singkat, Ductus mesonephricus dan kuncup Ureter juga mempunyai muara yang sama ke dalam kandung kemih (b) Dengan inkorporasi Ductus mesonephricus lebih lanjut ke dalam dinding kandung kemih, kontak antara saluran mesonephric dan kuncup Ureter menjadi hilang, dan Ureter bermuara langsung ke dalam dinding (belakang) kandung kemih (c). Dengan

perpindahannya ke arah bawah, Ductus mesonephrici sampai ke daerah Urethra (d) Pada embrio laki-laki, di daerah Urethra ini, tumbuh kelenjar genital (Prostata), di sini, Ductus mesonephrici dilibatkan (e) Dalam proses selanjutnya, Ductus mesonephrici berdiferensiasi menjadi salah satu komponen sistem genital laki-laki, yaitu Ductus atau Vas deferens (lihat E, hal 52 dan hal 54) Pada embrio perempuan, setelah inkorporasi Ureter ke dalam dinding kandung kemih, Ductus mesonephrici mengalami regresi. Hanya tersisa dua rudimen, yaitu Epoophoron dan Paraophoron (lihat hal 52 dan 54)

Perhatikan Integrasi Ductus mesonephrici dan Ureter yang berasal dari mesoderm ke dinding belakang kandung kemih terjadi pada sebuah bidang segitiga yang lebar (c, d), sehingga jaringan mesoderm itu tumbuh masuk ke dalam kandung kemih yang berasal dari endoderm.



D Malformasi di daerah Organa urinaria

a Tidak terjadi ascensus ginjal kanan. Ginjal pelvis.

Perhatikan. Karena kelenjar adrenal yang terletak di kedua sisi ruang retroperitoneal atas Abdomen terjadi dari Crista neuralis, kedua ginjal yang naik itu menyelipkan diri di bawah kelenjar anak ginjal. Karena itu, di gambar ini, ginjal kanan tertinggal di Pelvis, kelenjar adrenal kanan terletak di posisi yang seharusnya.

b Penyatuan kedua berkas blastema nefrogenik: Ginjal tapal kuda, c Ureter ganda (Ureter membelah diri di sepanjang perjalanannya, tetapi hanya ada satu kuncup Ureter); d Ureter terbelah; e Ureter jamak atau

supernumerary ureter (terdapat dua kuncup Ureter; Ureter tambahan—seperti di sini—secara atipik bermuara di Urethra dan Vagina)

Malformasi-malformasi ini dapat menyebabkan retensi urin dan menyebabkan radang bakteri di Pelvis renalis, karena melalui gangguan pengeluaran urin ini, bakteri dapat bermigrasi naik memasuki Pelvis renalis. Selanjutnya, Ureter yang bermuara atipik, seperti yang selalu mengalirkan urin ke Vagina, akan merangsang Vagina. Epitel Vagina tidak dipersiapkan untuk menerima urin yang hipertonic, sehingga mudah mengalami peradangan bakteri. Infeksi atau peradangan di area ini juga menyebabkan migrasi bakteri ke atas dan memungkinkan terjadinya radang Pelvis renalis bakteri.

E Rangkuman: perkembangan Organa urinaria

Rangkuman struktur-struktur embrional dan struktur definitif yang berasal darinya; hanya disajikan struktur-struktur yang secara fungsional relevan saja

Formasi embrional	Struktur definitif pada laki-laki	Struktur definitif pada perempuan
Blastema metanefrogenik	Nefron definitif	
Tubulus mesonephricus	Pelvis renalis, Calices, Ductus colligentes, Ureter	
	Ductus epididymidis Ductus deferens Ductus ejaculatorius Gl. vesiculosa	
Tubulus mesonephricus	Ductuli efferentes testis	—
Sinus urogenitalis	Vesica urinaria	
	Urethra masculina Prostata Gll. bulbourethrales	Urethra feminina Gll. vestibulares majores Gll. urethrales

6.1 Sinopsis

Pendahuluan

Fungsi dan istilah: Organa genitalia—yang, pada manusia, menunjukkan perbedaan kualitatif spesifik sesuai dengan jenis kelaminnya—berfungsi untuk menghasilkan keturunan. Pada dasarnya, fungsinya pada mamalia, termasuk manusia, adalah mengembangkan sel gamet yang haploid di dalam organ khusus (*gonad*) pada organisme jantan maupun betina dan menggabungkannya di dalam tubuh betina menjadi zigot diploid. Pada saat kopulasi (*coitus*), sel gamet jantan disemburkan melalui ejakulasi dari suatu sistem saluran spesifik dan sel gamet jantan tersebut kemudian bertemu dengan sel gamet betina (konsepsi, prokreasi). Makhluk hidup baru yang awalnya satu sel, zigot, dibawa ke rongga pengeraman, Uterus. Di dalamnya, berlangsung perkembangan embrional selanjutnya dan, akhirnya, pada akhir masa kehamilan (gestasi atau graviditas), janin didorong keluar melalui jalan lahir. Pada mamalia, organisme jantan hanya ikut berperan dalam prokreasi, sedangkan organisme betina juga mengambil tugas mempersiapkan keadaan yang optimal bagi sebuah kehamilan dan pada saatnya menginduksi persalinan. Pada kedua jenis kelamin, fungsi-fungsi ini diatur oleh hormon seks-spesifik yang diproduksi di dalam kelenjar gonad. Hormon tersebut menentukan perkembangan dan fungsi organ genital serta ciri-ciri seksual sekunder untuk seluruh organisme.

Pembagian: Perbedaan fungsi dan topografi menjadi dasar untuk penggolongan organ genital, yang dapat dilakukan berdasarkan berbagai aspek.

- topografi (lihat **A**): menjadi organ genital dalam (di dalam rongga tubuh; Organa genitalia interna) dan organ genital luar (di luar rongga tubuh; Organa genitalia externa);
- fungsi (**B** dan **C**): menjadi organ produksi sel benih dan hormon (*gonad*), organ transportasi (sel benih), tempat pemeliharaan embrio/janin, dan kopulasi; serta kelenjar-kelenjar yang berasosiasi dengan organ terkait;
- ontogenetik (lihat hal. 4).

Perbedaan fungsi antara systema genitale laki-laki dan perempuan: Kedua jenis kelamin menghasilkan sel germinal, yang pada laki-laki dinamai *spermatozoa*, pada perempuan disebut *oosit*. Spermatozoa selalu dibentuk-baru dan sel prekursor (*spermatogonia*) dari sejak pubertas hingga usia lanjut (beberapa juta setiap harinya!), sedangkan jumlah oosit sudah ditentukan pada saat lahir. Sel telur (oosit) ini hanya dapat berdiferensiasi lebih lanjut menjadi sel germinal (*gamet*) yang dapat dibuahi (dalam siklus bulanan, setiap bulan hanya terbentuk sebuah sel telur matang!). Oleh sebab itu, pada prinsipnya, produksi spermatozoa dan, dengan demikian, kemampuan prokreasi pada laki-laki dapat berlangsung mulai dari awal pubertas sampai usia lanjut, sedangkan pada perempuan kemampuan prokreasi pada prinsipnya terbatas hanya pada kurun waktu antara diferensiasi sel telur pertama dalam bulan siklus pertama (Menarche, sekitar usia 13–14) dan diferensiasi sel telur terakhir (Menopause, sangat bervariasi di sekitar usia ke-40–60). Dalam hal ini perlu diperhatikan bahwa sel telur yang berkembang pada siklus bulanan pertama maupun siklus bulanan terakhir mungkin saja mempunyai kemampuan konsepsi yang terbatas.

A Genitalia interna dan externa pada laki-laki dan perempuan*

	Laki-laki	Perempuan
Genitalia interna	Testis Epididymis Ductus deferens Prostata Gl. vesiculosa Gl. bulbourethralis	Ovarium Uterus Tuba uterina Vagina (bagian atas)
Genitalia externa	Penis dengan Urethra Scrotum (dengan kapsul) Testis	Vagina (hanya Vestibulum) Labia majora/minora pudendi Gl. vestibularis major/minor Clitoris

* Organ seks luar perempuan (Pudendum femininum) secara klinis disebut sebagai *Vulva*.

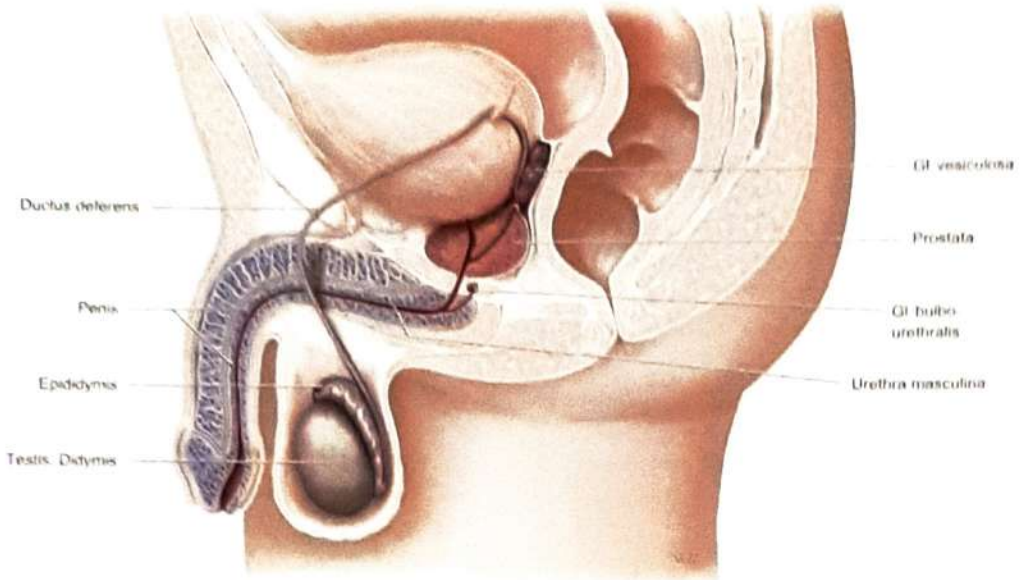
B Fungsi organ genital laki-laki

Organ	Fungsi
Testis	Produksi sel benih (gamet) Produksi hormon
Epididymis	Organ penyimpanan untuk sperma
Ductus deferens	Organ transportasi untuk sperma
Urethra	Organ transportasi untuk sperma dan organ kemih
Kelenjar genital aksesoris (Prostata, Gl. vesiculosae, dan Gl. bulbourethrales)	Produksi sekret
Penis	Organ kopulasi dan organ kemih

C Fungsi organ genital perempuan

Organ	Fungsi
Ovarium	Produksi gamet Produksi hormon
Tuba uterina	Tempat konsepsi dan organ transportasi untuk zigot
Uterus	Pemelihara embrio/fetus, organ partus
Vagina	Organ kopulasi, organ partus
Labia majora/minora pudendi Clitoris	Organ kopulasi
Gl. vestibulares majores/ minores	Produksi sekret

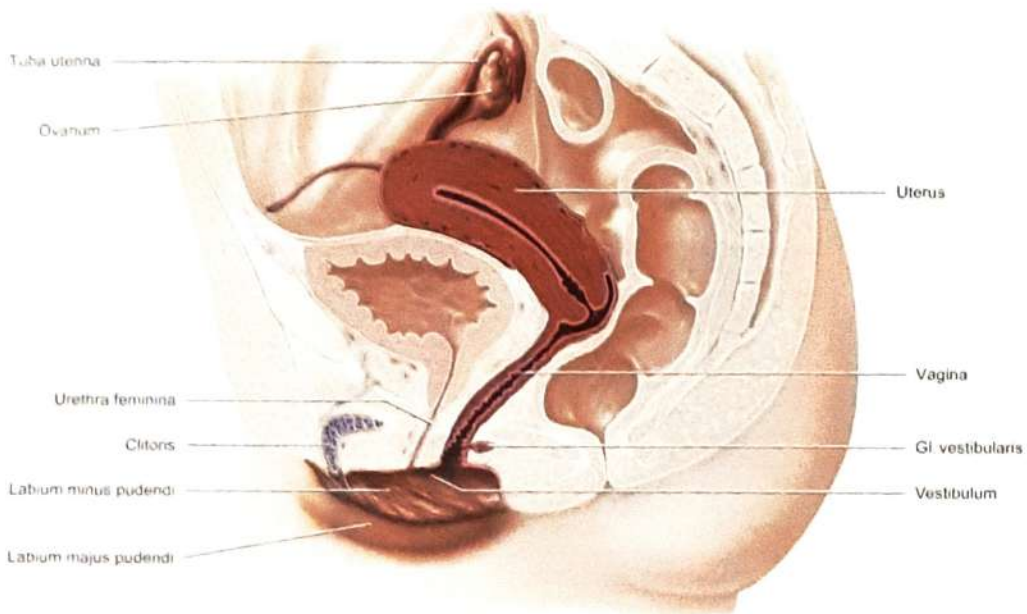
Struktur dan perkembangan sistem organ pada embrio — 6. Sistem kelamin



D Ringkasan tentang Organa genitalia laki-laki

Gambar skematis Organa genitalia laki-laki, dilihat dari kiri, agar seluruhnya ditampilkan lebih baik, gambar ini tidak dalam skala yang sebenarnya.

Perhatikan Sebagian Systema urinarium laki laki, Urethra masculina (= saluran urin dan sperma), juga merupakan organ seksual. Gonad laki-laki (Testis), berpindah ke dalam sebuah kantung di luar rongga tubuh (Scrotum)



E Ringkasan tentang Organa genitalia perempuan

Gambar skematis Organa genitalia perempuan, dilihat dari kiri, agar seluruhnya ditampilkan lebih baik, gambar ini tidak dalam skala yang sebenarnya.

Perhatikan Urethra feminina bermuara langsung di dekat Vestibulum. Berbeda dengan gonad laki-laki, gonad perempuan (Ovarium) terletak di dalam rongga Pelvis minor.

6.2 Perkembangan Gonad

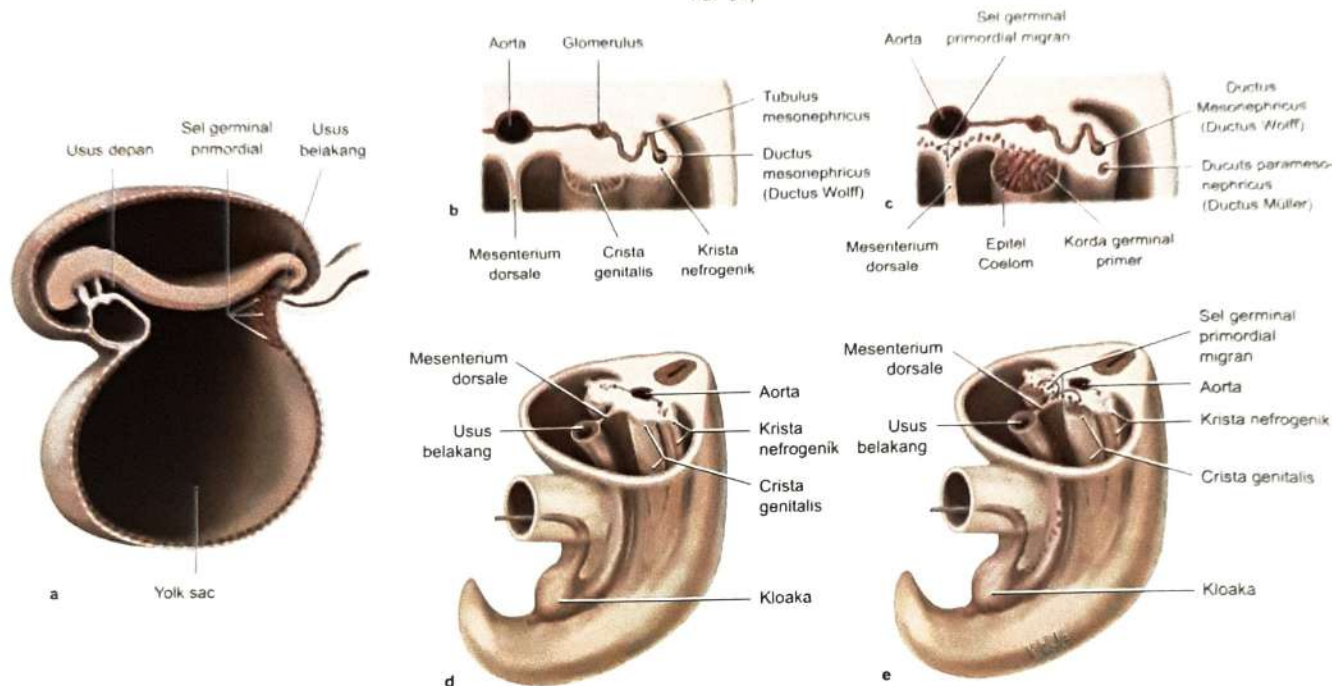
Pembagian Organa genitalia menurut Ontogenesis

Dengan memperhatikan struktur dasar pada laki-laki dan perempuan dapat dibedakan empat komponen:

- Derivat gonad primordial (anlage gonad) Gonad primordial membentuk gonad dan berkembang dari epitel Coelom embrional dan mesoderm di Crista genitalis (lihat A-C).
- Derivat Ductus Muller dan Wolff (lihat hal 50) Dan kedua duktus ini, berkembang sebagian besar saluran genital
 - pada laki-laki Ductus mesonephricus membentuk Ductus deferens.
 - pada perempuan Ductus paramesonephricus membentuk Tuba uterina Uterus, dan sebagian Vagina.
- Derivat regio penneum Tuberkulum bibir, dan lipatan genital membentuk Genitalia externa (lihat hal 55).

- Derivat Sinus urogenitalis di dekat regio penneum
 - pada kedua jenis kelamin Sinus urogenitalis membentuk Urethra
 - Pada laki-laki Urethra bersama dengan sebuah kelenjar genital lainnya (Prostata) juga merupakan bagian dari alat genital
 - pada perempuan Sinus urogenitalis membentuk sebagian Vagina

Perhatikan Baik gonad primordial maupun sistem saluran pada kedua jenis kelamin awalnya indifferen, sehingga pada stadium itu, jenis kelamin belum bisa dipastikan secara morfologis. Pada perkembangan berikutnya, pada setiap jenis kelamin, hanya salah satu sistem saluran yang sesuai dengan jenis kelaminnya yang berdiferensiasi sempurna sedangkan yang lain mengalami regresi. Pada beberapa orang, rudimen sistem saluran ini tetap ada meski tanpa fungsi, tetapi pada penyakit-penyakit tertentu bisa memiliki makna klinis (mis. saluran Gartner, lihat hal 54)



A Perkembangan Crista gonadalis dan gonad primordial; migrasi sel germinal

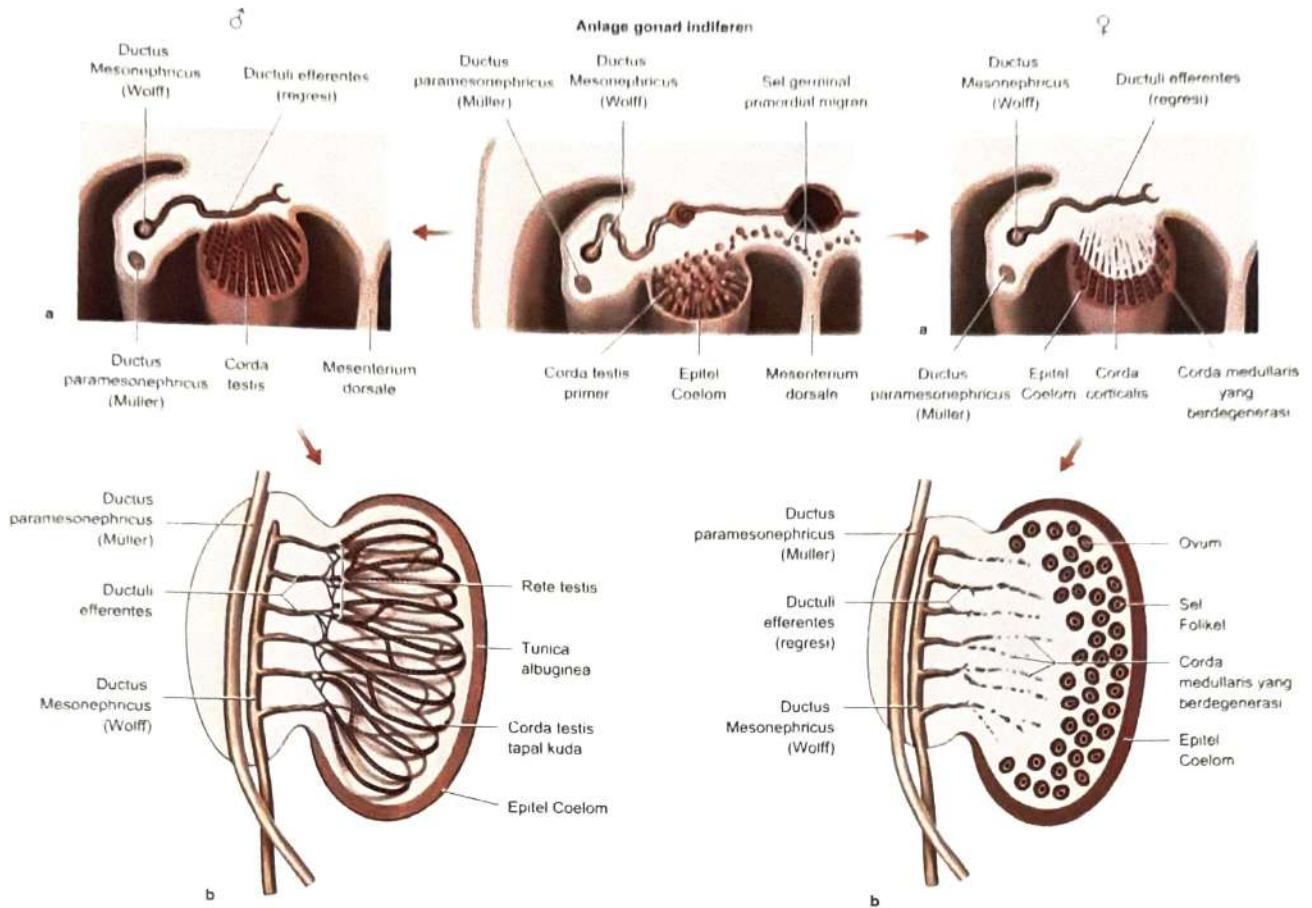
Embrio digambar secara skematis: **a** kiri dengan *yolk sac*, dilihat dari; **b** dan **c** potongan horizontal, dilihat dari atas; serta **d** dan **e** tampilan 3-D dari gambar **b** dan **c**

a Sel germinal primordial yang bulat dan besar dapat dikenali untuk pertama kalinya pada awal minggu ke-4 di *yolk sac* sebagai jenis sel yang khusus.

b dan **d** **Crista gonadalis dan gonad primordial (anlage gonad)**: Awalnya, gonad primordial (yang akan berkembang menjadi Testis (= Didymis) pada laki-laki dan Ovarium pada perempuan) berupa *Cristae genitales* berpasangan yang secara morfologis masih indifferen (*gonad indifferen*), tetapi diferensiasi selanjutnya menjadi testis atau ovarium telah ditentukan secara genetik. Gonad indifferen (*Crista genitalis*) ini terletak pada dinding belakang rongga tubuh, di sebelah medial daerah mesonefros di Krista nefrogenik. Krista nefrogenik dan *Crista gonadalis* bersama-sama menonjol ke dalam rongga Coelom sebagai *Crista urogenitalis*.

Perhatikan Gonad primordial awal masih belum mengandung sel benih (gamet sel germinal). Sel germinal baru mulai bermigrasi keluar dari dinding *yolk sac* memasuki gonad primordial pada minggu ke-6 (lihat **c** dan **e**).

c dan **e** **Perkembangan gonad dan migrasi sel germinal**: Kelenjar gonad terbentuk di dalam *Crista gonadalis* mulai dari akhir minggu ke-3 melalui proliferasi epitel Coelom dan jaringan ikat embrional yang terletak di bawahnya, yaitu Mesenchym (**c**). Sel-sel epitel menyusup masuk ke dalam Mesenchym dan membentuk tali-tali germinal primer (*primary germinal cord*), yang masih terhubung dengan epitel Coelom pada kedua jenis kelamin. Pada minggu ke-6, sel-sel germinal yang masih berupa sel-sel *germinal primordial* di dinding *yolk sac* (**a**) bermigrasi masuk ke gonad primordial melalui Mesenterium dorsale usus belakang (*hindgut*). Migrasi sel-sel germinal (**c** dan **e**) menghasilkan spesialisasi morfologis dan fungsional menjadi gonad laki-laki atau perempuan. Kemudian, mulai dari minggu ke-7, diferensiasi morfologis gonad menjadi jelas: gonad berkembang menjadi Testis (pada embrio laki-laki) atau menjadi Ovarium (pada embrio perempuan, lihat **C**).



B Perkembangan Testis

Gambar potongan anlage Testis (Testis primordial) dan Ductus genitales pada embrio laki-laki, dilihat dari atas (a) dan dari depan (b)

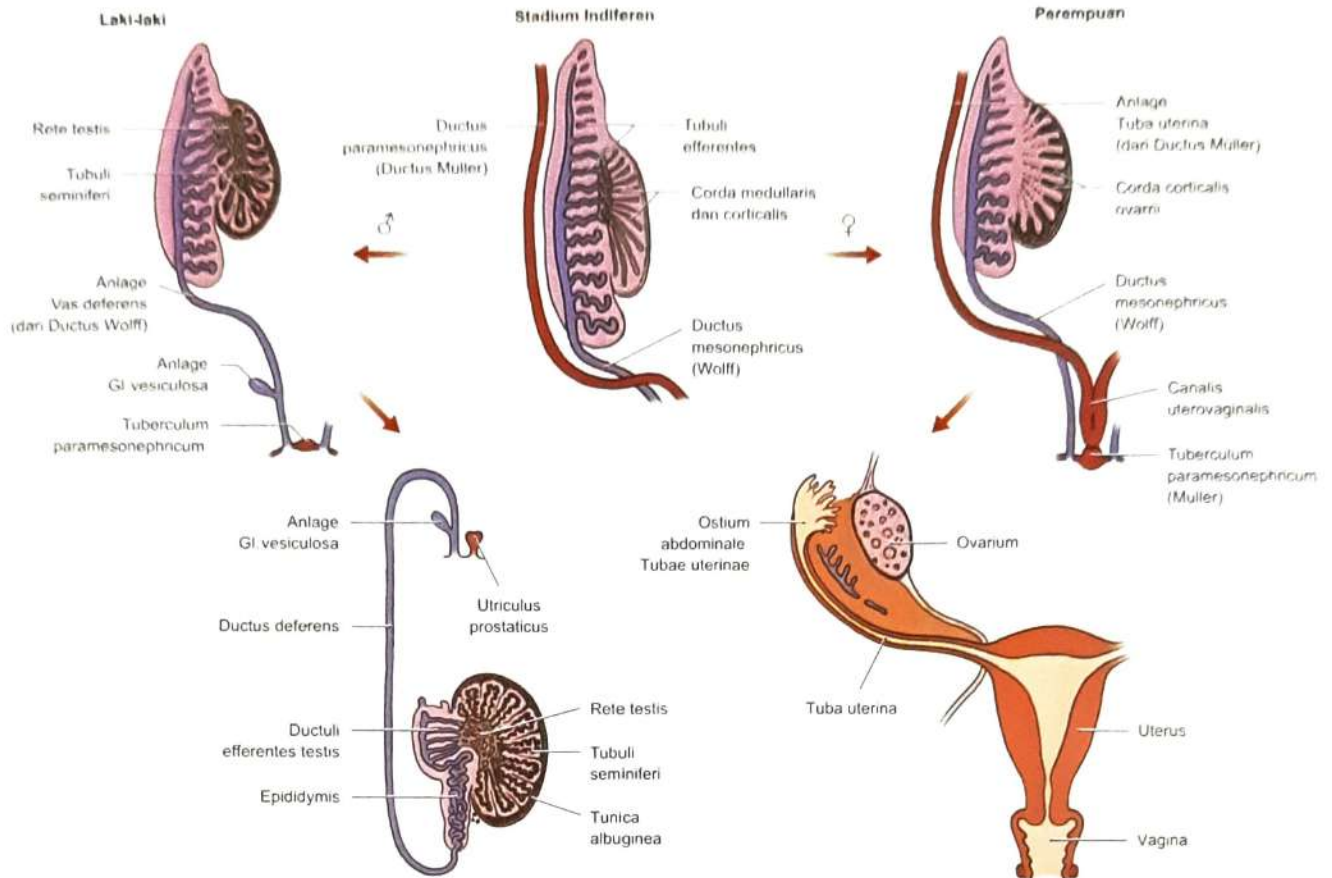
Corda germinalis primer terus tumbuh dan lebih masuk lagi ke medula gonad primordial dan di sana membentuk Corda medullaris testis. Corda medullaris testis di dekat Hilum membentuk anastomosis-anastomosis dengan jejaring tubulus, yang nantinya menjadi Rete testis, yang saling menghubungkan antar-Cordae Testis. Corda Testis kehilangan kontak dengan epitel Coelom dan dipisahkan dari epitel Coelom oleh lapisan jaringan ikat, yaitu *Tunica albuginea*. Di seputar bulan ke-4, ujung Corda testis yang jauh dari Hilum membentuk jerat (lengkungan) berbentuk tapal kuda (ujungnya yang di dekat Hilum bersambung dengan Rete testis, lihat atas). Corda Testis yang awalnya solid sekarang tersusun dari Spermatogonia (dari sel germinal primordial) dan sel penunjang Sertoli (dari epitel permukaan gonad primordial). Pada sekitar minggu ke 7-8, sel Leydig yang ada di mesenkhim interstitial di antara Cordae testis mulai memproduksi hormon seks-spesifik testosteron. Hormon ini menginduksi perkembangan perkembangan Ductus genitales secara spesifik sesuai dengan jenis kelaminnya. Meski masih di embrio, Testis sudah mulai turun (Descensus testis) dari posisinya di rongga abdomen atas melalui Canalis inguinalis menuju ke dalam Scrotum. Testis yang sudah berada di Scrotum menunjukkan tanda kematangan pada neonatus laki-laki. Baru setelah mulai pubertas (di sekitar usia 12-13 tahun), Cordae testis mengalami kanalisasi dengan membentuk lumen, yang dinamai Tubuli seminiferi. Tubuli seminiferi ini sekarang menjadi pengganti Corda testis dan terhubung dengan Rete testis, yang selanjutnya menyambung ke Ductuli efferentes testis (sisa Ductus mesonephricus). Ductuli efferentes testis bermuara ke dalam Ductus deferens, yang juga (di bawah pengaruh testosteron) berasal dari Ductus mesonephricus.

C Perkembangan Ovarium

Gambar potongan anlage Ovarium (ovarium primordial) dan Ductus genitales pada embrio perempuan, dilihat dari atas (a) dan dari depan (b).

Corda germinal primer juga tumbuh ke dalam Ovarium. Jaringan mesenkim menyusup masuk ke dalam korda-korda tersebut dan memotong-motongnya menjadi kluster-kluster sel berukuran besar secara tidak beraturan, sehingga ukuran kluster bervariasi. Kluster-kluster sel itu bergeser ke tengah Ovarium dan digantikan oleh jaringan ikat oleh banyak jaringan yang kaya vaskularisasi. Jaringan ikat yang kaya vaskularisasi ini kemudian membentuk *Medulla ovarii*. Pada sekitar minggu ke-7, julur-julur epitel dari epitel Coelom di Ovarium primordial menyusup lagi ke dalam mesenkhim Ovarium dan membentuk korda generasi kedua yang bernama *Corda corticalis*. Berbeda dari Corda germinalis primer, Cordae corticales ini terletak lebih ke permukaan. Di bulan ke-4, masing-masing Cordae corticalis juga dipotong-potong oleh jaringan mesenkim menjadi kluster-kluster sel kecil. Setiap kluster sel kecil ini kemudian mengelilingi sebuah atau beberapa sel germinal. Sel-sel germinal berkembang menjadi Oogonia, sedangkan lapisan sekelilingnya yang terbentuk dari Corda corticalis menjadi *epitel folikel* (b). Mesenkhim di sekeliling folikel membentuk *Theca folliculi*. Dalam perkembangannya, Ovarium turun (descensus) memasuki Pelvis minor sampai mencapai posisi terakhirnya. Tubulus mesonephricus dan Ductus mesonephricus yang berada di dekat Hilum ovarii mengalami regres total. Rudimen tanpa fungsi dapat tertinggal dalam bentuk Paroophoron (= Eoophoron) (lihat hal. 54).

6.3 Perkembangan saluran genital (Ductus genitalis)



A Diferensiasi Ductus Wolff dan Müller

Gambar potongan gonad primordial dan Ductus genitales, dilihat dari depan.

Seperti halnya kelenjar gonad, pada awalnya saluran genital juga berada dalam stadium indifferen tanpa perbedaan jenis kelamin: Ditemukan dua pasang saluran, yang berkembang di dalam Crista urogenitalis, yaitu Ductus mesonephricus (Wolff) dan Ductus paramesonephricus (Müller). Kedua saluran itu menempel pada dinding Sinus urogenitalis. Ductus mesonephricus adalah derivat Mesoderm intermediae, Ductus paramesonephricus terjadi dari invaginasi longitudinal epitel Coelom

dari atas ke bawah. Perkembangan kedua saluran sangat ditentukan oleh dua hormon gonad laki-laki, yaitu testosteron dan hormon anti-Müller ("anti-Müllerian hormone" = AMH): testosteron merangsang diferensiasi Ductus mesonephricus ke arah laki-laki, AMH secara aktif menyebabkan regresi Ductus paramesonephricus pada embrio laki-laki. Tanpa kedua hormon ini, Ductus mesonephricus (yang tidak terangsang) mengalami regresi; Ductus paramesonephricus baru dapat mengembangkan diri bila tidak disupresi oleh AMH.

Perhatikan: Pada kedua jenis kelamin, Ureter berkembang dari Ductus mesonephricus.

Embrio laki-laki

- Corda medullaris (testis) membentuk Rete testis
- Beberapa Ductus mesonephricus berhubungan dengan Rete testis.
- Ductus mesonephricus yang tersisa mengalami regresi. Sebagai rudimen yang tidak berfungsi, hanya tersisa Paradiidymis.
- Ductus mesonephricus membentuk Ureter, Epididymis, dan Ductus deferens. Dari Ductus mesonephricus ini, juga terbentuk Gl.vesiculosa dan Ductus ejaculatorius.
- Prostata terbentuk dari epitel Urethra (tidak diperlihatkan). Ductus deferens dan Gl.vesiculosa bersambung dengan saluran ekskresi Prostata. Colliculus seminalis adalah rudimen Tuberculum paramesonephricum dan Utriculus adalah rudimen Ductus paramesonephricus.
- Di bawah pengaruh hormon anti-Müller, Ductus paramesonephricus mengalami regresi.

Embrio perempuan

- Corda medullaris mengalami degenerasi.
- Ductus mesonephricus tidak bersambung dengan struktur lain
- Seluruh Ductus mesonephricus mengalami regresi. Sebagai rudimen tanpa fungsi, tertinggal Epophoron dan Paraophoron.
- Ductus mesonephricus membentuk Ureter dan segmen-segmen sisanya mengalami regresi. Rudimen tanpa fungsi tetap ada di samping Vagina sebagai saluran yang disebut sebagai Ductus Gartner.
- Sebagian Ductus paramesonephricus saling menyatu: segmen atas membentuk Tubae uterinae yang berpasangan, yang bawah menyatu menjadi Uterus (lihat C).
- Tanpa rangsangan testosteron, Ductus mesonephricus mengalami regresi.

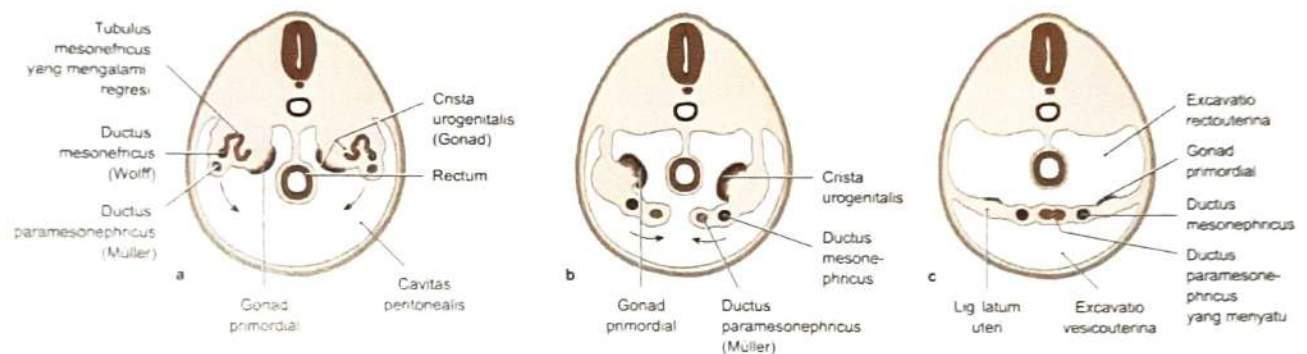


B Perkembangan Ductus genitales pada embrio perempuan: terbentuknya Uterus, Tuba uterina, dan Vagina

Anlage (= primordium) Tuba, Uterus, dan Vagina, dilihat dari depan (a-c) dan kin (d)

Dalam perkembangan berikutnya, posisi segmen atas Ductus paramesonephricus (Müller) menjadi horizontal sedangkan segmen bawahnya tetap pada posisi vertikal. Kedua segmen horizontal tetap terpisah di tempatnya di dalam Pelvis dan berkembang menjadi dua Tubae uterinae, yang merupakan saluran telur. Ujung bagian atas tetap terbuka ke rongga Coelom (yang kemudian menjadi rongga peritoneum). Bagian distal yang terbuka ini disebut Ostium abdominale tubae uterinae yang seumur hidup tetap terbuka menghadap ke Ovarium. Di segmen bawah, kedua Ductus paramesonephricus melebur menjadi satu dengan membentuk Canalis uterovaginalis. Setelah septum yang semula memisahkan kedua ductus itu menghilang sehingga menghasilkan satu rongga Uterus. Ujung bawah Ductus yang menyatu

itu tumbuh ke arah kaudal menuju ke Sinus urogenitalis. Tepat sebelum mencapai Sinus, Ductus paramesonephricus yang telah menyatu itu bertemu dengan ujung kranial evaginasi Sinus urogenitalis yang disebut Bulbus sinovaginalis. Bulbus sinovaginalis membentuk lempeng vagina yang masih solid (b). Lempeng vagina terus tumbuh ke arah kranial. Kanalisasi lempeng vagina secara progresif berlangsung dari kaudal ke arah kranial dan selesai pada bulan ke-5 (b). Karena pertumbuhan ini, jarak Uterus primordialis dan Sinus urogenitalis menjadi lebih jauh lagi. Lempeng vagina membentuk Vagina bagian bawah dan Ductus paramesonephricus membentuk vagina atas. Suatu membran jaringan ikat tipis, yaitu Hymen, memisahkan Vagina dari Sinus urogenitalis (c, d). Bila Ductus paramesonephricus tidak menyatu dengan sempurna atau septum menghilang sempurna, rongga Uterus menjadi ganda atau terpisah oleh septum (mengenai varian uterus yang mungkin terjadi lihat D). Gangguan kanalisasi lempeng vagina menyebabkan atresia vagina komplet atau parsial.



C Pelebaran Cristae urogenitales pada embrio perempuan

Potongan horizontal Abdomen pada embrio perempuan, dilihat dari atas. a Cristae urogenitales menonjol, b Cristae urogenitales saling mendekat, c Cristae urogenitales menyatu.

Karena jaringan ikat mesoderm terus berproliferasi dari kranial ke kaudal, Cristae urogenitales semakin menonjol jauh ke arah depan memasuki rongga Coelom. Bersamaan dengan itu, kedua Ductus paramesonephricus bergeser ke arah medial sehingga saling mendekat satu sama lain dan sampai saling bertemu. Kedua Ductus paramesonephricus menjadi Canalis uterovaginalis dan bersama dengan penyatuan Crista urogenitales membentuk sebuah lempeng jaringan (ikat) di dalam Pelvis minoris. Lempeng itu meluas ke samping dan Uterus primordialis yang di kemudian hari dinamai Lig. latum uteri. Lig. latum uteri membagi rongga peritoneum di Pelvis minoris menjadi kantong depan dan kantong belakang.

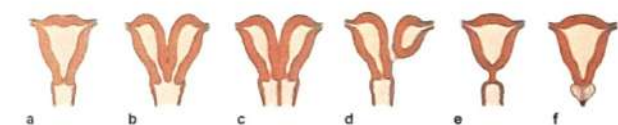
- di depan Uterus (dan di belakang Vesica urinaria, di sini tidak diperlihatkan) Excavatio vesicouterina,
- di belakang Uterus (di depan Rectum): Excavatio rectouterina (kantong Douglas).

Perhatikan: Gonad primordialis (ovarium yang sedang berkembang) bergerak memutar dari posisi mengarah ke depan dan medial menjadi posisi mengarah ke belakang karena pergerakan melengkung Crista urogenitales. Ovarium menjadi terletak di sisi belakang Lig. latum uteri.

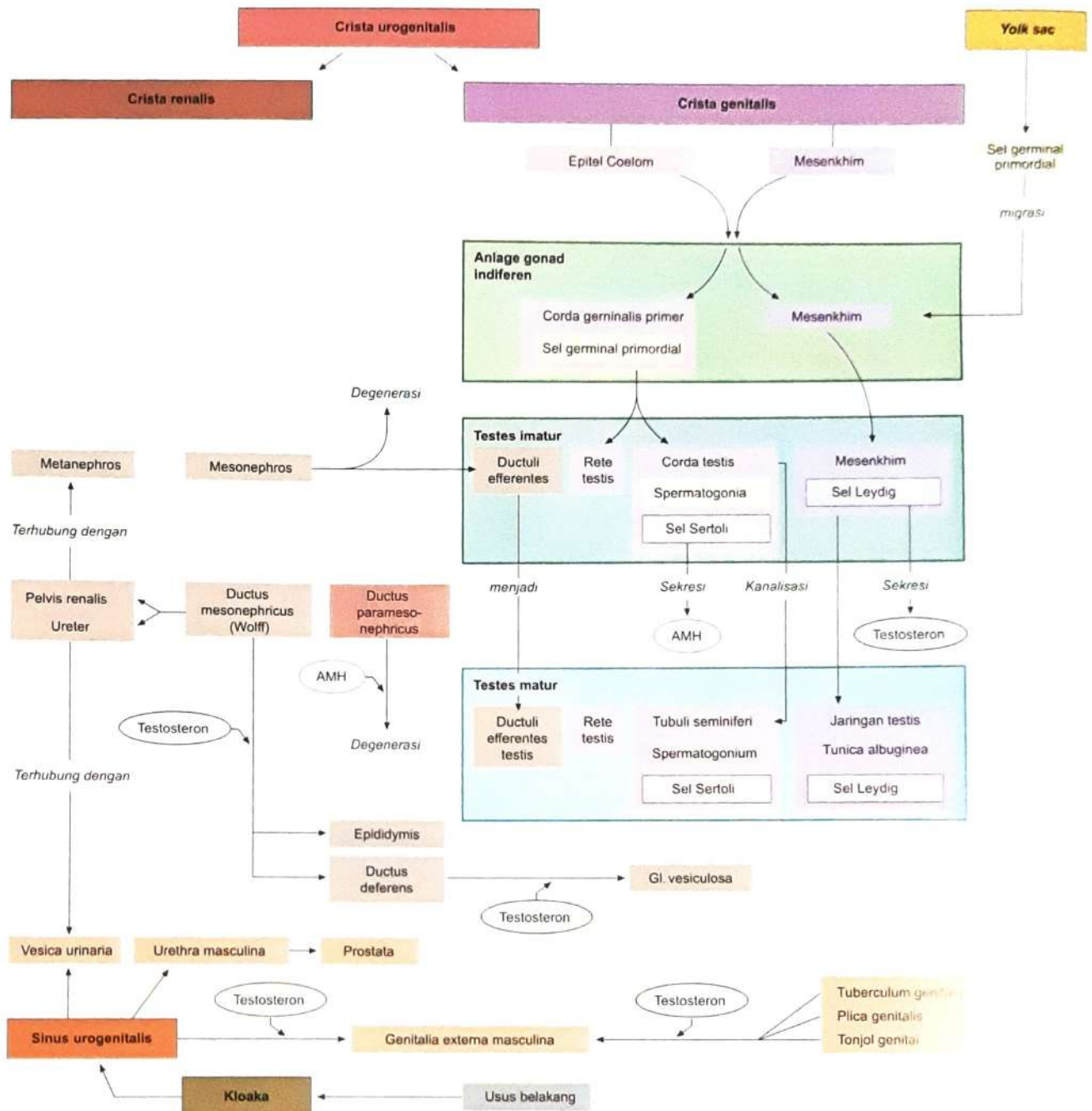
Mula-mula, Ductus paramesonephricus berkembang di lateral dan di depan Ductus mesonephricus (lihat hal. 49). Karena Cristae urogenitales bergeser dan bagian kaudalnya menyatu, Ductus paramesonephricus yang menyatu menjadi terletak di sebelah medial Ductus mesonephricus di kompartemen bawah rongga Coelom. Ureter juga terbentuk dan Ductus mesonephricus yang harus menyeberangi Lig. latum dalam perjalanannya dari ginjal menuju ke kandung kemih.

D Gangguan perkembangan

Anlage Uterus dan Vagina, dilihat dari depan. Pada pelebaran Ductus paramesonephricus, dapat terjadi berbagai gangguan perkembangan. Pelebaran yang tidak sempurna (a-c) dengan pembentukan Uterus (dan/atau Vagina) ganda, "tanduk Uterus" rudimenter pada satu sisi (d), atresia Cervix uteri (e), atresia Vagina (f) mungkin juga disertai bagian-bagian yang terbuka. Malformasi Anlage Vagina, terutama atresi, dapat disebabkan oleh gangguan perkembangan Sinus urogenitalis.



6.4 Perbandingan jenis kelamin dan hubungannya dengan Systema urinarium

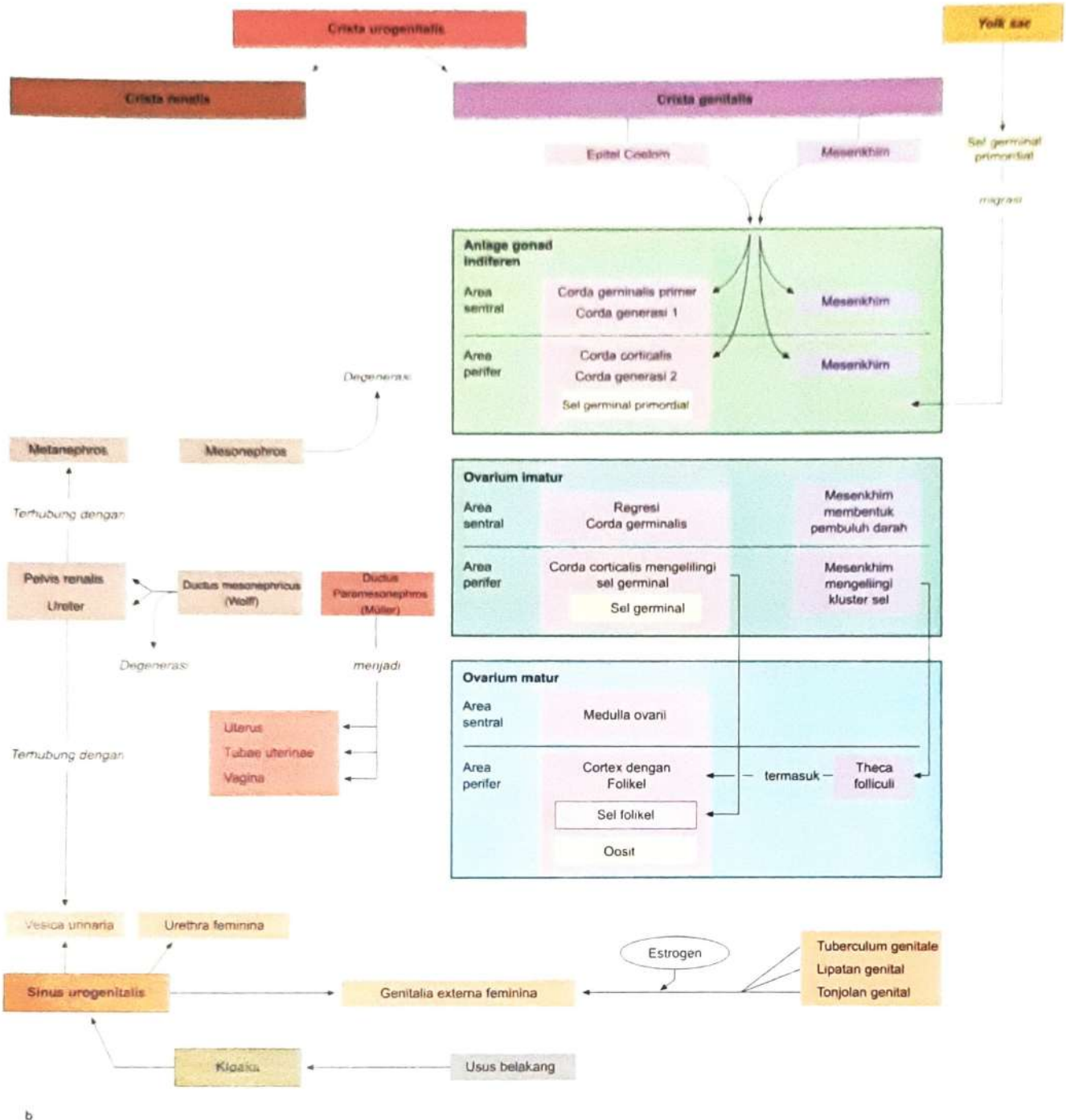


A Perkembangan Systema genitale pada kedua jenis kelamin dan hubungannya dengan Systema urnarium

Skema tentang perkembangan Systema genitale laki-laki (a) dan perempuan (b). Rudimen embrional yang tak berfungsi juga diperlihatkan (lihat A, hal. 54). Diperlihatkan kaitan sistem genital yang

tidak spesifik-seks dengan ginjal, untuk menunjukkan keterkaitan yang erat antara kedua sistem.

Perhatikan: Di kedua *anlage* (primordium) gonad, berkembang Corda germinalis primer. Corda germinalis pada perempuan mengalami regresi dan digantikan oleh korda sekunder, Corda corticalis, yang ikut



ambil bagian dalam pembentukan folikel. Pada embrio laki-laki, Corda germinalis primer menjadi Corda medullaris, yang akan berkembang menjadi Tubuli seminiferi. Corda corticalis tidak terbentuk di dalam Testis. Untuk perkembangan fenotipe laki-laki, diperlukan testosteron (untuk perkembangan Ductus genitalis laki-laki) dan hormon anti-Müller

(AMH, dibutuhkan untuk regresi Ductus paramesonephricus). Bila kedua hormon ini tidak tersedia atau saluran-saluran itu tidak merespons terhadap pengaruh hormon karena tidak ada reseptor hormon, akan berkembang fenotipe perempuan meski tidak ada estrogen.

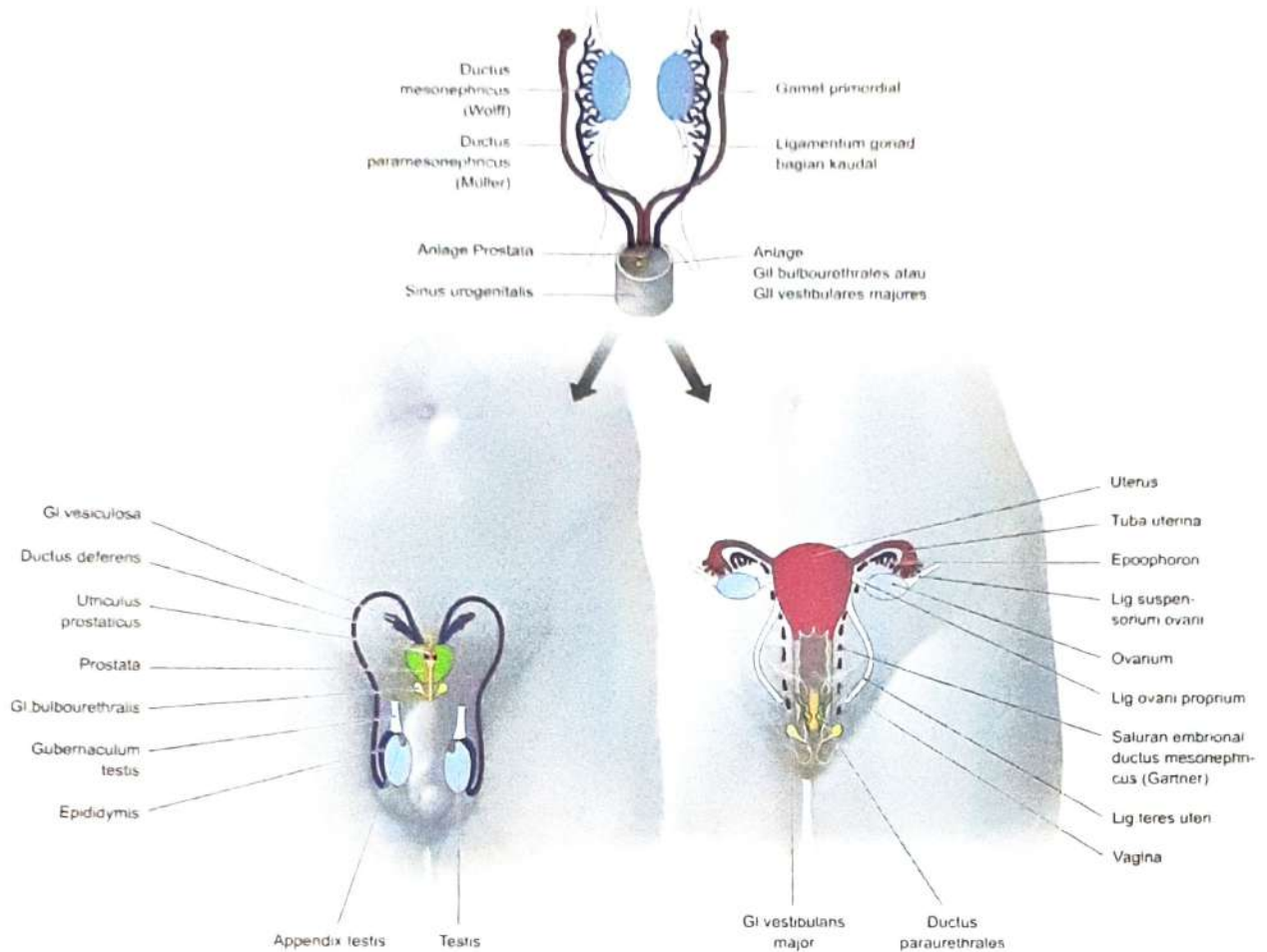
6.5 Perbandingan antara struktur embrional dengan struktur yang matur

A Perbandingan antara struktur embrional dan struktur matur

Ringkasan tentang struktur embrional pada kedua jenis kelamin. Beberapa struktur embrional berkembang menjadi struktur genital fungsional yang matur, sedangkan yang lain membentuk rudimen yang

tidak berfungsi. Perbandingan struktur pada laki dan perempuan di dalam tabel ini dipersandingkan dengan gambar di B dan C (halaman sebelah kanan)

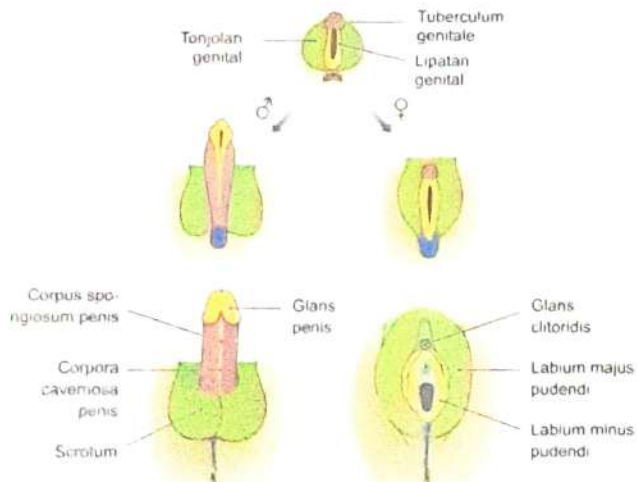
Anlage embrional	Struktur definitif pada laki-laki	Struktur definitif pada perempuan	Rudimen tanpa fungsi pada laki-laki	Rudimen tanpa fungsi pada perempuan
Gonad indifferen dengan • Cortex • Medulla	Testis dengan • Tubuli seminiferi • Rete testis	Ovarium dengan • Folikel • Stroma ovarii		
Saluran-saluran kecil mesonefrik	Ductuli efferentes testis		Paradidymis (Testis tambahan) Appendix epididymidis	Epo- dan Paraophoron (indung telur tambahan) Appendix vesiculosa Saluran Gartner
Saluran Wolff (Ductus mesonephricus)	• Ductus epididymidis • Ductus deferens • Ductus ejaculatorius • Gl. vesiculosa • Ureter • Pelvis renalis dengan Calices renales, Ductus colligentes	• Ureter • Pelvis renalis dengan Calices renales, Ductus colligente		
Ductus Müller (Ductus paramesonephricus)		• Tuba uterina • Uterus • Anlage fibromuskuler Vagina	Appendix testis	Hidatida Morgagni
Sinus urogenitalis	• Prostata • Gl. bulbourethralis • Vesica urinaria • Urethra masculina	• Epitel vagina • Gl. vestibulares majores/minores • Vesica urinaria • Urethra feminina	Utriculus prostaticus	
Phallus (Tuberculum genitale)	Corpus cavernosum penis	Clitoris, Glans clitoridis		
Plica genitalis (lipatan genital)	• Corpus spongiosum penis • Glans penis	• Labia minora pudendi • Bulbus vestibuli		
Penebalan genital	Scrotum	Labia majora pudendi		
Gubernaculum		• Lig. ovarii proprium • Lig. teres uteri	Gubernaculum testis	
Tuberculum paramesonephricum			Colliculus seminalis	Hymen



B Anlage embrional dan struktur mature Organa genitalia interna

Gambaran skematis organ-organ genital serta *anlage* (primordium) embrionalnya dilihat dari depan. Organ-organ dan anlagenya tidak digambarkan di posisi masing-masing dengan skala yang benar, supaya terlihat jelas.

Perhatikan Organ genital terletak di pelvis minoris atau bahkan di luar rongga tubuh, seperti Testis di dalam Scrotum. Saluran genital, yang berkembang dari Ductus mesonephricus serta Ductus paramesonephricus, turun bersama-sama dengan descensus gonad sehingga mengubah orientasinya, yang semula kraniokaudal menjadi hampir horizontal (kedua Tubae pada perempuan) atau seolah-olah "jungkir balik" seperti vas deferens, yang keluar dari Scrotum dan kemudian masuk kembali ke rongga tubuh.

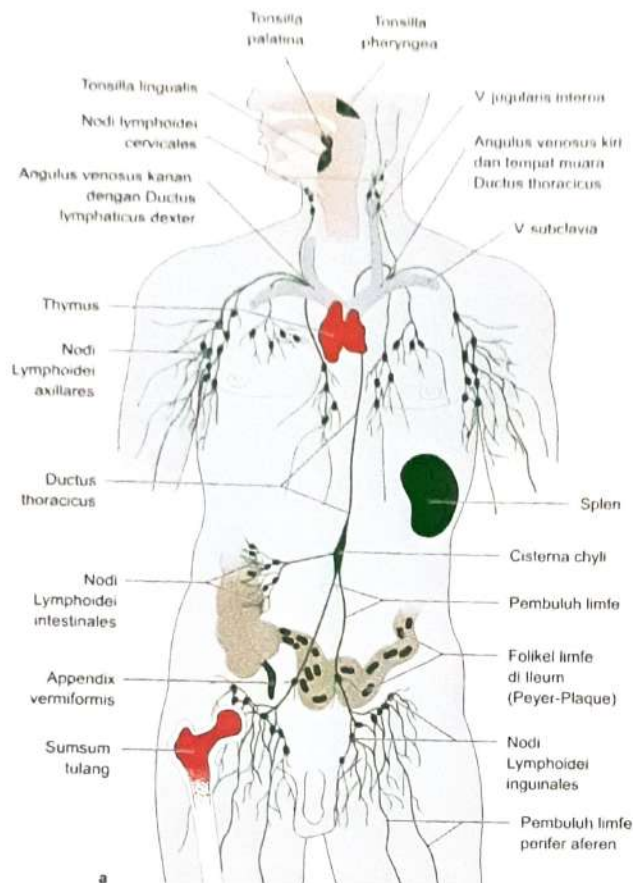


C Anlage embrional dan struktur matur Organa genitalia externa

Gambaran skematis Organa genitalia externa yang terletak di dasar Pelvis, dilihat dari bawah.

Urethra pada laki-laki dan perempuan berasal dari Sinus urogenitalis. Pada laki-laki, organ genital luar adalah Urethra masculina yang berfungsi sebagai organ seksual dan organ urin; pada perempuan, organ ini adalah Urethra feminina yang murni sebuah organ urin, tetapi posisinya terletak tepat di depan pintu masuk Vagina dan di antara Labia pudendi, berdampingan dengan organ genital perempuan. Namun, pada perempuan, secara sistematis, organ genital interna dan eksterna sama sekali terpisah dari organ urin. Walaupun demikian, karena secara topografis dekat, pada perempuan pun—terutama pada organ genital luar—gangguan perkembangan satu sistem dapat berdampak pada sistem lainnya (mis dalam bentuk hubungan saluran antara Urethra dan Vagina, yang disebut sebagai fistula uretrovagina).

7.1 Sinopsis



A Organ dan pembuluh limfatik

Sistem limfatik (*Systema lymphoideum*) yang tersebar di seluruh tubuh terdiri dari organ limfatik (*Organa limphoidea*) dan pembuluh limfatik (*Vasa limphoidea*). Sistem limfatik memiliki tiga fungsi:

- pertahanan imun (organ dan pembuluh limfatik). Tugas utama: membedakan antara "diri sendiri" dan "benda asing" (patogen, transplan) dan menghancurkan struktur yang dikenali sebagai benda asing;
- transportasi cairan jaringan menuju ke darah vena (hanya pembuluh limfatik);
- mengangkut lipida makanan dari usus halus dengan memintas (*bypass*) Vena portae (hanya pembuluh limfatik). Melalui jalur pengangkutan seperti ini, trigliserida terhindarkan dari kontak langsung dengan hati, sehingga dapat langsung mencapai organ untuk dimetabolisasi.

a Organ limfatik: Ciri-ciri umum organ limfatik adalah stroma yang berisi koloni limfosit, yang berasal dari sumsum tulang. Limfosit ini bekerja langsung atau tak-langsung (lihat bawah) untuk pertahanan tubuh melawan antigen (= reaksi imun). Antigen adalah molekul (protein, karbohidrat, dan lipida) yang dikenali oleh sistem imun sebagai benda asing dan dijadikan target oleh sistem pertahanan imun.

Secara garis besar, dapat dibedakan dua jenis *limfosit*, yang dapat dibagi lagi menjadi sub tipe (yang lebih detail, lihat buku ajar imunologi):

- Limfosit B ("B" dari *bone marrow* = sumsum tulang, tempat terbentuknya sel B) berdiferensiasi menjadi sel plasma, yang memproduksi antibodi; antibodi adalah komponen utama pada *reaksi imun humoral*. Imunitas humoral berarti bahwa antibodi mengikat antigen yang terlarut di dalam darah dan cairan jaringan, sehingga sel plasmanya sendiri tidak ikut ambil bagian secara langsung dalam respons imun.
- Limfosit T ("T" dari Thymus, tempat pematangan sel T) menyerang secara langsung sel-sel yang dikenali sebagai benda asing (mis sel yang telah terinfeksi virus) dan menghancurkan sel tersebut melalui kontak sel langsung (= *reaksi imun seluler*).

Pada prinsipnya, dengan memperhatikan populasi limfositnya, organ limfatik dapat dibagi menjadi *organ limfatik primer* (merah) dan *sekunder* (hijau).

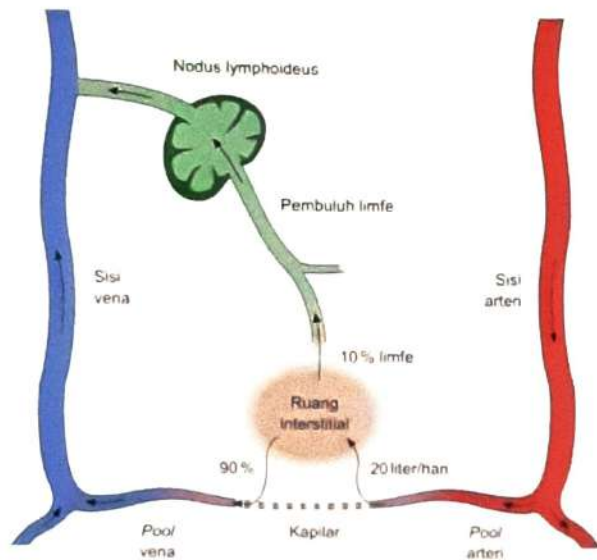
- Di dalam organ limfatik primer, limfosit berkembang dari sel punca, dan sebagian dimatangkan di tempat ini dan dijadikan imunokompeten, sehingga mampu membedakan struktur-diri dari struktur-asing.
- Dari organ limfatik primer ini, limfosit bermigrasi membentuk koloni di organ limfatik sekunder. Di sana, limfosit terus berproliferasi; bila diperlukan, limfosit dimatangkan dan mengambil alih tugas-tugas spesifiknya pada reaksi imun. Limfosit dapat kembali meninggalkan organ limfatik dan memasuki aliran darah.

Struktur dan fungsi masing-masing organ limfatik akan dijelaskan lebih luas di dalam bab-bab tentang organ yang bersangkutan.

b Pembuluh limfatik: Pembuluh limfatik (hijau di **a**) adalah sistem saluran yang tersebar di seluruh tubuh (kecuali SSP, *Medulla renalis*). Pembuluh limfatik menerima cairan antarsel (= cairan interstitial) dan menyalurkannya (sekarang disebut cairan limfe) ke dalam darah vena. Pembuluh limfatik mulai sebagai kapiler-kapiler yang sangat kecil dan berdinding tipis, yang bermuara di pembuluh prekolektor dan kolektor yang berkaliber lebih besar (**b**), yang akhirnya bergabung menjadi pembuluh limfatik pokok yang besar (*Trunci lymphatici*). Trunci ini selanjutnya saling menyatu menjadi satuan-satuan yang lebih besar, sehingga akhirnya menjadi dua pembuluh limfatik besar yang bermuara ke kedua Angulus venosi (pertemuan aliran dari *V.jugularis* dan *V.subclavia*, lihat hal 58). Dalam sistem pembuluh limfatik perifer, kelenjar limfatik diaktifkan sebagai stasiun-stasiun filtrasi. Di stasiun ini, cairan limfe diperiksa apakah mengandung patogen atau tidak. Banyak pembuluh limfatik mengalir bersama ke satu kelenjar limfatik. Di sini, cairan limfe difiltrasi dan kemudian mengalir ke arah sentral.

B Ringkasan mengenai jalur-jalur drainase limfe

Jalur-jalur drainase limfe memainkan sebuah peran penting secara klinis pada klasifikasi tumor dan metastasisnya di dalam kelenjar limfatik. Karena secara klinis metastasis ke kelenjar limfatik terkadang lebih dulu muncul sebelum tumor primer ditemukan, organ mana yang menjadi penyebabnya harus dilacak dari kelenjar limfatik yang terserang. Oleh sebab itu, kita harus mengenal jalur-jalur drainase limfatik organ dan regio. Atas dasar ini, di bawah ini diberikan ilustrasi tentang klasifikasi pembuluh limfatik dan kelenjar limfatik yang terkait dengan jalur-jalur regional itu. Bila jalur limfatik diikuti dari tempat asalnya di perifer



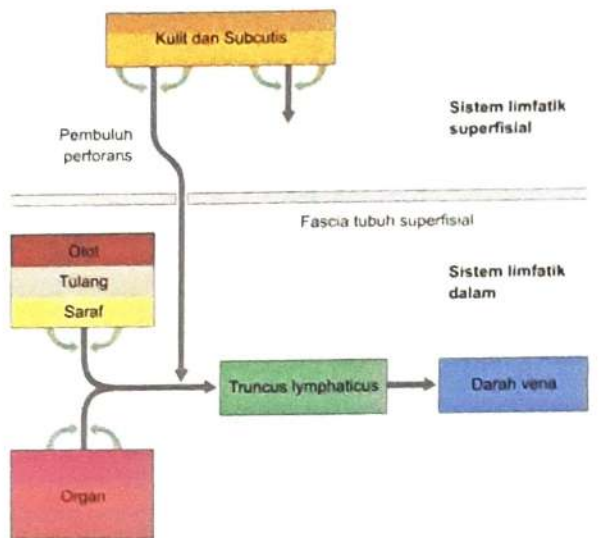
C Proses pembentukan cairan limfe

Cairan Limfe terbentuk melalui ultrafiltrasi darah di pembuluh kapiler menjadi cairan sejernih air. Dalam sistem sirkulasi darah, darah dari kapiler pada sisi arteri menuju ke sisi vena. Jumlah total tekanan darah di dalam kapiler lebih besar daripada jumlah total tekanan osmotik koloid di dalam kapiler tersebut, sehingga sebagai hasil 'netto' keseimbangan, 10% cairan yang keluar dari pembuluh kapiler tetap tertinggal sebagai cairan interstitial di ruang interstitial. Cairan interstitial yang tidak kembali ke dalam kapiler ini adalah 1,8-2 liter/hari. Cairan ini diserap oleh pembuluh kapiler limfatik (lihat **Ab**) sebagai cairan limfe, kemudian dikumpulkan oleh pembuluh limfatik yang lebih besar, dan akhirnya dialirkan melalui Truncus lymphaticus ke darah vena. Pembuluh limfe membawa cairan limfe ke kelenjar-kelenjar limfatik (Nodus Lymphoideus). Di dalam kelenjar-kelenjar ini, tubuh dapat mengontrol kandungan kuman dan toksin di dalam cairan limfe. Ketika terkontaminasi bakteri dan terjadi inflamasi purulen, dapat ditemukan pembuluh limfatik superfisial menjadi merah.

Perhatikan Setelah menikmati makanan berlemak, cairan limfe usus halus sangat kaya akan partikel lipoprotein yang terlarut di dalam emulsi (chylomikron). Oleh sebab itu, cairan limfe nampak keruh seperti susu. Cairan limfe usus halus disebut 'chylus', sehingga pembuluh limfatik usus halus bernama 'pembuluh chylus'.

sampai ke drainase sentral yang memasuki darah vena, dapat diketahui klasifikasi dasarnya, yaitu:

- Di jaringan ikat, cairan limfe terbentuk melalui ultrafiltrasi dari kapiler (**C**).
- Terdapat sistem drainase limfatik superfisial dan dalam (**D**).
- Seluruh cairan limfe tubuh mengalir melalui lima Truncus lymphaticus besar (lihat hal 58).
- Kelenjar limfatik yang terintegrasi ke dalam sistem limfatik dapat dibagi berdasarkan lokasinya (lihat hal 59).



D Sistem limfatik superfisial dan dalam (profundum)

Dari aspek topografis, dapat dikenali sistem pembuluh limfatik superfisial dan dalam (profundum):

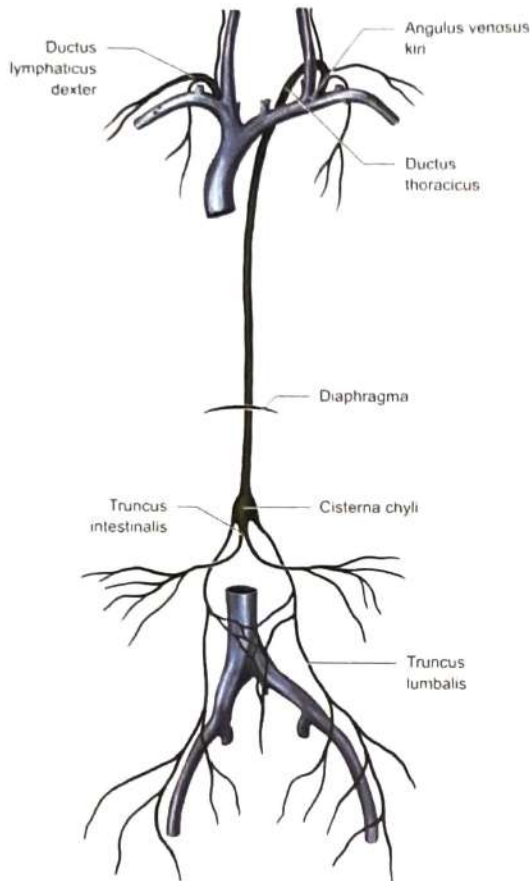
- Sistem superfisial terletak di atas fascia superfisial tubuh dan mengumpulkan limfe dari kulit dan subkutis.
- Sistem dalam terletak di bawah fascia superfisial tubuh dan mengumpulkan limfe yang berasal dari seluruh organ serta otot, tulang dan saraf.

Hanya sistem-dalam yang memiliki hubungan langsung dengan pembuluh limfatik besar (Trunci, lihat hal 58). Sistem superfisial menyalurkan limfanya melalui pembuluh perforans yang menembus fascia superfisial masuk ke pembuluh limfatik dalam. Hubungan antara permukaan dan dalam sangat menonjol di tiga tempat di tubuh:

- di sisi kanan dan kiri leher,
- di Axilla, dan
- di lipat paha (daerah inguinal).

Pada lokasi perhubungan antara sistem superfisial dan dalam ini, sangat banyak ditemukan kelenjar limfatik. Lokasi-lokasi ini harus dipalpasi pada setiap pemeriksaan klinis.

7.2 Jalur-jalur drainase limfe



A Trunci lymphatici yang besar

Untuk setiap bagian tubuh, dapat dibedakan lima Trunci lymphatici—sebagian besar berpasangan. Tabel B merangkum semua Trunci lymphatici dan daerah alirannya. Pada umumnya, semua Trunci lymphatici terhubung ke *Ductus thoracicus* atau *Ductus lymphaticus dexter*, yang akhirnya keduanya bermuara ke sistem vena. Ketiga Trunci lymphatici untuk Abdomen, Pelvis, dan ekstremitas bawah, yaitu Truncus intestinalis serta dua Trunci lumbales, menyatukan diri menjadi sebuah Trunci lymphatici bersama tepat di bawah Diaphragma, yaitu **Ductus thoracicus**. Tempat penyatuan itu seringkali menebal menjadi Cisterna chyli. *Ductus thoracicus* yang panjang menembus Diaphragma di Hiatus aorticus dan biasanya menerima limfe dari Truncus bronchomediastinalis sinister, sering kali, juga menerima dari Truncus jugularis dan subclavius sinister. Namun, semua Trunci lymphatici ini dapat juga bermuara sendiri-sendiri ke sistem vena. *Ductus thoracicus* bermuara di Angulus venosus sinister.

Ductus lymphaticus dexter yang sangat pendek terbentuk dari penyatuan aliran dari Truncus bronchomediastinalis dexter, Truncus jugularis dexter, dan Truncus subclavius dexter. *Ductus lymphaticus dexter* bermuara di Angulus venosus dexter.

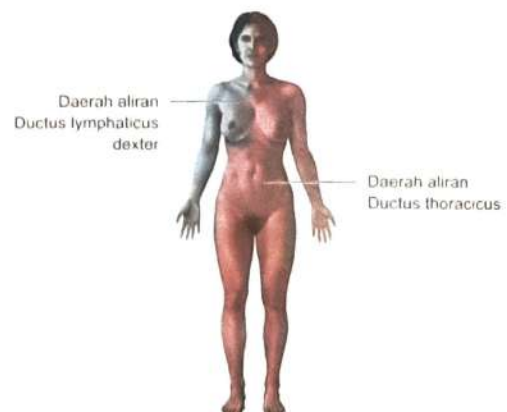
Perhatikan: Seluruh Trunci lymphatici berpasangan, kecuali Truncus intestinalis. Truncus intestinalis menyalurkan limfe dari organ-organ abdomen yang tidak berpasangan (lihat B). Meskipun pada prinsipnya trunkus ini tunggal, secara topografis dapat terbagi menjadi beberapa trunkus ranting (yang tidak bernama satu-per-satu); dalam nomenklatur, kemudian diringkas dan dinamai Trunci intestinales (jadi namanya dalam bentuk plural).

B Pembagian Trunci lymphatici dan daerah-daerah alirannya

Rangkuman Trunci lymphatici dan korelasinya terhadap daerah-daerah alirannya

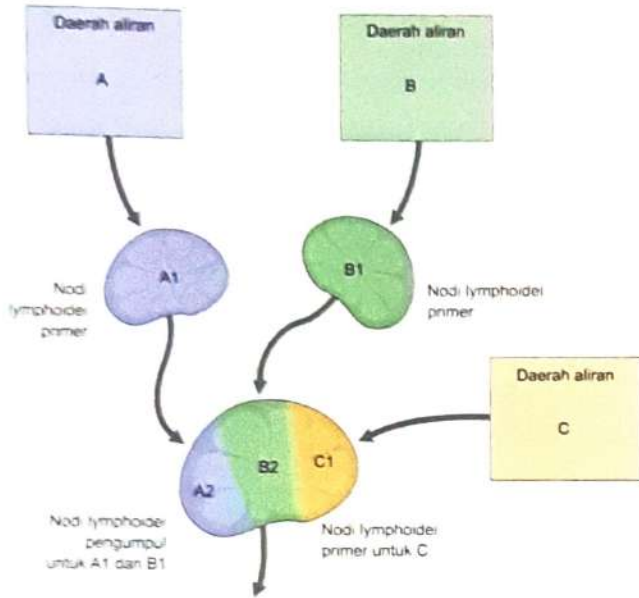
Truncus lymphaticus	Daerah aliran
Kepala, leher, dan ekstremitas atas	
• Truncus jugularis sinister/dexter	• Separuh kepala dan leher kiri/kanan
• Truncus subclavius sinister/dexter	• Ekstremitas atas kiri/kanan
Thorax	
• Truncus bronchomediastinalis sinister/dexter	• Organ dan struktur dalam serta separuh dinding Thorax (kiri/kanan)
Setiap Truncus lymphaticus yang terletak di kanan menyatukan diri menjadi <i>Ductus lymphaticus dexter</i> . Truncus lymphaticus yang terletak di kiri terhubung ke <i>Ductus thoracicus</i> (lih. bawah).	
Abdomen, Pelvis, dan ekstremitas bawah	
<i>Ductus thoracicus</i> mengalirkan seluruh cairan limfe dari daerah ini. <i>Ductus</i> itu terbentuk dari penyatuan aliran dari:	
• Trunci intestinales	• Organ-organ tak-berpasangan di Abdomen (jTractus digestivus dan limpa)
• Truncus lumbalis sinister/dexter	• Organ-organ Abdomen yang berpasangan (ginjal, Gl. adrenalis)
	• Semua organ Pelvis
	• Dinding Abdomen kiri dan kanan
	• Dinding Pelvis kiri dan kanan
	• Ekstremitas bawah kiri dan kanan

Jadi, *Ductus thoracicus* mengalirkan limfe dari seluruh tubuh di bawah Diaphragma dan dari separuh tubuh kiri di atas Diaphragma. *Ductus lymphaticus dexter* hanya menyalurkan limfe dari separuh tubuh kanan di atas Diaphragma. Sejalan dengan hal ini, dapat dilakukan pembagian seluruh tubuh menjadi empat kuadran aliran limfe (lihat C).



C Pembagian tubuh dalam kuadran-kuadran aliran limfe

Drainase limfe tubuh tidak simetris. Namun, pembagian menurut kuadran memperlihatkan: Kuadran kanan atas mengalir ke *Ductus lymphaticus dexter*, sedangkan kuadran lainnya mengalir ke *Ductus thoracicus* (lihat B).



D Pembagian kelenjar limfatik (dimodifikasi menurut Foldi)

Ada beberapa penggolongan kelenjar limfatik. Yang satu berdasarkan arah aliran dan yang satunya lagi berdasarkan letaknya terhadap organ dalam.

Pembagian menurut arah aliran: Bila dibagi menurut arah alirannya, yaitu dari perifer di jaringan sampai masuknya ke dalam sistem vena, biasanya aliran limfe melalui beberapa stasiun kelenjar limfatik yang terangkai berurutan. Kelenjar-kelenjar limfatik ini dinamai kelenjar limfatik primer, sekunder, dan tertier.

- Kelenjar limfatik primer (=kelenjar limfatik regional) menerima limfe langsung dari sebuah regio tertentu (organ, ekstremitas, bagian tubuh). Regio (daerah) yang mengalirkan limfennya memasuki sekelompok kelenjar limfatik primer tertentu (kelenjar biru A1 atau hijau B1) dinamai daerah aliran kelompok kelenjar limfatik yang bersangkutan (di gambar dinamai dengan A-C).

- Bila kemudian limfe meninggalkan kelompok kelenjar primer itu, cairan limfe disalurkan ke kelenjar limfatik berikutnya (sekunder, tersier dst.) Karena kelenjar limfatik sekunder seringkali mengumpulkan limfe dari beberapa kelompok kelenjar primer, kelenjar limfatik sekunder juga dinamai kelenjar limfatik kolektor (kelenjar dengan banyak warna)

Perhatikan Sekelompok kelenjar limfatik dapat menjadi kelompok primer untuk suatu daerah aliran, selain itu, juga dapat mengumpulkan limfe dari kelenjar-kelenjar lainnya, sehingga kelompok ini juga menjadi kelompok kelenjar limfatik sekunder atau pengumpul/kolektor. Dengan demikian, kelenjar yang banyak warna itu adalah kelenjar primer untuk daerah aliran C (kuning), sekaligus merupakan kelenjar limfatik kolektor untuk kelenjar primer A1 dan B1 (biru dan hijau)

Pembagian menurut letaknya terhadap organ dalam: Bila kelenjar limfatik diperhatikan menurut letaknya terhadap pembuluh darah besar dan terhadap organ-organ, khususnya di Abdomen dan Pelvis, dapat dibedakan kelenjar limfatik *visceral* dan *parietal*.

- Kelenjar limfatik parietal (Nodi lymphoidei parietales) yang terletak di Abdomen dan Pelvis berada di sekeliling pembuluh darah besar (Aorta abdominalis, Vcava inferior, atau Vasa iliaca; kelompok yang lebih besar) atau di dekat dinding tubuh abdomen (kelompok yang lebih kecil);
- Kelenjar limfatik visceral (Nodi lymphoidei viscerales) langsung terhubung ke organ-organ di Abdomen tak-berpasangan yang dipasok dari ketiga pembuluh darah arteri besar yang tidak berpasangan. Di Pelvis, juga ditemukan kelompok-kelompok kelenjar limfatik yang berlokasi di dekat organ (primer). Kelenjar-kelenjar ini menyalurkan sebagian besar limfennya ke kelenjar limfatik iliaca (parietal), sehingga, dengan begitu, juga merupakan kelenjar limfatik kolektor.

Kelompok kelenjar limfatik	Kelompok parietal	Kelompok visceral
Abdomen	<ul style="list-style-type: none"> • Nil.lumbales sinistri/dextrii/intermedii • Nil.epigastrici inferiores • Nil.phrenici inferiores 	<ul style="list-style-type: none"> • dinamai spesifik sesuai organ, lihat hal. 214
Pelvis	<ul style="list-style-type: none"> • Nil.iliaci interni/externi/communes 	<ul style="list-style-type: none"> • dinamai spesifik sesuai organ, lihat hal. 215

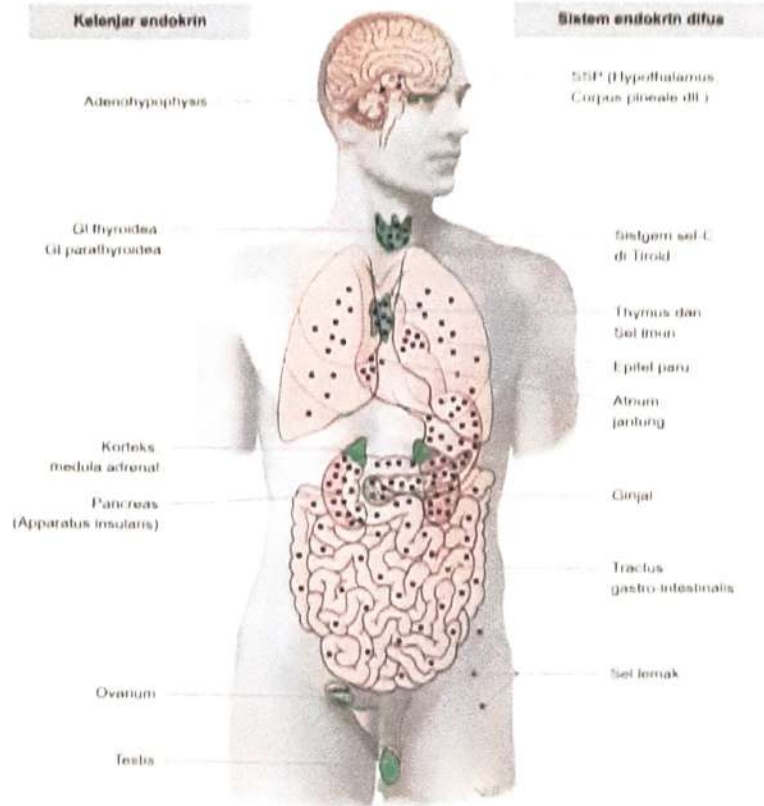
E Perkembangan embrional organ dan pembuluh limfatik

Organ limfatik dan pembuluh limfatik berasal dari Mesoderm.

Perhatikan Di antara struktur-struktur dalam tabel ini, hanya Thymus saja yang sudah berkembang sangat jauh sebelum lahir. Secara garis besar, semua struktur lainnya memang sudah mulai terbentuk di rentang waktu yang tertera di tabel tetapi baru mematangkan identitas dan fungsinya di seputar kelahiran, karena baru setelah lahir terjadi pembedaan imunologis antara "diri sendiri" dan "badan asing".

Struktur limfatik	Rentang waktu	Proses perkembangan
Pembuluh limfatik	sekitar minggu 5–9	Tunas-tunas endotel Venae cardinales membentuk pembuluh-pembuluh yang melebar layaknya kantung, yang terhubung dengan sebuah Plexus lymphaticus di dekat dinding dorsal tubuh. Setiap Truncus terjadi sebagai pertunasan dari pembuluh dan plexus.
Tonsil	sekitar minggu 12–16	Depresi epitel kantung faring ke-2.
Limpa	sekitar minggu 5–24	Proliferasi Mesenchym di Mesogastrium dorsale. Limpa bergeser ke perut atas kiri selama rotasi lambung.
Thymus	sekitar minggu 4–16	Invaginasi epitel pada Endoderm ventral dan Ektoderm kantung faring ke-3.

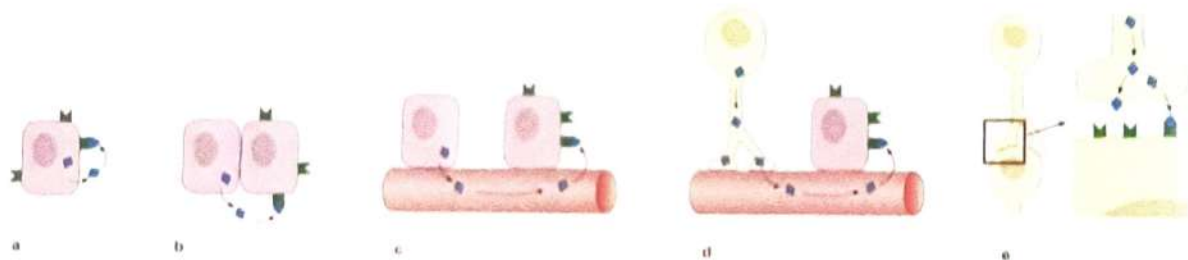
8.1 Ringkasan



A Sistem endokrin

Sistem endokrin berfungsi melalui komunikasi dari sel ke sel melalui sekresi hormon dan dengan demikian mengkoordinasikan fungsi-fungsi tubuh terkait dengan fungsi koordinasi ini, sistem endokrin berhubungan erat dengan sistem saraf yang juga mempunyai fungsi koordinasi serupa yang termasuk di dalam sistem endokrin pada mulanya adalah kelenjar endokrin klasik yang dapat dilihat secara makroskopis (kiri). Di samping itu juga ditemukan sel atau sekelompok kecil sel tertentu yang juga mensekresi hormon, tetapi hanya dapat didemonstrasikan secara histologis yakni sel sel endokrin difusi (kanan). Sel sel ini terdapat di banyak organ tubuh, termasuk juga di kelenjar endokrin.

Karena organ endokrin itu memproduksi hormon yang berpengaruh pada sel sel lainnya dalam konsentrasi yang rendah, kebanyakan organ endokrin berukuran kecil, dan sulit disolasi sebagai preparat tersendiri. Secara histologis, organ organ ini juga tidak mudah diklasifikasikan, karena memproduksi berbagai tipe hormon (lihat C). Karenanya di dalam ringkasan tentang sistem endokrin ini aspek aspek fungsional dan biokimiawi mendapatkan prioritas utama.



B Jenis-jenis komunikasi hormonal

Prinsip regulasi hormonal adalah sbb sebuah sel menghasilkan suatu hormon, suatu reseptor hormon mengenali hormon ini dan mencetuskan suatu kaskade penghantaran sinyal yang menimbulkan berbagai perubahan di dalam sel yang memiliki reseptor hormon tersebut.

a Sekresi otokrin: Hormon disintesis dan disekresi oleh sel yang memiliki reseptor hormon itu juga jadi sel itu merangsang dirinya sendiri. Sekresi otokrin ini khususnya memainkan peran yang penting pada sel tumor.

b Sekresi parakrin: Hormon dilepaskan ke dalam cairan jaringan dan, melalui difusi, mencapai sel sel tetangga yang memiliki reseptor hormon itu. Ini adalah bentuk kerja hormon yang paling primitif. Pola ini telah berkembang sejak dini pada perjalanan evolusi dan juga ditemukan luas pada manusia. Sel sel endokrin difusi (lihat atas) bekerja seperti ini, begitu juga komunikasi di dalam sistem imun dilaksanakan secara parakrin, mis. oleh interleukin.

c Sekresi endokrin: Hormon dilepaskan oleh sel yang mensekresinya ke dalam darah dan bersama sama aliran darah diangkut ke sel yang memiliki reseptor hormon itu. Seluruh kelenjar endokrin besar berfungsi dengan cara ini.

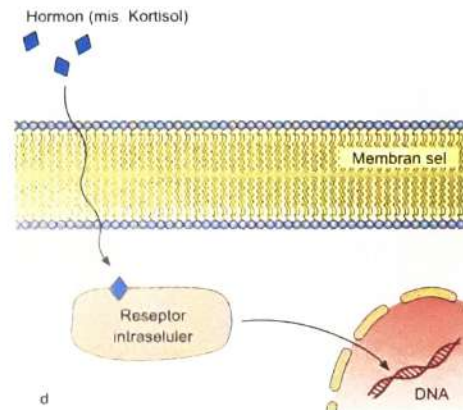
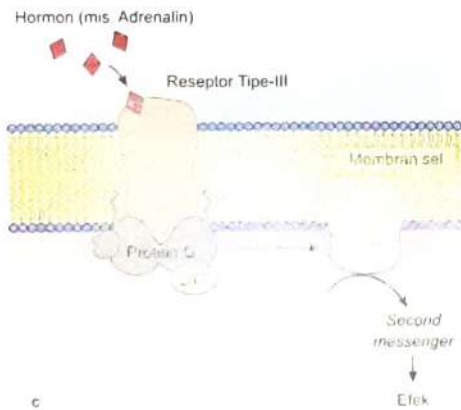
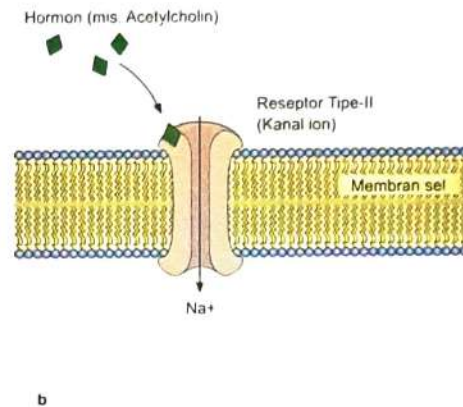
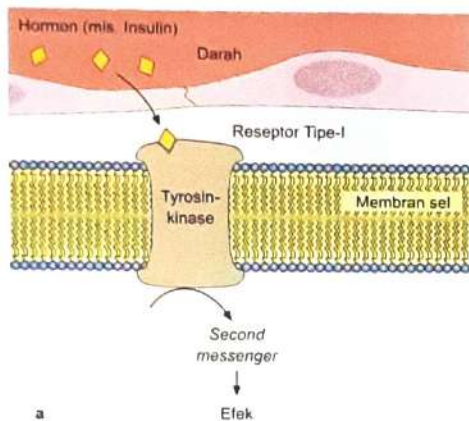
d Neurosekresi: Sebuah neuron adalah sel sekretorik yang melepaskan transmitternya, yang berfungsi sebagai hormon, langsung ke dalam aliran darah. Neurosekresi adalah sebuah bentuk peralihan antara sekresi endokrin dan transmisi sinaptik. Neurosekresi memperlihatkan hubungan yang erat antara sistem saraf dan endokrin.

e Transmisi sinaptik (= sekresi neuroktrin) Transmisi sinaptik adalah sebuah bentuk khusus sekresi parakrin. Di sini, dilepaskan transmitter (= "hormon") dari neuron yang membentuk membran presinaptik. Transmitter berdifusi menyeberangi celah sinaps yang sangat sempit menuju ke membran postsinaptik yang mempunyai reseptor transmitter. Lampak jelas bahwa prinsip mekanismenya sama dengan sekresi parakrin.

C Klasifikasi hormon sebagai zat lipofilik atau hidrofilik (menurut Karlson)

Hormon dapat berupa hormon hidrofilik atau hidrofobik (= lipofilik), karena sintesis dan kerjanya sangat berbeda. Hormon hidrofob, mis. hormon steroid, adalah hormon yang disintesis di retikulum endoplasmik tipe licin, sebaliknya proteohormon yang hidrofilik disintesis di retikulum endoplasmik tipe kasar. Karena itu, perangkat organel sel-sel yang memproduksi hormon sangat berbeda satu sama lainnya.

	lipofil	hidrofil
Molekul sinyal	<ul style="list-style-type: none"> • Hormon steroid • Iodthyronin • Retinoat 	<ul style="list-style-type: none"> • Asam amino dan turunannya • Hormon peptida • Proteohormon
Transportasi di plasma	• Terikat	• Biasanya bebas
Waktu paruh	Panjang (jam sampai hari)	Pendek (menit)
Reseptor	Intraseluler	Terintegrasi di membran
Cara kerja	Kontrol melalui transkripsi	Melalui protein membran dan kaskade sinyal intraseluler



D Tipe-tipe reseptor hormon

Reseptor hormon dapat dibagi dalam empat tipe

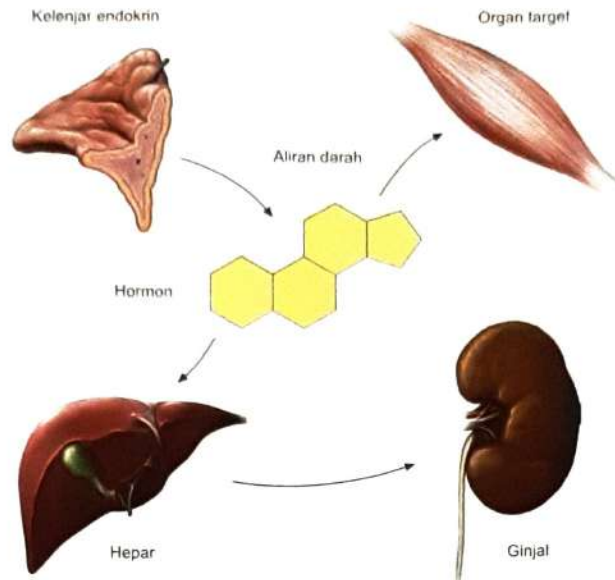
- a Reseptor tipe I:** Protein reseptor terintegrasi di dalam lapisan lipid ganda membran sel dan protein reseptor itu sendiri adalah suatu enzim. Hormon terikat di tempat pengikatan di reseptor pada permukaan sel, tetapi reaksi enzimatiknya berlangsung pada sisi sitoplasma membran yang merupakan tempat pengikatan substrat untuk reaksi-reaksi enzimatik. Umumnya, enzimnya adalah tirosinkinase yang melakukan fosforilasi terhadap residu tirosin yang berasal dari protein. Contoh: Reseptor insulin.
- b Reseptor tipe II:** Reseptor ini adalah saluran ion, yang mengalami perubahan konduktivitas ionnya setelah pengikatan ligand. Contoh: Reseptor asetilkolin di neuron (merupakan contoh lain mengenai kaitan erat antara sistem endokrin dan sistem saraf).

c Reseptor tipe III: Reseptor hormon mengaktifkan Protein G (protein-protein yang mengikat nukleotida guanin), yang selanjutnya mengaktifkan protein-protein intraseluler (aktivasi tidak langsung). Ini adalah kelas reseptor hormon yang terbesar. Contoh: Reseptor epinefrin (adrenalin).

d Reseptor intraseluler: Hormon lipofilik langsung melintasi membran sel dan mengaktifkan reseptor-reseptor intraseluler. Hormon-hormon ini kebanyakan mengatur ekspresi gen. Contoh: Reseptor kortisol.

Perhatikan: Kerja hormon yang diatur melalui ekspresi gen memiliki waktu laten yang lebih lama daripada misalnya kerja hormon yang dimediasi melalui reseptor tipe II, yang langsung berkerja.

8.2 Mekanisme umpan balik di dalam sistem endokrin

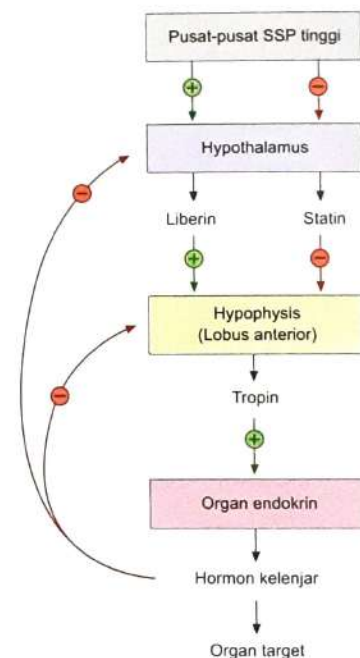


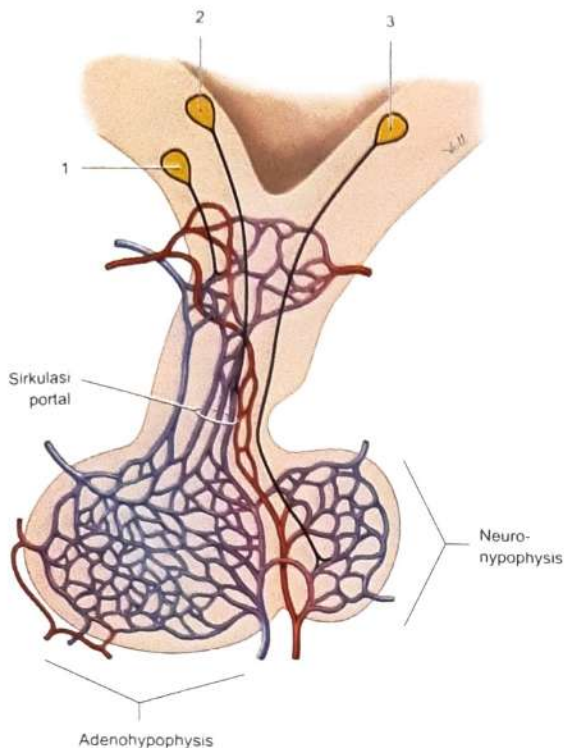
A Metabolisme sistem hormon

Hormon diproduksi oleh sel kelenjar endokrin (sebagai contoh di sini adalah hormon steroid dari kelenjar adrenal) dan disekresi sesuai kebutuhan. Bersama aliran darah, hormon itu mencapai organ target (di sini: otot rangka). Di sini, hormon itu terikat pada reseptor yang memediasi kerja hormon itu di dalam sel. Hormon itu dimetabolisme di hati, sedangkan metabolitnya kemudian diekskresi melalui ginjal.

B Mekanisme umpan balik suatu sistem hormon

Faktor inhibisi (merah) dan faktor stimulasi (hijau) dari pusat otak yang lebih tinggi mengendalikan hipotalamus, yang merupakan bagian Dienchepalon (otak tengah) dan menjadi salah satu stasiun kendali utama untuk pengaturan hormon. Bila faktor stimulasi mendominasi, yang disekresikan adalah hormon liberin (*releasing hormones*); bila yang mendominasi adalah faktor inhibisi, yang disekresikan adalah jormon statin (*inhibiting hormones*). Dominasi faktor stimulasi merangsang liberin menjadi mediator di Adenohypophysis (Lobus anterior hypophysealis = bagian terbesar Hypophysis) untuk sekresi hormon glandotropik (hormon yang bekerja pada kelenjar endokrin perifer, mis kelenjar adrenal atau kelenjar gondok). Hormon ini selanjutnya merangsang bagian tertentu di dalam kelenjar untuk mensekresi hormon lain. Kemudian, hormon yang baru dilepaskan kelenjar ini bekerja merangsang organ-organ target di perifer, tetapi secara bersamaan—karena mekanisme umpan balik—hormon ini menghambat Adenohypophysis dan Hypotalamus, sehingga tidak akan terjadi produksi hormon yang berlebihan. Jadi, pada regulasi produksi hormon, begitu banyak hormon terangkai seperti sebuah rantai secara berurutan dan, di antara rangkaian tersebut, terdapat rantai mekanisme umpan balik.





C Sumbu Hypotalamus-Hipophysis pada regulasi hormon

Hypotalamus dan Hypophysis adalah pusat regulasi tertinggi untuk keseimbangan hormon dari berbagai kelenjar endokrin. Keduanya saling terhubung oleh tangkai Hypophysis (Infundibulum). Di dalam tangkai Hypophysis terdapat dua jenis hubungan antara Hypotalamus dan Hypophysis, yaitu hubungan melalui pembuluh darah (sistem vena portae) dan hubungan melalui akson:

- Pada jalur hubungan "sistem vena portae", statin dan liberin, yang disintesis di dalam sitoplasma neuron 1 dan 2, dilepaskan oleh akson-akson pendek ke pembuluh darah porta. Di dalam pembuluh-pembuluh darah itu, hormon tersebut ditranspor ke sel-sel di dalam Lobus anterior hipofisis (*Adenohypophysis*). Sel-sel di dalam *Adenohypophysis* ini kemudian memproduksi beberapa hormon, yang dilepaskan ke dalam sirkulasi tubuh. Dalam kaitan ini, neuron 1 dan 2 disebut sebagai "transducer neuroendokrin": Kedua neuron ini mengubah informasi neural menjadi informasi hormonal dengan melepaskan transmitternya ke dalam aliran darah dalam sirkulasi portal serta tidak berhenti pada sel saraf lainnya;
- Melalui akson *panjang*, hormon-hormon dari neuron 3, yang juga terletak di Hypotalamus, ditranspor ke Lobus posterior hypophysis (*Neurohypophysis*) dan di sana dilepaskan secara lokal. Berbeda dengan neuron 1 dan 2, Akson neuron 3 berakhir langsung di *Neurohypophysis* dan melepaskan transmitternya langsung ke dalam darah, dengan memintas sirkulasi porta: Neurosekresi. Dengan demikian, neuron 3 sendiri adalah *transducer neuroendokrinnya*. Hormon oxytocin dan vasopresin (= ADH, *anti-diuretic hormone*) disekresi dengan cara seperti ini.

Perhatikan: Sekresi oleh sel-sel endokrin yang tersebar difus di Tractus gastrointestinalis dan Tractus respiratorius tidak dikendalikan oleh sumbu ini.

D Tempat-tempat pembentukan hormon dan zat mirip hormon yang penting

Hormon adalah zat caraka (*messengers*) kimiawi yang penting untuk memelihara kehidupan, yang berfungsi sebagai alat komunikasi antarsel dalam organisme. Biasanya hormon bekerja dalam jumlah yang sangat sedikit pada proses metabolisme di dalam sel-sel targetnya. Hormon yang berbeda-beda ini dapat diklasifikasi menurut:

- lokasi pembentukannya.
- lokasi kerja/aksinya,
- mekanisme kerjanya, atau
- struktur kimiawinya.

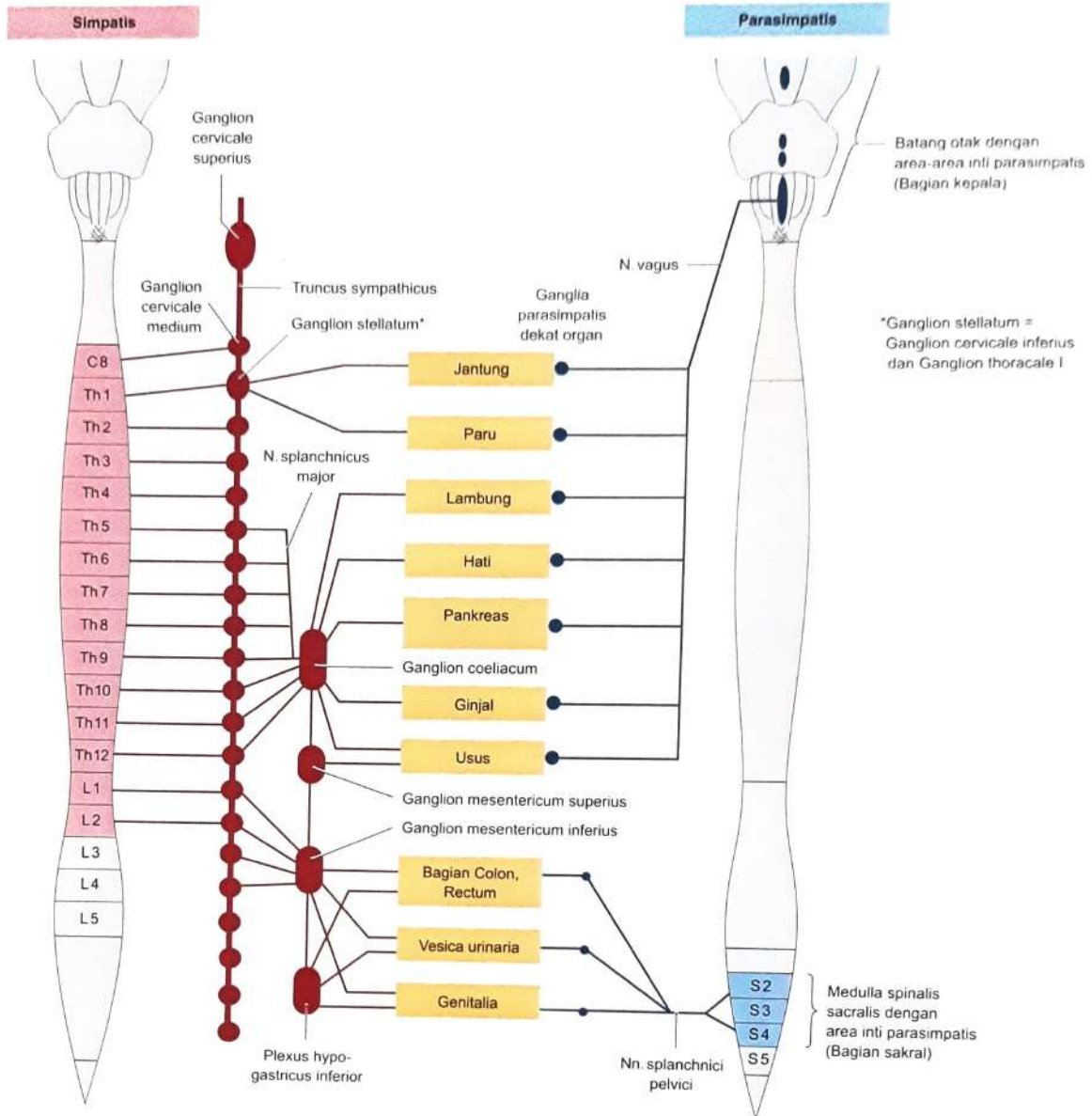
Hormon-hormon digolongkan sebagai hormon steroid (mis. testosteron, aldosteron), derivat asam amino (mis. epinefrin, norepinefrin, dopamin, serotonin), hormon peptida (mis. insulin, glukagon), dan derivat asam lemak (mis. prostaglandin).

Lokasi pembentukan utama	Hormon, zat mirip hormon
Kelenjar hormon endokrin klasik	
Hypophysis (Adenohypophysis, Neurohypophysis)	ACTH (adrenocorticotrop hormone, corticotropin) TSH (thyroid stimulating hormone, thyrotropin) FSH (follicle-stimulating hormone, follitropin) LH (luteinizing hormone, lutropin) STH (somatotropic hormone, somatotropin) MSH (melanin-stimulating hormone, melanotropin) PRL (prolactin) ADH (Antidiuretic hormon atau vasopressin) dan Oxytocin (dibentuk di Hypotalamus dan disekresi melalui Neurohypophysis)
Gl.pituitaria (Corpus pineale, Epiphysis)	Melatonin
Kelenjar gondok (Gl.thyroidea)	Thyroxin (T4) dan Triyodthyronin (T3)
Sel C kelenjar gondok	Calcitonin
Kelenjar paratiroid (Gll.parathyroidea)	Parathormon
Kelenjar adrenal (Gll.suprarenales)	Mineralo- dan kortikosteroid, androgen, adrenalin (epinefrin) dan noradrenalin (norepinefrin)
Pulau Langerhans Pancreas	Insulin, glukagon, somatostatin dan polipeptida pankreatik
Ovarium	Estrogen dan gestagen
Testis	Androgen (terutama testosteron)
Placenta	Choriongonadotropin, progesteron
Jaringan dan sel soliter yang membentuk hormon	
Sistem saraf pusat dan otonom	neurotransmitter
Bagian Diencephalon (mis. Hypotalamus)	Hormon-hormon pengendali (liberin dan statin)
Sistem sel endokrin gastrointestinal di Tractus gastrointestinalis	gastrin, cholecystokinin, sekretin
Atrium cordis	'atrial natriuretic peptide' (ANP)
Ginjal	erythropoietin (sel-sel interstitial peritubuler), renin (sel-sel juxtaglomeruler)
Hati	angiotensinogen, somatomedin
Organ-organ imun	hormon thymus, sitokin, limfokin
Hormon-hormon jaringan	eikosanoid, prostaglandin, histamin, bradykinin

9.1 Simpatis dan parasimpatis

Sistem saraf vegetatif (otonom) atau visceral mempersarafi organ-organ dalam. Sistem saraf otonom dibagi menjadi tiga bagian, yang dibahas

secara terpisah di sini dengan alasan didaktik, tetapi secara fungsional membentuk satu unit tunggal.



A Susunan segmen-segmen simpatis (merah) dan parasimpatis (biru) untuk organ dalam (visceral)

Neuron-neuron dalam sistem saraf simpatis terletak di Cornu laterale di Medullae spinales cervicales terbawah, thoracales, dan lumbales teratas, sedangkan neuron parasimpatis terletak di beberapa bagian inti saraf kranial dan di Pars sacralis medullae spinalis. Untuk organ visceral leher, Thorax, dan Abdomen, yang berperan aktif hanya N.vagus (di antara semua saraf kranial). Baik pada sistem saraf simpatis maupun parasimpatis, neuron ke-1 yang berasal dari SSP dialihkan di ganglia sistem saraf perifer ke neuron ke-2 (lihat C dan D).

- Pada sistem saraf simpatis, pengalihan dari neuron ke-1 ke neuron ke-2 terjadi di Truncus sympathicus (ganglion Truncus sympathicus untuk

badan dan ekstremitas), di ganglion prevertebral (organ visceral), di ganglion dekat organ (organ visceral) atau di dalam organ itu sendiri (hanya kelenjar adrenal).

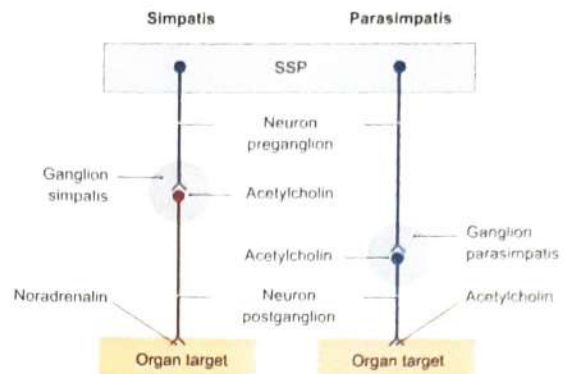
- Pada sistem saraf parasimpatis, peralihan N.vagus terjadi di ganglion dekat organ.

Istilah simpatis dan parasimpatis yang merujuk kepada Langley (1905) semula hanya dimaksudkan untuk neuron eferen dan akson-aksonnya (serabut visceroeferen; hanya serabut ini yang diperlihatkan). Sementara itu, telah dibuktikan bahwa dalam sistem saraf simpatis maupun parasimpatis juga berjalan serabut aferen (visceroaferen, reseptor nyeri dan regangan; di sini tidak diperlihatkan, lihat hal. 66).

B Ringkasan tentang sistem saraf simpatis dan parasimpatis

1. Sistem saraf simpatis adalah bagian yang merangsang dalam sistem saraf otonom, reaksi melarikan diri *Fight or Flight!*
2. Sistem saraf parasimpatis mengkoordinasi fase tenang dan fase metabolisme di tubuh: *Rest and Digest!*
3. Meski kedua bagian itu mempunyai daerah inti yang terpisah, keduanya secara anatomis dan fungsional terkait sangat erat di periferi
4. Transmitter pada organ target pada sistem saraf simpatis norepinefrin, pada simpatis norepinefrin
5. Stimulasi simpatis dan parasimpatis menimbulkan efek yang berbeda pada setiap organ, sbb.:

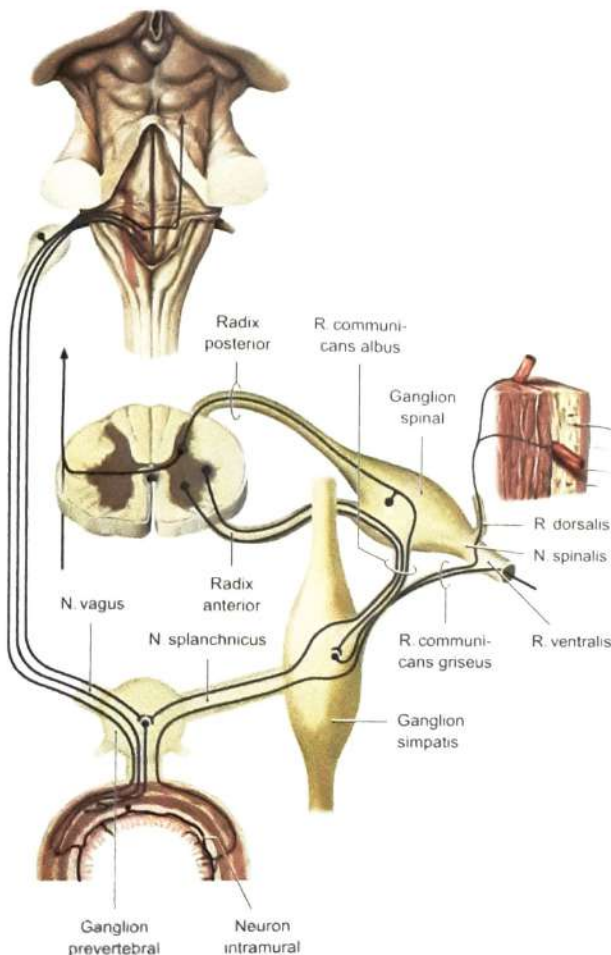
Organ	Simpatis	Parasimpatis
Jantung	Akselerasi frekuensi jantung	Perlambatan frekuensi jantung
Paru	Mengurangi sekret bronkus dan bronkhodilatasi	Memperbanyak sekret bronkus dan bronkhokonstriksi
Tractus gastrointestinalis	Penurunan sekresi/motorik	Peningkatan sekresi/motorik
Kelenjar ludah perut	Penurunan sekresi komponen endokrin	Peningkatan sekresi
Organ seksual laki-laki	Ejakulasi	Ereksi



C Skema rangkaian sistem saraf otonom

Neuron ke-1 yang terletak sentral mengandung *acetylcholin* sebagai neurotransmitter (neuron cholinergik, diwarnai biru), pada simpatis dan parasimpatis; pada sistem saraf simpatis, neurotransmitter pada neuron ke-2 berganti di ganglia menjadi *norepinefrin* (neuron adrenergik, diperlihatkan merah); pada sistem parasimpatis, neurotransmitter pada neuron ke-2 tetap *acetylcholin*.

Perhatikan: Untuk kedua transmitter terdapat tipe reseptor yang berbeda (= sensor transmitter), yang terletak pada membran sel target. Dengan demikian, kedua transmitter itu dapat mencetuskan efek yang berbeda tergantung pada tipe reseptornya.



D Saraf dan ganglion di sistem saraf otonom organ dalam

Meski pun sistem simpatis dan parasimpatis keluar dari sistem saraf sentral di lokasi yang berlainan (lihat A), keduanya membentuk satuan fungsional dan struktural yang erat di dekat organ, di dalam rongga badan. Perikaryon neuron ke-1 sistem saraf simpatis preganglioner terletak di dalam Cornu laterale medullae spinalis. Aksonnya meninggalkan Radix ventralis dan berjalan melalui Ramus communicans albus (putih, karena berselubung myelin) menuju ke Truncus sympathicus. Pengalihan ke neuron ke-2 dapat terjadi di tiga lokasi:

- Serabut simpatis untuk ekstremitas dan dinding tubuh dialihkan di Truncus sympathicus dan berjalan melalui R. communicans griseus (kelabu, karena tidak berselubung myelin) kembali ke N. spinalis.
- Serabut saraf simpatis untuk organ-organ visceral kebanyakan berjalan melewati ganglia Truncus sympathicus sebagai Nn. splanchnici, untuk selanjutnya dialihkan di ganglia prevertebral atau ganglia di dekat organ. Dari sini, aksonnya berjalan menuju ke organ. Dalam contoh organ usus yang diperlihatkan di sini (neuron intramural), sistem saraf simpatis kemudian mempengaruhi sistem saraf enterik yang terangkai, yang dianggap sebagai bagian ke-3 dalam sistem saraf otonom (lihat hal. 67).
- Serabut saraf simpatis untuk kelenjar adrenal dialihkan di dalam organ itu sendiri.

Neuron preganglioner parasimpatis untuk organ visceral rongga tubuh berasal dari N. vagus atau dari Medulla spinalis sakral (tidak diperlihatkan). Neuron ini dialihkan di ganglia dekat organ atau di organ dalam itu sendiri (intramural) ke neuron ke-2. Serabut saraf nyeri aferen (di sini juga diperlihatkan dengan warna hijau) menyatukan dirinya ke serabut saraf simpatis maupun ke serabut saraf parasimpatis. Akson serabut-serabut ini berasal dari neuron pseudounipolar, yang berada di ganglia spinalia maupun di ganglia N. vagus (lihat hal. 66).

9.2 Aferen pada sistem saraf otonom dan sistem saraf enterik

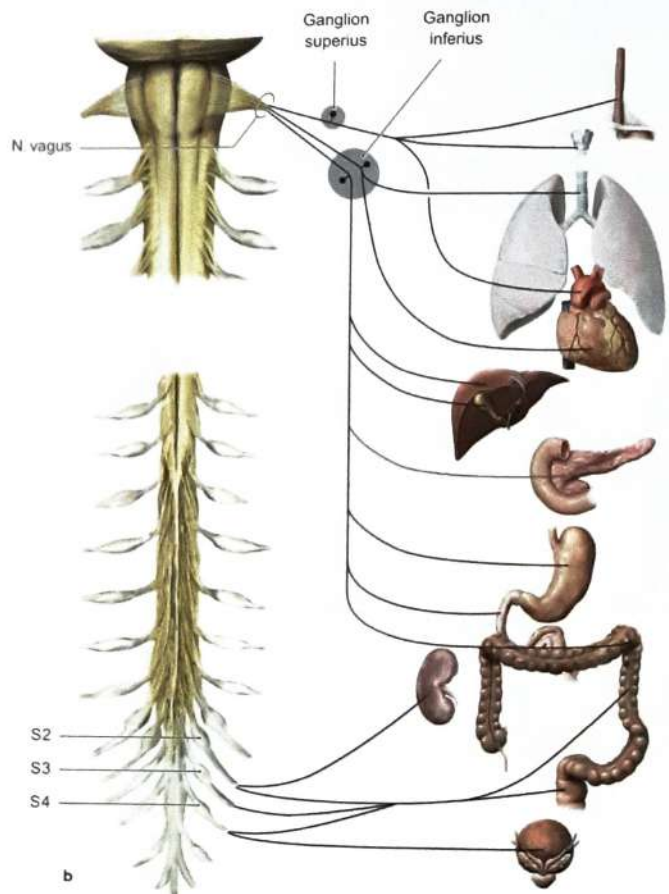
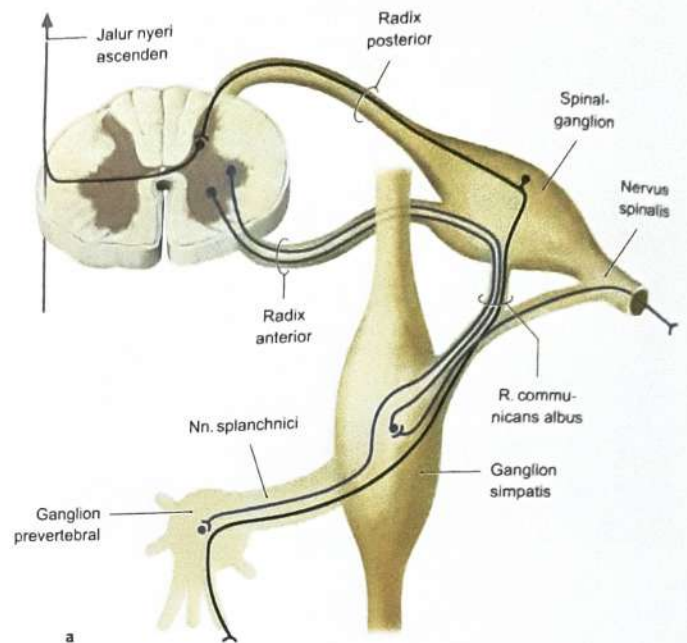
A Transmisi aferen nosiseptif (nyeri) dari organ visceral melalui sistem simpatis dan parasimpatis (menurut Janig)

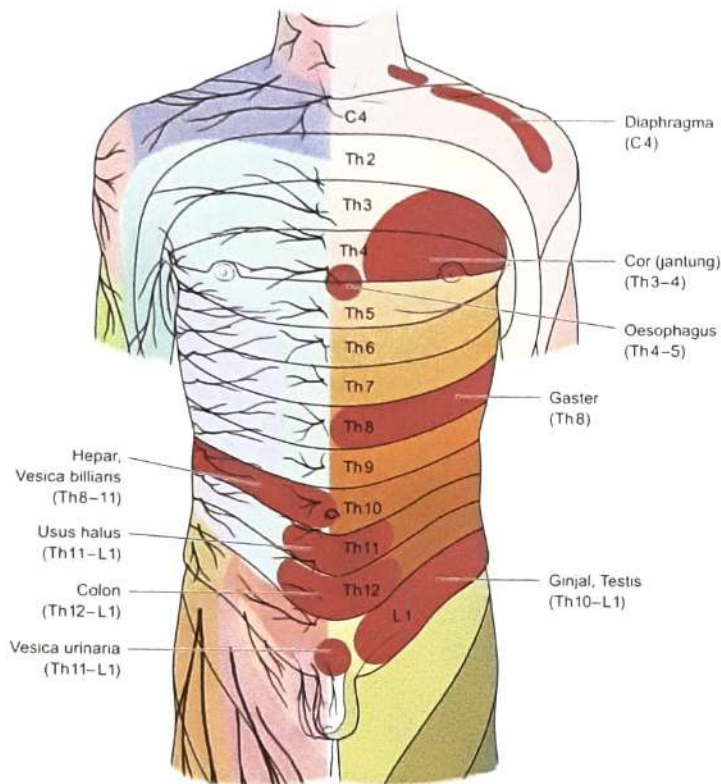
a Serabut nyeri simpatis; b serabut nyeri parasimpatis.

Kedua sistem saraf ini juga mengandung serabut aferen nyeri, yang berjalan sejajar dengan serabut eferen. Secara kuantitatif, jumlahnya hanya 5% dari seluruh serabut aferen nyeri. Karena itu, perannya tidak besar dan baru aktif bila ada lesi di dalam organ.

a Akson-akson yang menghantarkan rasa nyeri (nosiseptor) dari organ visceral berjalan bersama dengan Nn.splanchnici ke Truncus sympathicus dan melalui Ramus communicans albus mencapai saraf spinal dan selanjutnya berjalan bersama Radix posterior saraf spinal ke Ganglion spinale, tempat Perikaryon (badan sel) akson ini berada. Akson itu berjalan lebih lanjut dari ganglion melalui Radix posterior ke Cornu posterius medullae spinalis. Di sana, akson ini dialihkan dan mengikuti jaras nyeri ascenden. *Perhatikan:* Berbeda dengan sistem eferen, tidak terjadi pengalihan serabut nosiseptor di ganglion perifer.

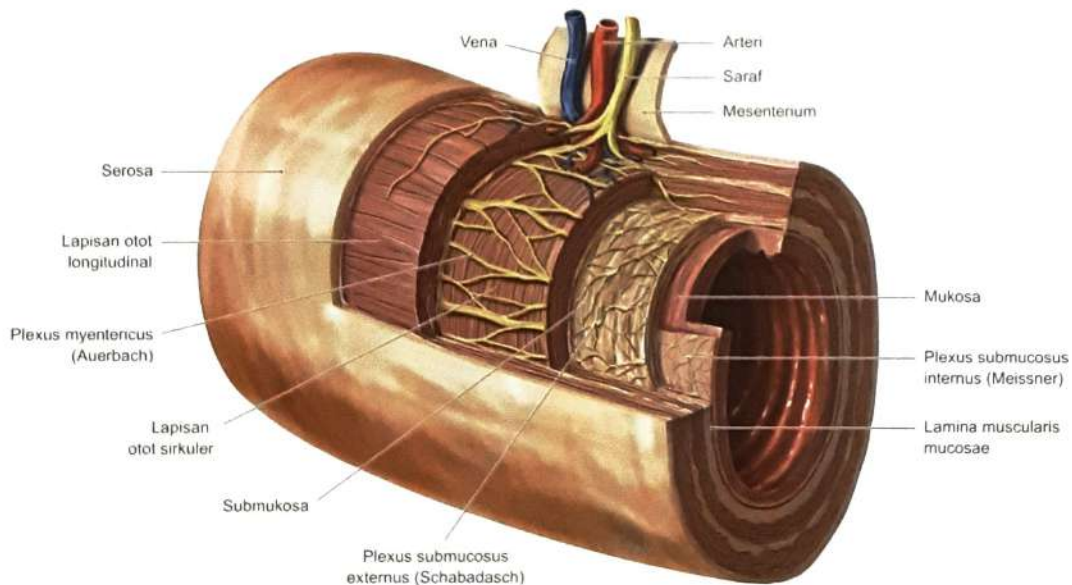
b Perikarya neuron pseudounipolar parasimpatis kranial yang menghantarkan rasa nyeri terdapat di Ganglion inferius serta superius N.vagus; dan perikarya parasimpatis sakral terdapat di ganglia spinalia sacrales S2-4. Serabutnya berjalan sejajar dengan serabut eferen N.vagus. Kemudian, serabut ini sampai ke sistem sentral yang mengolah rasa nyeri.





B Zona nyeri alih (= referred pain = Zona Head)

Aferen rasa nyeri yang berasal dari organ dalam (rasa nyeri visceral) dan rasa nyeri dari dermatom (rasa nyeri somatik) berakhir pada neuron yang sama dan diproses lebih lanjut di Cornu posterius medullae spinalis. Melalui pencampuran serabut eferen visceral dan serabut somatoeferen, alokasi yang akurat terhadap kejadian nyeri dan persepsi nyeri menjadi hilang. Cortex cerebri kemudian mengasosiasikan mis. impuls nyeri yang berasal dari lambung menjadi nyeri yang berasal dari dinding perut. Fenomena ini dinamai nyeri alih (*referred pain*). Impuls nyeri dari sebuah organ dalam tertentu kan selalu diproyeksi pada area kulit yang sama dan ditempat yang tertentu, sehingga proyeksi nyeri ini memberikan petunjuk penting tentang organ mana yang sakit. Area kulit, tempat proyeksi impuls nyeri dari organ dalam tertentu, itu dinamai sesuai dengan deskriptor pertamanya, seorang Ahli Saraf Sir Henry Head, yaitu zona Head. Model penjelasan ini hanya memperhatikan pemrosesan impuls di perifer, yang ditangkap oleh Cortex cerebri sebagai rasa nyeri. Masih belum jelas mengapa, sebaliknya, nyeri somatik tidak dipersepsi sebagai nyeri visceral.



C Sistem saraf enterik di dalam usus halus

Sistem saraf enterik dianggap sebagai bagian ketiga sistem saraf otonom yang berdiri sendiri ("The gut is a small brain"). Karenanya, sistem saraf enterik dibahas setelah sistem saraf simpatis dan parasimpatis. Sistem saraf enterik terdiri dari sekelompok neuron yang berukuran kecil, yang membentuk ganglion mikroskopis yang saling bertumpukan menjadi Plexus di dalam dinding lumen usus. Secara umum, dibedakan *Plexus myentericus (Auerbach)*, yang terletak di antara otot longitudinal dan sirkuler serta *Plexus submucosus* (di dalam lapisan submucosa),

yang selanjutnya dibagi lagi menjadi *Plexus submucosus externus (Schabadasch)* dan *internus (Meissner)* (mengenai lapisan-lapisan sistem saraf enterik yang lebih halus, lih.buku-buku ajar Histologi). Jejaring neuron ini adalah dasar bagi jaras-jaras refleks otonom. Sistem saraf otonom ini pada prinsipnya dapat bekerja tanpa inervasi dari luar, tetapi aktivitasnya sangat dipengaruhi oleh saraf simpatis dan parasimpatis. Contoh aktivitas yang dipengaruhi sistem saraf enterik adalah motilitas enterik, sekresi ke dalam pipa usus, dan aliran darah lokal di pipa usus.