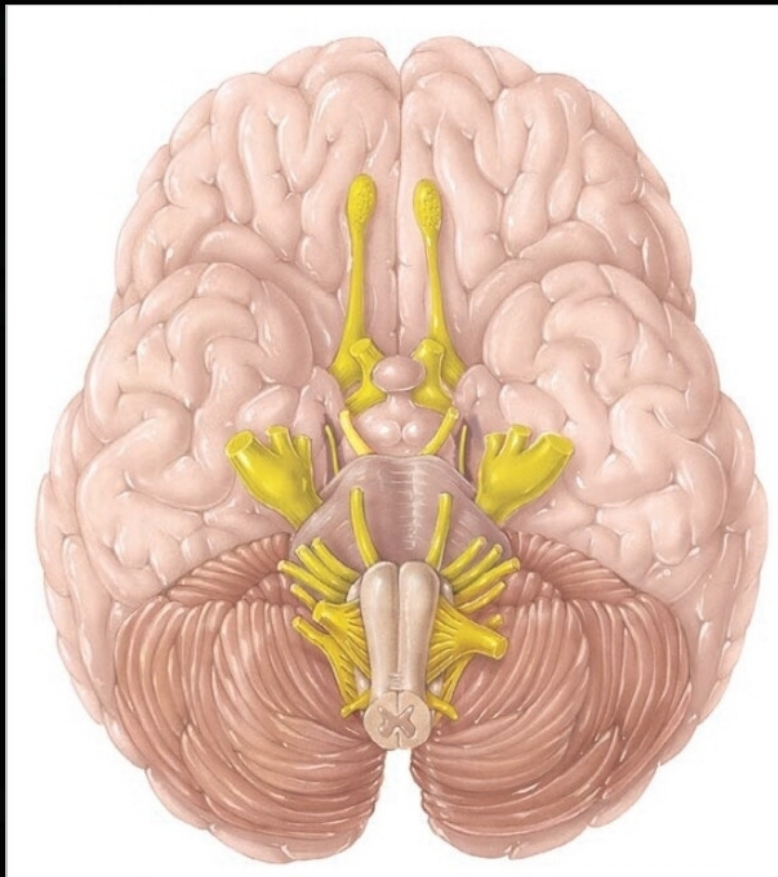


Johan Harlan

Psikologi Faal



PENERBIT GUNADARMA

PSIKOLOGI FAAL

Johan Harlan



Penerbit Gunadarma

Psikologi Faal

Penulis : Johan Harlan

ISBN

Cetakan Pertama, Desember 2018

Disain cover : Joko Slameto

Diterbitkan pertama kali oleh Gunadarma

Jl. Margonda Raya No. 100, Pondokcina, Depok 16424

Telp. +62-21-78881112, 7863819 Faks. +62-21-7872829

e-mail : sektor@gunadarma.ac.id

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengutip atau memperbanyak dalam bentuk apapun sebagian atau seluruh isi buku tanpa ijin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Pembahasan dalam buku Psikologi Faal ini mencakup tentang susunan saraf, penginderaan, dan sistem endokrin. Buku ini dapat dibaca sebagai kelanjutan buku Biopsikologi, tetapi dapat pula digunakan sebagai sumber pustaka tersendiri. Dalam Psikologi Modern, perilaku sesaat individu dianggap sangat ditentukan oleh situasi sesaat, sedangkan situasi sesaat adalah hasil persepsi sesaat individu terhadap lingkungan yang ditentukan oleh penginderaan dan faal susunan sarafnya

Pembelajaran Psikologi Faal membentuk dasar yang kuat untuk memahami berbagai cabang Psikologi lainnya, seperti Neuropsikologi, Neurosains Kognitif dan Psikologi Kognitif. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu penulisan dan penerbitan buku ini. Penulis juga mengharapkan saran-saran perbaikan dari pembaca tentang isi buku ini.

Jakarta, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| Kata Pengantar | v |
| Daftar Isi | vi |
| Bab 1 Pendahuluan | 1 |
| Biologi dan Neurosains | 1 |
| Aliran dalam Psikologi Modern | 2 |
| Dualisme: Mind-Body Problem | 5 |
| Metode Psikologi Faal | 7 |
| Lampiran 1.1 Hierarki Kebutuhan Maslow | 8 |
| Latihan 1 | 10 |
| Bab 2 Susunan Saraf | 13 |
| Klasifikasi Susunan Saraf | 13 |
| Sel Saraf | 14 |
| Sinapsis | 18 |
| Membran Sel dan Konduksi Saraf | 20 |
| Lampiran 2.1 Posisi Anatomi | 24 |
| Lampiran 2.2 Sawar Darah-Otak | 27 |
| Latihan 2 | 28 |
| Bab 3 Perkembangan Susunan Saraf Pusat | 35 |
| Perkembangan Embrional | 35 |
| Proses Neurulasi | 36 |
| Pembentukan SSP | 37 |
| Kesintasan Neuron | 38 |
| Bagian-bagian Susunan Saraf Pusat | 39 |

| | | |
|--------------|------------------------------------|-----------|
| | Pelindung SSP | 41 |
| | Pertumbuhan dan Perkembangan Otak | 42 |
| | Latihan 3 | 45 |
| Bab 4 | Susunan Saraf Pusat I | 47 |
| | Bagian-bagian Otak Depan | 47 |
| | Serebrum | 47 |
| | Thalamus | 53 |
| | Hipothalamus | 54 |
| | Latihan 4 | 56 |
| Bab 5 | Susunan Saraf Pusat II | 59 |
| | Otak Tengah | 59 |
| | Bagian-bagian Otak Belakang | 60 |
| | Pons | 61 |
| | Serebellum | 62 |
| | Medulla Oblongata | 63 |
| | Medulla Spinalis | 64 |
| | Lampiran 5.1 Jalur Impuls Sensorik | 66 |
| | Lampiran 5.2 Jalur Impuls Motorik | 67 |
| | Latihan 5 | 68 |
| Bab 6 | Susunan Saraf Perifer | 72 |
| | Pembagian Saraf Perifer | 72 |
| | Saraf Otak | 73 |
| | Saraf Spinalis | 76 |
| | Susunan Saraf Otonom | 77 |

| | | |
|---------------|--|------------|
| | Ganglion Otonom | 78 |
| | Lampiran 6.1 Skema Perjalanan Saraf Somatik | 83 |
| | Lampiran 6.2 Skema Perjalanan Saraf Otonom | 84 |
| | Latihan 6 | 85 |
| Bab 7 | Penginderaan I | 89 |
| | Reseptor Sensorik | 89 |
| | Klasifikasi Organ Indera | 89 |
| | Organ Indera Kulit | 90 |
| | Dasar Ionik Eksitasi | 91 |
| | Lampiran 7.1 Hierarki Organisasi Sistem Sensorik | 93 |
| | Lampiran 7.2 Model Organisasi Sistem Sensorik | 94 |
| | Latihan 7 | 95 |
| Bab 8 | Penginderaan II | 99 |
| | Indera Pengecapan | 99 |
| | Indera Penghidu | 103 |
| | Latihan 8 | 106 |
| Bab 9 | Penginderaan III | 110 |
| | Telinga dan Bagian-bagiannya | 110 |
| | Indera Pendengaran | 112 |
| | Indera Keseimbangan | 117 |
| | Latihan 9 | 123 |
| Bab 10 | Penginderaan IV | 128 |
| | Mata dan Bagian-bagiannya | 128 |

| | | |
|---------------|---|------------|
| | Indera Penglihatan | 131 |
| | Latihan 10 | 142 |
| Bab 11 | Sistem Endokrin I | 148 |
| | Pengertian Umum Sistem Endokrin | 148 |
| | Aksis Hipotalamus-Hipofisis | 150 |
| | Kelenjar Tiroid | 156 |
| | Kelenjar Paratiroid | 158 |
| | Kelenjar Pinealis | 159 |
| | Pankreas | 159 |
| | Kelenjar Adrenal | 160 |
| | Jaringan Lemak | 162 |
| | Lampiran 11.1 Kelenjar Endokrin Utama dan Fungsinya | 164 |
| | Latihan 11 | 168 |
| Bab 12 | Sistem Endokrin II | 175 |
| | Pola Umum Pengendalian Reproduksi | 175 |
| | Organ Reproduksi Wanita | 175 |
| | Organ Reproduksi Pria | 184 |
| | Perilaku Seksual | 187 |
| | Lampiran 12.1 Perkembangan Embrional Genitalia | 189 |
| | Lampiran 12.2 Testis Determining Factor | 191 |
| | Lampiran 12.3 Karakteristik Seks Sekunder | 193 |
| | Latihan 12 | 194 |
| Bab 13 | Obat dan Transmisi Sinapsis | 202 |
| | Neurotransmitter | 202 |
| | Klasifikasi Obat Otonom | 205 |
| | Mekanisme Kerja Obat Otonom | 207 |

| | |
|---|------------|
| Klasifikasi Farmakologis dan Contoh Obat Otonom | 208 |
| Latihan 13 | 211 |
| Kepustakaan | 217 |

BAB 1

PENDAHULUAN

❖ Biologi dan Neurosains

Studi ilmiah tentang manusia dibedakan menjadi **Psikologi**, **Biologi** (**Biologi Manusia**), dan **Sosiologi**. Psikologi membahas mengenai aspek psikis, Biologi membahas mengenai aspek somatis, dan Sosiologi membahas mengenai aspek sosial.

Biologi adalah studi sistematis tentang kehidupan (*Biology is the systematic study of life*). **Neurosains** (*Neuroscience*) adalah cabang Biologi yang mempelajari tentang susunan saraf. Salah satu cabang Neurosains adalah **Biopsikologi**, yaitu studi ilmiah mengenai biologi perilaku, sehingga Biopsikologi disebut juga sebagai **Neurosains Perilaku** (**Psikologi** adalah ilmu tentang perilaku).

Biopsikologi menggunakan **Biologi** sebagai pendekatan untuk memahami perilaku manusia dan hewan, terutama ditinjau dari aspek faal susunan saraf. **Perilaku** adalah seluruh aktivitas organism yang tampak berikut proses psikologi yang dianggap melatar-belakanginya.

Subjek pembelajaran Biopsikologi adalah:

- **Manusia**
- **Hewan:** Tikus, kucing, anjing, dan primata

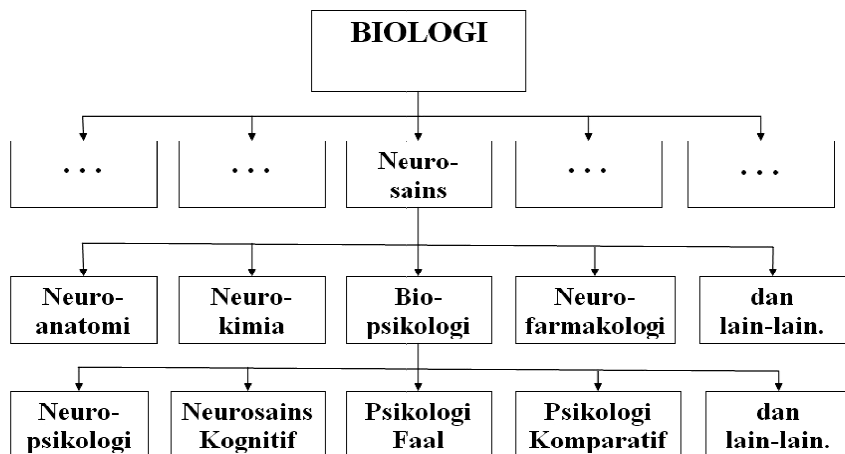
Cabang-cabang Neurosains lainnya adalah:

- **Psikiatri Biologis**
- **Neuro-biologi Perkembangan**
- **Neuro-anatomi:** Studi tentang struktur susunan saraf
- **Neuro-kimia:** Studi tentang dasar kimiawi aktivitas saraf
- **Neuro-endokrinologi:** Studi tentang interaksi antara susunan saraf dengan sistem endokrin
- **Neuro-etologi**
- **Neuro-patologi:** Studi tentang kelainan susunan saraf
- **Neuro-farmakologi:** Studi tentang efek obat terhadap aktivitas saraf
- **Neuro-fisiologi (Neuro-faal):** Studi tentang fungsi dan aktivitas susunan saraf

Cabang-cabang Biopsikologi adalah:

- **Psikologi Faal:** Studi tentang mekanisme saraf pada perilaku
- **Psiko-farmakologi:** Studi tentang efek obat terhadap otak dan perilaku
- **Neuro-psikologi:** Studi tentang efek psikologis kerusakan otak pada pasien manusia
- **Psiko-fisiologi (Psiko-faal):** Studi tentang hubungan antara aktivitas faal dan proses psikologis pada subjek manusia
- **Neurosains Kognitif:** Studi tentang dasar saraf mengenai kognisi
- **Psikologi Komparatif:** Studi tentang perbandingan perilaku pada berbagai spesies

Letak dan kedudukan Psikologi Faal dalam Pohon Ilmu Biologi diperlihatkan pada gambar 1.1 berikut.



Gambar 1.1 Psikologi Faal dan Pohon Ilmu Biologi

❖ Aliran dalam Psikologi Modern

Beberapa aliran dalam Psikologi Modern yaitu:

- **Strukturalisme** (*structuralism*)
- **Fungsionalisme** (*functionalism*)
- **Behaviorisme** (*behaviorism*)
- **Gestaltistik** (*gestaltists*)
- **Psikoanalisis** (*psychoanalysis*)
- **Psikologi stimulus-respons** (*SR psychology*)
- **Psikologi humanistik** (*humanist psychology*)

- **Psikologi transpersonal** (*transpersonal psychology*)
- **Psikologi kognitif** (*cognitive psychology*)

▪ **Strukturalisme**

Aliran Strukturalisme dipelopori oleh **Wilhelm Wundt** (1842-1910). Objek studinya yaitu berbagai komponen kesadaran (*consciousness*). Fokus eksperimennya adalah pikiran, perasaan, sensasi, persepsi, dan gagasan yang spontan dan tak terbiaskan oleh waktu.

▪ **Fungsionalisme**

Aliran Fungsionalisme dipelopori oleh **Francis Galton** (1822-1911), yang terinspirasi oleh hasil studi Charles Darwin. Objek studinya adalah evolusi perilaku manusia dan cara-cara berbagai spesies beradaptasi terhadap lingkungan. Menurut aliran Fungsionalisme, sumber utama pengaruh terhadap perilaku adalah alam (*nature*) dan lingkungan (*environment*).

▪ **Behaviorisme**

Aliran Behaviorisme dipelopori oleh **James Watson** (1878-1958). Objek studinya difokuskan hanya terhadap hal-hal yang dapat diamati (diobservasi) dan dicatat secara objektif. Studi terhadap status mental atau kesadaran dianggap tak masuk akal, karena kesadaran tak dapat dijelaskan ataupun ditentukan lokasinya (di otak).

▪ **Gestaltistik**

Aliran Gestaltistik dipelopori antara lain oleh **Max Wertheimer**, **Kurt Koffka**, dan **Wolfgang Köhler**. Dalam pandangan Gestaltistik, ketika unsur-unsur informasi terkumpul di otak, akan muncul sesuatu yang baru, yang bernilai lebih daripada komponen-komponennya (*the whole is greater than the sum of its parts*).

Gestalt adalah pola yang terbentuk di otak hasil persepsi komponen-komponen informasi.

▪ **Psikoanalisis**

Aliran Psikoanalisis dipelopori oleh **Sigmund Freud** (1856-1939). Dalam pandangan Psikoanalisis, kebanyakan masalah perilaku orang dewasa dapat dilacak ke pengalaman masa kecil yang telah lama terlupakan, kebanyakan terkait dengan seks dan agresi serta tak ingin diterima oleh

kesadaran. Jika pengalaman tersebut dapat dimunculkan ke alam sadar, individu akan terbebas dari kendalinya yang tersembunyi.

- **Psikologi stimulus-respons**

Aliran Psikologi stimulus-respons dipelopori oleh **BF Skinner** (1904-1990). Dalam pandangan Psikologi stimulus-respons, stimulus tertentu dalam lingkungan akan menghasilkan respons perilaku tertentu. Respons ini terbentuk, terpelihara, atau termodifikasi melalui hadiah dan hukuman (*rewards and punishments*). Dalam pandangan Skinner tidak ada kemauan bebas, manusia adalah produk dari lingkungan dan pengkondisian terhadap diri mereka.

- **Psikologi humanistik**

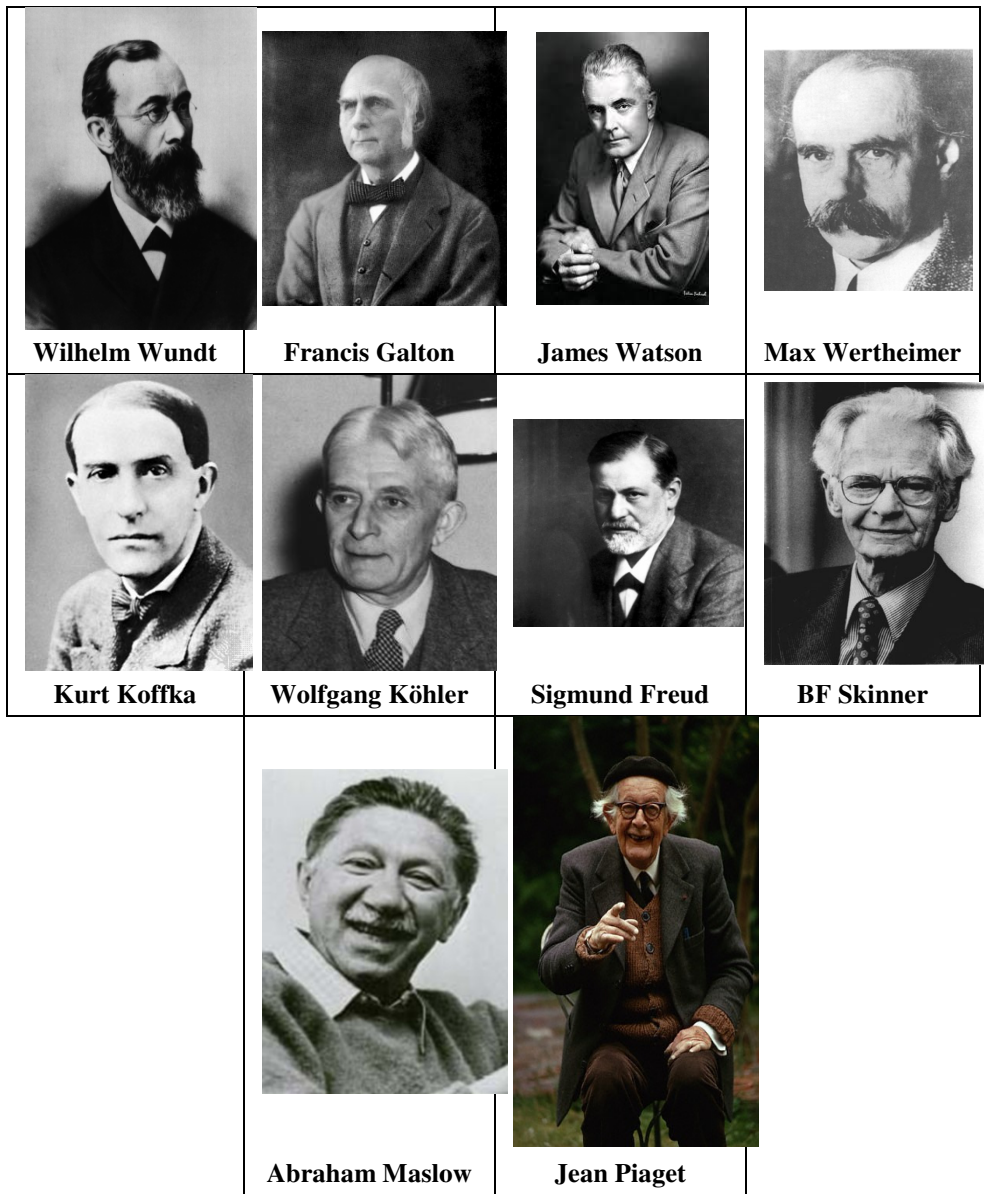
Aliran Psikologi humanistik dipelopori oleh **Abraham Maslow** (1908-1970). Objek studinya terfokus pada manusia sehat, serta cara mereka berpikir, merasa, dan memecahkan masalah. Studi utama Maslow adalah tentang **aktualisasi-diri** sebagai proses pencapaian potensi sepenuhnya pada seseorang.

- **Psikologi transpersonal**

Aliran Psikologi transpersonal ini juga dipelopori oleh **Abraham Maslow**. Objek studinya terfokus pada pengalaman personal yang tampaknya melampaui keadaan biasa. Contohnya yaitu perubahan status kesadaran, pikiran, dan perasaan selama periode tidur atau meditasi, selama di bawah pengaruh obat, selama konversi religius, dan selama dalam puncak kebahagiaan.

- **Psikologi kognitif**

Aliran Psikologi kognitif dipelopori oleh **Jean Piaget** (1896-1980). Objek studinya terfokus pada fungsi-fungsi mental secara menyeluruh, yaitu proses berpikir, memori, perkembangan bahasa, persepsi, imajinasi, dan sebagainya. Informasi yang sampai ke otak bukan hanya sekedar diterima, melainkan harus diproses.



Gambar 2 Beberapa pelopor aliran Psikologi Modern

❖ **Dualisme: *Mind-Body Problem***

Paham **Dualisme** memisahkan antara **pikiran** (*mind*; proses mental) dengan **keadaan tubuh** (proses fisik). Pendukung paham dualisme antara lain Plato dan Aristoteles.

Plato (427 SM-347 SM) dan **Aristoteles** (384 SM-322 SM) menafsirkan dualisme sebagai **Intelligensia manusia** (*mind*) dengan **tubuh fisik**. **René Descartes** (1596-1650) sebaliknya menafsirkan bahwa **pikiran** (*mind*) adalah '*non-extended, non-physical substance*' yang dibedakan dengan **otak** (intelligensia).

Paham **Monisme** menjadi dasar berkembangnya **Biopsikologi**, yaitu studi tentang perilaku dengan menggunakan pendekatan biologis. Bapak pendiri Biopsikologi adalah **Donald Olding Hebb** (1904-1985). Hebb merupakan penentang behaviorisme yang radikal. Ia mencoba memahami **bagaimana neuron di otak berkontribusi bagi proses-proses psikologi** seperti berpikir.

Hasil pemikiran Hebb disimpulkan dalam tiga Postulat Teori Hebb, yaitu:

1. **Pembelajaran Hebb** (*Hebb learning*): **Efikasi koneksi antar-neuron meningkat sebanding dengan korelasi antar aktivitas pre- dan post-sinaptik.**
Dalam Neurosains, proposal ini diacu sebagai '**sinapsis Hebb**' (*Hebb synapse*) ataupun '**aturan Hebb**' (*Hebb rule*), yang menghasilkan algoritma pembelajaran dasar untuk menyesuaikan bobot koneksi pada **model jejaring saraf artifisial** (*artificial neural network*; ANN).
2. **Assembli sel** (*Cell-assemblies*): Kelompok neuron yang cenderung untuk **meletup berbarengan.**
Representasi mental (citra, gagasan) pada otak adalah kelompok atau assembli neuron yang cenderung untuk aktif pada waktu berbarengan **akibat pembelajaran Hebb.** Letupan neuron pada assembli sel dapat **tetap bertahan setelah peristiwa pemicu**, dan bertahannya letupan memori ini merupakan suatu **bentuk memori.**
3. **Sekuens fase** (*Phase sequence*): Berpikir merupakan **aktivitas sekuensial himpunan assembli sel.**
Tiap stimulasi tertentu yang seringkali diulangi akan menghasilkan pembentukan 'assembli sel' secara lambat, yang selanjutnya akan memfasilitasi sistem tertentu, biasanya yaitu **fasilitasi motorik spesifik.** Seri peristiwa demikian membentuk '**sekuens fase**' - proses berpikir. **Tiap aksi assembli** dapat dibangkitkan oleh **assembli terdahulu**, oleh suatu **peristiwa sensorik**, ataupun biasanya oleh **keduanya.**

❖ Metode Psikologi Faal

Psikologi Faal menggunakan gabungan metode eksperimental Psikologi (yaitu '**generalisasi**') dan Ilmu Faal (yaitu '**reduksi**') yang diterapkan pada berbagai hal yang dianggap penting dalam bidang psikologi. Beberapa bidang penerapan metode Psikologi Faal antara lain:

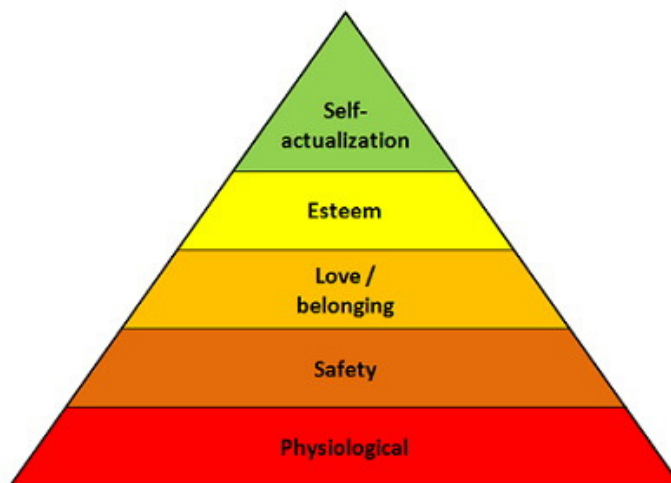
- Penglihatan
- Pendengaran, sensasi tubuh, sensasi kimiawi
- Pengendalian gerak
- Tidur dan bangun
- Perilaku reproduktif
- Emosi dan stress
- Perilaku pencernaan
- Belajar dan ingatan

Lampiran 1.1

HIERARKI KEBUTUHAN MASLOW

Abraham Maslow mengajukan teorinya tentang hierarki kebutuhan hidup manusia yang diformulasikan dalam 5 tingkatan (*5 levels hierarchy of human needs*), yaitu (gambar I.1):

1. **Kebutuhan fisiologis** (*physiological*).
Kebutuhan makan, minum, pakaian, rumah, dan sebagainya.
2. **Kebutuhan keamanan** (*safety*).
Keamanan pribadi, jaminan kesehatan, dan sebagainya.
3. **Kebutuhan cinta/raza dimiliki** (*love/belonging*).
Kebutuhan terhadap persahabatan, keluarga, lingkungan sosial, dan sebagainya.
4. **Kebutuhan kehormatan/harga diri** (*esteem*).
Kebutuhan dihormati/dihargai oleh pihak lain, pemilikan status sosial, reputasi diri, dan sebagainya.
5. Aktualisasi diri (*self-actualization*).
Pengembangan diri, realisasi potensial/bakat yang dimiliki, dan sebagainya.

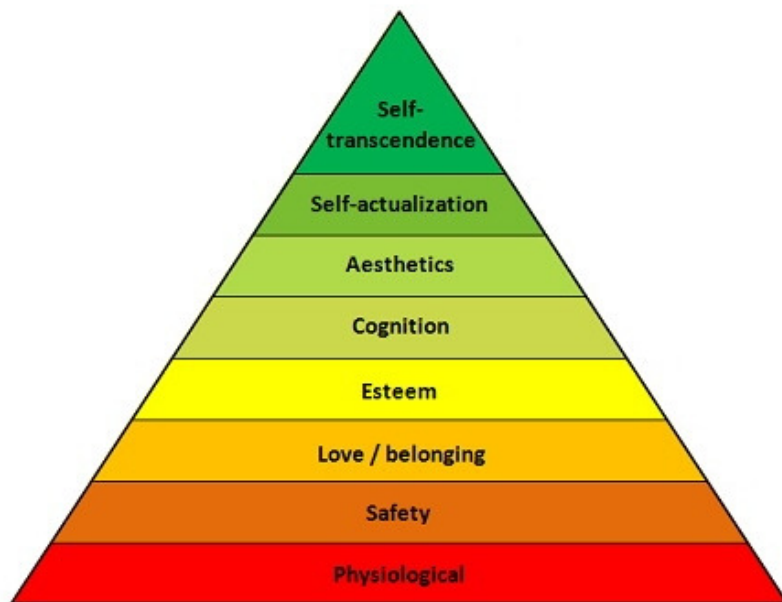


Gambar I.1 Hierarki kebutuhan Maslow 5-L

Pada usia lebih lanjut, Maslow lebih aktif mendalami dan mengembangkan aliran Psikologi Transpersonal. Dalam konteks pengembangan Psikologi Transpersonal ini, ia menambahkan 3 level pada

hierarki kebutuhan manusia ini menjadi 8 level (*8 levels hierarchy of human needs*), yaitu (gambar I.2):

1. Kebutuhan fisiologis (*physiological*).
2. Kebutuhan keamanan (*safety*).
3. Kebutuhan cinta/perasaan dimiliki (*love/belonging*).
4. Kebutuhan kehormatan/harga diri (*esteem*).
5. **Kognisi** (*cognition*).
Kebutuhan terhadap pengetahuan, inteligensia, dan sebagainya.
6. **Estetika** (*aesthetics*).
Kemampuan menghargai keindahan, karya seni, dan sebagainya.
7. Aktualisasi diri (*self-actualization*).
8. **Transendensi diri** (*self-transcendence*).
Membantu aktualisasi diri pihak lain, sifat altruisme, dan sebagainya.



Gambar I.1 Hierarki kebutuhan Maslow 8-L

LATIHAN 1

Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Ilmu tentang susunan saraf dinamakan:
A. Neuro-anatomi
B. Neuro-fisiologi
C. Neuro-sains
D. Neuro-patologi
2. Etologi adalah:
A. Ilmu tentang struktur susunan saraf
B. Ilmu tentang dasar-dasar biologis perilaku
C. Ilmu tentang kelainan susunan saraf
D. Ilmu tentang perilaku hewan
3. Biopsikologi dinamakan juga:
A. Psikiatri Biologis
B. Neuro-fisiologi
C. Neurosains Perilaku
D. Semuanya salah
4. Yang **bukan** merupakan cabang Biopsikologi yaitu:
A. Psikiatri biologis
B. Psikologi faal
C. Psiko-faal
D. Psikologi komparatif
5. Ilmu mengenai studi tentang efek psikologis kerusakan otak pada pasien manusia adalah:
A. Neuro-psikologi
B. Neurosains Kognitif
C. Psikologi Komparatif
D. Semuanya salah
6. Aliran Psikologi yang terfokus pada pembelajaran mengenai pikiran, perasaan, sensasi, persepsi, dan gagasan yang spontan dan tak terbiaskan oleh waktu adalah:
A. Strukturalisme
B. Fungsionalisme
C. Behaviorisme
D. Semuanya salah
7. Aliran yang dipelopori oleh Francis Galton mengutamakan pembelajaran mengenai:
A. Pikiran, perasaan, sensasi, dan persepsi
B. Evolusi perilaku manusia dan adaptasi spesies terhadap lingkungan
C. Hal-hal yang dapat diamati dan dicatat secara objektif
D. Semuanya salah

8. Pelopor utama aliran Behaviorisme adalah:

| | |
|-------------------|-------------------|
| A. Wilhelm Wundt | C. James Watson |
| B. Francis Galton | D. Semuanya salah |

9. Gestalt adalah:

| | |
|---|---|
| A. Proses psikologi yang melatar-belakangi perilaku organisme | B. Pola yang terbentuk di otak hasil persepsi komponen-komponen informasi |
| C. Interaksi antara susunan saraf dengan sistem endokrin | D. Semuanya salah |

10. Pendukung utama pernyataan "*the whole is greater than the sum of its parts*" adalah:

| | |
|-------------------|--------------------|
| A. Max Wertheimer | C. Wolfgang Köhler |
| B. Kurt Koffka | D. Semuanya benar |

11. Sigmund Freud menyatakan bahwa masalah perilaku orang dewasa berakar pada pengalaman masa kecil yang kebanyakan terkait dengan masalah:

| | |
|----------------------|--------------------|
| A. Keingintahuan | C. Seks dan agresi |
| B. Humor dan lelucon | D. Semuanya salah |

12. Pendukung paham dualisme antara lain adalah:

| | |
|----------------|-------------------|
| A. Plato | C. René Descartes |
| B. Aristoteles | D. Semuanya benar |

13. Paham yang menganggap bahwa pikiran merupakan fenomena yang dihasilkan oleh kerja susunan saraf ialah:

| | |
|-------------|-------------------|
| A. Monisme | C. Fungsionalisme |
| B. Dualisme | D. Semuanya salah |

14. Bapak pendiri Biopsikologi adalah:

| | |
|-------------------|-----------------------|
| A. B.F. Skinner | C. Jean Piaget |
| B. Abraham Maslow | D. Donald Olding Hebb |

15. Tiga postulat teori Hebb adalah sebagai berikut, **kecuali**:

| | |
|----------------------|---------------------------------|
| A. Pembelajaran Hebb | B. Assembli sel |
| C. Sekuens genetik | D. Semuanya benar tanpa kecuali |

16. Pembelajaran Hebb menyatakan bahwa efikasi koneksi antar-neuron:
 - A. Selalu meningkat sebanding dengan korelasi antar aktivitas pre- dan post-sinaptik
 - B. Kadangkala meningkat sebanding dengan korelasi antar aktivitas pre- dan post-sinaptik
 - C. Berbanding terbalik dengan korelasi antar aktivitas pre- dan post-sinaptik
 - D. Semuanya salah

17. Dalam bidang Neurosains, postulat pembelajaran Hebb terutama dimanfaatkan pada:
 - A. Model jaringan saraf biologis
 - B. Model jejaring saraf artifisial
 - C. (A) dan (B) benar
 - D. (A) dan (B) salah

18. Assembli sel adalah:
 - A. Kelompok neuron yang cenderung untuk meletup berbarengan
 - B. Kelompok neuron yang cenderung untuk meletup secara sekuensial
 - C. (A) dan (B) kadang-kadang benar
 - D. (A) dan (B) selalu salah

19. Memori menurut postulat Hebb adalah:
 - A. Letupan neuron pada assembli sel yang hanya terjadi sesaat selama peristiwa pemicu
 - B. Letupan neuron pada assembli sel yang terjadi sesaat setelah peristiwa pemicu
 - C. Letupan neuron pada assembli sel yang tetap bertahan setelah peristiwa pemicu
 - D. Semuanya salah

20. Contoh produk sekuens fase adalah:
 - A. Proses berpikir
 - B. Emosi
 - C. Persepsi
 - D. Semuanya salah

21. Penjelasan ilmiah dalam psikologi Faal memanfaatkan metode:
 - A. Generalisasi
 - B. Reduksi
 - C. A) dan B) benar
 - D. A) dan B) salah

22. Beberapa bidang yang menjadi objek pembelajaran Psikologi Faal antara lain yaitu:
 - A. Tidur dan bangun
 - B. Perilaku reproduktif
 - C. Emosi dan stress
 - D. Semuanya benar

BAB 2

SUSUNAN SARAF

❖ **Klasifikasi Susunan Saraf**

Susunan saraf terdiri atas:

- Susunan Saraf Pusat, terbentuk oleh:
 - Otak
 - Medulla spinalis (sumsum tulang belakang)
- Susunan Saraf Perifer, terbentuk oleh:
 - Susunan saraf somatis
 - Susunan saraf otonom

▪ **Susunan Saraf Pusat (SSP)**

Susunan saraf pusat merupakan pengendali bagi seluruh susunan saraf, terlindung dalam struktur tulang. Susunan saraf pusat terbagi atas:

- Otak (*brain*): berada dalam tengkorak (kranium)
- Medulla spinalis (*spinal cord*): berada dalam tulang belakang (vertebra)

▪ **Susunan Saraf Perifer**

Susunan saraf perifer terbagi menjadi:

- Susunan saraf somatis yang terdiri atas:
 - Divisi efferen/motorik
 - Divisi afferen/sensorik
- Susunan saraf otonom yang terdiri atas:
 - Divisi simpatis
 - Divisi parasimpatis

▪ **Susunan Saraf Somatis**

Susunan saraf somatis bersifat volunter, yaitu aktivitasnya berada di bawah pengaruh kesadaran. Susunan saraf somatis terbagi atas:

- Divisi efferen/motorik, yang berfungsi untuk menghantarkan impuls saraf dari SSP ke organ efektor
- Divisi afferen/sensorik, yang berfungsi untuk menghantarkan impuls saraf dari organ reseptor ke SSP

▪ **Susunan Saraf Otonom**

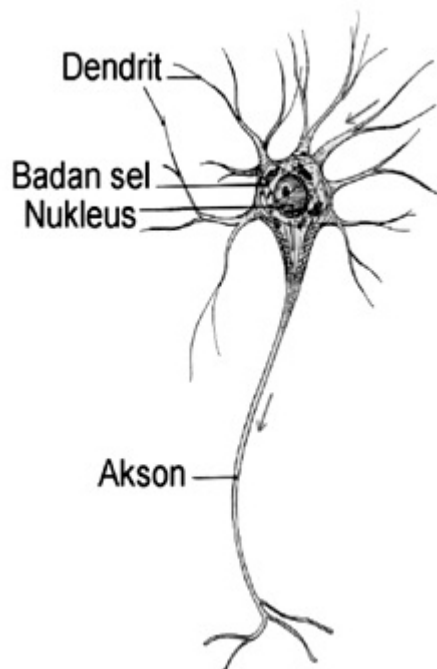
Susunan saraf otonom bersifat involuntar, yaitu aktivitasnya tidak di bawah pengaruh kesadaran. Susunan saraf otonom terbagi atas:

- Divisi simpatis, yang aktif dalam keadaan tingkat kewaspadaan yang meninggi
- Divisi parasimpatis, yang aktif dalam keadaan tingkat kewaspadaan yang menurun

❖ **Sel Saraf**

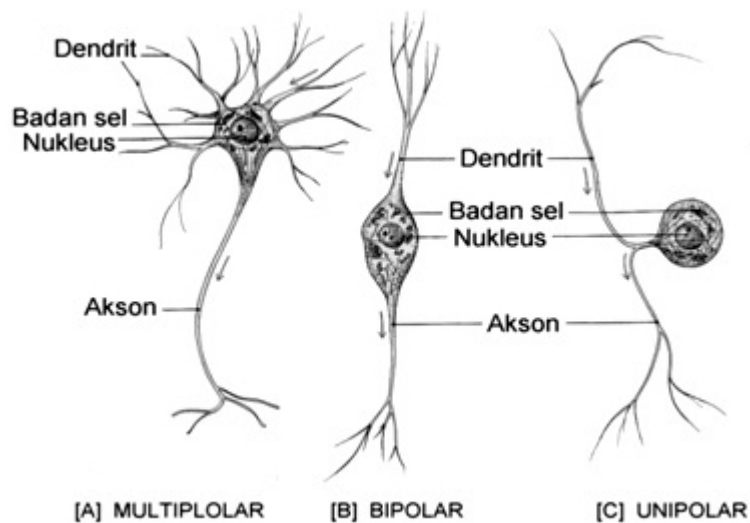
Sel saraf (neuron) merupakan unit fungsional terkecil susunan saraf. Neuron (gambar 2.1) terdiri atas:

- Badan sel (soma; perikaryon), di dalamnya terdapat
 - Nukleus (inti sel)
 - Sitoplasma
- Serabut saraf (*nerve fiber*). Jenisnya yaitu:
 - Dendrit
 - Akson (neurit)



Gambar 2.1 Sel saraf

Macam-macam neuron diperlihatkan pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Macam-macam neuron

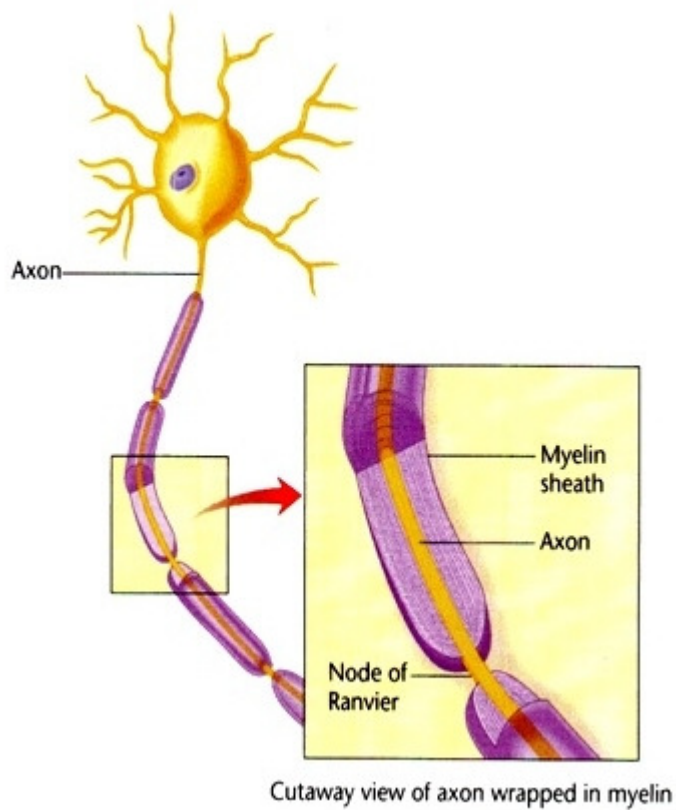
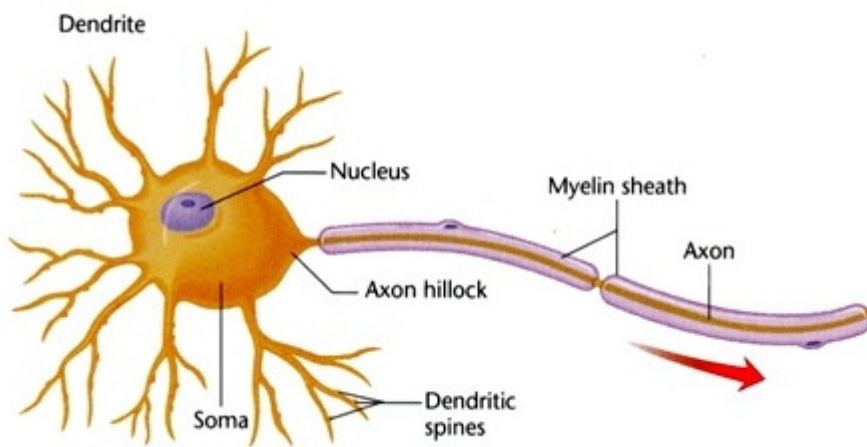
▪ Serabut Saraf

Jenis serabut saraf yaitu:

- Dendrit
Umumnya satu neuron memiliki beberapa dendrit. Serabut saraf dendrit umumnya pendek. Fungsi dendrit yaitu menghantarkan impuls saraf dari luar ke badan sel.
- Akson (neurit)
Untuk tiap neuron hanya ada satu akson. Akson biasanya merupakan serabut saraf yang panjang. Fungsi akson yaitu meneruskan impuls saraf dari badan sel ke neuron lain atau ke organ efektor.

▪ Akson

Sebagian akson terbungkus oleh sarung mielin (selubung lipid), sehingga dinamakan akson bermielin (gambar 2.3).



Gambar 2.2 Akson bermielin

Sarung mielin ini dibentuk oleh sel-sel Schwann (neurolemmosit; gambar 2.4). Tempat pertemuan dua sel Schwann dinamakan nodus Ranvier.



Gambar 2.4 Sel Schwann

▪ **Nukleus dan Ganglion**

Dalam nomenklatur susunan saraf selain sebagai inti sel, nukleus (*plural: nuklei*) memiliki arti lain, yaitu kumpulan badan sel saraf yang berada dalam susunan saraf pusat. Jika kumpulan badan sel saraf ini berada pada susunan saraf perifer, maka dinamakan ganglion (*plural: ganglia*).

Adakalanya didapat pengecualian, misalnya ganglia basalis yang didapatkan pada serebrum (susunan saraf pusat).

▪ **Traktus dan Nervus**

Traktus adalah kumpulan serabut saraf yang membentuk berkas dalam susunan saraf pusat, sedangkan **nervus** adalah kumpulan serabut saraf yang membentuk berkas dalam susunan saraf perifer.

▪ **Penghantaran Impuls Saraf**

Penghantaran impuls saraf melalui akson bermielin berlangsung lebih cepat daripada penghantaran melalui akson tak-bermielin. Penghantaran impuls saraf melalui akson bermielin meloncat-loncat dari satu nodus Ranvier ke nodus Ranvier berikutnya. Penghantaran impuls saraf demikian dinamakan penghantaran saltatorik.

❖ Sinapsis

Sinapsis adalah sambungan anatomis antara dua neuron atau antara neuron dengan organ efekturnya, yang dapat berupa otot atau kelenjar. Dengan demikian sinapsis dapat berupa:

- **Sinapsis antar-neuron:**

Sinapsis antar-neuron adalah sambungan anatomis antara neuron pre-sinaptik dengan dendrit atau badan sel neuron post-sinaptik

- **Sambungan neuro-efektor atau neuro-muskular:**

Sambungan neuro-efektor/neuro-muskular adalah sambungan anatomis antara akson neuron dengan otot atau kelenjar.

- **Transmisi sinaptik**

Transmisi sinaptik adalah penghantaran impuls saraf dari serabut pre-sinaptik menyeberangi celah sinapsis sampai mencapai serabut post-sinaptik ataupun organ efektor.

- **Tipe Sinapsis**

Tipe sinapsis dibedakan menurut hasil transmisinya, cara transmisinya, serta jumlah serabut saraf pre-sinaptik dan post-sinaptiknya.

- **Sinapsis menurut hasil transmisi**

Menurut hasil transmisinya, sinapsis dibedakan menjadi:

- Sinapsis dengan transmisi pengekstiasi (*excitatory*):

Pada sinaptik pengekstiasi, impuls saraf yang datang dari serabut pre-sinaptik diteruskan dan diperkuat intensitasnya oleh serabut saraf post-sinapsis.

- Sinapsis dengan transmisi penghambat (*inhibitory*):

Pada sinaptik penghambat, impuls saraf yang datang dari serabut saraf pre-sinaptik diperlemah intensitasnya atau tak diteruskan oleh serabut saraf post-sinaptik.

- **Sinapsis menurut cara transmisi**

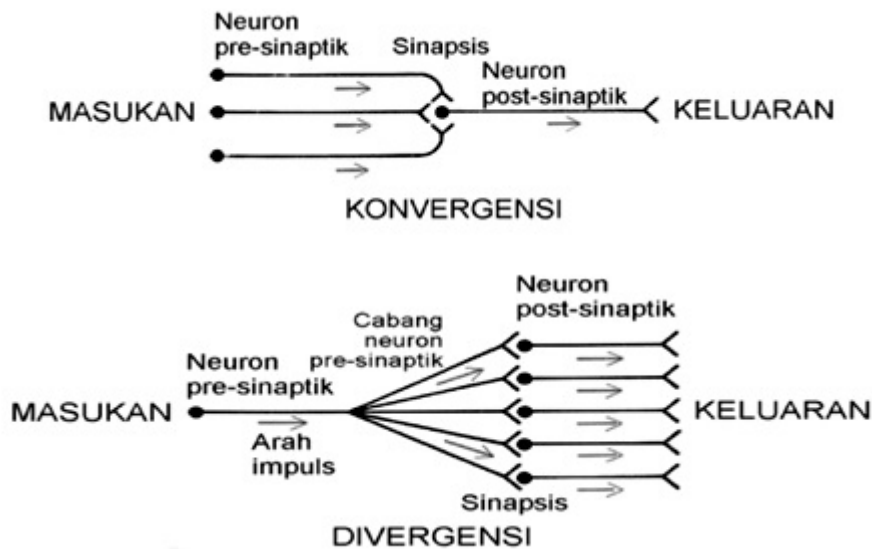
Menurut cara transmisinya, sinapsis dibedakan menjadi:

- Sinapsis dengan **transmisi elektrik**:
Pada sinaptik elektrik, impuls saraf elektrik yang datang dari serabut saraf pre-sinaptik menyeberangi celah sinapsis tetap dalam bentuk stimulus elektrik sampai diteruskan oleh serabut saraf post-sinaptik. Tipe sinapsis ini didapatkan pada hewan yang perkembangan evolusinya tergolong rendah.
- Sinapsis dengan **transmisi kimiawi**:
Pada sinaptik kimiawi, impuls saraf elektrik yang datang dari serabut saraf pre-sinaptik diteruskan diteruskan dalam bentuk pelepasan molekul-molekul kimia yang menyeberangi celah sinapsis sampai dilanjutkan dalam bentuk impuls saraf elektrik kembali pada serabut saraf post-sinaptik. Tipe sinapsis pada hewan Mammalia, hampir seluruhnya adalah sinaptik kimiawi

- **Sinapsis menurut jumlah serabut saraf pre-sinaptik dan post-sinaptik.**

Menurut jumlah serabut saraf pre-sinaptik dan post-sinaptik (gambar 2.5), sinapsis dibedakan menjadi:

- Sinapsis dengan **transmisi konvergen**:
Beberapa serabut saraf pre-sinaptik yang datang diteruskan oleh satu serabut saraf post-sinaptik.
- Sinapsis dengan **transmisi divergen**:
Satu serabut saraf pre-sinaptik yang datang diteruskan oleh beberapa serabut saraf post-sinaptik.

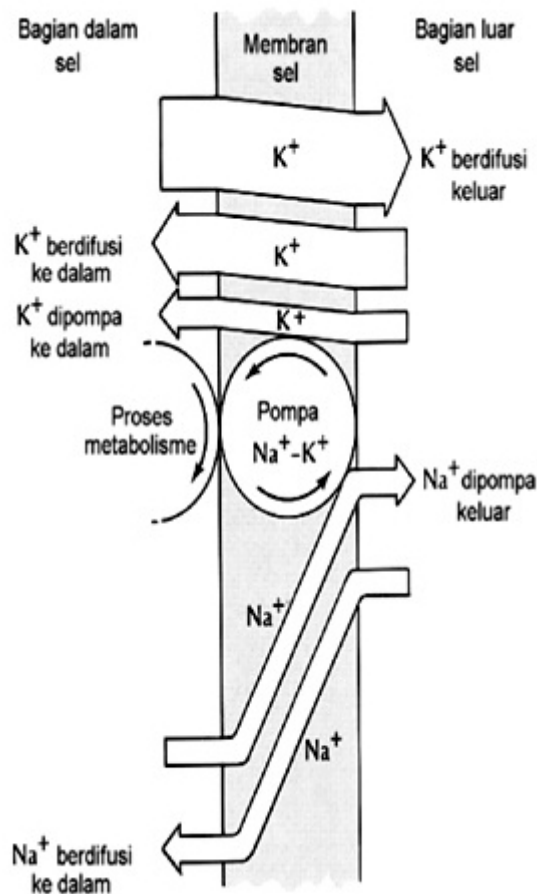


Gambar 2.5 Sinapsis konvergen dan divergen

❖ **Membran Sel dan Konduksi Saraf**

▪ **Potensial Membran**

Pada sel dalam keadaan istirahat (pada sel saraf tidak sedang menghantarkan impuls saraf), maka di luar membran sel terutama didapatkan ion Na^+ dan Cl^- , sedangkan dalam membran sel terutama didapatkan ion K^+ dan Prot^- . Keseimbangan susunan ion ini dipelihara oleh adanya energi difusi, tekanan elektrostatis, dan pompa ion (gambar 2.6). Dalam keadaan istirahat ini, besarnya potensial membran adalah -70 mV dengan muatan positif pada tepi luar membran dan muatan negatif pada tepi dalam membran.



Gambar 2.6 Membran sel dan potensial membran istirahat

Sel dalam keadaan istirahat ini disebut dalam keadaan ‘terpolarisasi’ (*polarized*). Komponen-komponen pengaturan keseimbangan potensial membran istirahat ini diperlihatkan pada tabel 2.1 berikut.

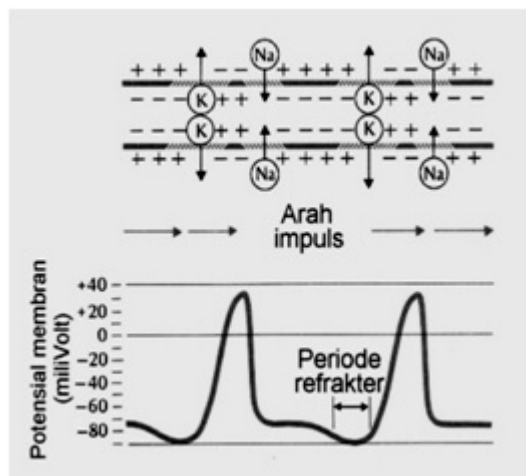
Tabel 2.1 Komponen pengaturan keseimbangan potensial membran istirahat

| | Tekanan ke dalam | Tekanan ke luar | Penyeimbang |
|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Na^+ | ES: 70 mV Difusi: 50 mV | – | Pompa Natrium: 120 mV ke luar |
| K^+ | ES: 70 mV | Difusi: 90 mV | Pompa Kalium: 20 mV ke dalam |
| Cl^- | Difusi: 70 mV | ES: 70 mV | – |
| Prot^- | Intra-sel | | |

ES: Tekanan elektro-statik

▪ Konduksi Saraf

Konduksi saraf terjadi pada saat serabut saraf menghantarkan impuls saraf elektrik. Membran sel pada saat menghantarkan konduksi saraf ini disebut dalam keadaan depolarisasi (*depolarized*). Fenomena elektrik depolarisasi ini diperlihatkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Depolarisasi membran sel

Pada saat impuls saraf sampai ke suatu tempat pada membran serabut saraf, maka pada saat itu di tempat itu pompa Natrium dan pompa Kalium berhenti bekerja. Akibatnya yaitu pada tempat itu ion Na^+ masuk ke dalam

sel dan ion K^+ ke luar sel, sehingga di tempat itu terjadi perubahan potensial elektrik sampai mencapai potensial maksimum +30 mV. Dalam keadaan ini membran sel disebut dalam keadaan depolarisasi.

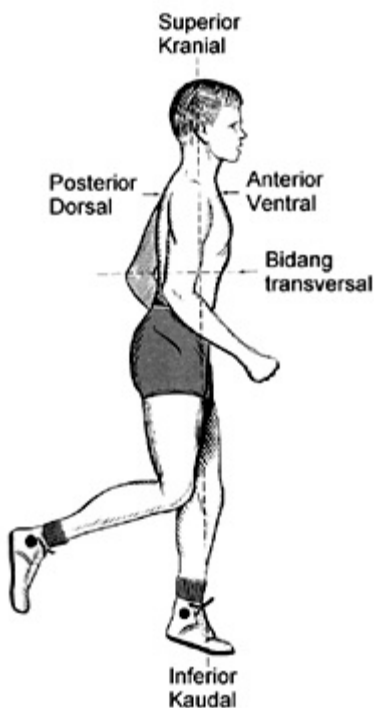
Setelah itu karena impuls telah melewati tempat itu, pompa Natrium dan pompa Kalium mulai bekerja kembali, ion Na^+ dipompa ke luar dan ion K^+ dipompa ke dalam, sehingga potensial membran berangsur-angsur turun kembali ke keadaan istirahat. Selama penurunan potensial elektriknya ini membran sel disebut dalam keadaan repolarisasi.

Lampiran 2.1

POSISI ANATOMI

Beberapa bidang anatomi adalah (gambar II.1):

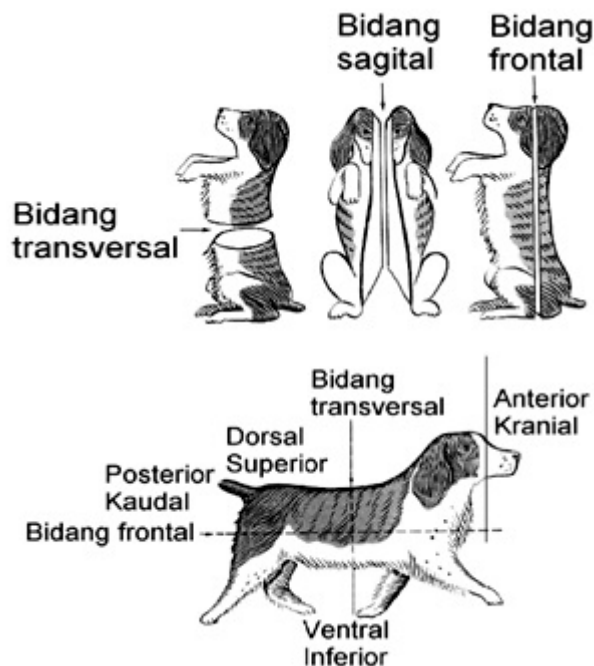
- **Bidang frontal:** Membagi tubuh menjadi bagian depan dan belakang
- **Bidang sagital:** Membagi tubuh menjadi bagian kiri dan kanan
- **Bidang transversal (horizontal):** Membagi tubuh menjadi bagian atas dan bawah



Gambar II.1 Posisi anatomi manusia

Pada manusia, sesuai gambar II.1 tampak arah anatomi sebagai berikut:

- | | |
|--|-------------------------------|
| – Kranial (ke arah kranium/tengkorak) | = superior (atas) |
| – Ventral (ke arah perut) | = anterior (depan) |
| – Dorsal (ke arah punggung) | = posterior (belakang) |
| – Kaudal (ke arah ekor) | = inferior (bawah) |



Gambar II.2 Posisi anatomi pada anjing

Pada hewan mamalia non-primata, misal anjing, didapatkan bidang anatomi yang sama, tetapi arah anatomi yang berbeda (gambar II.2):

- **Kranial** (ke arah kranium/tengkorak) = **anterior** (depan)
- **Ventral** (ke arah perut) = **inferior** (bawah)
- **Dorsal** (ke arah punggung) = **superior** (atas)
- **Kaudal** (ke arah ekor) = **posterior** (belakang)

Beberapa arah dan posisi anatomi manusia lainnya yaitu:

- | | | | | | | |
|-------------------|---|--------|----|------------------|---|----------|
| • Anterior | = | depan | >< | posterior | = | belakang |
| • Ventral | = | perut | >< | dorsal | = | punggung |
| • Superior | = | atas | >< | inferior | = | bawah |
| • Kranial | = | kepala | >< | kaudal | = | ekor |
| • Medial | = | tengah | >< | lateral | = | sisi |
| • Dekstra | = | kanan | >< | sinistra | = | kiri |

- **Palmar manus** = telapak tangan >< **dorsum manus** = punggung tangan
- **Plantar pedis** = telapak kaki >< **dorsum pedis** = punggung kaki

Pernyataan arah lain-lain:

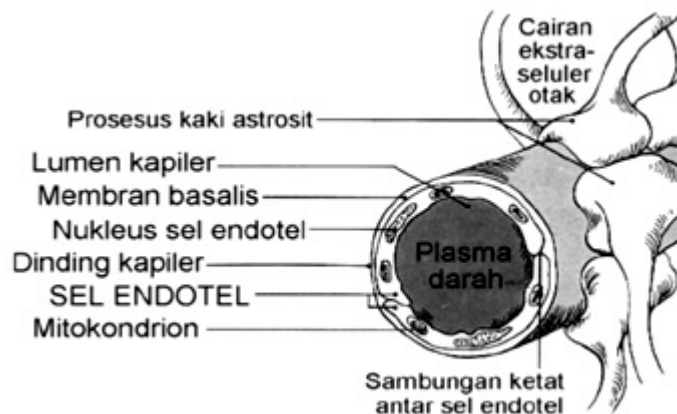
- **Proksimal** = dekat >< **distal** = jauh
(Untuk alat gerak: mendekati dan menjauhi batang tubuh)
- **Longitudinal** = searah sumbu >< **transversal** = tegak lurus
(Untuk penampang alat gerak)
- **Superfisial** = letak dangkal >< **profunda** = letak dalam

Lampiran 2.2

SAWAR DARAH-OTAK

Sawar darah-otak (*blood brain barrier*) adalah sistem penghambat pemasukan zat kimia / obat yang beredar dalam darah ke otak (gambar II.3). Sistem ini dimaksudkan untuk melindungi SSP.

Zat kimia / obat yang beredar dalam darah untuk dapat masuk ke otak harus berdifusi menembus dinding kapiler otak (lapisan endotel) atau diangkut secara aktif melintasi membran sel.



Gambar II.3 Sawar darah-otak

Berdasarkan kelarutannya, zat kimia / obat yang beredar dalam darah dibedakan atas:

- **Zat terlarut dalam lemak** (*lipid soluble*):
Zat-zat ini agak mudah melewati sawar darah-otak. Contohnya adalah nikotin, kafein, etanol, heroin, dan sebagainya.
- **Zat terlarut dalam air** (*water soluble*):
Zat-zat ini sukar melewati sawar darah-otak. Contohnya adalah ion Na^+ , K^+ , dan Cl^- , molekul protein besar, dan kebanyakan anti-biotika.

Beberapa zat yang terlarut dalam air dimasukkan dengan transpor aktif karena “dikenali” protein pengangkut, misalnya nutrisi esensial seperti glukosa dan asam amino. Obat / zat lain yang mudah melewati sawar darah-otak yaitu anestetika, CO, sianida, dan zat halusinogenik.

LATIHAN 2

Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Saraf yang menghantarkan sinyal dari susunan saraf pusat ke otot rangka ialah:
A. Saraf somatis
B. Saraf otonom
C. Saraf afferen
D. Saraf efferen
2. Dalam situasi yang mengancam kehidupan, saraf otonom yang terutama bekerja yaitu:
A. Saraf simpatis
B. Saraf parasimpatis
C. Saraf motorik
D. Saraf sensorik
3. Potensial istirahat untuk neuron besarnya adalah:
A. -70 mV
B. 65 mV
C. 0 mV
D. $+70\text{ mV}$
4. Ambang eksitasi untuk kebanyakan neuron adalah:
A. -70 mV
B. 0 mV
C. -65 mV
D. $+70\text{ mV}$
5. Contoh peristiwa difusi yaitu:
A. Gula pasir dimasukkan dalam air
B. Garam dapur dimasukkan dalam air
C. Keduanya benar
D. Keduanya salah
6. Membran sel bersifat permeabel sempurna terhadap:
A. Ion natrium
B. Ion khlorida
C. Ion protein
D. Semuanya benar
7. Jika potensial membran sel besarnya -30 mV dan terus bertambah ke arah 0 mV , membran tersebut berada dalam keadaan:
A. Depolarisasi
B. Repolarisasi
C. Hiperpolarisasi
D. Tidak dapat ditentukan

8. Jika potensial membran tersebut besarnya $+20$ mV dan terus berkurang ke arah 0 mV, membran tersebut dalam keadaan:
- A. Depolarisasi
 - B. Repolarisasi
 - C. Hiperpolarisasi
 - D. Tak dapat ditentukan
9. Jika potensial membran tersebut besarnya -75 mV, membran tersebut dalam keadaan:
- A. Depolarisasi
 - B. Repolarisasi
 - C. Hiperpolarisasi
 - D. Tak dapat ditentukan
10. Pada keadaan repolarisasi, yang terjadi antara lain yaitu:
- A. Ion natrium masuk ke dalam sel
 - B. Ion kalium keluar dari dalam sel
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
11. Pada potensial aksi, fase repolarisasi termasuk dalam:
- A. Periode refrakter absolut
 - B. Periode refrakter relatif
 - C. Keduanya mungkin benar
 - D. Tak dapat ditentukan
12. Penghantaran potensial aksi dari terminal akson ke arah badan sel dinamakan:
- A. Konduksi ortodromik
 - B. Konduksi antidromik
 - C. Konduksi saltatoris
 - D. Semuanya salah
13. Kerja pompa ion antara lain adalah:
- A. Memasukkan ion natrium ke dalam sel
 - B. Memasukkan ion kalium ke dalam sel
 - C. Mengeluarkan ion klorida dari dalam sel
 - D. Semuanya benar
14. Tipe sinapsis yang didapatkan pada manusia terutama adalah:
- A. Sinapsis elektrik
 - B. Sinapsis kimiawi
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah

15. Vesikel sinaptik yang berisikan neurotransmitter molekul-kecil mula-mula terbentuk dalam:
- A. Mitokondria
 - B. Apparatus Golgi
 - C. Sisterna
 - D. Retikulum endoplasmik
16. Zat kimia yang berperan untuk meneruskan hantaran potensial aksi pada transmisi sinapsis adalah:
- A. Enzim
 - B. Hormon
 - C. Neurotransmitter
 - D. Semuanya benar
17. Pelepasan neurotransmitter molekul kecil ke celah sinaptik berlangsung melalui proses:
- A. Eksositosis
 - B. Endositosis
 - C. Pinositosis
 - D. Semuanya salah
18. Ion yang berperan dalam pelepasan neurotransmitter pada transmisi sinapsis yaitu:
- A. Ion natrium
 - B. Ion kalium
 - C. Ion khlorida
 - D. Ion kalsium
19. Kerja neurotransmitter **tidak** berhenti karena:
- A. Degradasi oleh enzim pen-transformasi neurotransmitter
 - B. Difusi menjauhi reseptor membran post-sinaptik
 - C. Penggabungan dengan reseptor membran post-sinaptik
 - D. Resorpsi oleh otreseptor membran pre-sinaptik
20. Respons post-sinaptik yang menstabilkan potensial membran didapatkan pada:
- A. Sinapsis eksitasi
 - B. Sinapsis inhibisi
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
21. Contoh neurotransmitter asam amino yang bersifat penghambat yaitu:
- A. Norepinefrin
 - B. Serotonin
 - C. Adenosine trifosfat
 - D. Asam gamma-amino butirat

22. Contoh neurotransmitter indol-amin yaitu:
- A. Serotonin
 - B. Dopamin
 - C. Asetil kolin
 - D. Prostaglandin
23. Neurotransmitter yang berfungsi sebagai neuromodulator yaitu:
- A. Neurotransmitter asam amino
 - B. Neurotransmitter monoamine
 - C. Asetil kolin
 - D. Neuropeptida
24. Asetil kolin merupakan neurotransmitter utama antara:
- A. Serabut saraf somatik efferen dengan organ efektor
 - B. Serabut saraf simpatis pre-ganglionik dengan post-ganglionik
 - C. Serabut saraf parasimpatis post-ganglionik dengan organ efektor
 - D. Semuanya benar
25. Neurotransmitter utama antara serabut saraf simpatis post-ganglionik dengan organ efektor ialah:
- A. Asetil kolin
 - B. Norepinefrin
 - C. Dopamin
 - D. Serotonin
26. Reseptor pada sambungan neuro-muskular otot rangka tergolong dalam tipe:
- A. Kolinergik nikotinik
 - B. Kolinergik muskarinik
 - C. Alpha adrenergik
 - D. Beta adrenergik
27. Pilih pernyataan yang benar:
- A. Semua neuron memiliki akson dan menghantarkan potensial aksi
 - B. Tiap neuron hanya dapat melepaskan satu neurotransmitter
 - C. Untuk masing-masing jenis neurotransmitter hanya tersedia satu tipe reseptor
 - D. Integrasi penjumlahan ruang post-sinaptik didapatkan pada sinapsis konvergen

28. Pilihlah yang benar:
- A. Sintesis DNA berlangsung dalam nucleolus
 - B. Ribosom merupakan tempat sintesis RNA
 - C. Mitokhondria berfungsi mengatur lalu lintas makromolekul dalam sel
 - D. Pengangkutan protein dari badan sel ke akson
29. ATP yang diperlukan untuk transpor aktif ion melalui membran sel dihasilkan oleh:
- A. Nukleus
 - B. Reticulum endoplamik
 - C. Apparatus Golgi
 - D. Mitokhondria
30. Selaput terluar serabut saraf tak bermielin ialah:
- A. Aksoplasma
 - B. Aksolemma
 - C. Bukit akson
 - D. Neurilemma
31. Sarung mielin dibentuk oleh:
- A. Sel Schwann
 - B. Astroglia
 - C. Sel satelit
 - D. Yang benar lebih daripada satu
32. Dibandingkan dengan serabut saraf tak bermielin dengan diameter yang sama, maka hantaran impuls pada serabut saraf bermielin berlangsung:
- A. Lebih cepat
 - B. Sama cepat
 - C. Lebih lambat
 - D. Tak dapat ditentukan
33. Kumpulan badan sel saraf dalam SSP dinamakan:
- A. Ganglion
 - B. Nukleus
 - C. Traktus
 - D. Pleksus
34. Sel penunjang yang berperanan penting dalam transmisi sinaptik dalam SSP ialah:
- A. Astrosit
 - B. Oligodendrosit
 - C. Mikroglia
 - D. Sel ependimal

35. Posisi anatomi yang benar antara lain berupa:
- A. Tangan menghadap ke depan
 - B. Tubuh berdiri tegak
 - C. Tubuh menghadap ke depan
 - D. Semuanya benar
36. Dalam istilah anatomi, posisi 'di bawah' dinyatakan sebagai:
- A. Inferior
 - B. Posterior
 - C. Lateral
 - D. Medial
37. Orientasi anatomi yang berlaku bagi manusia antara lain yaitu:
- A. Kranial = anterior
 - B. Kaudal = inferior
 - C. Ventral = inferior
 - D. Dorsal = superior
38. Bidang yang membagi tubuh atas bagian anterior dan posterior ialah:
- A. Bidang medial
 - B. Bidang frontal
 - C. Bidang sagital
 - D. Bidang transversal
39. Bidang yang membagi tubuh atas dua bagian simetris ialah:
- A. Bidang medial
 - B. Bidang frontal
 - C. Bidang sagital
 - D. Bidang transversal
40. Pilihlah yang benar:
- A. Palmar = telapak kaki
 - B. Lateral = ke arah garis tengah tubuh
 - C. Proksimal = menjauhi titik acuan
 - D. Superfisial = lebih dekat ke bagian luar tubuh
41. Pilihlah yang benar:
- A. Fleksi = memperbesar sudut antara dua tulang
 - B. Abduksi = gerakan menjauhi garis tengah
 - C. Pronasi = gerak memutar ke luar
 - D. Semuanya salah

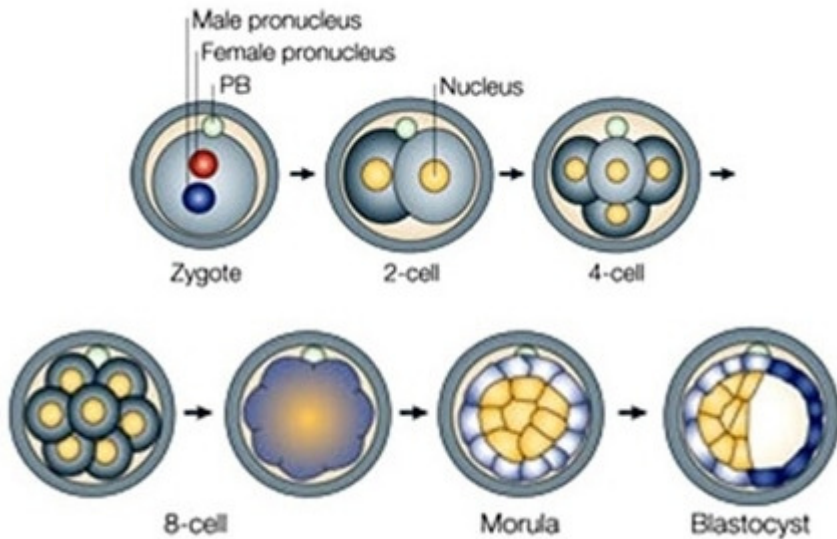
42. Sawar darah-otak dapat dilintasi dengan mudah oleh:
- A. Zat yang dapat larut dalam air (*water-soluble*)
 - B. Zat yang dapat larut dalam lemak (*lipid soluble*)
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
43. Contoh zat yang dapat melintasi sawar darah-otak dengan transpor aktif ialah:
- A. Glukosa
 - B. Asam amino
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
44. Penyakit Parkinson disebabkan oleh defisiensi neurotransmitter:
- A. Serotonin
 - B. Dopamin
 - C. Endorphin
 - D. Enkefalin

BAB 3

PERKEMBANGAN SUSUNAN SARAF PUSAT

❖ Perkembangan Embrional

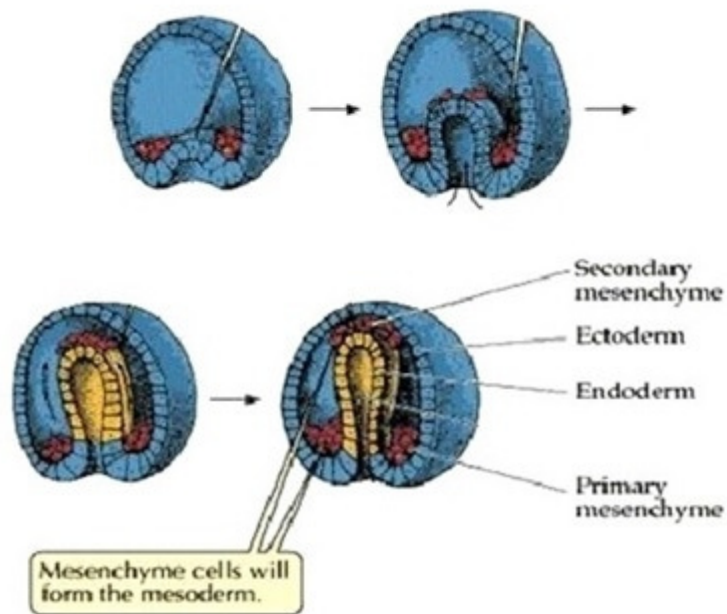
Pada minggu pertama kehidupan, 1 sel **zigote** akan membelah menjadi 2 sel, 2 sel menjadi 4 sel, dan seterusnya. Pada tahap 16-32 sampai 64 sel yang terbentuk dinamakan **morula**; pada tahap 128 sel morulla membentuk **blastula**; strukturnya dinamakan **blastokista** (gambar 3.1).



Gambar 3.1 Zygote, morula dan blastula

Pada minggu ketiga, terbentuk **gastrula** yang akan mengalami proses **gastrulasi**, sehingga terbentuk tiga lapisan sel (lapisan germinal; gambar 3.2):

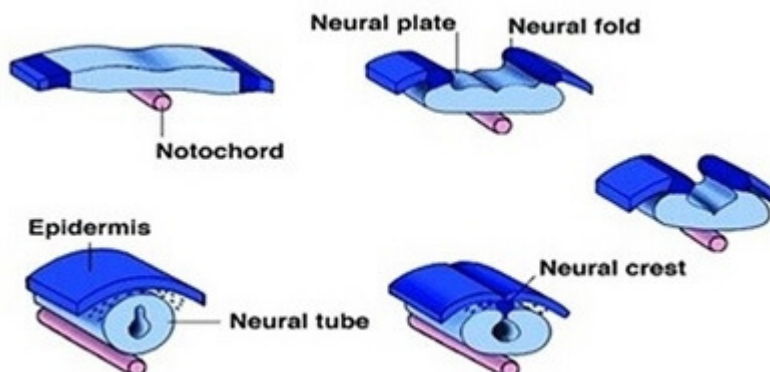
- **Ektoderm:** Cikal bakal kulit dan jaringan saraf
- **Mesoderm:** Cikal bakal jaringan otot dan tulang
- **Endoderm:** Cikal bakal jaringan pelapis dalam rongga tubuh, termasuk saluran pencernaan



Gambar 3.2 Proses gastrulasi

❖ Proses Neurulasi

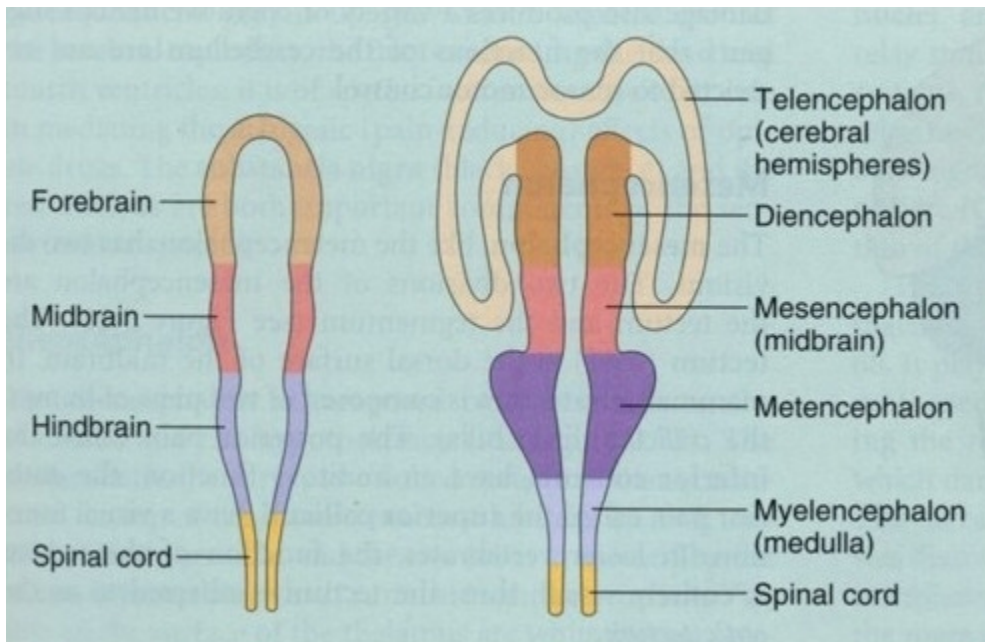
Mula-mula akan terjadi penebalan pada ektoderm yang diinduksi oleh notokord untuk membentuk **pelat neural** (*neural plate*). Pelat neural akan melipat membentuk **lipat neural** (*neural fold*); lipat neural akhirnya menutup membentuk **tabung neural** (*neural tube*; gambar 3.3).



Gambar 3.3 Pembentukan tabung neural

Pertumbuhan tabung neural selanjutnya berbeda-beda kecepatannya pada tiap bagian, sehingga akhirnya terbentuk tiga rongga (vesikel) pada bagian anterior tabung neural, yaitu (gambar 3.4):

- **Prosensefalon** (*forebrain*): Akan menjadi **telensefalon** dan **diensefalon**
- **Mesensefalon** (*midbrain*): Akan menjadi **mesensefalon**
- **Rhombensefalon** (*hindbrain*): Akan menjadi **metensefalon** dan **mielensefalon**



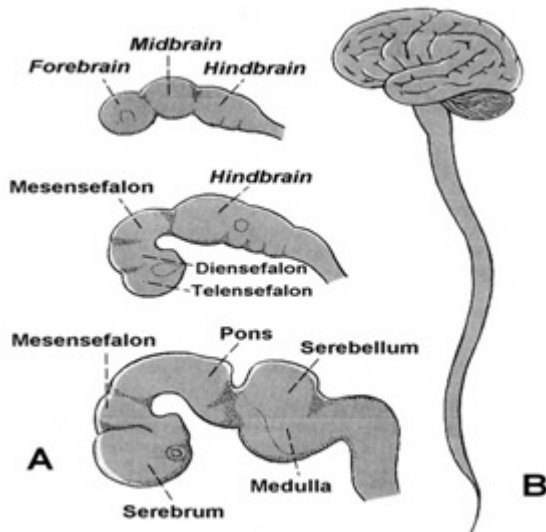
Gambar 3.4 Awal pembentukan bagian-bagian SSP

❖ **Pembentukan SSP**

Dalam perkembangan selanjutnya akan didapatkan pembentukan awal Susunan Saraf Pusat (SSP), yaitu (gambar 3.5):

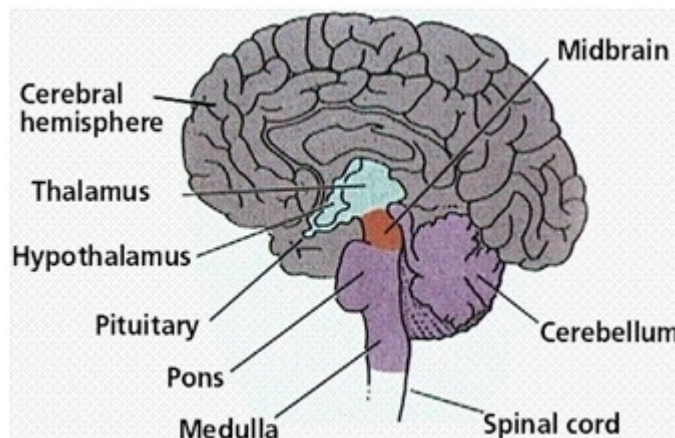
- Telensefalon membentuk **serebrum** (otak besar).
- Diensefalon membentuk **thalamus** dan **hipotalamus**.
- Mesensefalon membentuk **otak tengah**, terdiri atas **pedunkulus serebri** dan **korpora kuadrigemina**.
- Metensefalon membentuk **pons** dan **serebellum** (otak kecil).
- Mielensefalon membentuk **medulla oblongata**.

Bagian posterior tabung neural akan membentuk **medulla spinalis** (*spinal cord*).



Gambar 3.5
Pembentukan SSP

Tahap akhir pembentukan SSP, yaitu pada saat lahir diperlihatkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 SSP pada saat lahir

❖ Kesintasan Neuron

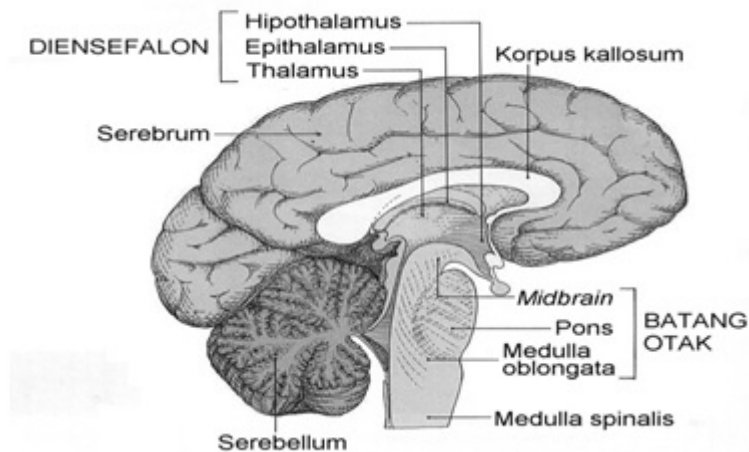
Pada fase pembentukan SSP, dari sel punca (*stem cell*) akan terbentuk lebih banyak neuron daripada yang dibutuhkan. Untuk dapat

survive akson neuron tersebut harus memperoleh koneksi dengan akson neuron lain yang tepat. Agar dapat memperoleh koneksi yang tepat, neuron tersebut harus mendapatkan NGF (*Neuron Growth Factor*) yang adekuat, sehingga terhindar dari apoptosis (kematian sel terprogram). Fenomena ini disebut sebagai **kesintasan neuron** (*neuronal survival*).

❖ Bagian-bagian Susunan Saraf Pusat

Susunan Saraf Pusat (SSP; *Central Nervous System*) terdiri atas (gambar 3.7):

- **Otak** (*brain*)
 - Otak depan (*forebrain*)
 - Otak tengah (*midbrain*)
 - Otak belakang (*hindbrain*)
- **Medulla spinalis** (sumsum tulang belakang; *spinal cord*)



Gambar 3.7 Penampang sagital otak dan medulla spinalis

❑ Otak Depan

Otak depan (*Forebrain*) terdiri atas:

- **Telensefalon:**

Telensefalon atau **serebrum** (otak besar) merupakan bagian terbesar pada otak, terbagi menjadi hemisfer kiri dan kanan, masing-masing

terbagi lagi menjadi lobus-lobus. Serebrum tersusun atas **korteks serebri** (**substantia grisea**), **substantia alba**, dan **ganglia basalis**.

- **Diensefalon**

Diensefalon terdiri atas thalamus dan hipotalamus. **Thalamus** terbentuk oleh sepasang massa bilateral substantia grisea di bagian tengah serebrum.

Hipotalamus adalah massa kecil di bawah thalamus, merupakan pusat tertinggi susunan saraf otonom.

- ❑ **Otak Tengah**

Otak tengah (*Midbrain*, **mesensefalon**) terdiri atas **pedunkulus serebri** dan **korpora kuadrigemini**.

- ❑ **Otak Belakang**

Otak belakang (*Hindbrain*) terdiri atas **metensefalon** (pons dan serebellum) dan **mielensefalon** (medulla oblongata).

Pons adalah struktur pendek seperti jembatan, terutama tersusun atas serabut-serabut saraf yang menghubungkan otak tengah (*midbrain*) dengan serebrum, serebellum, dan medulla oblongata.

Serebellum (otak kecil) merupakan bagian terbesar kedua pada otak, terletak di belakang pons dan di bagian posterior rongga tengkorak.

Medulla oblongata adalah bagian terbawah batang otak (*brainstem*), menghubungkan pons dengan medulla spinalis.

- ❑ **Medulla Spinalis**

Medulla Spinalis (sumsum tulang belakang, *spinal cord*) adalah bagian SSP yang terentang dari **Foramen Magnum** pada tengkorak sampai setinggi **Vertebra Lumbalis I** pada orang dewasa,

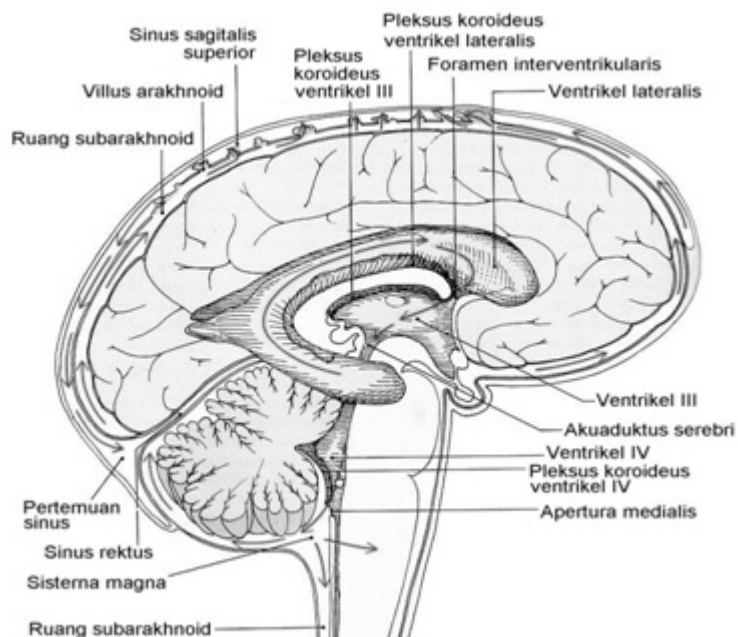
❖ Pelindung SSP

Pelindung/penunjang SSP terdiri atas:

- **Tulang**
Terdiri atas **tengkorak** (kranium) untuk melindungi otak dan **tulang belakang** (vertebra) untuk melindungi medulla spinalis.
- **Selaput otak**
Terdapat 3 lapisan selaput otak (*meninges*), yaitu **dura mater**, **arakhnoid**, dan **pia mater**.
- **Sistem ventrikel**

Sistem ventrikel terdiri atas (gambar 3.8) **ventrikel lateralis** kiri dan kanan, terletak dalam hemisfer serebri; **ventrikel III** (**ventrikel tertius**; *third ventricle*), terletak dalam diensefalon; dan **ventrikel IV** (**ventrikel kuartus**; *fourth ventricle*), terletak dalam pons.

Penghubung antar ventrikel adalah **akuaduktus serebri Silvii**, menghubungkan ventrikel III dan IV; dan **foramen interventrikel Monro**, menghubungkan ventrikel III dan ventrikel lateralis.



Gambar 3.8 Sistem ventrikel dan aliran cairan serebrospinalis

- **Cairan serebrospinalis**

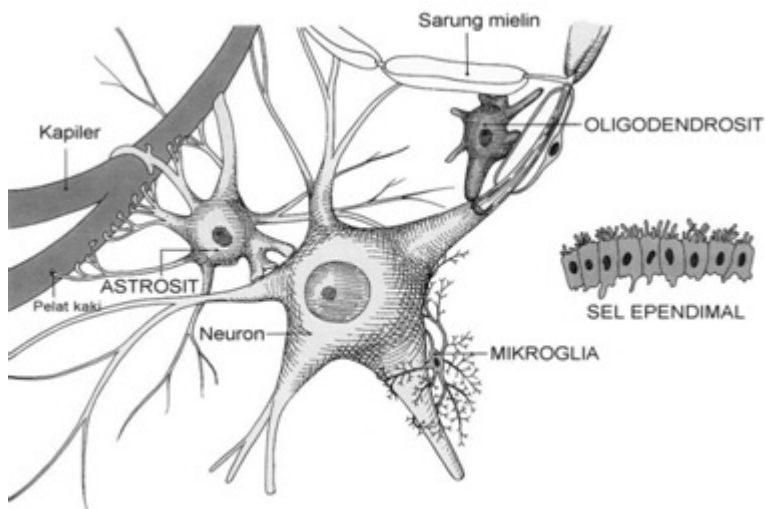
Cairan serebrospinalis (*cerebrospinal fluid*) mengalir berturut-turut dari ventrikel lateralis, melalui ventrikel III, ventrikel IV, dan rongga subaraknoid (*subarachnoid space*), akhirnya diserap ke dalam sistem vena.

Sistem ventrikel otak (dan cairan serebrospinalis) berhubungan dengan **kanalis sentralis** dalam medulla spinalis.

- **Jaringan ikat**

Jaringan ikat pada susunan saraf tersusun oleh **sel penunjang**, yaitu sel-sel dalam jaringan saraf yang tidak menghantarkan impuls dan berfungsi untuk memproteksi dan memberi nutrisi bagi sel saraf.

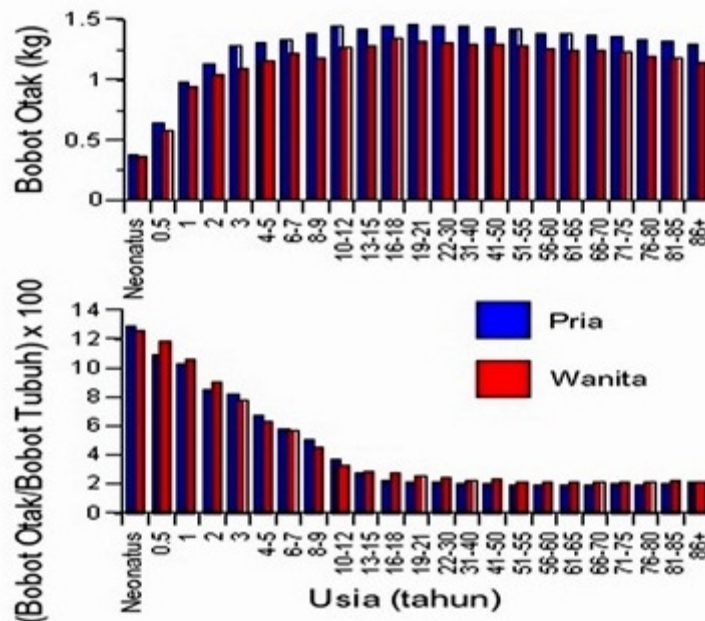
Sel penunjang dalam SSP adalah **neuroglia**, yang terdiri atas (gambar 3.9) **astrosit** (astroglia), **oligodendrosit** (oligodendroglia), **mikroglia**, dan **sel ependimal**.



Gambar 3.9 Neuroglia

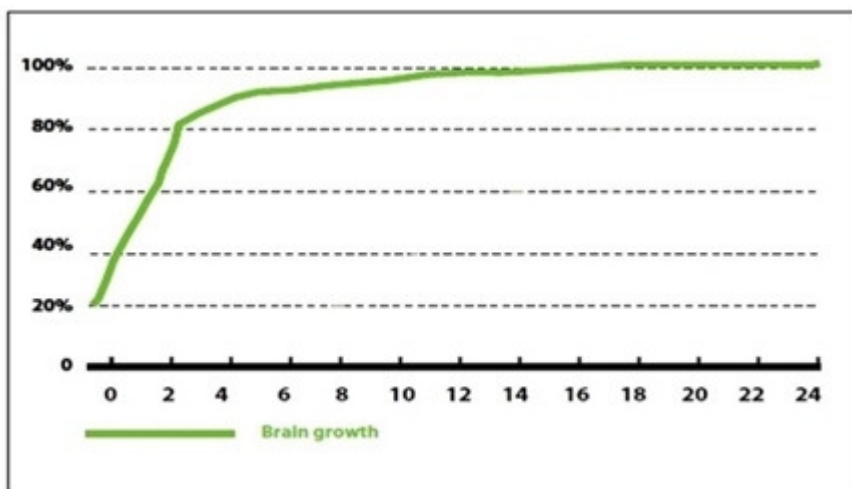
❖ **Pertumbuhan dan Perkembangan Otak**

Pertumbuhan dan perkembangan bobot otak maupun bobot relatifnya terhadap bobot tubuh dari bayi baru lahir (neonatus) sampai dengan lansia menurut jenis kelamin (pria dan wanita) diperlihatkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Perkembangan bobot otak (atas) dan bobot relatifnya (bawah) menurut usia dan jenis kelamin

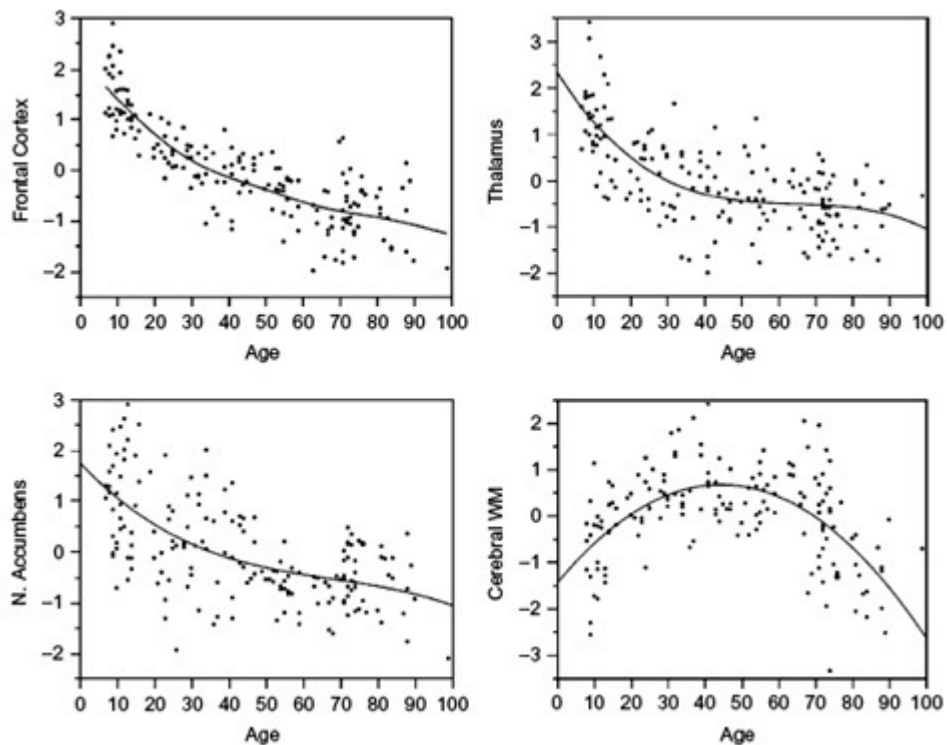
Selanjutnya kecepatan pertumbuhan otak dalam mencapai ukuran maksimal dalam perjalanan usia diperlihatkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Kecepatan pertumbuhan otak dalam mencapai ukuran maksimalnya

Tampak bahwa pada saat lahir bobot otak hanya 20% ukuran maksimalnya, tetapi dengan pertumbuhan pesat pada awal kehidupan, pada usia 2 tahun bobot otak telah mencapai 80% ukuran maksimalnya dan pada usia 10-12 tahun hampir mencapai ukuran maksimal tersebut. Walaupun demikian, pada gambar 3.8 bawah tampak juga bahwa bobot relatif otak menurun sejalan dengan pertambahan usia. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan otak relatif lebih lambat dibandingkan pertumbuhan jaringan dan organ tubuh lainnya.

Pada usia lanjut beberapa struktur otak akan mengalami penyusutan volume, walaupun fenomena ini tidak didapatkan pada seluruh struktur otak (gambar 3.12).



Gambar 3.12 Perubahan volume beberapa struktur otak menurut usia

LATIHAN 3

Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Embrio pada tahap 128 sel dinamakan:
A. Morula
B. Blastula
C. Gastrula
D. Semuanya salah
2. Secara embrional, jaringan saraf berasal dari lapisan:
A. Ektoderm
B. Mesoderm
C. Endoderm
D. Semuanya mungkin benar
3. Tiga vesikel primer yang mula-mula terbentuk pada tabung neural anterior adalah:
A. Prosensefalon, mesensefalon, dan mielsefalon
B. Telensefalon, diensefalon, dan metensefalon
C. Mesensefalon, metensefalon, dan mielsefalon
D. Semuanya salah
4. Pilihlah yang benar:
A. Telensefalon membentuk serebrum
B. Mesensefalon membentuk pons dan serebellum
C. Mielsefalon membentuk medulla spinalis
D. Yang benar lebih daripada satu
5. Otak kecil secara embrional berasal dari:
A. Prosensefalon
B. Mesensefalon
C. Rhombensefalon
D. Semuanya salah
6. Thalamus dan hipotalamus merupakan bagian dari:
A. Telensefalon
B. Diensefalon
C. Mesensefalon
D. Metensefalon
7. Pons dan serebellum merupakan bagian dari:
A. Telensefalon
B. Diensefalon
C. Mesensefalon
D. Metensefalon
8. Medulla oblongata dilindungi oleh:
A. Kranium
B. Kolumna vertebra
C. Keduanya benar
D. Keduanya salah

9. Selaput otak yang memiliki konsistensi agak keras dan kaku ialah:

| | |
|---------------|-------------------|
| A. Dura mater | C. Pia mater |
| B. Arakhnoid | D. Semuanya salah |

10. Ruang antara selaput otak yang dialiri cairan serebrospinalis yaitu:

| | |
|-----------------------|-------------------|
| A. Ruang subdural | C. Keduanya benar |
| B. Ruang subarakhnoid | D. Keduanya salah |

11. Pilihlah yang benar:

| | |
|--|--|
| A. Cairan serebrospinalis terutama dihasilkan oleh ventrikel IV | B. Cairan serebrospinalis mengalir dari ventrikel lateralis ke ventrikel III |
| C. Foramen interventrikel Monro menghubungkan ventrikel III dan IV | D. Cairan serebrospinalis diserap ke dalam sistem vena melalui akuaduktus serebri Silvii |

12. Pemeriksaan cairan serebrospinalis untuk keperluan diagnostik pada manusia (pungsi lumbal, *lumbar puncture*) dilakukan pada:

| | |
|------------------------|------------------------|
| A. Basis tengkorak | C. Vertebra thorakalis |
| B. Vertebra servikalis | D. Vertebra lumbalis |

13. Jaringan ikat dalam SSP terbentuk oleh:

| | |
|------------------|-------------------|
| A. Sel glia | C. Sel satelit |
| B. Neurolemmosit | D. Semuanya benar |

14. Substantia grisea pada serebrum terdapat pada:

| | |
|--------------------|-------------------|
| A. Korteks serebri | C. Keduanya benar |
| B. Ganglia basalis | D. Keduanya salah |

15. NGF adalah:

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| A. <i>Network Goal Factor</i> | B. <i>Neuron Growth Factor</i> |
| C. <i>Neurilemmal Gearless Factor</i> | D. Semuanya salah |

16. Struktur pada otak yang mengalami peningkatan volume pada usia anak dan dewasa muda adalah:

| | |
|----------------------|--------------------|
| A. Korteks frontalis | C. Nervus akumbens |
| B. Thalamus | D. Substantia alba |

BAB 4

SUSUNAN SARAF PUSAT I

❖ **Bagian-bagian Otak Depan**

Otak depan (prosensefalon, *forebrain*) terdiri atas:

- **Telensefalon**

Setelah lahir membentuk **serebrum** (otak besar).

- **Diensefalon**

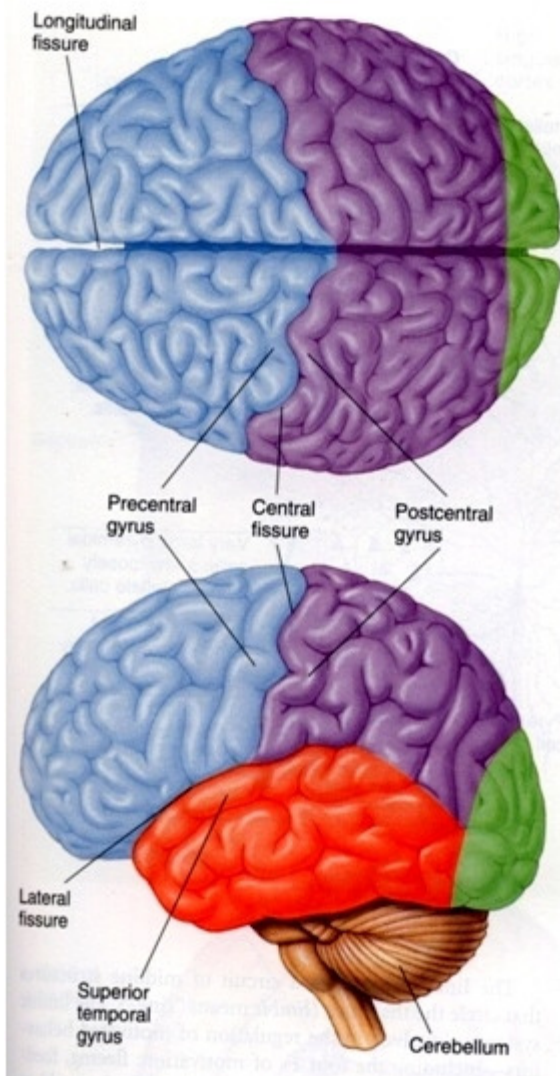
Setelah lahir membentuk **thalamus** dan **hipothalamus**. Struktur otak lain yang termasuk diensefalon adalah **kiasma optikum** dan **hipofisis**.

❖ **Serebrum**

Serebrum terdiri atas 2 hemisfer (belahan), kiri dan kanan. Masing-masing hemisfer tersusun atas 4 lobus, yaitu **lobus frontalis**, **lobus parietalis**, **lobus temporalis**, dan **lobus oksipitalis** (gambar 4.1).

Fungsi masing-masing lobus adalah:

- a. **Lobus frontalis**, berfungsi untuk:
 - Pengendalian motorik untuk gerakan sadar
 - Pengendalian ekspresi emosi dan perilaku moral
- b. **Lobus temporalis**, berfungsi untuk:
 - Pendengaran dan keseimbangan
 - Emosi dan memori
- c. **Lobus parietalis**:
 - Sensasi umum
 - Pengecapan
- d. **Lobus oksipitalis**, berfungsi untuk:
 - Penglihatan
 - Bentuk-bentuk ekspresi yang terkait



Gambar 4.1 Hemisfer dan lobus-lobus serebrum

Secara makroskopik, serebrum tersusun atas korteks (**korteks serebri**) yang berwarna kelabu, disebut sebagai **substantia grisea** (*grey matter*) dan medulla yang berwarna putih, disebut sebagai **substantia alba** (*white matter*). Di tengah substantia alba terdapat beberapa pulau-pulau berwarna kelabu, yaitu **ganglia basalis**. Substantia grisea yang berwarna kelabu tersusun oleh badan-badan sel saraf (neuron), sedangkan substantia alba yang berwarna putih terbentuk oleh serabut-serabut saraf (akson).

Permukaan korteks serebri berlekuk-lekuk, membentuk tonjolan (**girus**) dan lekukan memanjang (**sulkus** dan **fissura**). Lekuk-lekuk ini

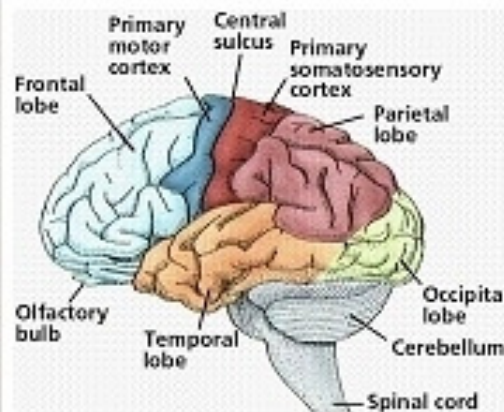
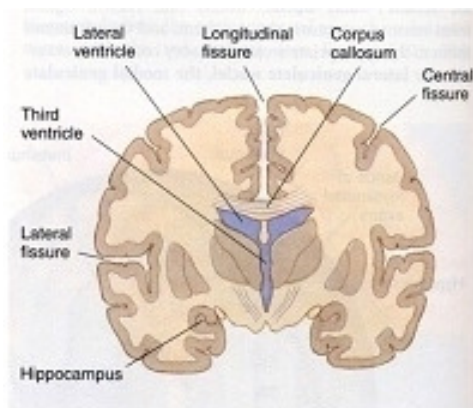
memperluas permukaan korteks serebri, sehingga dapat menampung lebih banyak sel saraf (gambar 4.2).

Beberapa sulkus dan fissura antara lain yaitu:

- **Fissura longitudinalis:** Memisahkan hemisfer kiri dan kanan
- **Sulkus sentralis:** Memisahkan lobus frontalis dan parietalis
- **Fissura lateralis:** Memisahkan lobus temporalis dari lobus frontalis dan parietalis

Beberapa girus antara lain adalah:

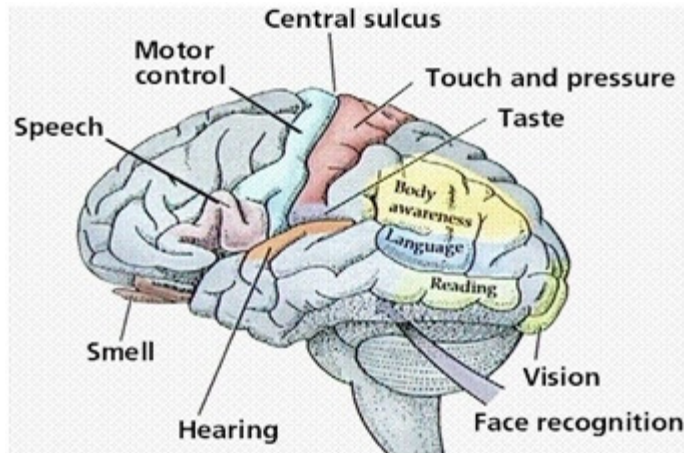
- **Girus pre-sentralis:** Di depan sulkus sentralis
- **Girus post-sentralis:** Di belakang sulkus sentralis
- **Girus temporalis superior**
- **Girus singulatus**



Gambar 4.2 Sulkus dan girus

Secara fungsional, didapatkan beberapa area pada korteks serebri, yaitu (gambar 4.3):

- o **Area motorik primer** (girus pre-sentralis): Pada lobus frontalis, anterior terhadap sulkus sentralis.
- o **Area somatosensorik** (girus post-sentralis): Pada lobus parietalis, posterior terhadap sulkus sentralis.
- o **Area visual:** Pada lobus oksipitalis.
- o **Area auditorius:** Pada lobus temporalis.



Gambar 4.3 Area fungsional

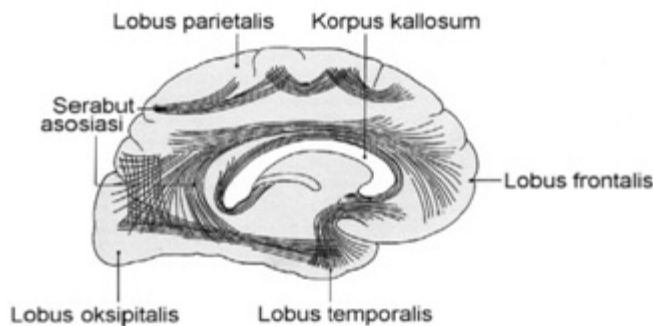
Sel saraf yang terdapat pada korteks serebri dinamakan **neuron kortikal**. Dua tipe neuron kortikal yaitu:

- **Sel piramidal** (multipolar): Merupakan sel keluaran (*output cell*) utama (pembentuk impuls) pada korteks, aksonnya terentang ke bagian lain korteks dan bagian lain SSP.
- **Sel stellata**: Merupakan interneuron (sel penghubung neuron sensorik dan neuron motorik), berbentuk bintang.

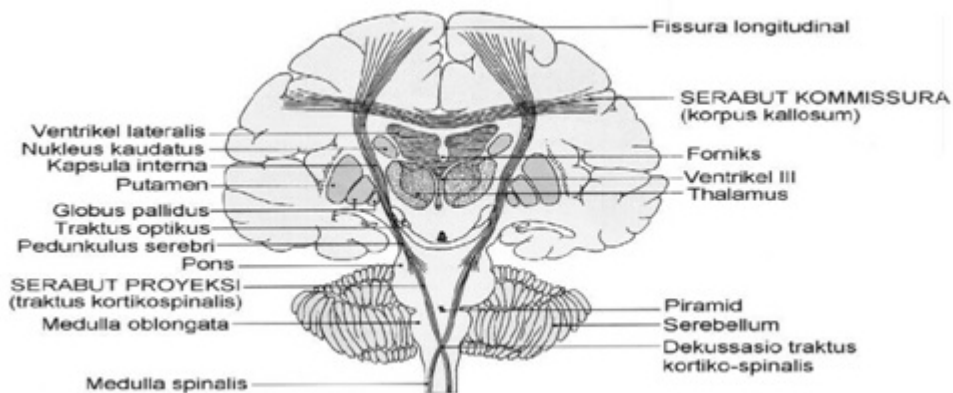
Korteks serebri, terutama neokorteks terdiri atas enam lapisan sel yang disebut lamina I s.d. VI. Pada area motorik terdapat lamina V yang tebal, terutama berisi sel piramidal yang berfungsi motorik, sedangkan pada area somatosensorik didapatkan lamina IV yang tebal, terutama berisi sel stellata yang berfungsi sensorik.

Serabut-serabut saraf pada substantia alba membentuk **traktus serabut putih** (*white fiber tracts*). Macam-macam traktus serabut putih pada serebrum adalah (gambar 4.4 dan 4.5):

- **Serabut proyeksi**: Menghubungkan korteks dengan bagian SSP lainnya.
- **Serabut kommissura**: Menghubungkan hemisfer kiri dan kanan. Kommissura terbesar adalah **korpus kallosum**.
- **Serabut asosiasi**: Menghubungkan 2 lokasi kortikal pada hemisfer yang sama.



Gambar 4.4 Serabut asosiasi (aspek lateral serebrum)



Gambar 4.5 Traktus serabut putih.

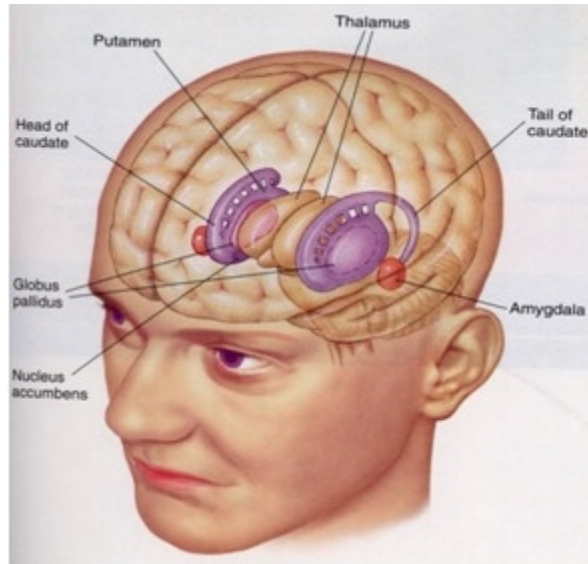
Atas: Serabut asosiasi (aspek lateral). Bawah: Serabut komisura dan proyeksi (aspek anterior)

▪ Ganglia Basalis

Ganglia basalis terdiri atas **nukleus kaudatus**, **putamen**, dan **globus pallidus** (gambar 4.6). Ganglia basalis juga terkait dengan beberapa nuklei lain di luar serebrum, yaitu **nukleus ventral anterior and ventral lateralis** pada thalamus, **nukleus subthalamikus**, dan **substantia nigra** pada otak tengah.

Fungsi ganglia basalis adalah:

- Mengendalikan kognisi
- Mengkoordinasikan gerak voluntar
- Mengendalikan postur tubuh



Gambar 4.6 Ganglia basalis

Disfungsi ganglia basalis mengakibatkan berbagai penyakit seperti penyakit Huntington, penyakit Parkinson, dan sebagainya, juga mengakibatkan gangguan berbicara, pergerakan, dan postur.

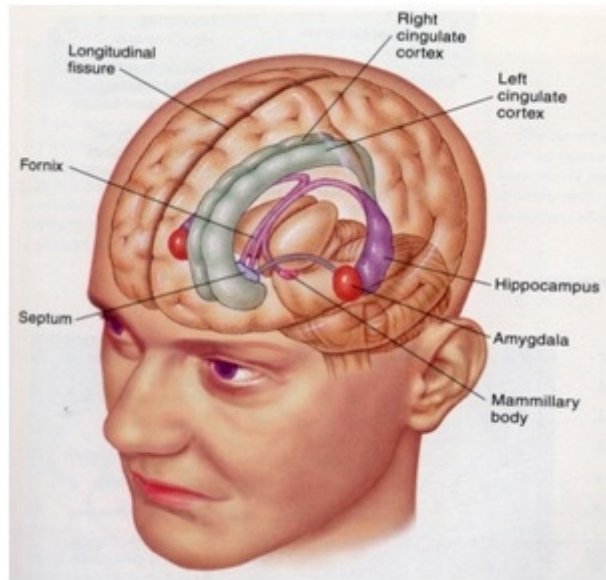
▪ **Sistem limbik**

Korteks serebri dibagi juga menjadi **neokorteks** (keempat lobus frontalis, parietalis, temporalis, dan oksipitalis) yang pembentukannya relatif baru dalam perkembangan evolusi, serta **korteks limbik** (girus singulatus).

Sistem limbik terdiri atas korteks limbik, ditambah dengan **hippokampus, amigdala, forniks, dan korpus mamilaris** (gambar 4.7).

Fungsi sistem limbik meliputi berbagai fungsi, yang terutama berkaitan dengan survival (kelangsungan hidup) baik individu sendiri maupun spesiesnya, serta mengatur fungsi otonom dan endokrin, terutama respons terhadap stimulus emosional. Sistem limbik pada hewan juga terkait dengan motivasi untuk perilaku 4F, yaitu *feeding, fighting, fleeing*, dan *sexual behavior*.

Disfungsi sistem limbik mengakibatkan **dementia** dan **penyakit Alzheimer**, serta berbagai **gangguan neuro-psikiatrik** seperti **ansietas, gangguan afektif / bipolar** (depresi dan hiperaktivitas / mania bergantian), dan **kelainan psikopatik**.



Gambar 4.7 Sistem limbik

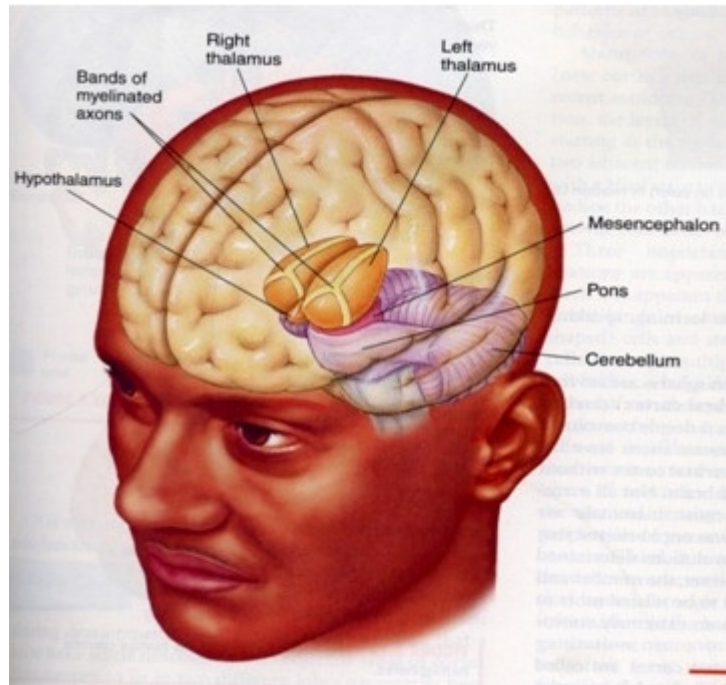
❖ **Thalamus**

Thalamus terbentuk oleh sepasang massa bilateral substantia grisea di bagian tengah serebrum (gambar 4.8).

Beberapa struktur penting pada thalamus yaitu:

- Massa intermedia
- **Nukleus genikulatus lateralis** yang me-*relay* **stimulus visual** dari retina mata ke area visualis primer korteks serebri.
- **Nukleus genikulatus medialis** yang me-*relay* **stimulus auditorik** dari telinga ke area auditorik primer korteks serebri.
- **Nukleus posterior ventralis** yang me-*relay* **sensasi somatik** seperti rasa sentuh, rasa tekan, rasa getar, rasa gatal, persepsi suhu, persepsi nyeri dan sebagainya dari muka dan tubuh ke korteks serebri.

Secara umum, fungsi thalamus adalah sebagai stasiun relay antara korteks serebri dan berbagai area subkortikal. Thalamus juga terkait dengan persepsi sensorik dan regulasi motorik.



Gambar 4.8 Thalamus

❖ **Hipotalamus**

Hipotalamus terletak di bawah thalamus. Salah satu struktur pada hipotalamus yaitu korpus mammilaris, yang merupakan bagian sistem limbik.

Fungsi hipotalamus adalah:

1. **Pusat integrasi tertinggi susunan saraf otonom.**
Mengendalikan pusat pengaturan otonom pada batang otak untuk memodifikasi tekanan darah, peristalsis, sekresi kelenjar saluran pencernaan, sekresi kelenjar keringat dan ludah, pengaturan kandung kemih, serta kecepatan dan kuat denyut jantung.
2. **Pengaturan suhu tubuh.**
3. **Pengaturan keseimbangan air dan elektrolit.**
Sebagai pusat rasa haus-kenyang, mengatur asupan air minum dan keluarannya melalui ginjal dan kelenjar keringat.
4. **Pengaturan pola tidur-bangun.**
5. **Pengaturan asupan makanan** (pusat rasa lapar-kenyang).

6. Respons perilaku yang terkait dengan emosi.

Rasa senang, nyeri, marah, takut, cinta, dan lain-lain yang menimbulkan perubahan denyut jantung dan tekanan darah, muka merah, mulut kering, tangan basah, menangis, dan sebagainya.

7. Pengaturan endokrin.

- Menghasilkan hormon oksitosin & ADH yang dilepaskan oleh lobus posterior hipofisis
- Hormon yang mengatur pelepasan hormon lain, dihasilkan oleh lobus anterior hipofisis

8. Respons seksual.

Menghasilkan respons terhadap stimulasi seksual pada organ genitalia berupa sensasi orgasme

Di bawah hipotalamus terdapat kelenjar hipofisis (*pituitary gland*), yang terbagi menjadi hipofisis anterior dan hipofisis posterior. Hipofisis anterior sepenuhnya merupakan berfungsi endokrin dan tidak termasuk susunan saraf. Hipofisis posterior merupakan bagian susunan saraf pusat, tetapi juga berfungsi endokrin.

LATIHAN 4

Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Substantia grisea pada sereberum terdapat pada:
A. Korteks serebri
B. Ganglia basalis
C. Keduanya benar
D. Keduanya salah
2. Area motorik primer terdapat pada:
A. Lobus parietalis
B. Lobus temporalis
C. Lobus frontalis
D. Semuanya salah
3. Area motorik primer dan area somatosensorik dipisahkan oleh:
A. Sulkus sentralis
B. Fissura lateralis
C. Fissura longitudinalis
D. Semuanya salah
4. Area visual terdapat pada:
A. Lobus oksipitalis
B. Lobus temporalis
C. Lobus frontalis
D. Lobus parietalis
5. Korpus kallosum merupakan salah satu contoh untuk:
A. Serabut proyeksi
B. Serabut kommissura
C. Serabut asosiasi
D. Semuanya benar
6. Contoh respons terhadap stimulasi reseptor kulit yang **tidak** melibatkan korteks serebri antara lain yaitu:
A. Menarik anggota tubuh secara refleks
B. Persepsi rasa nyeri
C. Menjauhi sumber stimulasi secara sadar
D. Semuanya salah
7. Bagian tubuh yang memiliki representasi topografi terluas pada area somatosensorik korteks serebri ialah:
A. Kepala, lengan, dan tungkai
B. Telapak tangan dan kaki
C. Muka dan kulit kepala
D. Ujung jari, lidah, dan bibir
8. Ganglia basalis terdapat pada:
A. Serebrum
B. Subthalamus
C. Otak tengah
D. Semuanya benar

9. Yang termasuk dalam neokorteks antara lain:
- A. Korteks olfaktorius
 - B. Area motorik primer
 - C. Girus hippocampus
 - D. Semuanya salah
10. Penerimaan masukan sensorik pada korteks serebri terutama oleh:
- A. Sel stellata pada lamina IV
 - B. Sel piramidalis pada lamina V
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
11. Korpus striatum terdiri atas bagian berikut, **kecuali**:
- A. Globus pallidus
 - B. Putamen
 - C. Kapsula interna
 - D. Nukleus kaudatus
12. Amigdala terdapat pada:
- A. Lobus limbik
 - B. Lobus frontalis
 - C. Lobus parietalis
 - D. Lobus temporalis
13. Sebagian besar massa thalamus tersusun oleh:
- A. Substansi alba
 - B. Substansi grisea
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
14. Fungsi thalamus adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Menterjemahkan masukan sensorik menjadi sensasi yang relevan
 - B. Menerima masukan dari serebellum dan ganglia basalis untuk diproyeksikan ke korteks motorik
 - C. Membangkitkan dan memantau irama kegiatan neurofisiologis yang diekspresikan oleh korteks serebri
 - D. Mengatur suhu tubuh
15. Pusat pengaturan fungsi visual pada thalamus adalah:
- A. Nukleus interlaminaris
 - B. Nukleus genikulatus medialis
 - C. Nukleus genikulatus lateralis
 - D. Nukleus posterior ventralis
16. Pusat integrasi tertinggi untuk susunan saraf otonom adalah:
- A. Korteks serebri
 - B. Thalamus
 - C. Hipotalamus
 - D. Batang otak

17. Fungsi hipotalamus antara lain yaitu:
- A. Mengatur keseimbangan air dan elektrolit
 - B. Mengatur pola bangun-tidur
 - C. Membangkitkan respons perilaku yang terkait dengan emosi
 - D. Semuaanya benar
18. Fungsi pengaturan endokrin oleh hipotalamus terjadi melalui:
- A. Produksi hormon yang dilepaskan oleh hipofisis anterior
 - B. Hipofisis posterior
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
19. Korpus pinealis terdapat pada:
- A. Epithalamus
 - B. Thalamus
 - C. Hipotalamus
 - D. Subthalamus (Ventral thalamus)
20. Komponen ganglia basalis pada diensefalon terdapat pada:
- A. Epithalamus
 - B. Thalamus
 - C. Hipotalamus
 - D. Subthalamus (Ventral thalamus)
21. Bagian hipofisis yang termasuk dalam susunan saraf pusat ialah:
- A. Hipofisis anterior
 - B. Hipofisis posterior
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah

BAB 5

SUSUNAN SARAF PUSAT II

❖ Otak Tengah

Otak tengah (mesensefalon, *midbrain*) terdiri atas (gambar 5.1):

- **Korpora kuadrigemina**

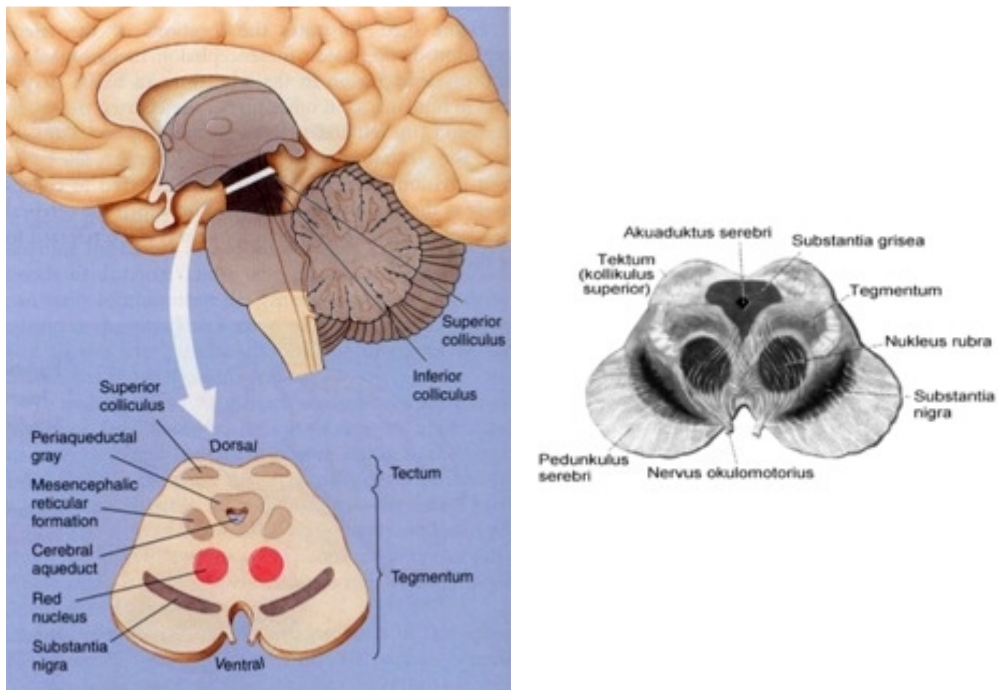
Terdapat pada **tektum** (atap) otak tengah. Korpora kuadrigemina terdiri atas:

- **Kolikulus superior**
- **Kolikulus inferior**

- **Pedunkulus serebri**

Terdiri atas;

- **Basis pedunkulus**
- **Substantia nigra**
- **Tekmentum** (penutup)



Gambar 5.1 Mesensefalon

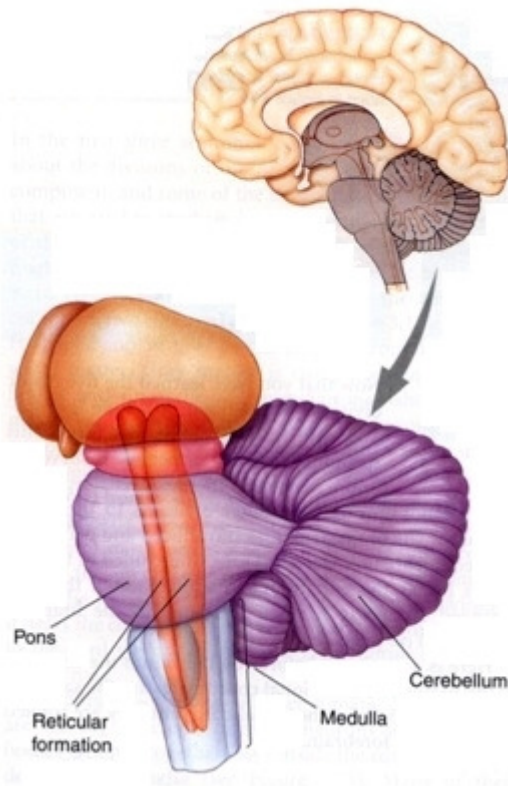
Fungsi otak tengah mencakup fungsi visual, auditorik, dan pergerakan tubuh. Gangguan fungsi otak tengah antara lain terdapat pada penyakit Parkinson. Penyakit Parkinson disebabkan oleh defisiensi neurotransmitter dopamin, yang dihasilkan oleh neuron substantia nigra.

❖ **Bagian-bagian Otak Belakang**

Otak belakang (rhombensefalon, *hindbrain*) terdiri atas (gambar 5.2):

- ❑ **Metensefalon**
 - **Pons**
 - **Serebellum**
- ❑ **Mielensefalon**
 - **Medulla oblongata**

Penghubung thalamus, mesensefalon, pons dan medulla oblongata adalah **formatio retikularis**, yaitu kumpulan neuron dan berkas saraf dalam batang otak yang menyerupai jala (retikular = *netlike*). Formatio retikularis menerima data dari hampir seluruh sistem sensorik dan memiliki hubungan motorik dengan seluruh tingkatan SSP.



Gambar 5.2 Metensefalon dan mielensefalon

❖ Pons

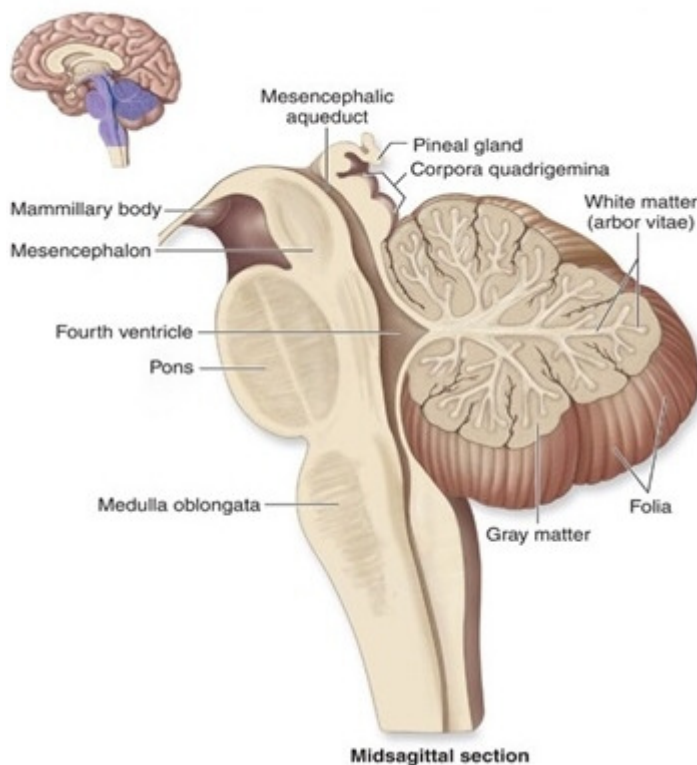
Pons (pons Varolii) adalah struktur pendek seperti jembatan (gambar 5.3), terutama tersusun atas serabut-serabut saraf yang menghubungkan:

- Otak tengah (*midbrain*) dengan medulla oblongata
- Hemisfer serebelli kiri dan kanan
- Serebrum dan serebellum

Fungsi utama pons adalah mengendalikan pernapasan serta sebagai stasiun *relay* dari medulla oblongata ke struktur otak yang lebih tinggi.

Secara anatomi pons terbagi menjadi:

- **Pons dorsalis** (tegmentum): Terdiri atas **formatio retikularis** dan serabut saraf ascending/dessending
- **Pons ventralis** (basalis): Berisikan **nukleus pontin** dan **traktus piramidalis**



Gambar 5.3 Pons dan serebellum

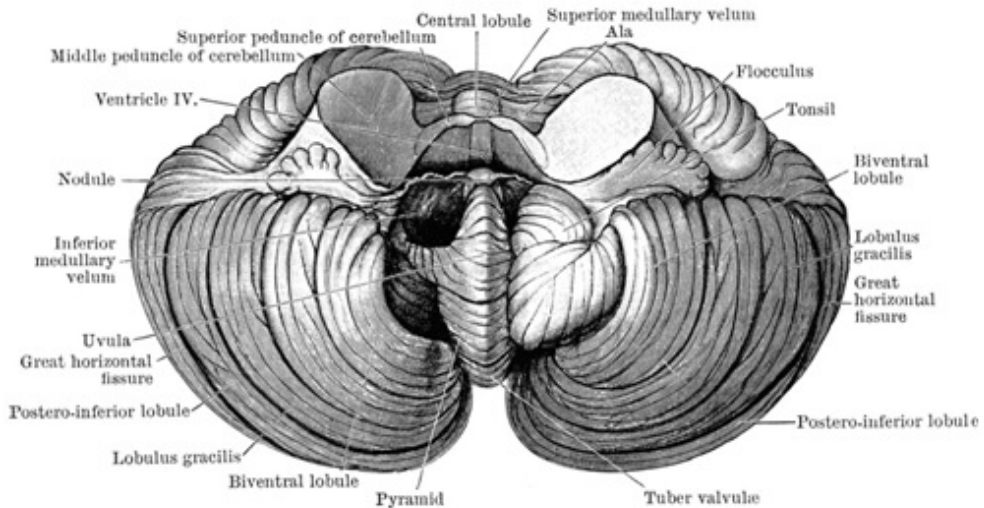
Otak tengah (*midbrain*), pons, dan medulla oblongata secara bersama disebut **batang otak** (*brain stem*).

❖ Serebellum

Serebellum (otak kecil) merupakan bagian terbesar kedua pada otak, terletak di belakang pons dan di bagian posterior rongga tengkorak (gambar 5.4).

Fungsi utama serebellum adalah sebagai pusat pemrosesan koordinasi gerakan otot, keseimbangan, presisi dan waktu (*timing*) gerak, serta posisi tubuh, selain itu untuk memproses informasi sensorik untuk digunakan oleh sistem motorik.

Penampang serebellum pada vermis (bagian tengah serebellum) menunjukkan gambaran *substantia alba* yang menyerupai pohon (*arbor vitae*).



Gambar 5.4 Serebellum

Serebellum dihubungkan dengan batang otak oleh **pedunkulus serebellaris**. Pedunkulus serebellaris terbagi menjadi:

- **Pedunkulus serebellaris superior:** Menghubungkan serebellum dengan otak tengah.
- **Pedunkulus serebellaris media:** Menghubungkan serebellum dengan pons.
- **Pedunkulus serebellaris inferior:** Menghubungkan serebellum dengan medulla oblongata.

Serebellum secara kontinu memantau masukan sensorik dari otot, tendon, sendi, dan organ vestibularis (keseimbangan). Lesi pada serebellum menyebabkan **ataksia**.

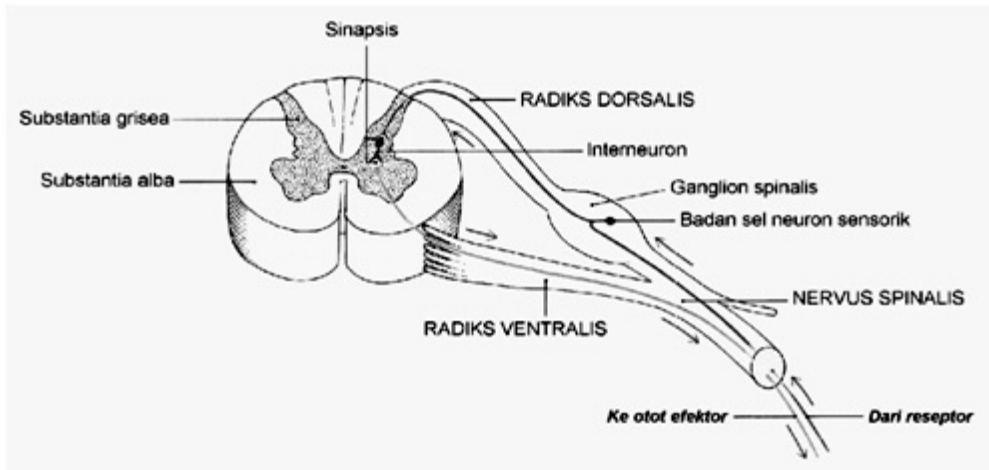
❖ Medulla Oblongata

Medulla oblongata adalah bagian terbawah batang otak (*brainstem*), menghubungkan pons dengan medulla spinalis. Pada medulla oblongata terdapat penyilangan **traktus kortikospinalis** yang dinamakan **dekussatio piramidalis**.

Fungsi utama medulla oblongata adalah sebagai pusat vital yang mengatur denyut jantung, pernapasan, konstriksi dan dilatasi pembuluh darah, tekanan darah, menelan, muntah, bersin, dan batuk; juga memantau kadar CO₂ untuk mengatur frekuensi pernapasan.

❖ Medulla Spinalis

Medulla Spinalis (sumsum tulang belakang, *spinal cord*) adalah bagian SSP yang terentang dari **Foramen Magnum** pada tengkorak sampai setinggi **Vertebra Lumbalis I** pada orang dewasa (gambar 5.5). Seperti pada otak, medulla spinalis juga dibungkus oleh 3 lapis meninges, yaitu dura mater, arakhnoid, dan pia mater.



Gambar 5.5 Medulla spinalis

Struktur medulla spinalis tersusun atas substantia grisea dan substantia alba. Substantia grisea terdapat di bagian tengah medulla spinalis, penampang transversalnya membentuk gambaran huruf H, tersusun atas sepasang **kornu anterior** dan sepasang **kornu posterior**. Neuron pada substantia grisea tersusun atas 10 lapisan sel yang dinamakan **lamina Rexed**. Deskripsi singkat untuk 10 lamina tersebut yaitu:

- Lamina I s.d. VI pada kornu posterior, berfungsi menerima stimulus sensorik dari radiks dorsalis, terutama pada lamina IV.
- Lamina II disebut juga **substantia gelatinosa Rolando**, menerima serabut descending dari formatio retikularis.
- Lamina V s.d. VII juga menerima serabut descending dari formatio retikularis. Lamina VII terutama berisi interneuron.
- Lamina VIII pada kornu anterior menerima serabut descending traktus retikulo-spinalis dan vestibulo-spinalis.
- Lamina IX pada kornu anterior berisi motoneuron (*lower motoneuron*).
- Lamina X mengelilingi kanalis sentralis, berisi interneuron.

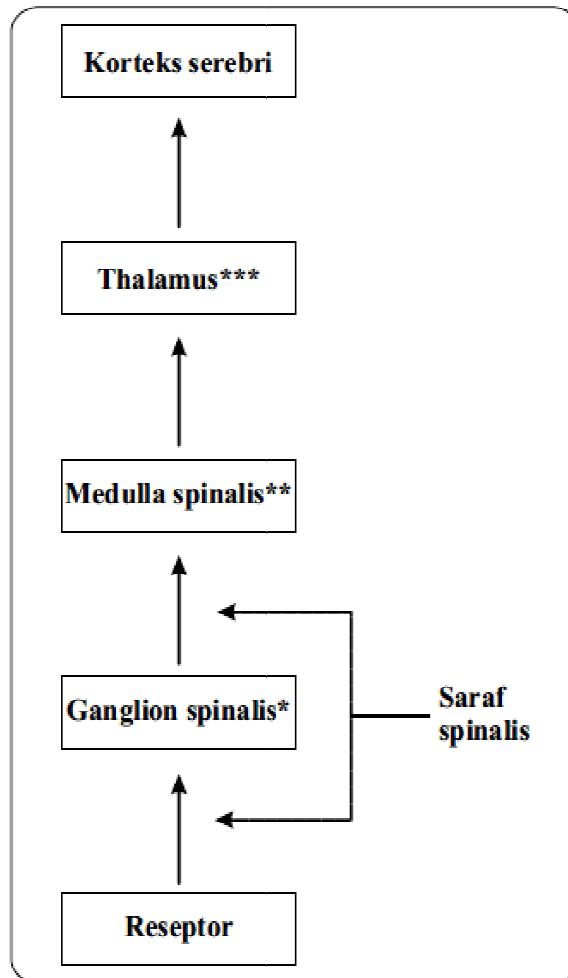
Substantia alba terutama tersusun oleh serabut saraf bermielin. Berkas serabut saraf bermielin membentuk jaras assending dan jaras dessending.

Badan **neuron sensorik derajat pertama** ada dalam **ganglion spinalis**. Aksonnya, yaitu komponen sensorik saraf spinalis masuk medulla spinalis melalui **radiks dorsalis** menuju **kornu posterior**, lalu sebagian serabut sarafnya bersinapsis dengan **motoneuron ipsilateral**, yang dapat mengirimkan stimulus motorik langsung ke **otot rangka** dalam **refleks spinal**.

Sebagian lain serabut saraf akan bersinapsis dengan **neuron sensorik derajat dua**, yang aksonnya langsung menyilang ke sisi kontralateral, lalu bergabung dengan salah satu jaras assending naik ke otak.

Lampiran 5.1

JALUR IMPULS SENSORIK



* Neuron sensorik derajat pertama (*first order*)

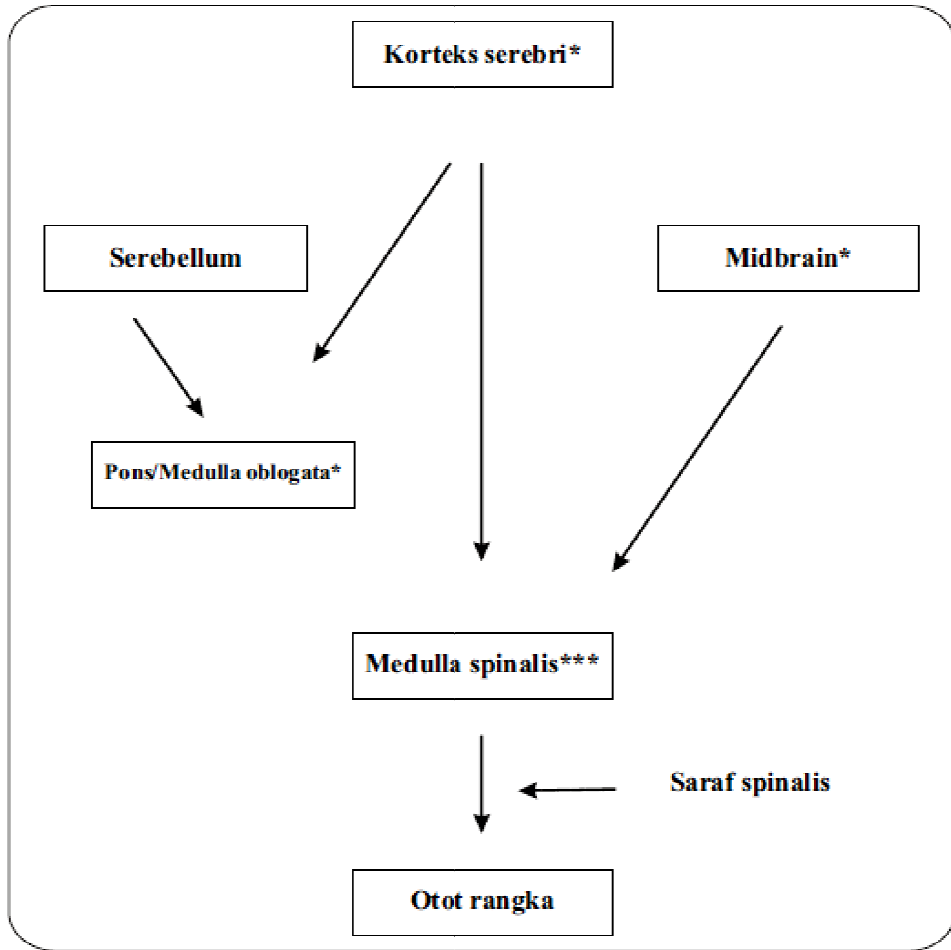
** Neuron sensorik derajat kedua (*second order*)

*** Neuron sensorik derajat ketiga (*third order*)

Decussatio/penyilangan (*cross-over*): Terjadi pada setiap segmen medulla

Lampiran 5.2

JALUR IMPULS MOTORIK



* Motoneuron atas (*upper motoneuron*)

** Motoneuron bawah (*lower motoneuron*)

Lesi motoneuron atas: Menimbulkan kelumpuhan spastis

Lesi motoneuron bawah: Menimbulkan kelumpuhan flaksid

LATIHAN 5

Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Formatio retikularis terbentuk oleh anyaman:
A. Neuron motorik
B. Neuron sensorik
C. Interneuron
D. Semuanya salah
2. Neuron sensorik derajat ketiga (*third order*) didapatkan pada:
A. Korteks serebri
B. Thalamus
C. Medulla spinalis
D. Ganglion spinalis
3. Motoneuron atas (*upper motoneuron*) didapatkan antara lain pada:
A. Korteks serebri
B. Pons
C. Medulla oblongata
D. Semuanya benar
4. Penyilangan serabut saraf sensorik ke sisi kontralateral terjadi pada:
A. Thalamus
B. Otak tengah
C. Medulla oblongata
D. Segera setelah memasuki medulla spinalis
5. Batang otak terdiri atas struktur anatomi berikut, **kecuali**:
A. Otak tengah
B. Pons
C. Serebellum
D. Semuanya salah
6. Korpus kuadrigeminus terdapat pada:
A. Tektum
B. Tegmentum
C. Basis pedunkulus
D. Semuanya salah
7. Pusat refleks visual pada otak tengah terdapat pada:
A. Kollikulus superior
B. Kollikulus inferior
C. Basis pedunkulus
D. Periaquaduktal grisea
8. Komponen ganglia basalis pada otak tengah ialah:
A. Substantia nigra
B. Nukleus rubra
C. Nukleus rafe
D. Periaquaduktal grisea
9. Pusat fungsi motorik pada otak tengah yaitu:
A. Substantia nigra
B. Nukleus rubra
C. Nukleus rafe
D. Periaquaduktal grisea

10. Neuron serotonergik batang otak terdapat pada:

| | |
|---------------------|--------------------------|
| A. Substantia nigra | C. Nukleus rafe |
| B. Nukleus rubra | D. Periaqueductal grisea |

11. Area otak tengah dianggap berperan penting dalam modulasi rasa nyeri adalah:

| | |
|---------------------|--------------------------|
| A. Substantia nigra | C. Nukleus rafe |
| B. Nukleus rubra | D. Periaqueductal grisea |

12. Formatio retikularis terdapat pada:

| | |
|----------------|----------------------|
| A. Otak tengah | C. Medulla oblongata |
| B. Pons | D. Semuanya benar |

13. Fungsi utama pons yaitu:
 - A. Mengendalikan pernapasan
 - B. Sebagai stasiun *relay* dari medulla oblongata ke struktur otak yang lebih tinggi
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah

14. Nukleus pontin terdapat pada:

| | |
|------------------|-------------------|
| A. Pons dorsalis | C. Pons ventralis |
| B. Tegmentum | D. Semuanya salah |

15. Nukleus pontin berfungsi sebagai penghubung antara:
 - A. Korteks serebri dengan medulla oblongata
 - B. Korteks serebri dengan medulla spinalis
 - C. Korteks serebri dengan serebellum
 - D. Otak tengah dengan medulla oblongata

16. Letak serebellum adalah:

| | |
|----------------------------|---------------------------|
| A. Superior terhadap pons | C. Inferior terhadap pons |
| B. Posterior terhadap pons | D. Semuanya salah |

17. Fungsi utama serebellum yaitu:
 - A. Sebagai pusat pemrosesan koordinasi gerakan otot
 - B. Memproses informasi sensorik untuk digunakan oleh sistem motorik
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah

18. Serebellum dihubungkan dengan pons oleh:
 - A. Pedunkulus serebellaris superior
 - B. Pedunkulus serebellaris media
 - C. Pedunkulus serebellaris inferior
 - D. Semuanya salah
19. Masukan sensorik yang dipantau oleh serebellum berasal dari reseptor pada struktur anatomi berikut, **kecuali**:
 - A. Otot rangka
 - B. Sendi
 - C. Kulit
 - D. Organ vestibularis
20. Lesi pada serebellum menyebabkan:
 - A. Tremor
 - B. Ataksia
 - C. Parkinsonismus
 - D. Semuanya benar
21. Penyilangan serabut traktus kortikospinalis terjadi setinggi:
 - A. Thalamus
 - B. Pons
 - C. Medulla oblongata
 - D. Medulla spinalis
22. Fungsi utama medulla oblongata adalah sebagai berikut, **kecuali**:
 - A. Sebagai pusat pengaturan frekuensi denyut jantung dan pernapasan
 - B. Sebagai pusat pengaturan asupan makanan
 - C. Sebagai pusat pengaturan konstiksi dan dilatasi pembuluh darah
 - D. Sebagai pusat pengaturan darah
23. Kornu anterior dan kornu posterior medulla spinalis tersusun oleh:
 - A. Substantia alba
 - B. Substantia grisea
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
24. Neuron substantia grisea pada medulla spinalis tersusun atas:
 - A. Tiga lamina
 - B. Enam lamina
 - C. Sepuluh lamina
 - D. Semuanya salah
25. Substantia gelatinosa Rolando pada substantia grisea medulla spinalis terdapat:
 - A. Lamina I
 - B. Lamina II
 - C. Lamina III
 - D. Lamina IV

26. Serabut sensorik saraf spinalis masuk ke dalam medulla spinalis melalui:
- | | |
|---------------------|-------------------|
| A. Radiks ventralis | C. Keduanya benar |
| B. Radiks dorsalis | D. Keduanya salah |
27. Akson sensorik yang masuk medulla spinalis sebagian besar berakhir pada:
- | | |
|--------------|---------------|
| A. Lamina I | C. Lamina III |
| B. Lamina II | D. Lamina IV |
28. Gambaran substantia alba pada penampang vermis serebellum dinamakan:
- | | |
|----------------------|--------------------------|
| A. Fossa rhomboideus | C. Arbor vitae |
| B. Kauda ekuina | D. Homonculus sensibilis |

BAB 6

SUSUNAN SARAF PERIFER

❖ Pembagian Saraf Perifer

Menurut tempat berawal (untuk **saraf motorik** dan **otonom**) dan berakhirnya (untuk **saraf sensorik**), saraf perifer dibagi menjadi:

- **Saraf Otak** (Nervus Kranialis):
Saraf-saraf motorik dan otonom yang “berawal pada” dan saraf-saraf sensorik yang “berakhir pada” otak. Saraf otak berjumlah 12 pasang.
- **Saraf Spinalis** (Nervus Spinalis):
Saraf-saraf motorik dan otonom yang “berawal pada” dan saraf-saraf sensorik yang “berakhir pada” medulla spinalis. Saraf spinalis berjumlah 31 pasang.

Nama lain untuk saraf motorik adalah **saraf eferen** (*efferent*), sedangkan saraf sensorik disebut juga **saraf aferen** (*afferent*).

Pada masing-masing saraf otak, mungkin hanya didapatkan komponen motorik saja, atau sensorik saja, ataupun motorik dan sensorik secara bersama (selain komponen otonom), tetapi pada tiap pasang saraf spinalis selalu terdapat komponen motorik dan sensorik (selain komponen otonom) secara bersama. Hanya saja, pada saraf spinalis komponen sensorik “masuk” dari arah posterior dan komponen motorik “keluar” dari arah anterior, tetapi setelah itu keduanya akan bergabung menjadi saraf spinalis.

Saraf otonom yang “keluar” dari otak seluruhnya adalah komponen parasimpatis, sedangkan yang “keluar” dari medulla spinalis adalah komponen simpatis ataupun parasimpatis.

Dari medulla spinalis, saraf spinalis akan bercabang-cabang dan sebagian di antaranya saling bergabung, membentuk berkas saraf besar yang disebut **pleksus** (*plexus*), lalu bercabang-cabang lagi membentuk berkas lebih kecil yang disebut **nervus**. Beberapa pleksus dan nervus terpenting antara lain:

- **Pleksus brakhialis** (*brachial plexus*)
Menuju ke lengan, percabangannya adalah:
 - **Nervus ulnaris**
 - **Nervus medianus**
 - **Nervus radialis**

- **Pleksus lumbalis** (*lumbar plexus*)
Menuju ke tungkai atas, cabang terpentingnya yaitu:
 - **Nervus femoralis**
- **Pleksus sakralis** (*sacral plexus*)
Menuju ke tungkai, cabang terpentingnya adalah:
 - **Nervus iskhiaadikus/siatikus** (*ischial / sciatic nerve*)
 - **Nervus tibialis**

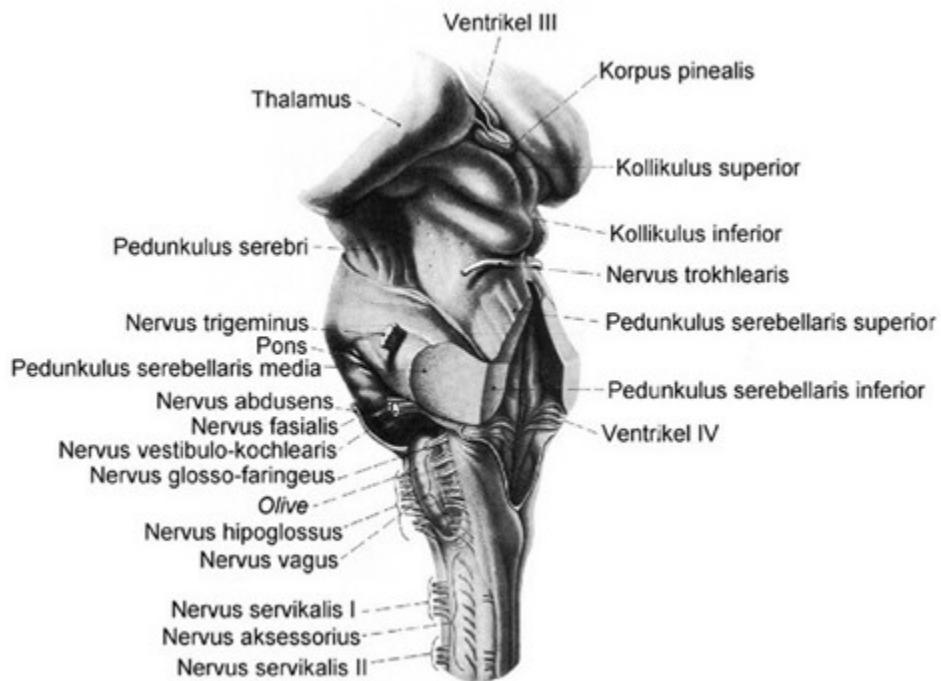
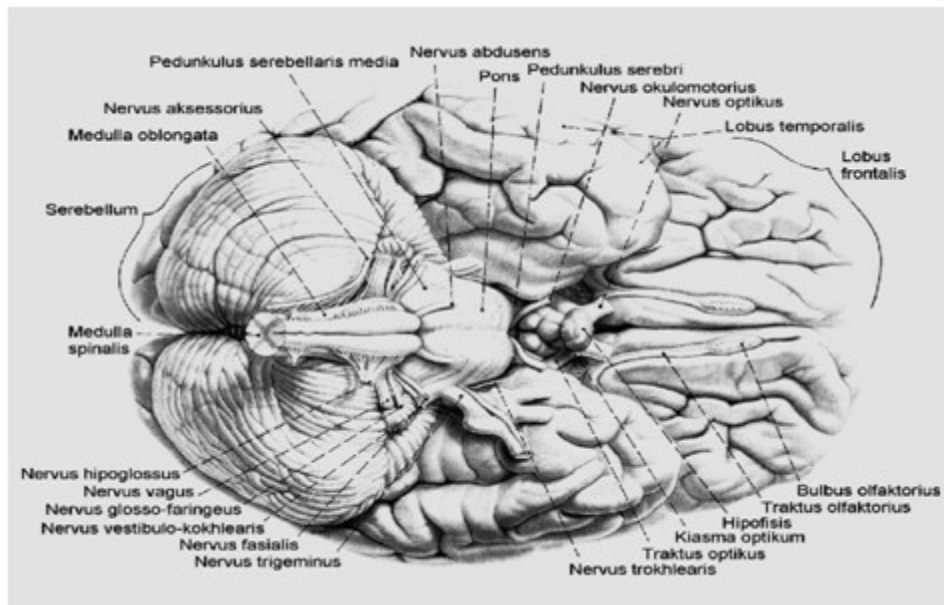
❖ Saraf Otak

Saraf otak (nervi kranialis) terdiri atas 12 pasang saraf (gambar 6.1 dan 6.2). Dalam saraf otak terdapat komponen:

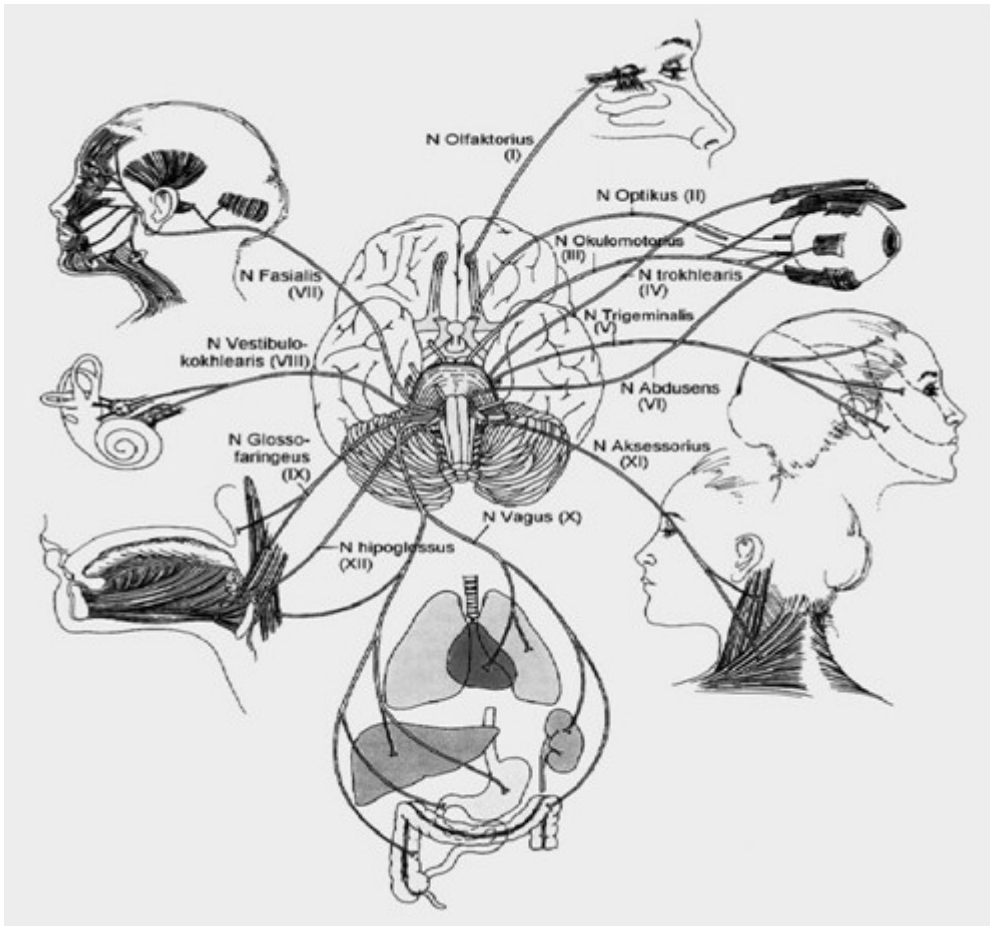
- Somatik sensorik dan motorik
- Otonom parasimpatis

Ke-12 pasang saraf otak tersebut dengan komponen dan fungsi masing-masing adalah:

- I. **Nervus Olfaktorius**
 - Sensorik untuk penciuman (penghidu, pembauan)
- II. **Nervus Optikus**
 - Sensorik untuk penglihatan
- III. **Nervus Okulomotorius**
 - Motorik untuk pergerakan bola mata dan kelopak mata
 - Otonom parasimpatis untuk akomodasi pupil
- IV. **Nervus Trokhlearis**
 - Motorik untuk pergerakan bola mata ke bawah dan ke lateral
- V. **Nervus Trigeminus**
 - ◆ **Nervus Ophthalmikus**
 - Sensorik untuk mata dan area sekitarnya
 - ◆ **Nervus Maksilaris**
 - Sensorik untuk area maksila (rahang atas) dan sekitarnya
 - ◆ **Nervus Mandibularis**
 - Sensorik untuk area mandibula (rahang bawah) dan sekitarnya
 - Motorik untuk mengunyah
- VI. **Nervus Abdusens**
 - Motorik untuk abduksi bola mata



**Gambar 6.1 Pangkal saraf-saraf otak
Atas: Basis otak; Bawah: Batang otak**



Gambar 6.2 Target saraf-saraf otak

VII. Nervus Fasialis

- Sensorik untuk pengecapan pada 2/3 anterior lidah
- Motorik untuk otot ekspresi muka
- Otonom parasimpatis untuk kelenjar ludah dan air mata

VIII. Nervus Vestibulo-Kokhlearis

- ◆ **Nervus Kokhlearis**
 - Sensorik untuk pendengaran
- ◆ **Nervus Vestibularis**
 - Sensorik untuk keseimbangan

IX. Nervus Glosso-Faringeus

- Sensorik untuk pengecapan pada 1/3 posterior lidah dan faring atas
- Motorik untuk otot faring (menelan)
- Otonom parasimpatis untuk kelenjar ludah

X. Nervus Vagus

- Motorik untuk otot langit-langit lunak (menelan)
- Otonom parasimpatis untuk otot jantung, otot polos paru, pembuluh darah, dan saluran pencernaan

XI. Nervus Aksessorius

- Motorik untuk otot laring (bersuara), pergerakan kepala dan bahu

XII. Nervus Hipoglossus

- Motorik untuk pergerakan lidah (berbicara dan menelan)

Saraf otak I dan II (olfaktorius dan optikus) tidak dapat dianggap saraf otak sesungguhnya, karena hanya merupakan traktus (= ekstensi) dari serebrum. Badan sel (motorik ataupun sensorik) saraf otak III s.d. seluruh ada pada batang otak.

❖ Saraf Spinalis

Saraf spinalis berjumlah 31 pasang, terdiri atas:

- **Nervus servikalis:** 8 pasang
- **Nervus thorakalis:** 12 pasang
- **Nervus lumbalis:** 5 pasang
- **Nervus sakralis:** 5 pasang
- **Nervus koksigealis:** 1 pasang

Tiap pasang saraf spinalis yang keluar dari medulla spinalis terdiri atas (lihat kembali gambar 5.5):

- **Radiks dorsalis / posterior dan ganglion spinalis:** Komponen sensorik, badan sel neuron sensorik terdapat dalam ganglion spinalis.
- **Radiks ventralis / anterior:** Komponen motorik, badan sel neuron motorik terdapat pada kornu anterior substansia grisea medulla spinalis

Kedua radiks ini bergabung membentuk nervus spinalis. Neuron motorik yang mempersarafi batang tubuh dan alat gerak dibagi menjadi:

- **Motoneuron atas** (*upper motoneuron*): Terdapat pada pusat yang lebih tinggi daripada medulla spinalis.
- **Motoneuron bawah** (*lower motoneuron*): Terdapat pada medulla spinalis.

Skema perjalanan saraf motorik dan saraf sensorik diperlihatkan pada Lampiran 6.1.

❖ **Susunan Saraf Otonom**

Susunan saraf otonom terdiri atas:

- **Susunan saraf simpatis**
Susunan saraf simpatis bermula dari ruas thorakal dan lumbal medulla spinalis, sehingga saraf simpatis dinamakan juga sebagai **divisi thorakolumbal** saraf otonom.
- **Susunan saraf parasimpatis**
Susunan saraf parasimpatis bermula dari otak dan ruas sakral medulla spinalis, sehingga saraf parasimpatis dinamakan juga sebagai **divisi kraniosakral** saraf otonom.

Neuron susunan saraf otonom terbagi menjadi:

- **Neuron pre-ganglionik**
- **Neuron post-ganglionik**

▪ **Neuron Pre-Ganglionik**

Badan sel neuron pre-ganglionik berada dalam SSP, yaitu otak atau medulla spinalis. Neuron pre-ganglionik memiliki akson bermielin yang keluar bersama saraf otak atau spinalis, lalu bersinapsis dengan dendrit atau badan sel post-ganglionik dalam ganglion otonom.

Akson neuron pre-ganglionik saraf simpatis keluar dari medulla spinalis bersama radiks ventralis nervus thorakalis dan lumbalis, sedangkan akson neuron pre-ganglionik saraf parasimpatis keluar dari otak bersama nervus kranialis (nervus III, VII, IX, dan X) serta radiks ventralis nervus sakralis.

▪ **Neuron Post-ganglionik**

Badan sel neuron post-ganglionik berada dalam **ganglion otonom**. Neuron post-ganglionik memiliki akson tak bermielin yang lewat bersama pleksus atau nervus saraf somatik sampai ke organ efekturnya, yaitu otot jantung, otot polos, atau kelenjar.

❖ **Ganglion Otonom**

Tipe ganglion otonom adalah:

- **Ganglion paravertebralis**

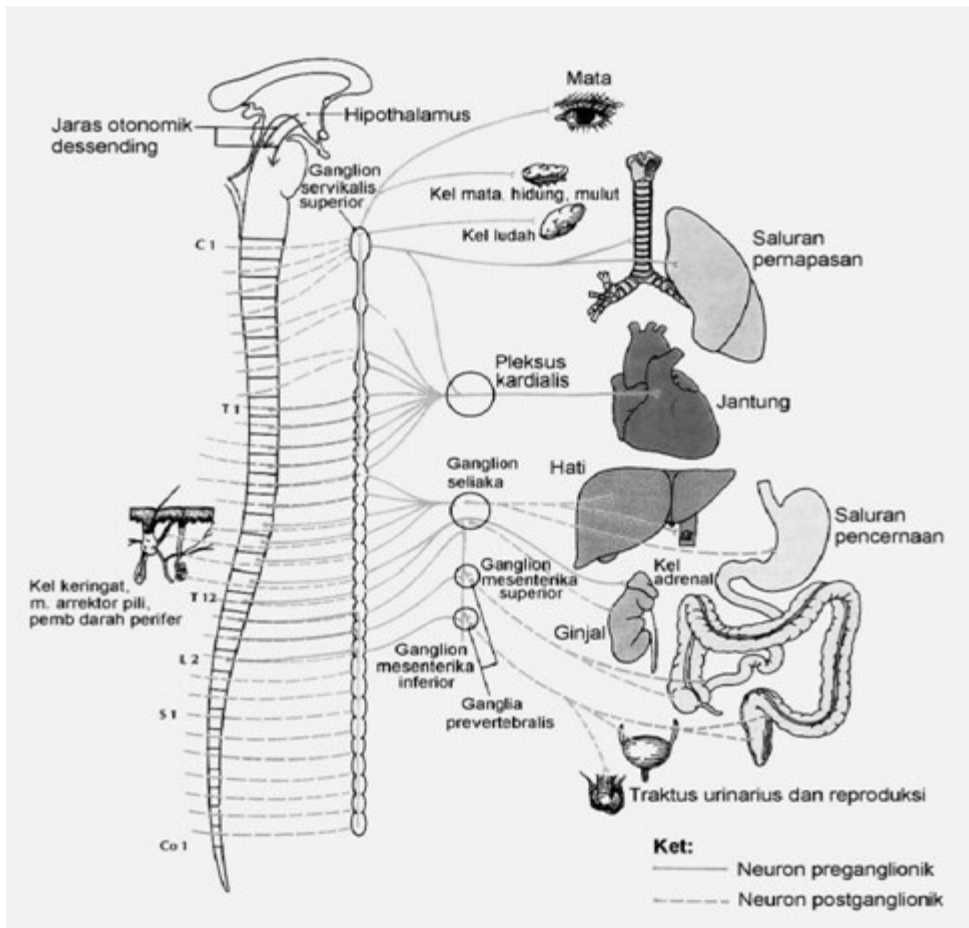
Ganglion paravertebralis adalah ganglion simpatis, terdapat di sisi kiri-kanan kolumna vertebralis, membentuk dua rantai vertikal yang dinamakan **trunkus simpatikus** (gambar 6.3).

- **Ganglion prevertebralis**

Ganglion prevertebralis adalah ganglion simpatis (gambar 6.3). Sebagian akson pre-ganglionik yang keluar dari medulla spinalis hanya melewati ganglion paravertebralis, lalu bersinapsis dengan neuron postganglionik yang ada dalam ganglion prevertebralis yang terletak di depan vertebra.

Beberapa ganglion prevertebralis yaitu:

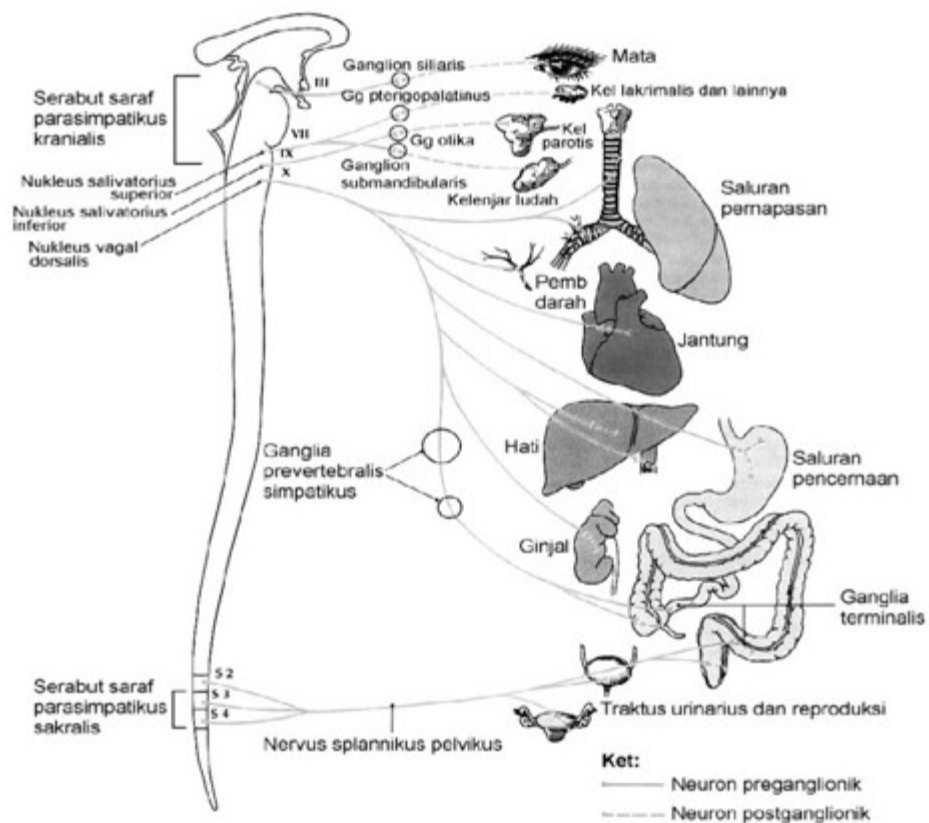
- **Ganglion seliaka / solaris** (*celiac / solar ganglion*)
- **Ganglion mesenterika superior**
- **Ganglion mesenterika inferior**



Gambar 6.3 Ganglion simpatis: Trunkus simpatikus dan ganglion pre-vertebralis

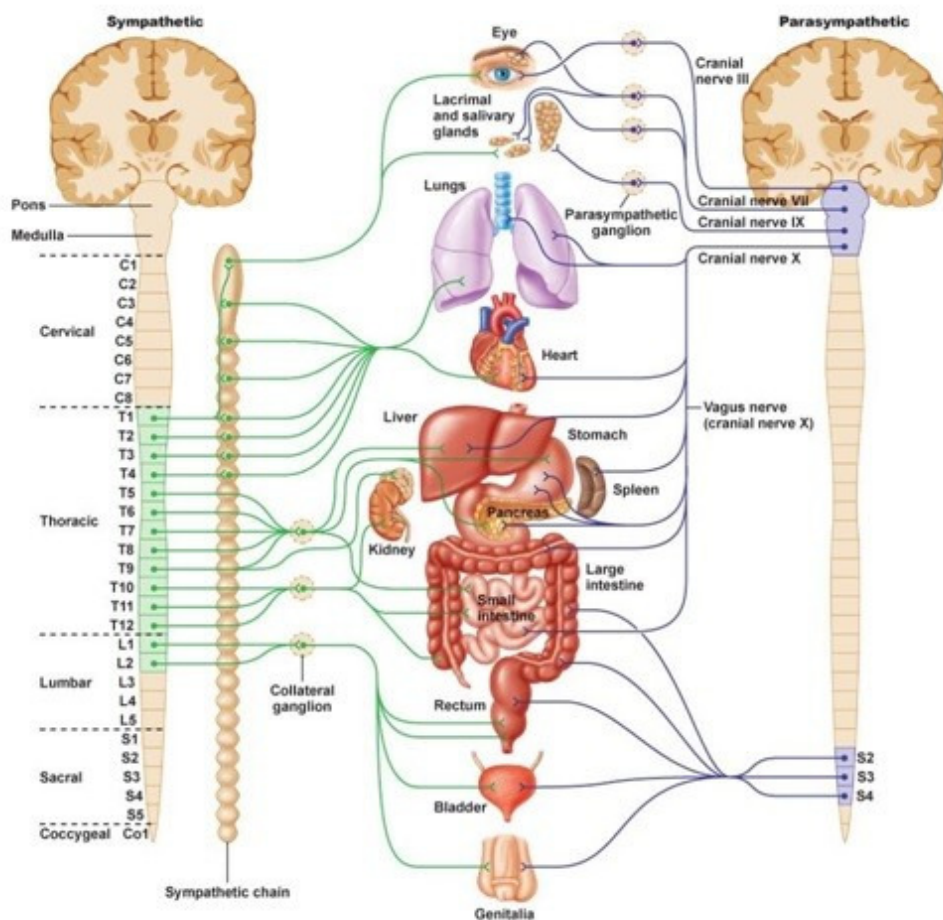
- Ganglion terminalis

Ganglion terminalis adalah ganglion parasimpatis (gambar 6.4), terletak dekat ataupun dalam organ target yang dipersarafi, terutama yaitu pada saluran pencernaan dan kandung kemih.



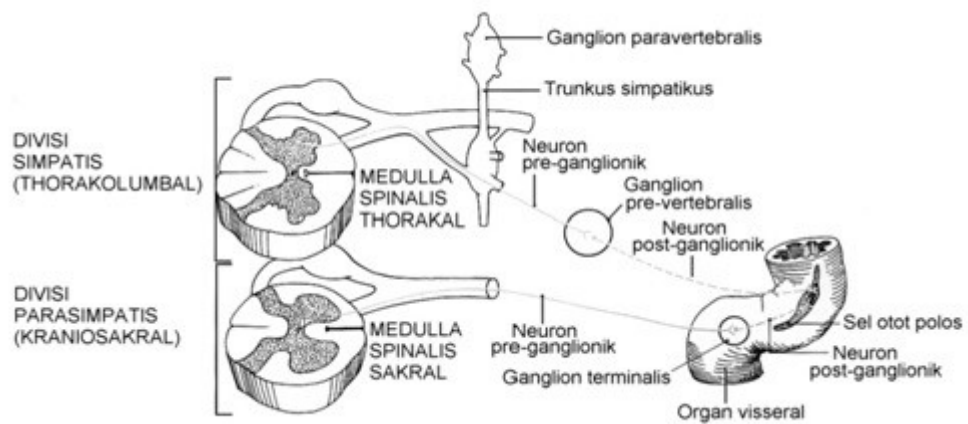
Gambar 6.4 Ganglion parasimpatis: ganglion terminalis

Persarafan otonom simpatis dan parasimpatis secara bersama terhadap organ-organ yang sama diperlihatkan pada gambar 6.5 berikut.



Gambar 6.5 Persarafan simpatis dan parasimpatis terhadap organ yang sama

Skema posisi ketiga tipe ganglion otonom tersebut diperlihatkan pada gambar 6.6, sedangkan skema perjalanan saraf simpatis dan saraf parasimpatis ditunjukkan pada Lampiran 6.2.

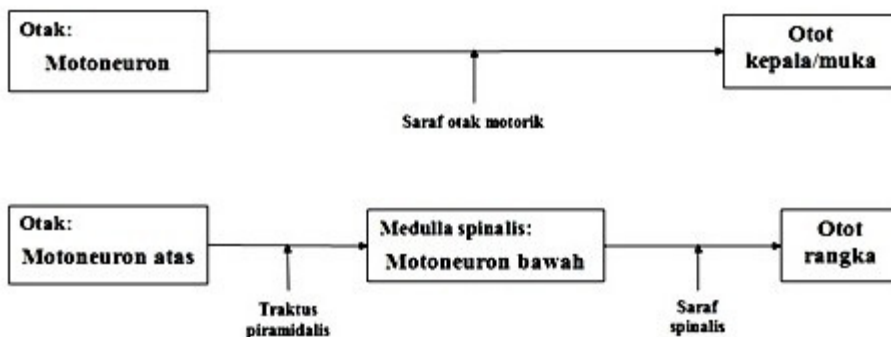


Gambar 6.6 Saraf otonom dan posisi ketiga tipe ganglionnya

Lampiran 6.1

SKEMA PERJALANAN SARAF SOMATIK

A. Saraf motorik



Atas : Saraf otak, mempersarafi otot muka, leher, dan kepala

Bawah : Saraf spinalis, mempersarafi otot batang tubuh dan alat gerak

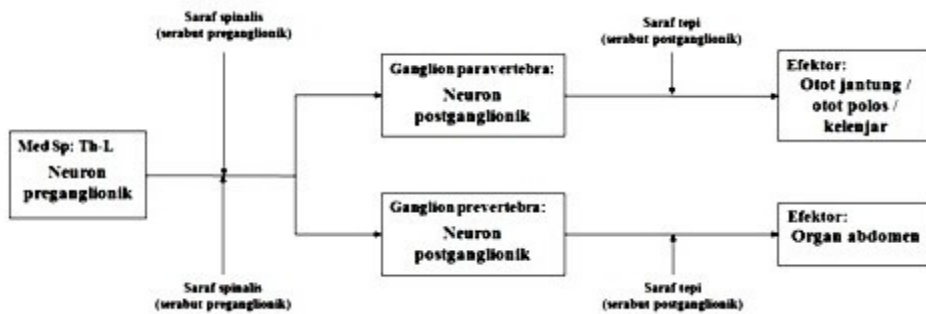
B. Saraf sensorik



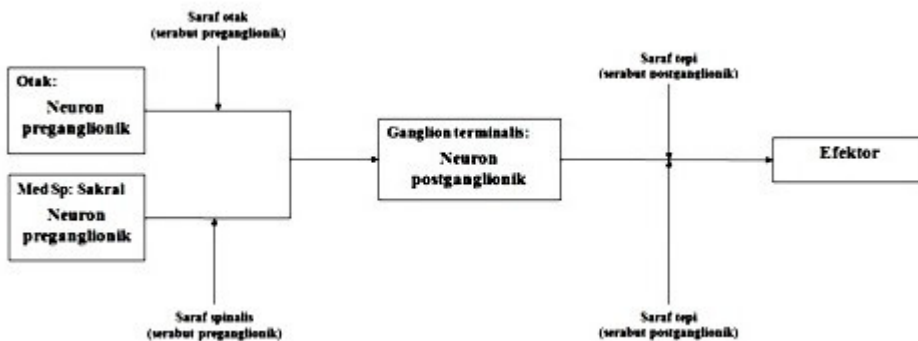
Lampiran 6.2

SKEMA PERJALANAN SARAF OTONOM

A. Saraf simpatis



B. Saraf parasimpatis



LATIHAN 6

Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

1. Nervus medianus merupakan salah satu cabang dari:
A. Pleksus servikalis
B. Pleksus brachialis
C. Pleksus lumbalis
D. Pleksus sakralis
2. Pleksus saraf yang terdapat di lengan atas adalah:
A. Pleksus servikalis
B. Pleksus brachialis
C. Pleksus lumbalis
D. Pleksus sakralis
3. Cabang dari pleksus lumbalis antara lain:
A. Nervus femoralis
B. Nervus siatikus
C. Nervus tibialis
D. Semuanya benar
3. Pernyataan di bawah ini benar, **kecuali**:
A. Saraf otak terdiri atas 12 pasang
B. Saraf servikalis terdiri atas 7 pasang
C. Saraf thorakalis terdiri atas 12 pasang
D. Saraf lumbalis terdiri atas 5 pasang
5. Komponen yang terdapat dalam Nervus Olfaktorius adalah:
A. Somatik sensorik
B. Somatik motorik
C. Otonom simpatis
D. Otonom parasimpatis

Untuk No 6 s.d. 11: Pilihlah saraf otak yang memenuhi pernyataan yang diberikan

6. Menggerakkan bola mata ke medial:
 - A. Nervus opthalmikus
 - B. Nervus okulomotorius
 - C. Nervus trokhlearis
 - D. Nervus abduzens
7. Mengecap dengan ujung lidah:
 - A. Nervus olfaktorius
 - B. Nervus trigeminus
 - C. Nervus fasialis
 - D. Nervus glosso-faringeus
8. Mengatur keseimbangan waktu berjalan:
 - A. Nervus trigeminus
 - B. Nervus vestibulo-kokhlearis
 - C. Nervus vagus
 - D. Nervus aksesorius

9. Menggerakkan rahang:

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| A. Nervus trokhlearis | C. Nervus aksessorius |
| B. Nervus trigeminus | D. Nervus hipoglossus |
10. Secara fisiogenetik mengalami degenerasi pada manusia:

| | |
|------------------|-----------------|
| A. Saraf otak I | C. Saraf otak V |
| B. Saraf otak II | D. Saraf otak X |
11. Menggerakkan lidah waktu berbicara:

| | |
|------------------|-------------------|
| A. Saraf otak V | C. Saraf otak XI |
| B. Saraf otak IX | D. Saraf otak XII |
12. Saraf penggerak bola mata adalah sebagai berikut, **kecuali**:

| | |
|-------------------------|------------------------|
| A. Nervus okulomotorius | C. Nervus ophthalmikus |
| B. Nervus trokhlearis | D. Nervus abduzens |
13. Salah satu contoh hasil stimulasi nervus vagus yaitu:
 - A. Saluran pernapasan melebar (bronkhodilatasi)
 - B. Denyut jantung melambat
 - C. Hati melepaskan glukosa ke dalam darah
 - D. Peristalsis menurun
14. Pilihlah yang benar:
 - A. Badan sel motor neuron bawah (*lower motor neuron*) terdapat dalam ganglion spinalis
 - B. Badan sel neuron sensorik terdapat dalam ganglion spinalis
 - C. Radiks dorsalis merupakan komponen efferen saraf spinalis
 - D. Ganglion spinalis terdapat pada radiks ventralis saraf spinalis
15. Serabut saraf parasimpatis keluar Susunan Saraf Pusat bersama:
 - A. Saraf servikalis dan thorakalis
 - B. Saraf thorakalis dan lumbalis
 - C. Saraf otak dan sakralis
 - D. Semuanya salah
16. Trunkus simpatikus dibentuk oleh:

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| A. Ganglion terminalis | C. Ganglion prevertebralis |
| B. Ganglion spinalis | D. Ganglion paravertebralis |
17. Ganglion parasimpatis yang terletak dekat organ effektor adalah:

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| A. Ganglion terminalis | C. Ganglion prevertebralis |
| B. Ganglion spinalis | D. Ganglion paravertebralis |

18. Ganglion solaris merupakan contoh ganglion:
- A. Somatik afferen
 - B. Simpatis
 - C. Parasimpatis
 - D. (b) dan (c) benar
19. Nervus kranialis I keluar dari otak pada:
- A. Telensefalon
 - B. Diensefalon
 - C. Mesensefalon
 - D. Metensefalon
20. Nervus optikus keluar dari otak melalui:
- A. Epithalamus
 - B. Thalamus
 - C. Hipothalamus
 - D. Subthalamus (Ventral thalamus)
21. Saraf otak yang keluar dari otak tengah adalah:
- A. Nervus kranialis II dan III
 - B. Nervus kranialis III dan IV
 - C. Nervus kranialis IV dan V
 - D. Semuanya salah
22. Saraf otak yang keluar dari otak melalui pons adalah:
- A. Saraf otak V
 - B. Saraf otak VI
 - C. Saraf otak VII
 - D. Yang benar lebih daripada satu
23. Saraf otak yang keluar dari medulla oblongata ialah:
- A. Saraf otak VII
 - B. Saraf otak IX
 - C. Saraf otak X
 - D. Semuanya benar
24. Komponen sensorik pada nervus spinalis terdapat pada:
- A. Radiks ventralis
 - B. Radiks dorsalis
 - C. (A) dan (B) benar
 - D. (A) dan (B) salah
25. Neuron motorik pada medulla spinalis tergolong dalam:
- A. Motoneuron atas
 - B. Motoneuron bawah
 - C. (A) dan (B) mungkin benar
 - D. (A) dan (B) salah

26. Neuron sensorik pada medulla spinalis adalah:
- A. Neuron sensorik derajat I
 - B. Neuron sensorik derajat II
 - C. Neuron sensorik derajat III
 - D. Semuanya salah
27. Serabut saraf bermielin pada saraf otonom didapatkan pada:
- A. Serabut saraf preganglionik
 - B. Serabut saraf postganglionik
 - C. (A) dan (B) benar
 - D. (A) dan (B) salah
28. Komponen yang ada pada nervus thorakalis yang **keluar** dari Medulla Spinalis adalah:
- A. Somatik motorik
 - B. Otonom simpatik
 - C. (A) dan (B) benar
 - D. (A) dan (B) salah

BAB 7

PENGINDERAAN I

❖ **Reseptor Sensorik**

Fungsi reseptor sensorik ialah untuk melakukan **proses transduksi**, yaitu mengkonversi berbagai bentuk energi (stimulus) dari lingkungan menjadi **potensial aksi** pada neuron, untuk diteruskan ke SSP dan diterima sebagai informasi mengenai keadaan lingkungan internal dan eksternal.

Reseptor sensorik dapat berupa bagian neuron, yaitu **ujung akson** ataupun **sel khusus**. Reseptor sensorik bersama sel lain di sekitarnya membentuk **organ indera** (*sense organ*).

Contoh bentuk energi yang dikonversi dalam proses transduksi pada reseptor sensorik antara lain yaitu stimulus:

- **Mekanis** (sentuh-tekan),
- **Termal** (panas),
- **Elektromagnetik** (cahaya),
- **Kimiawi** (bau dan cita rasa).

▪ **Karakteristik dasar reseptor sensorik**

Pada reseptor sensorik didapatkan **sel reseptor** akan yang memberi respons terhadap ambang intensitas minimum tertentu. Struktur reseptor sensorik dirancang untuk hanya menerima stimulus tertentu yang spesifik.

Sel reseptor primer akan berinteraksi dengan **serabut saraf sensorik** yang menghantarkan impuls ke SSP melalui nervus kranialis atau nervus spinalis.

❖ **Klasifikasi Organ Indera**

▪ **Menurut Lokasi Sumber Stimulus**

Klasifikasi organ indera menurut lokasi sumber stimulus adalah:

- **Teleseptor**: Menerima dari 'jarak jauh', yaitu melalui mata, telinga, dan hidung.
- **Eksteroseptor**: Menerima dari 'luar', yaitu melalui kulit.

- **Interoseptor:** Menerima dari ‘dalam’, termasuk **visceroseptor** (menerima dari viscera). Viscera yaitu organ yang dipersarafi oleh susunan saraf otonom.
- **Proprioseptor:** Menerima dari ‘diri sendiri’, yaitu melalui sendi, tendon, otot, dan organ vestibularis. Penginderaan proprioseptif memberi informasi mengenai posisi tubuh pada suatu saat dalam ruang.

▪ Menurut Tipe Stimulus

Klasifikasi organ indera menurut tipe stimulus adalah:

- **Termoreseptor** (penerima panas): Memberi respons terhadap perubahan suhu.
- **Nosiseptor** (penerima stimulus nosiseptik): Memberi respons terhadap stimulus berpotensi merusak ataupun menimbulkan rasa nyeri.
- **Kemoreseptor** (‘penerima stimulus kimiawi’): Memberi respons terhadap stimulus kimiawi, yaitu untuk pengecap, pembau, dan perubahan kadar zat kimia dalam darah (stimulus terhadap reseptor visceral).
- **Fotoreseptor** (penerima cahaya): Memberi respons terhadap stimulus cahaya.
- **Mekanoreseptor** (‘penerima stimulus mekanik’): Memberi respons terhadap stimulus fisik, yaitu stimulus sentuh-tekan, tegangan otot, perubahan posisi sendi, getaran udara dalam telinga, dan gerakan kepala (untuk dideteksi organ vestibular).

❖ Organ Indera Kulit

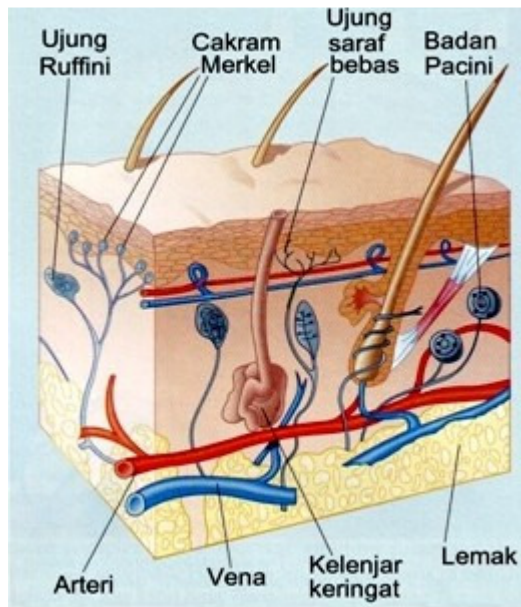
Organ indera kulit (*cutaneous sense organs*) dapat berupa (gambar 7.1):

- **Serabut saraf tak bermielin**, yaitu **ujung saraf bebas** (*naked nerve endings*) untuk menerima stimulus nyeri (nosiseptif) dan panas.
- **Serabut saraf bermielin** (modifikasi ujungnya), untuk menerima stimulus mekanis (sentuh-tekan)

Beberapa organ indera kulit sebagai modifikasi ujung serabut saraf bermielin yaitu:

- **Cakram Merkel** (*Merkel’s disk*)
- **Ujung Ruffini** (*Ruffini ending*)
- **Badan Pacini** (*Pacinian corpuscle*)

- **Badan Meissner** (*Meissner's corpuscle*)
- **Gelembung Krause** (*Krause's end-bulb*)
- **Spindel neuromuskular**
- **Organ tendon Golgi**



Gambar 7.1 Organ indera kulit

❖ Dasar Ionik Eksitasi

Sebagai contoh, yang akan dideskripsikan di sini adalah dasar ionik eksitasi pada badan Pacini (mekanoreseptor). Walaupun demikian, dasar ionik eksitasi ini juga berlaku pada hampir semua reseptor lain, kecuali mata.

Stimulus yang diterima akan meningkatkan permeabilitas membran reseptor terhadap ion Na^+ , sehingga terjadi pemasukan ion Na^+ ke dalam sel reseptor. Pemasukan ion Na^+ akan membangkitkan **potensial reseptor** (*receptor potential*; **potensial generator**, *generate potential*).

Potensial reseptor (potensial generator) adalah suatu potensial bertingkat (*graded potential*). Pada potensial bertingkat, semakin besar stimulus, semakin besar perubahan permeabilitas membran sel terhadap ion Na^+ , sehingga semakin besar pula potensial reseptor yang dibangkitkan.

Potensial reseptor ini tidak / belum dirambatkan. Jika depolarisasi yang dihasilkan potensial reseptor dapat mencapai nodus Ranvier pertama

pada ujung saraf dalam intensitas yang cukup (mencapai ambang minimum), akan timbul **potensial aksi** pada ujung akson, yang selanjutnya akan dirambatkan di sepanjang akson.

Potensial reseptor ini ditemukan juga pada cakram Merkel, spindel otot, organ Corti, organ pembau dan pengecap, serta berbagai organ indera lain.

▪ **Adaptasi**

Jika stimulus dengan intensitas konstan berlangsung beberapa lama terhadap sebuah reseptor, frekuensi potensial aksi yang dibangkitkannya lambat laun akan menurun.

Berdasarkan cepat-lambat timbulnya adaptasi, reseptor dibagi atas:

- **Reseptor phasik:** Reseptor yang cepat beradaptasi (misalnya reseptor terhadap sentuhan)
- **Reseptor tonik:** Reseptor yang lambat beradaptasi (misalnya spindel otot serta reseptor untuk dingin dan nyeri)

▪ **Kode Informasi Sensorik**

Beberapa prinsip kode informasi sensorik antara lain yaitu:

A. Doktrin energi saraf spesifik:

Jaras sensorik spesifik (*specific sensory pathway*) bersifat diskret dari organ indera sampai dengan korteks. Jika jaras saraf organ indera tertentu dirangsang, sensasi yang dibangkitkan akan sesuai dengan kekhususan reseptornya, tak tergantung bagaimana atau dimana di sepanjang jaras, aktivitas tersebut dibangkitkan.

B. Hukum proyeksi:

Dimana pun jaras sensorik dirangsang sepanjang perjalanannya ke korteks, penginderaan yang dibangkitkan selalu mengacu pada lokasi reseptor.

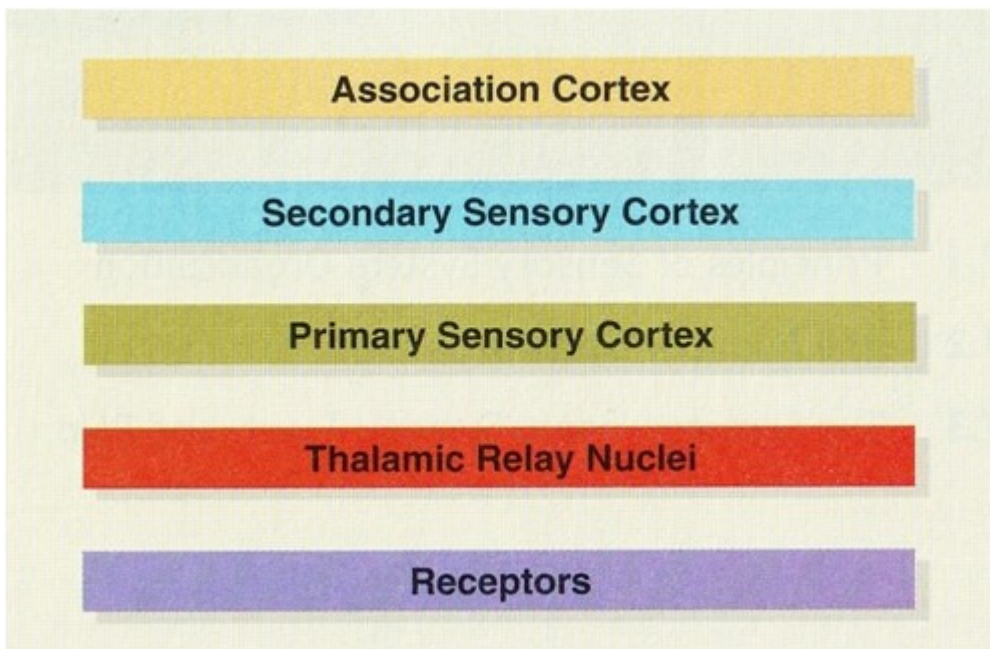
C. Diskriminasi intensitas:

Informasi mengenai intensitas stimulus diperoleh berdasarkan variasi pada frekuensi potensial aksi dan variasi pada jumlah reseptor yang diaktivasi.

Lampiran 7.1

HIERARKI ORGANISASI SISTEM SENSORIK

Hierarki sistem sensorik mulai dari tingkat terendah yaitu reseptor sampai ke tingkat tertinggi diperlihatkan pada gambar VII.1

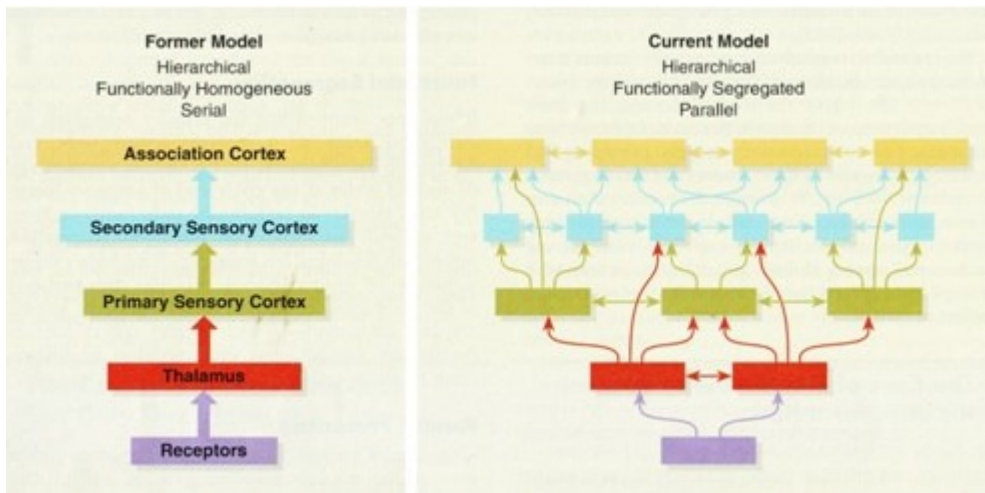


Gambar VII.1 Hierarki sistem sensorik

Lampiran 7.2

MODEL ORGANISASI SISTEM SENSORIK

Hubungan antar tingkatan sistem sensorik diperlihatkan pada gambar VII.2. Gambar kiri memperlihatkan model dugaan hubungan di masa lampau berdasarkan hubungan serial, sedangkan gambar kanan menunjukkan pendapat model hubungan masa kini yang didasarkan atas hubungan paralel.



Gambar VII.2 Model hubungan sistem sensorik

Kiri: hubungan serial; kanan: hubungan paralel

Tak tergambarkan: Jarak descending yang digunakan sistem sensorik tingkat lebih tinggi untuk mempengaruhi masukan sensorik

LATIHAN 7

Pilihlah jawaban yang paling benar

1. Yang terjadi pada proses transduksi ialah:
 - A. Konversi energi mekanis menjadi energi listrik
 - B. Konversi energi elektromagnetis menjadi energi listrik
 - C. Konversi energi kimia menjadi energi listrik
 - D. Semuanya benar
2. Reseptor sensorik dapat berupa:
 - A. Ujung akson sel saraf
 - B. Sel khusus bukan neuron
 - C. (A) dan (B) benar
 - D. (A) dan (B) salah
3. Stimulus yang datang dalam bentuk energi kimiawi diterima oleh reseptor sensorik yang ada pada:
 - A. Mata
 - B. Telinga
 - C. Hidung
 - D. Semuanya salah
4. Karakteristik dasar reseptor sensorik antara lain yaitu:
 - A. Hanya bereaksi terhadap stimulus yang melampaui ambang intensitas minimumnya
 - B. Hanya mampu menerima stimulus spesifik tertentu
 - C. (A) dan (B) benar
 - D. (A) dan (B) salah
5. Mata, telinga, dan hidung tergolong dalam organ indera:
 - A. Teleseptor
 - B. Eksteroseptor
 - C. Interoseptor
 - D. Proprioseptor
6. Proprioseptor **tidak** terdapat pada:
 - A. Otot
 - B. Kulit
 - C. Sendi
 - D. Organ vestibularis
7. Nosiseptor adalah:
 - A. Reseptor yang memberi respons terhadap stimulus kimiawi
 - B. Reseptor yang memberi respons terhadap stimulus cahaya
 - C. Reseptor yang memberi respons terhadap stimulus yang berpotensi merusak jaringan tubuh
 - D. Reseptor yang memberi respons terhadap perubahan suhu

8. Reseptor nosiseptif berupa:

| | |
|----------------------|-------------------|
| A. Ujung saraf bebas | C. Badan Meissner |
| B. Badan Pacini | D. Semuanya benar |

9. Bunyi yang datang dalam bentuk getaran udara ditangkap oleh indera:

| | |
|------------------|------------------|
| A. Teleseptor | C. Interoseptor |
| B. Eksteroseptor | D. Proprioseptor |

10. Penerimaan bau-bauan dilakukan oleh indera:

| | |
|---------------|----------------------|
| A. Teleseptor | C. (A) dan (B) benar |
| B. Kemoseptor | D. (A) dan (B) salah |

11. Ujung saraf bebas (*naked nerve ending*) merupakan reseptor khusus untuk menerima stimulus:

| | |
|---------------|----------------------|
| A. Nosiseptif | C. (A) dan (B) benar |
| B. Thermal | D. (A) dan (B) salah |

12. Pada sebagian besar reseptor, proses transduksi diawali dengan dibangkitkannya:

| | |
|------------------------|----------------------|
| A. Potensial aksi | C. (A) dan (B) benar |
| B. Potensial generator | D. (A) dan (B) salah |

13. Dasar kimiawi terjadinya potensial generator ialah:

| |
|---|
| A. Peningkatan permeabilitas membran reseptor terhadap ion K^+ |
| B. Penurunan permeabilitas membran reseptor terhadap ion K^+ |
| C. Peningkatan permeabilitas membran reseptor terhadap ion Na^+ |
| D. Penurunan permeabilitas membran reseptor terhadap ion Na^+ |

14. Pada potensial generator berlaku:

| |
|---|
| A. Semakin kuat stimulus, semakin kecil potensial yang dibangkitkannya |
| B. Semakin kuat stimulus, semakin besar potensial yang dibangkitkannya |
| C. Besar potensial yang dibangkitkan selalu tetap, tak tergantung kekuatan stimulus |
| D. Semuanya salah |

15. Hukum '*All or none*' berlaku bagi:

| | |
|-------------------------|-------------------|
| A. Potensial bertingkat | C. Keduanya benar |
| B. Potensial aksi | D. Keduanya salah |

16. Potensial reseptor ditimbulkan oleh proses:
- A. Ion Na^+ masuk ke dalam sel
 - B. Ion Ca^{+2} masuk ke dalam sel
 - C. Ion K^+ keluar dari sel
 - D. Semuanya salah
17. Adaptasi diakibatkan oleh:
- A. Stimulus dengan intensitas di bawah ambang intensitas minimum
 - B. Stimulus di atas ambang yang berlangsung kontinu
 - C. Stimulus di atas ambang yang berlangsung intermitten
 - D. Semuanya salah
18. Dalam fenomena adaptasi, yang terjadi pada reseptor ialah:
- A. Intensitas stimulus meningkat
 - B. Intensitas stimulus menurun
 - C. Frekuensi potensial aksi meningkat
 - D. Frekuensi potensial aksi menurun
19. Contoh efek kerja reseptor phasik antara lain adalah:
- A. Sensasi kesadaran menggunakan kacamata
 - B. Sensasi dingin dalam ruang terbuka di musim dingin
 - C. Sensasi nyeri pada luka pasca-bedah
 - D. Semuanya benar
20. Yang **bukan** merupakan reseptor tonik di antara organ berikut yaitu:
- A. Organ indera untuk rangsang dingin
 - B. Organ indera untuk rasa nyeri
 - C. Badan Pacini
 - D. Spindel otot
21. Doktrin energi spesifik menyatakan:
- A. Sensasi penginderaan pada perangsangan jaras saraf organ indera tertentu selalu sesuai dengan kekhususan reseptornya.
 - B. Sensasi penginderaan pada perangsangan jaras saraf organ indera tertentu tak selalu sesuai dengan kekhususan reseptornya
 - C. Sensasi penginderaan pada perangsangan jaras saraf organ indera tertentu tergantung pada cara dan lokasi perangsangan
 - D. Semuanya salah

22. Persepsi otak mengenai intensitas stimulus ditentukan oleh:
- A. Besar frekuensi potensial aksi
 - B. Jumlah reseptor yang diaktivasi
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
23. Karakteristik nyeri acuan (*referred pain*) adalah:
- A. Dirasakan pada dinding tubuh
 - B. Area kulit yang nyeri dan organ sumber rasa nyeri dipersarafi oleh saraf spinalis yang sama
 - C. Lokalisasi nyeri tidak jelas
 - D. Semuanya benar
24. Contoh nyeri letak-dalam (*deep pain*) antara lain yaitu:
- A. Nyeri lambung karena gastritis
 - B. Nyeri otot pasca olah fisik
 - C. Nyeri dada pada penyakit jantung koroner
 - D. Nyeri pinggang karena batu ginjal
25. Perangsangan pada jaras indera penglihatan tak mungkin membangkitkan sensasi pendengaran, hal ini sesuai dengan:
- A. Doktrin penginderaan khusus
 - B. Doktrin jaras sensorik
 - C. Doktrin energi saraf spesifik
 - D. Semuanya salah
26. Pernyataan bahwa perangsangan di bagian manapun sepanjang jaras sensorik akan membangkitkan pengindraannya pada lokasi reseptor adalah:
- A. Hukum persepsi
 - B. Hukum proyeksi
 - C. Hukum pengalokasian
 - D. Semuanya salah
27. Diskriminasi intensitas dimungkinkan oleh antara lain adanya variasi:
- A. Frekuensi potensial reseptor
 - B. Frekuensi potensial generator
 - C. Frekuensi potensial aksi
 - D. Semuanya salah

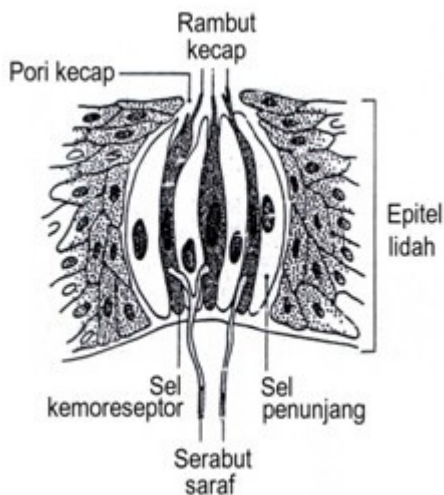
BAB 8

PENGINDERAAN II

❖ Indera Pengecapan

Organ reseptor pengecapan adalah **kuncup kecap** (*taste buds*), yaitu organ indera untuk pengecapan, berbentuk ovoid dengan ukuran 50-70 μm (gambar 8.1). Tiap kuncup kecap dibentuk oleh:

- **Sel-sel penunjang** (*supporting cells*)
- 5-18 **sel rambut** (*hair cells*; sel reseptor) reseptor gustatorik.



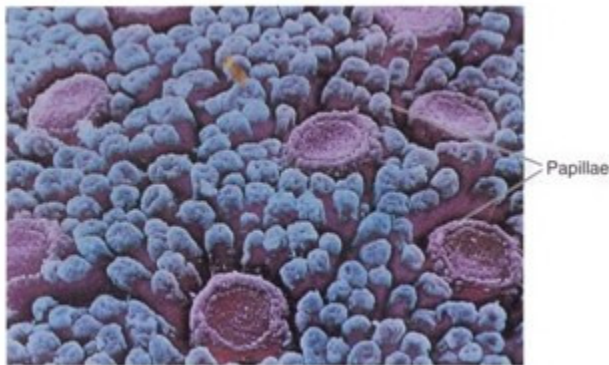
Gambar 8.1 Kuncup kecap

▪ Sel reseptor

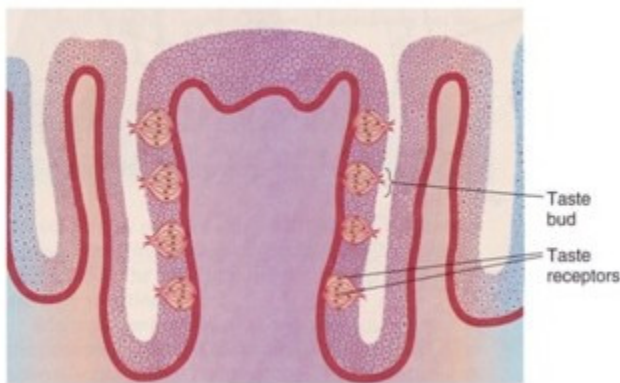
Tiap sel reseptor memiliki sejumlah rambut yang diproyeksikan ke pori kecap (*taste pore*) pada permukaan epitel rongga mulut. Ujung serabut-serabut saraf tak bermielin terbungkus oleh sel reseptor ini.

▪ Kuncup kecap

Pada manusia, kuncup kecap terdapat pada **epiglotis** (anak lidah), **palatum** (langit-langit), **faring**, dan **dinding papilla lidah**. Papilla lidah adalah tonjolan-tonjolan pada permukaan lidah (gambar 8.2). Tiap papilla lidah dapat memiliki 5-100 kuncup kecap. Jumlah kuncup kecap pada manusia 10,000.



Gambar 8.2
Papilla lidah



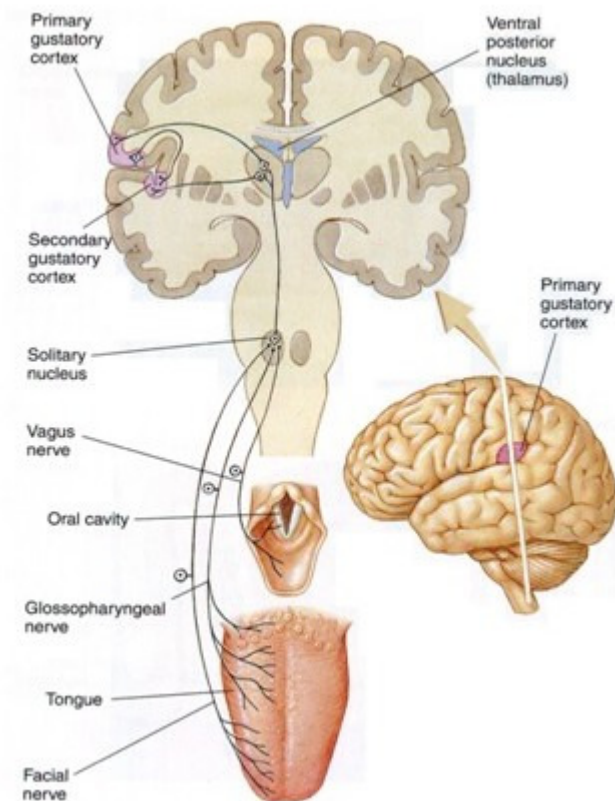
▪ **Jaras pengecapan**

Perjalanan saraf-saraf pengecapan (gustatorik) adalah sebagai berikut (gambar 8.3):

- Serabut saraf sensorik dari kuncup kecap pada **2/3 anterior lidah** bergabung dengan **nervus fasialis** (saraf otak VII) menuju ke batang otak.
- Serabut saraf sensorik dari kuncup kecap pada **1/3 posterior lidah** bergabung dengan **nervus glossofaringeus** (saraf otak IX) menuju ke batang otak.
- Serabut saraf sensorik dari kuncup kecap **bukan pada lidah** bergabung dengan **nervus vagus** (saraf otak X) menuju ke batang otak.

Serabut-serabut pengecap ketiga saraf ini bergabung memasuki **nukleus traktus solitarius** pada **medulla oblongata**, lalu bersinapsis dengan neuron sensorik derajat II yang akson-nya menyilang garis tengah dan bergabung lagi dengan serabut penginderaan sentuh, nyeri, dan temperatur. Gabungan serabut penginderaan ini selanjutnya naik keatas ke

nukleus *relay* sensorik yang spesifik pada **thalamus**, dan di-*relay* ke area proyeksi **korteks serebri** pada girus post-sentralis (**lobus parietalis**).



Gambar 8.3 Jarak pengecapan

■ **Faal Pengecapan**

Reseptor kecap merupakan **kemoreseptor** yang memberi respons terhadap substansi terlarut dalam cairan mulut yang membasahinya dengan membangkitkan potensial generator.

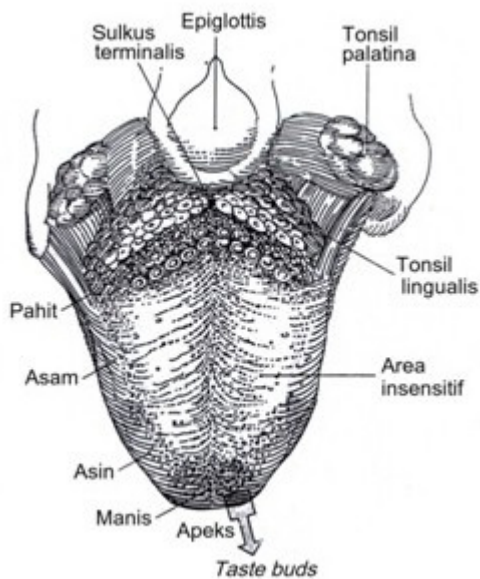
■ **Modalitas Dasar Pengecapan**

Terdapat 4 modalitas dasar pengecapan pada manusia, yaitu rasa **manis**, **asam**, **pahit**, dan **asin**. Modalitas dasar pengecapan kelima yang belum disetujui oleh seluruh komunitas ilmiah adalah rasa **gurih** (umami, antara lain dihasilkan oleh MSG).

Kuncup kecap untuk keempat (kelima) modalitas dasar ini terdapat pada seluruh lidah dan bagian lain dalam mulut.

Peta lidah (gambar 8.4) yang di masa lalu menggambarkan lokasi reseptor berbagai modalitas merupakan **miskonsepsi**:

- Lidah bagian belakang: rasa pahit
- Sisi lidah: rasa asam
- Ujung lidah: rasa manis
- Bagian anterior dorsum lidah: rasa asin
- Palatum (langit-langit): rasa asam dan pahit (sedikit sensitif terhadap manis dan asin)
- Faring dan epiglottis (anak lidah): ke-4 modalitas



Gambar 8.4 Peta lidah

Ada kuncup kecap yang memberi respons terhadap 1 modalitas, ada pula yang memberi respons terhadap 2-4 modalitas pengecapan.

Beberapa jenis hewan (kucing, anjing, babi, kera rhesus) dapat mengecap 'rasa air' yang tidak ada pada manusia.

▪ **Substansi pembangkit penginderaan kecap primer**

Untuk tiap modalitas dasar pengecapan, didapatkan substansi tertentu yang dapat membangkitkan pengindraannya:

- **Asam** (asam kimiawi; *acid*) berasa asam, yaitu akibat stimulasi **ion H^+** pada reseptor kecap.
- Rasa asin dihasilkan oleh **anion garam anorganik**, terutama halogen (Cl^- , Br^- , dan I^-)

- Rasa pahit diuji dengan **kina** (kina sulfat). Zat-zat lain yang berasa pahit antara lain yaitu strikhnin, morfin, nikotin, kafein, serta garam-garam Mg dan Ca.
- Substansi dengan rasa manis hampir seluruhnya adalah **zat organik**, antara lain yaitu sukrosa, maltosa, laktosa, glukosa, sakarin, dan sebagainya.

❖ Indera Penghidu

▪ Membran mukosa olfaktorius

Membran mukosa olfaktorius adalah bagian khusus mukosa hidung yang mengandung pigmen kekuningan dan memiliki **reseptor olfaktorius**.

Berdasarkan derajat perkembangan evolusinya, hewan dibagi atas:

- Hewan **makrosmatik**: Hewan yang indera hidu-nya berkembang tinggi, misalnya anjing.
- Hewan **mikrosmatik**: Hewan yang indera hidu-nya hanya menempati porsi kecil rongga hidung dekat septum, misalnya manusia.

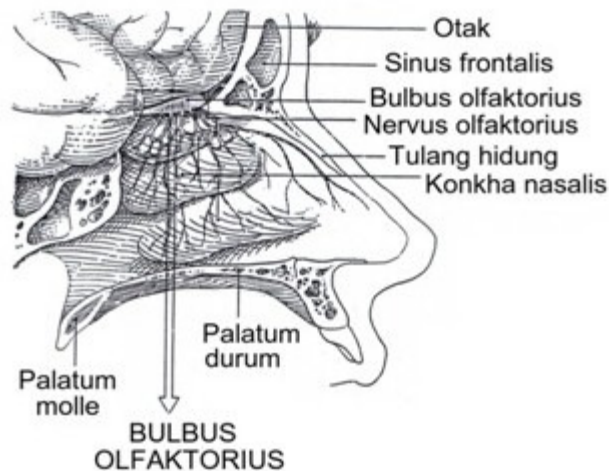
Membran mukosa olfaktorius terdiri atas:

- **Sel-sel penunjang**: mensekresikan lapisan mukus yang secara konstan menutupi epitel.
- **Sel reseptor**: berjumlah 10-20 juta, tersebar di antara sel-sel penunjang.

▪ Sel reseptor olfaktorius

Sel reseptor olfaktorius adalah neuron dengan dendrit yang pendek dan tebal, memiliki ujung yang terentang, dinamakan **batang olfaktorius** (*olfactory rods*). Dari batang ini, terproyeksi silia (*cilia*; prosesus tak bermielin) ke permukaan mukus.

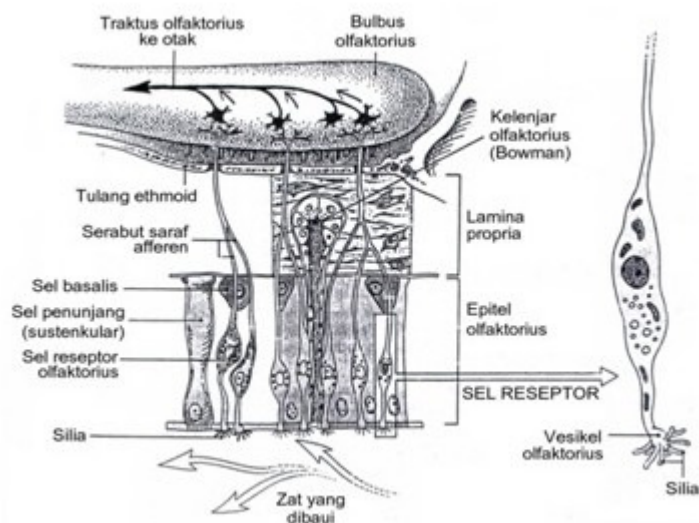
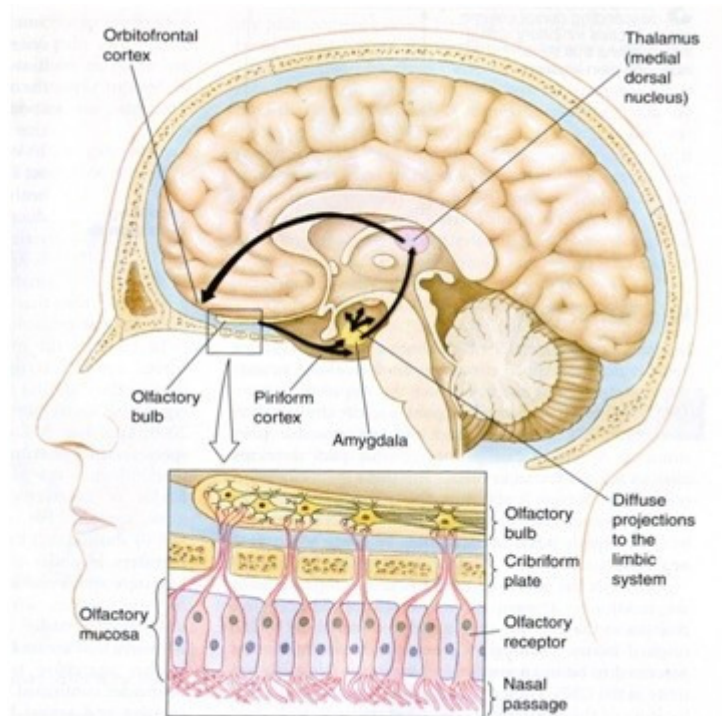
Akson-akson neuron reseptor olfaktorius bergabung membentuk **bulbus olfaktorius** (*olfactory bulb*; gambar 8.5).



Gambar 8.5 Hidung dan bagian-bagiannya

▪ **Bulbus olfaktorius**

Dalam bulbus olfaktorius (gambar 8.6), akson-akson reseptor bersinapsis dengan dendrit **sel-sel mitral**, membentuk kompleks globular yang dinamakan **glomerulus olfaktorius**. Akson-akson sel mitral melanjutkan perjalanan ke **korteks olfaktorius** (akson sel mitral bersinapsis dengan dendrit sel piramidal pada korteks olfaktorius).



Gambar 8.6 Hidung dan bulbus olfaktorius

▪ Rhinensefalon

Rhinensefalon terdiri atas bagian frontalis inferior dan perihilar pada korteks serebri, dianggap melayani fungsi penciuman. Pada mammalia termasuk manusia, hanya sebagian kecil rhinensefalon yang terkait dengan

penciuman, sisanya berhubungan dengan **respons emosional, insting**, dan fungsi **pengaturan neuroendokrin** yang kompleks, sehingga dinamakan **lobus limbik**.

▪ **Faal Penciuman**

Reseptor olfaktorius hanya memberi respons terhadap substansi yang ada pada epitel olfaktorius dan terlarut dalam lapisan tipis mukus yang menutupinya. Molekul *odoriferous* (berbau) yang bereaksi dengan reseptor membangkitkan potensial generator.

Substansi berbau tajam umumnya memiliki kandungan air tinggi dan larut dalam lemak.

▪ **Diskriminasi bebauan**

Bebauan yang berbeda menghasilkan pola peningkatan aktivitas metabolik yang berbeda pula pada bulbus olfaktorius. Manusia dapat membedakan antara 2000 s.d. 4000 macam bau, namun upaya untuk mengklasifikasikan tipe-tipe reseptor olfaktorius tidak berhasil.

▪ **Sniffing**

Sniffing (mengendus-endus) merupakan respons semirefleks yang terjadi jika ada bau baru yang menarik perhatian berupa kontraksi hidung bagian bawah pada septum. Kontraksi bagian bawah hidung ini menimbulkan pusaran arus udara dan pembelokan arah arus ke atas, sehingga lebih banyak udara yang mencapai membran mukosa olfaktorius.

▪ **Saraf nyeri pada membran mukosa olfaktorius**

Saraf nyeri pada membran mukosa olfaktorius berupa ujung saraf bebas nervus trigeminus. Saraf nyeri ini distimulasi oleh zat-zat iritatif seperti peppermint (*peppermint*), mentol, dan klorin, berperan pada refleks bersin, lakrimasi, dan lain-lain terhadap iritasi pada hidung.

▪ **Adaptasi Pembauan**

Persepsi bau menurun relatif cepat, lalu berhenti, termasuk terhadap bau yang paling tak menyenangkan. Adaptasi ini bersifat spesifik terhadap bau yang sedang dicium, sedangkan ambang terhadap bau lain tak terpengaruh.

LATIHAN 8

Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Organ indera untuk pengecapan adalah:
A. Kuncup kecap (*tase buds*)
B. Pori kecap (*taste pore*)
C. Papilla lidah
D. Semuanya salah
2. Kuncup kecap tersusun oleh:
A. Sel penunjang
B. Sel rambut
C. Keduanya benar
D. Keduanya salah
3. Kuncup kecap terdapat pada:
A. Palatum
B. Epiglottis
C. Dinding papilla lidah
D. Semuanya benar
4. Impuls sensorik dari kuncup kecap pada 1/3 posterior lidah diteruskan ke batang otak melalui:
A. Nervus fasialis
B. Nervus glossofaringeus
C. Nervus vagus
D. Semuanya salah
5. Serabut-serabut saraf pengecap memasuki SSP pada:
A. Medulla oblongata
B. Pons
C. Mesensefalon
D. Thalamus
6. Neuron sensorik derajat II untuk pengecapan terdapat di:
A. Nukleus traktus solitaires pada medulla oblongata
B. Nukleus kokhlearis pada medulla oblongata
C. Nukleus genikulatus medialis pada thalamus
D. Nukleus genikulatus lateralis pada thalamus
7. Korteks pengecapan terdapat pada:
A. Lobus frontalis
B. Lobus parietalis
C. Lobus temporalis
D. Lobus oksipitalis
8. Reseptor kecap merupakan salah satu contoh:
A. Termoreseptor
B. Nosiseptor
C. Kemoreseptor
D. Fotoreseptor

9. Modalitas dasar pengecapan pada manusia adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Manis
 - B. Pedas
 - C. Asin
 - D. Semuanya merupakan modalitas dasar pengecapan
10. Organ indera untuk rasa asam terdapat pada:
- A. Sisi lidah
 - B. Palatum
 - C. Faring
 - D. Semuanya benar
11. Impuls sensorik untuk penginderaan rasa manis diteruskan ke otak melalui:
- A. Saraf otak VII
 - B. Saraf otak IX
 - C. Saraf otak X
 - D. Yang benar lebih daripada satu
12. Rasa asin dihasilkan antara lain oleh:
- A. Ion H^+
 - B. Anion garam halogen
 - C. Garam Mg
 - D. Semuanya benar
13. Zat-zat berikut menyebabkan rasa pahit, **kecuali**:
- A. Strikhnin
 - B. Nikotin
 - C. Kafein
 - D. Semuanya salah
14. Golongan senyawa organik yang memiliki rasa manis antara lain adalah:
- A. Monosakarida
 - B. Disakarida
 - C. Polisakarida
 - D. Yang benar lebih daripada satu
15. Sensitivitas pengecapan yang relatif lebih rendah didapatkan pada kelompok:
- A. Bayi
 - B. Orang lanjut usia
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
16. Reseptor olfaktorius terdapat pada:
- A. Membran mukosa olfaktorius
 - B. Septum
 - C. Konkha
 - D. Semuanya benar

17. Contoh hewan mikrosmatik antara lain yaitu:

| | |
|-----------|-------------------|
| A. Gajah | C. Manusia |
| B. Anjing | D. Semuanya benar |

18. Membran mukosa olfaktorius tersusun atas:

| | |
|-----------------|-------------------|
| A. Sel reseptor | C. Keduanya benar |
| B. Sel mitral | D. Keduanya salah |

19. Yang tergolong dalam sel saraf di antara sel-sel berikut pada sistem olfaktorius adalah:

| | |
|-----------------|--------------------|
| A. Sel reseptor | C. A) dan B) benar |
| B. Sel mitral | D. A) dan B) salah |

20. Glomerulus olfaktorius terdapat pada:

| | |
|-------------------------------|--|
| A. Membran mukosa olfaktorius | |
| B. Bulbus olfaktorius | |
| C. Korteks penciuman | |
| D. Semuanya salah | |

21. Rhinensefalon berperan pada:

| | |
|------------------------------|--|
| A. Fungsi penciuman | |
| B. Respons emosional | |
| C. Pengaturan neuroendoktrin | |
| D. Semuanya benar | |

22. Indera penciuman tergolong dalam:

| | |
|-----------------|--------------------|
| A. Kemoreseptor | C. A) dan B) benar |
| B. Teleseptor | D. A) dan B) salah |

23. Refleks bersin terjadi karena persepsi iritatif pada membran mukosa olfaktorius yang terjadi melalui:

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| A. Nervus kranialis I | A. Nervus kranialis VII |
| B. Nervus kranialis V | B. Semuanya salah |

24. Adaptasi penciuman terjadi terhadap:

| | |
|--------------|-------------------|
| A. Bau wangi | C. Bau busuk |
| B. Bau amis | D. Semuanya benar |

25. Berdasarkan fenomena adaptasinya, indera penciuman pada manusia tergolong dalam:

| | |
|--------------------|-------------------|
| A. Reseptor phasik | C. Keduanya benar |
| B. Reseptor tonik | D. Keduanya salah |

BAB 9

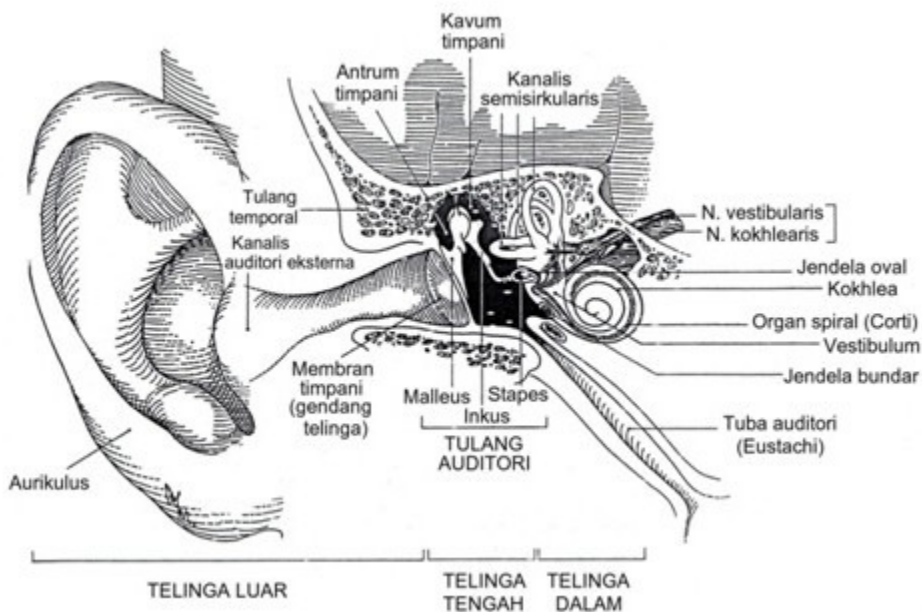
PENGINDERAAN III

❖ Telinga dan Bagian-bagiannya

■ Anatomi Telinga

Telinga terdiri atas (gambar 9.1):

- Telinga luar (*external ear*)
- Telinga tengah (*middle ear*)
- Telinga dalam (labirin; *labyrinth*)



Gambar 9.1 Telinga dan bagian-bagiannya

■ Telinga Luar

Bagian-bagian terpenting telinga luar adalah:

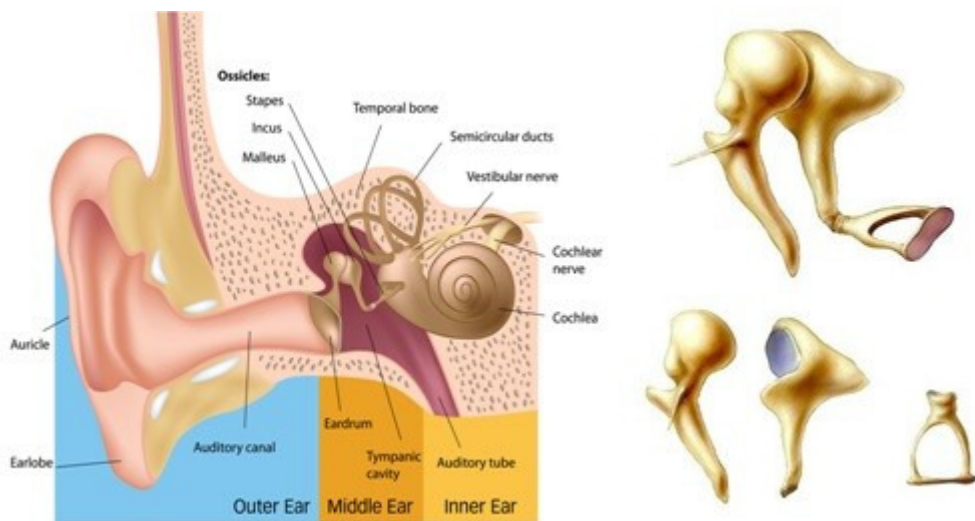
- **Aurikula** (*auricle*; pinna):
Aurikula adalah 'cuping' telinga, terbentuk oleh tulang rawan, berfungsi untuk meneruskan gelombang suara ke telinga tengah.

- **Kanalis auditorius eksterna** (*external auditory canal*)
Kanalis auditorius eksterna adalah saluran mulai dari dasar **konkha** (lekukan aurikula) sampai **membran timpani**.

■ Telinga Tengah

Bagian-bagian terpenting telinga tengah adalah:

- **Membran timpani** (*tympanic membrane; eardrum*)
Membran timpani adalah jaringan ikat yang menutupi ujung dalam **kanalis auditorius eksterna**, memisahkan telinga luar dan telinga tengah.
- **Kavum timpani** (*tympanic cavity*):
Kavum timpani adalah ruang dalam **os temporalis** yang berisi udara, terpisah dari **kanalis auditorius eksterna** oleh **membran timpani**, dan terpisah dari **telinga dalam** oleh dinding tulang dengan **jendela bundar** (*round window; fenestra kokhlea; fenestra rotunda*) serta **jendela oval** (*oval window; fenestra vestibuli; fenestra ovalis*).
- **Tuba auditorius** (tuba Eustachi; *Eustachian tube*):
Tuba auditorius mengarah ke bawah dan ke dalam dari **kavum timpani** ke **nasofaring**.
- **Tulang-tulang telinga** (*auditory ossicles; earbones*):
Tulang-tulang telinga adalah **malleus**, **inkus**, dan **stapes** yang membentuk rantai dari membran timpani ke jendela oval pada telinga dalam.

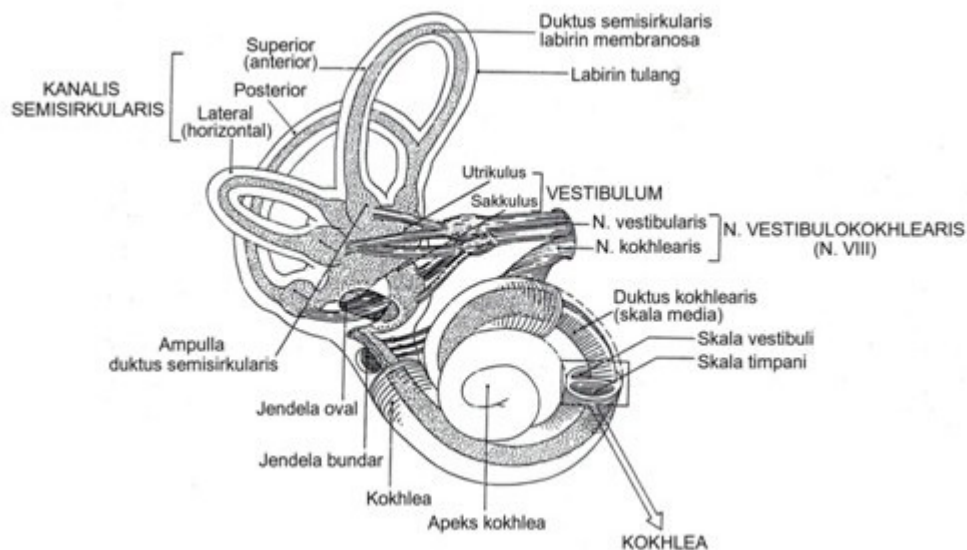


Gambar 9.2 Tulang-tulang telinga: malleus, inkus, dan stapes

▪ Telinga Dalam

Telinga tengah (labirin, *labyrinth*) berisikan (gambar 9.3):

- **Kokhlea** (organ pendengaran)
- **Kanalis semisirkularis** (organ keseimbangan)
- **Vestibulum** (*vestibule*; organ keseimbangan). terdiri atas **Utrikulus** (*utricle*) dan **sakkulus** (*sacculle*), yang terisi **endolimfe** dan dikelilingi oleh **perilimfe**

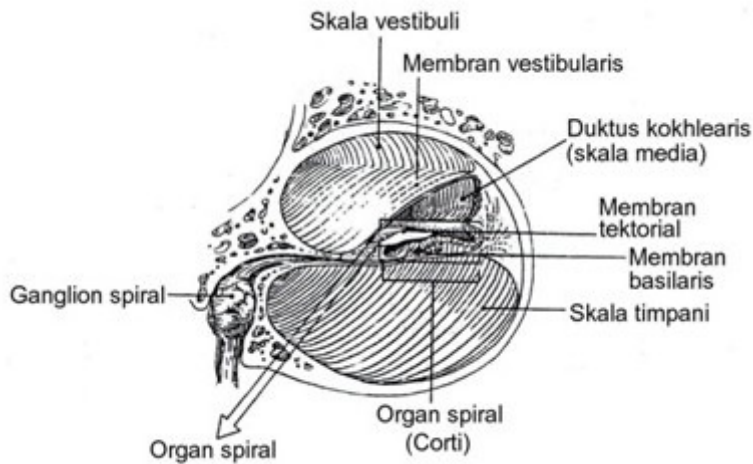


Gambar 9.3 Labirin

❖ Indera Pendengaran

▪ Kokhlea

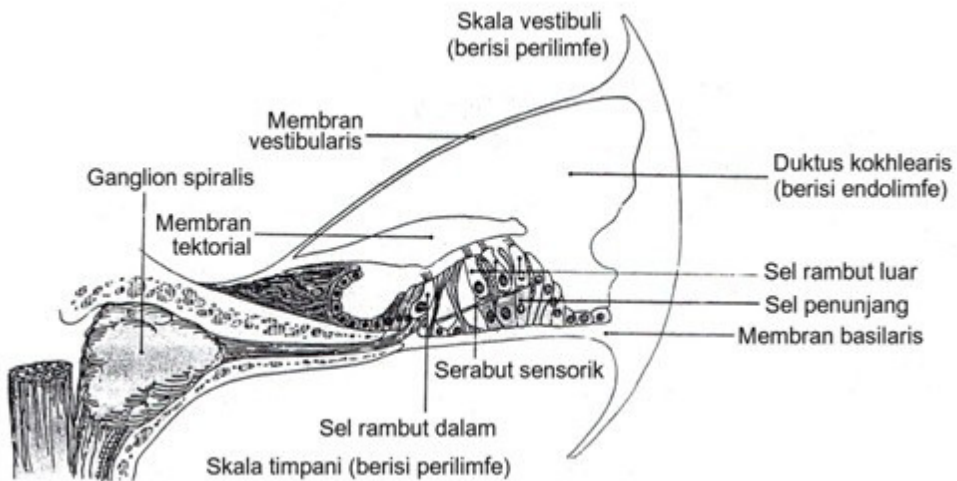
Kokhlea (*cochlea*) adalah struktur berbentuk spiral, yang terletak anterior terhadap vestibulum. Kokhlea terdiri atas **skala vestibuli** dan **skala timpani** yang berisi perilimfe, serta **skala media** yang berisi endolimfe. Ketiga skala dipisahkan oleh **membran Reissner** (membran vestibularis) dan **membran basilaris** (gambar 9.4).



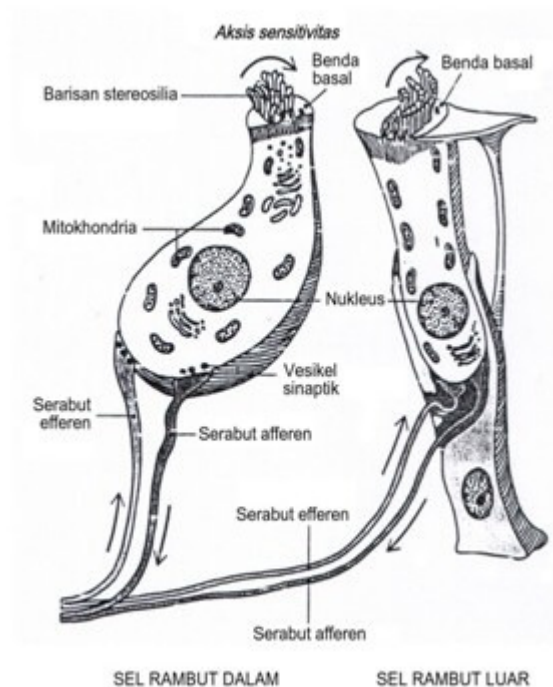
Gambar 9.4 Penampang kokhlea

▪ **Organ spiral Corti**

Reseptor pendengaran adalah organ spiral Corti yang terletak di atas **membran basilaris kokhlea**. Organ spiral Corti adalah suatu kompleks yang terdiri atas **sel penunjang** dan **sel rambut** (gambar 9.5 dan 9.6)



Gambar 9.5 Organ spiral Corti



Gambar 9.6 Sel rambut pada organ spiral Corti

▪ Respons pendengaran

Bunyi adalah penginderaan yang dihasilkan jika **getaran longitudinal** molekul pada lingkungan luar, yaitu **fase perapatan** dan **perenggangan** molekul yang saling bergantian, mencapai membran timpani. **Kuat bunyi** ditentukan oleh **amplitudo** dan **tinggi bunyi** oleh **frekuensi** gelombangnya.

Intensitas bunyi diukur dalam satuan **desibel** (1 bel = 10 desibel). **Nol desibel** adalah **ambang pendengaran** (ideal) bagi manusia rata-rata. Suara berbisik adalah 20 desibel, percakapan normal 60 desibel, dan rasa nyeri pada pendengaran 140 desibel. Rentang frekuensi pendengaran manusia berkisar antara 20 s.d. 20,000 Hz.

▪ Penghantaran bunyi

Telinga mengubah gelombang bunyi dari lingkungan luar menjadi potensial aksi pada nervus kokhlearis. Mula-mula gelombang bunyi ditransformasikan oleh membran timpani dan tulang-tulang telinga menjadi pergerakan pada pelat dasar stapes. Pergerakan ini membangkitkan gelombang cairan pada telinga dalam. Aksi gelombang ini pada organ Corti membangkitkan potensial aksi pada serabut saraf.

▪ **Hantaran gelombang bunyi ke telinga dalam**

Hantaran gelombang bunyi ke telinga dalam terjadi melalui tiga cara:

- **Konduksi ossikular:** penghantaran melalui membran timpani dan **tulang-tulang telinga** ke cairan telinga dalam.
- **Konduksi udara:** gelombang bunyi membangkitkan getaran pada membran timpani sekunder yang menutupi **fenestra rotunda** (jendela bundar).
- **Konduksi tulang:** transmisi getaran melalui **tulang tengkorak** ke cairan telinga dalam.

▪ **Perambatan gelombang**

Jarak antara stapes dengan titik maksimum intensitas gelombang bervariasi menurut frekuensi getaran yang membangkitkan gelombang. **Suara nada-tinggi** membangkitkan gelombang yang mencapai intensitas maksimum pada **basis kokhlea**; **suara nada-rendah** intensitas maksimumnya pada **apeks**.

Gelombang pada **skala vestibuli** membangkitkan gelombang pada **skala timpani** yang akan mendistorsi **membran basilaris** (tempat maksimal ditentukan oleh frekuensi gelombang suara) serta menggerakkan **membran tektorial**. Gerakan membran tektorial menggerakkan prosesus **sel-sel rambut** (stereosilia), sehingga membuka saluran ion Na^+ dan Ca^+ pada membran sel rambut dan membangkitkan **potensial reseptor**.

Sel-sel rambut mudah rusak oleh pajanan terhadap suara berintensitas tinggi atau yang intensitasnya tidak terlalu tinggi, tetapi bersifat kronis. Sel rambut tidak memiliki dendrit atau akson. Depolarisasinya mengakibatkan pelepasan neurotransmitter yang mengaktifasi serabut afferen nervus kokhlearis dan membangkitkan potensial aksi.

▪ **Mekanisme penerimaan bunyi di otak**

Jarak impuls auditorius bermula dari **nervus kokhlearis** yang bergabung dengan **nervus vestibulo-kokhlearis**, lalu menuju **nukleus kokhlearis** pada **medulla oblongata**. Dari sini impuls dilanjutkan menuju **kollikulus inferior** (pusat reflex auditorius), lalu menuju **nukleus genikulatus medialis** pada **thalamus**, dan akhirnya mencapai **korteks auditorius** pada **lobus temporalis**.

Korteks auditorius berfungsi untuk mengenali pola tonal, analisis sifat-sifat bunyi, dan lokalisasi sumber bunyi.

Lokalisasi sumber bunyi dilakukan dengan mendeteksi perbedaan waktu datangnya stimulus ke kedua telinga dan perbedaan fase gelombang

bunyi di kedua sisi, juga suara akan lebih keras pada sisi yang lebih dekat dengan sumber bunyi

▪ **Tuli**

Secara klinis, tuli dibedakan menjadi tuli konduktif (tuli THT) dan tuli perseptif (tuli saraf):

- **Tuli konduktif** disebabkan oleh gangguan transmisi bunyi pada telinga luar atau tengah. Penyebabnya antara lain:
 - Serumen (kotoran telinga) atau benda asing
 - Destruksi tulang-tulang telinga
 - Penebalan membran timpani (akibat infeksi berulang telinga tengah)
 - Rigiditas perlekatan stapes pada fenestra vestibuli (otosklerosis)
- **Tuli perseptif** disebabkan oleh kerusakan pada reseptor pendengaran atau jaras saraf, disebabkan antara lain oleh:
 - Degenerasi toksik sel-sel rambut oleh streptomisin dan gentamisin (terkumpul pada endolimfe)
 - Tumor otak
 - Gangguan vaskular pada medulla

▪ **Pemeriksaan pendengaran**

Beberapa cara pemeriksaan pendengaran yaitu:

- Tes bisik
- Tes garpu tala: tes Rinne, Weber, dan Schwabach
- Pemeriksaan audiometri

▪ **Penyebab tuli**

Penyebab tuli antara lain adalah:

- Kongenital / herediter (otosklerosis)
- Infeksi
- Trauma mekanis
- Iatrogenik (efek toksis obat)
- Bunyi keras

▪ **Alat bantu dengar**

Alat bantu dengar (*hearing aid*) adalah alat elektroakustik yang dirancang untuk memperkuat dan memodulasi suara bagi pemakainya (gambar 9.7).



Gambar 9.7 Alat bantu dengar digital

❖ Indera Keseimbangan

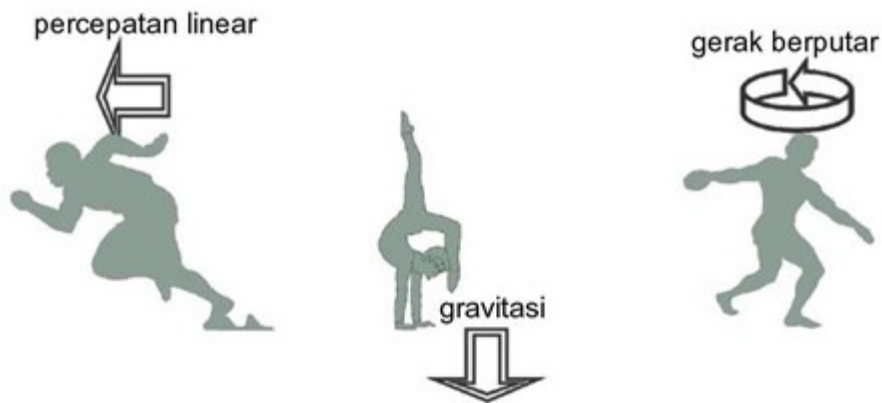
Indera keseimbangan terdiri atas:

- **Organ otolith:** Utrikulus & sakkulus (berisikan otolith / kristal kalsium karbonat)
- **Kanalis semisirkularis**

▪ Tipe gerakan tubuh

Tiga tipe dasar gerakan tubuh adalah (gambar 9.8):

1. Percepatan linear
2. Gerak oleh gaya gravitasi
3. Gerak berputar (rotasi)

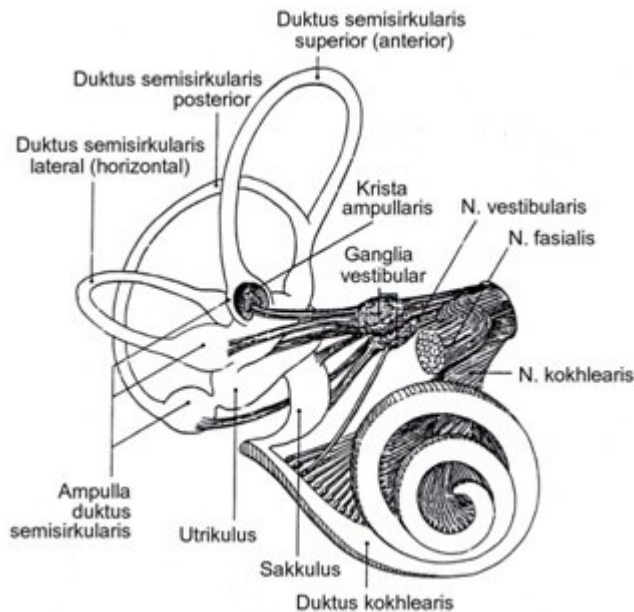


Gambar 9.8 Tipe gerakan tubuh

■ Fungsi organ keseimbangan

Organ keseimbangan terdiri atas (gambar 9.9):

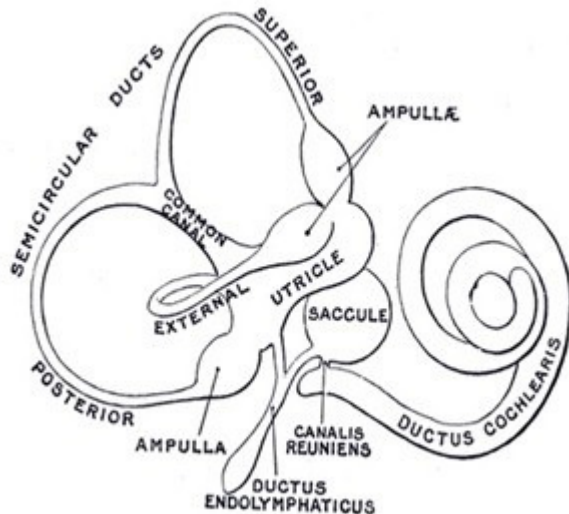
- Fungsi **organ otolith** adalah mendeteksi:
 - **Gerak translasi dipercepat** (dalam garis lurus)
 - **Posisi kepala dalam ruang gravitasi**
- Fungsi **kanalis semisirkularis** adalah mendeteksi **rotasi kepala** (gerak berputar)



Gambar 9.9 Apparatus vestibularis

▪ Organ otolith

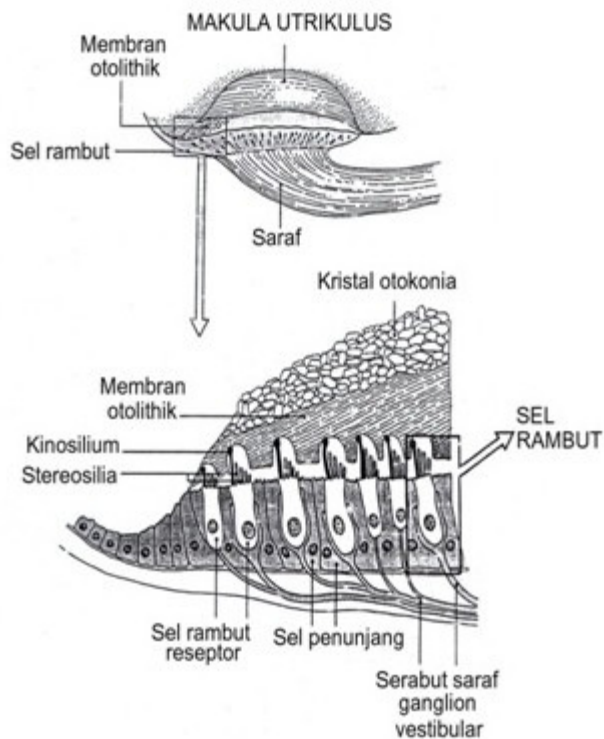
Organ otolith terdapat dalam **vestibulum**, yang merupakan ruang pusat labirin. Vestibulum terdiri atas 2 bagian, **utrikulus** (*utricle*) dan **sakkulus** (*sacculle*).



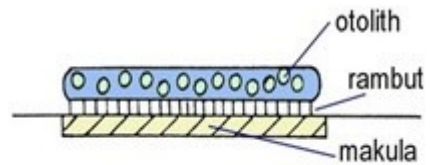
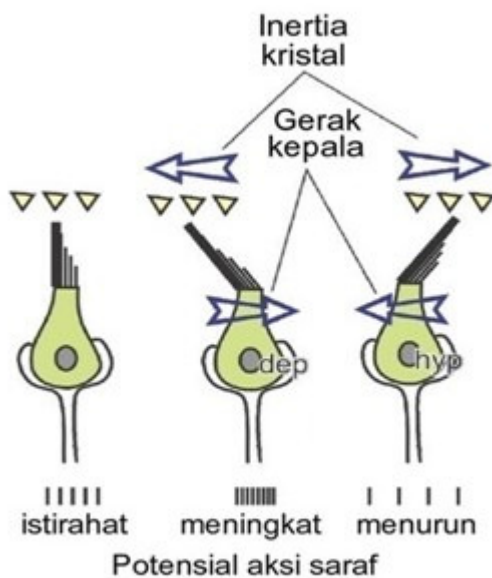
Gambar 9.10
Organ otolith:
Utrikulus & sakkulus

Regio reseptor pada utrikulus dan sakkulus dinamakan **makula** (gambar 9.11). Dalam makula terdapat sel reseptor keseimbangan, yaitu **sel rambut** dengan struktur serupa seperti pada kokhlea (gambar 9.12).

Gerak linear kepala dengan percepatan akan menggerakkan kristal otolith (kristal otokonia) yang menggesek silia sel rambut dan membangkitkan potensial reseptor.



Gambar 9.11
Makula:
Regio reseptor
Utrikulus & sakkulus



Gambar 9.12
Sel rambut otolith

▪ Kanalis semisirkularis

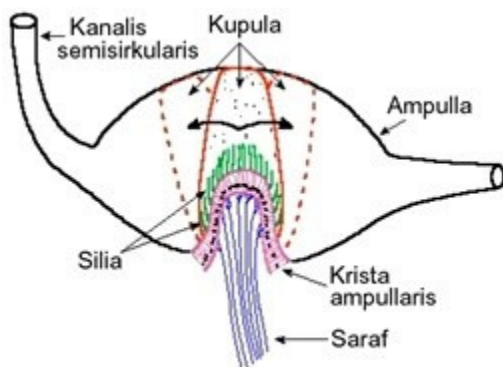
Kanalis semisirkularis tersusun oleh tiga kanalis kecil yang terletak saling tegak lurus, posterior terhadap vestibulum (lihat kembali gambar 9.9). Ketiga kanalis tersebut adalah:

- Kanalis semisirkularis superior (anterior)
- Kanalis semisirkularis posterior
- Kanalis semisirkularis lateral (horizontal)

Ketiganya masing-masing mendeteksi gerak berputar dalam 3 bidang yang saling tegak lurus. Sumbu geraknya mengalami aktivasi jika kepala mengangguk, menggeleng, dan dimiringkan sehingga telinga menyentuh bahu.

Di dalam tiap kanalis semisirkularis (struktur tulang) terdapat duktus semisirkularis (struktur membran). Duktus semisirkularis terapung dalam perilimfe.

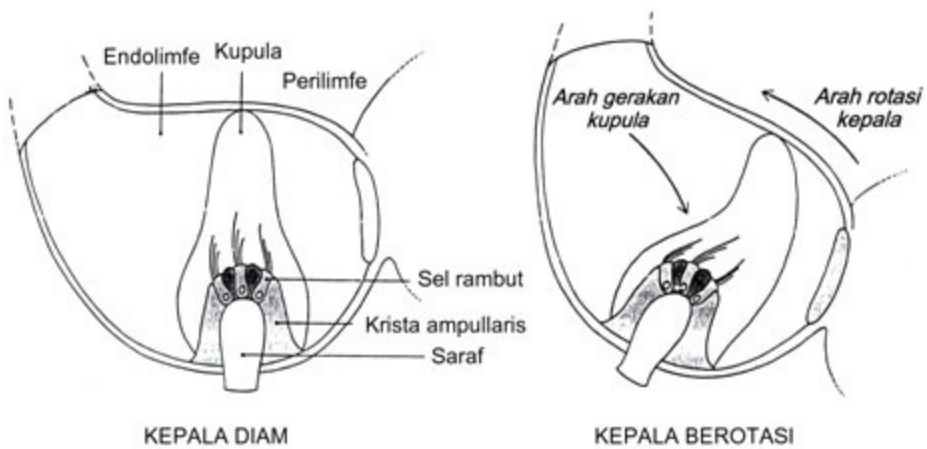
Tiap duktus memiliki ujung yang melebar, yaitu **ampulla**. Ampulla berisi struktur reseptor, **krista ampullaris** dengan sel reseptor, yaitu sel rambut. Silia sel rambut ditutupi oleh massa gelatinosa, yang dinamakan **kupula** (gambar 9.13).



Gambar 9.13 Kupula

Gerakan kepala akan menggerakkan duktus semisirkularis. Cairan yang mengisi duktus cenderung 'tertinggal' karena kelebamannya, menimbulkan perbedaan tekanan di sepanjang kupula. perbedaan tekanan ini menggerakkan rambut dan menstimulasi sel rambut, sehingga terjadi pelepasan neurotransmitter yang mengaktivasi ujung sel saraf yang bersinapsis dengan sel rambut (gambar 9.14).

Stimulasi sel rambut hanya terjadi jika gerakan cairan duktus 'tertinggal' oleh gerakan kepala, yaitu pada saat terjadi percepatan (atau perlambatan) gerakan kepala.



Gambar 9.14 Rotasi kepala dan pergerakan kupula

▪ Vertigo

Vertigo adalah rasa pusing karena gangguan keseimbangan, terdapat misalnya pada *motion sickness* (mabuk kendaraan), biasanya disertai rasa mual.

Sindrom Meniere adalah trias gejala vertigo, tinnitus (bunyi mendenging di telinga), dan tuli perseptif.

LATIHAN 9

Pilihlah jawaban yang paling benar

1. Telinga luar dan telinga tengah dipisahkan oleh:
A. Membran basilaris
B. Membrane timpani
C. Fenestra rotunda
D. Fenestra ovalis
2. Telinga luar dan telinga dalam dihubungkan oleh:
A. Tuba Eustachi
B. Duktus semisirkularis
C. Tulang-tulang telinga
D. Semuanya benar
3. Fungsi aurikula (*auricle*) adalah:
A. Sebagai reseptor gelombang suara
B. Memperkuat intensitas gelombang suara
C. Meneruskan gelombang suara ke telinga tengah
D. Semuanya salah
4. Kanalis auditorius eksterna adalah saluran yang bermula:
A. Dari dasar konkha sampai membran timpani
B. Dari membran timpani sampai tuba auditorius
C. Dari membran timpani sampai kokhlea
D. Semuanya salah
5. Istilah 'labirin' memiliki pengertian yang sama dengan:
A. Telinga luar
B. Telinga tengah
C. Telinga dalam
D. Semuanya salah
6. Vestibulum adalah:
A. Ruang pusat telinga dalam, terdiri atas utrikulus dan sakkulus
B. Struktur berbentuk spiral yang berisi perilimfe dan endolimfe
C. Organ pendengar yang terletak di atas membran basilaris
D. Ruang berisi udara dalam os temporalis
7. Kavum timpani berada dalam:
A. Os frontalis
B. Os temporalis
C. Os parietalis
D. Os oksipitalis
8. Yang berisi udara di antara ruang berikut ini yaitu:
A. Kanalis auditorius eksterna
B. Kavum timpani
C. Tuba auditorius
D. Semuanya benar

9. Pilihlah pernyataan yang benar:
- A. Reseptor pendengaran berada pada kokhlea
 - B. Reseptor keseimbangan berada pada kanalis semisirkularis
 - C. (A) dan (B) benar
 - D. (A) dan (B) salah
10. Tulang-tulang telinga malleus, inkus, dan stapes terletak dalam:
- A. Telinga luar
 - B. Telinga tengah
 - C. Telinga dalam
 - D. Semuanya salah
11. Membran Reissner memisahkan:
- A. Skala vestibuli dengan skala timpani
 - B. Skala media dengan skala timpani
 - C. Skala vestibuli dengan skala media
 - D. Semuanya salah
12. Pilihlah yang benar:
- A. Sakkulus berisi cairan perilimfe
 - B. Skala timpani berisi cairan endolimfe
 - C. Skala media berisi cairan perilimfe
 - D. Duktus semisirkularis berisi cairan endolimfe
13. Organ spiral Corti tersusun atas:
- A. Sel rambut
 - B. Sel penunjang
 - C. A) dan B) benar
 - D. A) dan B) salah
14. Bunyi di udara adalah:
- A. Gelombang transversal
 - B. Gelombang longitudinal
 - C. Keduanya mungkin benar
 - D. Keduanya salah
15. Tinggi bunyi ditentukan oleh:
- A. Amplitudo gelombang
 - B. Frekuensi gelombang
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
16. Kuat bunyi ditentukan oleh:
- A. Amplitudo gelombang
 - B. Frekuensi gelombang
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
17. Intensitas percakapan normal rata-rata adalah:
- A. 20 desibel
 - B. 60 desibel
 - C. 140 desibel
 - D. Semuanya salah

18. Rentang frekuensi pendengaran manusia rata-rata adalah:
A. 0 s.d 1,000 Hz
B. 5 s.d 5,000 Hz
C. 20 s.d 20,000 Hz
D. Semuanya salah
19. Ambang nyeri tercapai jika menerima bunyi dengan intensitas:
A. 20 desibel
B. 60 desibel
C. 140 desibel
D. Semuanya salah
20. Tulang telinga yang langsung menyampaikan gelombang bunyi ke telinga dalam adalah:
A. Maleus
B. Stapes
C. Inkus
D. Semuanya salah
21. Pilihlah yang benar:
A. Konduksi ossikular terjadi melalui membran timpani dan tulang-tulang telinga ke cairan telinga dalam
B. Konduksi udara terjadi melalui membran timpani sekunder yang menutupi fenestra rotunda
C. Konduksi tulang terjadi melalui tulang tengkorak ke cairan telinga dalam
D. Semuanya benar
22. Stimulasi sel rambut kokhlea pada konduksi ossikular terjadi dalam urutan peristiwa sebagai berikut:
A. Distorsi membran basilaris-gerakan membran tektorial-gelombang pada skala timpani gelombang pada skala vestibuli gerakan supersilia
B. Gerakan membran tektorial distorsi membran basilaris-gelombang pada skala vestibuli-gelombang pada skala timpani-gerakan supersilia
C. Gelombang pada skala vestibuli-gelombang pada skala timpani-distorsi membrane basilaris gerakan membran tektorial gerakan supersilia
D. Gelombang pada skala timpani gelombang pada skala vestibuli distorsi membran basilaris gerakan membran tektorial gerakan supersilia
23. Impuls yang dihantarkan oleh nervus kokhlearis disampaikan ke nukleus kokhlearis yang berada di:
A. Medulla oblongata
B. Pons
C. Mesensefalon
D. Thalamus

24. Pusat reflex auditorius terletak pada:
A. Medulla oblongata
B. Pons
C. Mesensefalon
D. Thalamus
25. Korteks auditorius terdapat pada:
A. Lobus frontalis
B. Lobus parietalis
C. Lobus temporalis
D. Lobus oksipitalis
26. Pilihlah pernyataan yang benar:
A. Tuli konduktif disebabkan gangguan transmisi bunyi pada telinga tengah atau telinga dalam
B. Tuli perseptif disebabkan kerusakan pada reseptor pendengaran atau jaras saraf
C. (A) dan (B) benar
D. (A) dan (B) salah
27. Otosklerosis dapat menyebabkan:
A. Tuli konduktif
B. Tuli perseptif
C. Keduanya mungkin benar
D. Keduanya salah
28. Indera keseimbangan terdapat pada bagian berikut, **kecuali**:
A. Organ otolith
B. Kanalis semisirkularis
C. Kokhlea
D. Semuanya benar tanpa kecuali
29. Reseptor keseimbangan adalah:
A. Kupula
B. Sel rambut pada krista ampullaris
C. Organ Corti
D. Semuanya salah
30. Stimulasi indera keseimbangan dapat terjadi oleh, **kecuali**:
A. Gerak lurus beraturan
B. Gerak lurus dipercepat
C. Gerak rotasi pada sumbu kepala
D. Semuanya salah

31. Pilihlah yang benar:
- A. Organ otolith berfungsi mendeteksi gerak lurus dipercepat
 - B. Kanalis semisirkularis berfungsi mendeteksi posisi kepala dalam ruang gravitasi
 - C. (A) dan (B) benar
 - D. (A) dan (B) salah
32. Ketiga duktus semisirkularis adalah:
- A. Superior, anterior, dan lateral
 - B. Superior, posterior, dan lateral
 - C. Inferior, posterior, dan lateral
 - D. Semuanya salah
33. Pilihlah yang benar:
- A. Makula adalah regio reseptor pada utrikulus
 - B. Kupula adalah regio reseptor pada sakkulus
 - C. Kanalis semisirkularis adalah struktur membran dalam duktus semisirkularis
 - D. Semuanya benar

BAB 10

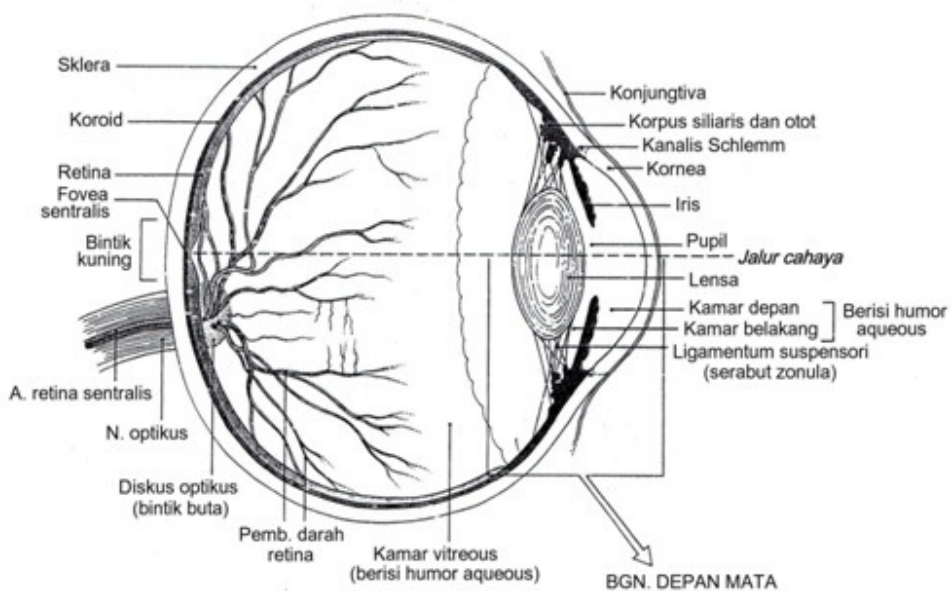
PENGINDERAAN IV

❖ Mata dan Bagian-bagiannya

▪ Anatomi mata

Mata terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut (gambar 10.1):

- ◆ Lapisan penunjang
- ◆ Lapisan vaskular
- ◆ Lapisan retina
- ◆ Rongga bola mata



Gambar 10.1 Mata dan bagian-bagiannya

▪ Lapisan Penunjang

Lapisan penunjang mata terdiri atas:

A. Sklera

Sklera (*sclera*) adalah lapisan terluar mata yang keras, terdiri atas jaringan ikat yang *opaq*. Sklera merupakan bagian mata yang tampak dari luar, berwarna putih.

B. Kornea

Kornea (*cornea*) adalah modifikasi sklera di bagian anterior, yang bersifat **transparan** (tembus cahaya).

▪ Lapisan Vaskular

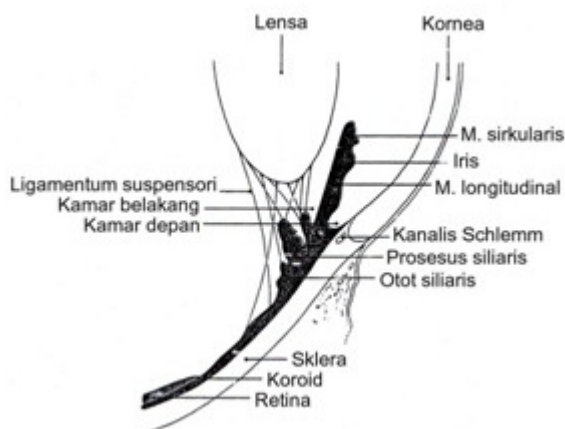
Lapisan vaskular mata terdiri atas:

A. Koroidea

Koroidea (*choroid*) merupakan membran tipis pembuluh darah, berada antara sklera dan retina

B. Korpus siliaris

Korpus siliaris (*ciliary body*) adalah bagian anterior koroidea yang menebal, berisi otot siliaris yang membantu **mengatur fokus lensa** (gambar 10.2). Korpus siliaris menghasilkan **cairan akueus** dan beberapa elemen **cairan vitreus**.



Gambar 10.2
Bagian anterior mata

C. Lensa

Lensa (lensa kristalina; *crystalline lens*) berada di belakang kornea, bersifat transparan, dan mampu **berakomodasi** sesuai kebutuhan.

D. Iris

Iris merupakan **diafragma** (lapisan otot tipis) di depan lensa, mengandung pigmen dan bersifat *opaq*.

E. Pupil

Pupil adalah bagian lensa yang terlihat dari depan, **terbuka** ke depan untuk dimasuki cahaya.

▪ Lapisan Retina

Lapisan retina mata terdiri atas:

A. Retina

Retina melapisi 2/3 posterior koroidea, di sebelah dalamnya terdiri atas lapisan **saraf** dan lapisan **pigmen**. Retina menerima gelombang cahaya yang terfokus dan mentransduksinya menjadi impuls saraf.

B. Fovea

Fovea (fovea sentralis) adalah lekukan di bagian tengah retina, hanya mengandung **sel kerucut**. Fovea merupakan area penting bagi **penglihatan warna**.

▪ Rongga Bola Mata

Rongga bola mata terbagi menjadi:

A. Kamar akueus

Kamar akueus (*aqueous chamber*), terdiri atas:

➤ Kamar depan

Kamar depan (*anterior chamber*) berada di antara kornea dan iris, berisi cairan akueus (*aqueous humor*), cairan jernih yang dihasilkan oleh korpus siliaris.

➤ Kamar belakang

Kamar belakang (*posterior chamber*) berada di antara iris dan lensa, berisi cairan akueus.

B. Kamar vitreus

Kamar vitreus (*vitreous chamber*) membentuk rongga terbesar di belakang lensa, berisi cairan vitreus (*vitreous humor*), materi seperti agar.

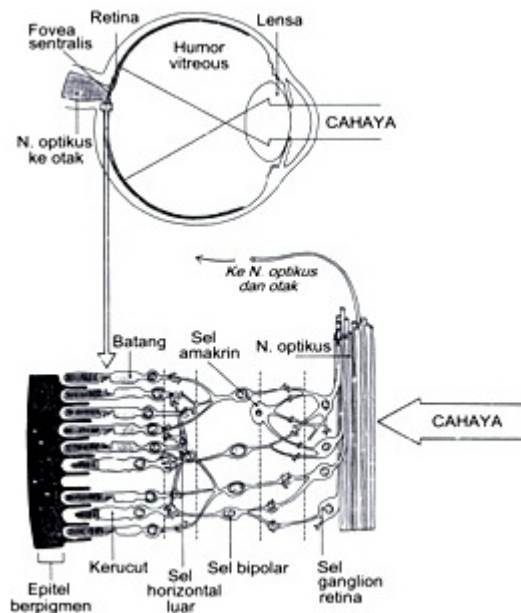
❖ Indera Penglihatan

▪ Retina

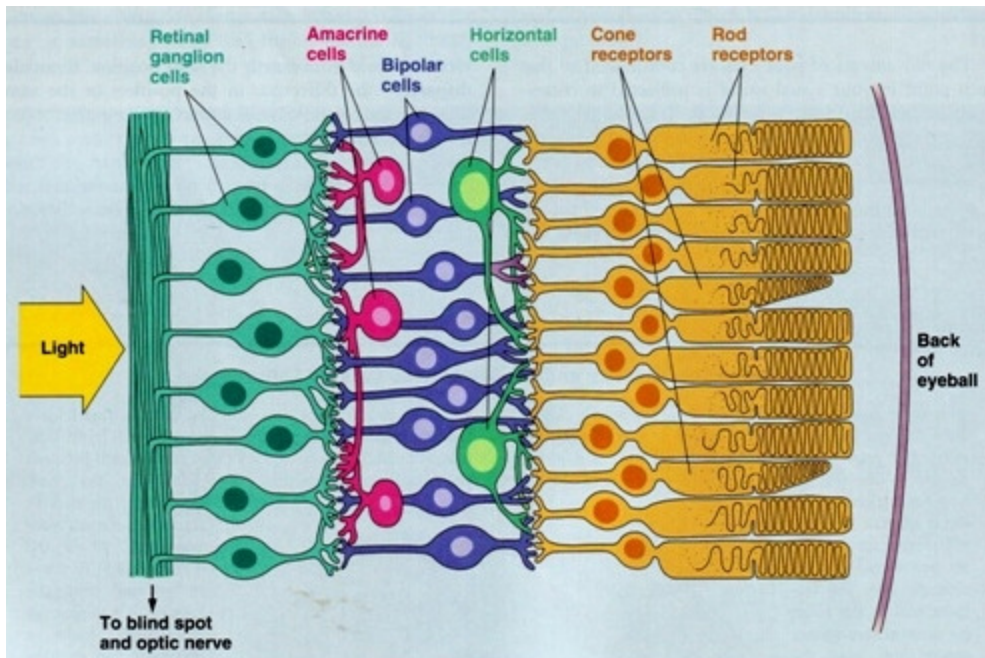
Retina terdiri atas 10 lamina (lapisan sel). Jenis sel tersebut adalah (gambar 10.3 dan 10.4):

- ✓ Reseptor visual: **sel kerucut** dan **batang**
- ✓ Neuron: **sel bipolar**, **sel ganglion**, **sel horizontal**, dan **sel amakrin**
- ✓ Sel glia: **sel Müller**

Sel kerucut dan batang bersinapsis dengan sel bipolar, sel bipolar bersinapsis dengan sel ganglion. Akson sel-sel ganglion bergabung meninggalkan mata sebagai nervus optikus (saraf otak II).



Gambar 10.3 Retina dan reseptor visual



Gambar 10.4 Reseptor visual

Sel horizontal menghubungkan sel reseptor satu dengan yang lain pada **lamina pleksiformis eksterna**, sedangkan sel amakrin menghubungkan sel ganglion satu dengan yang lain pada **lamina pleksiformis interna**.

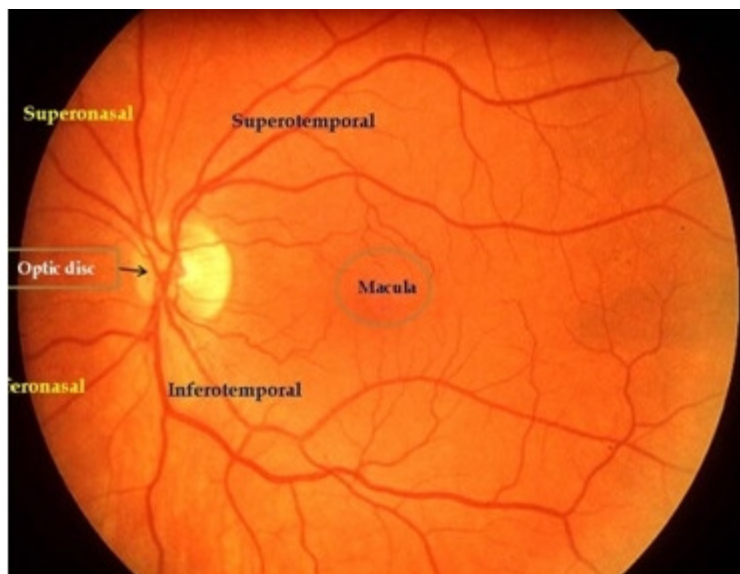
Segera setelah nervus optikus keluar dari mata, pembuluh darah retina akan bergabung dan pertemuannya tampak sebagai **diskus optikus** (*optic disc*) pada pemeriksaan oftalmoskopi. Area diskus optikus dinamakan **bintik buta** (*blind spot*) karena tidak memiliki reseptor visual.

▪ **Oftalmoskopi**

Oftalmoskopi (funduskopi) adalah pemeriksaan untuk melihat bagian dalam belakang mata (fundus) dan struktur lainnya dengan menggunakan alat oftalmoskop (gambar 10.5). Contoh gambaran citra oftalmoskopi diperlihatkan pada gambar 10.6.



Gambar 10.5 Pemeriksaan ophthalmoskopi



Gambar 10.6 Citra ophthalmoskopi

▪ **Mekanisme pembentukan bayangan**

Mekanisme pembentukan bayangan terjadi berdasarkan prinsip optika, yaitu (gambar 10.7):

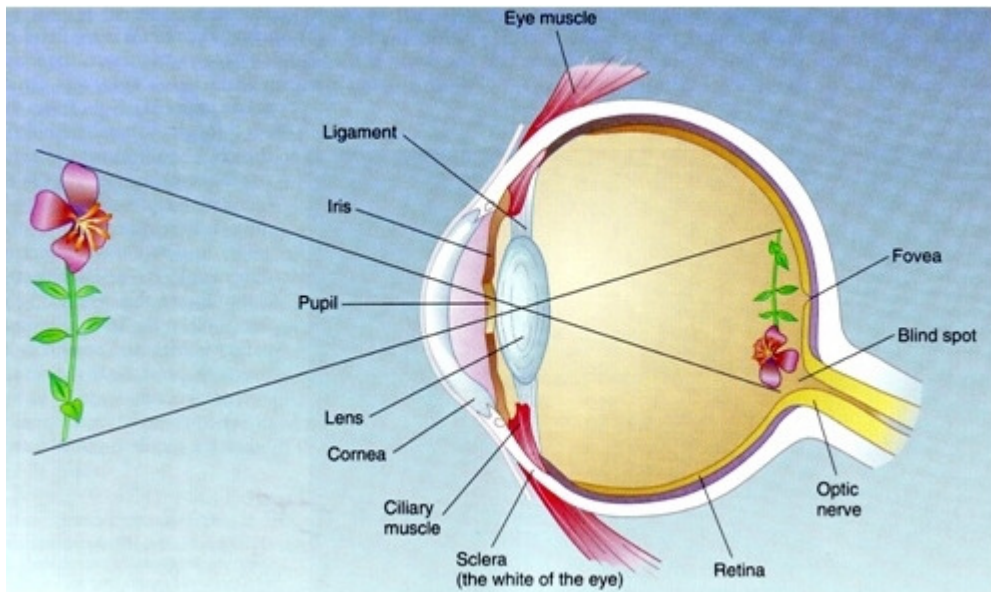
- Lintasan dari satu medium ke medium lain yang berbeda kepadatan optisnya akan mengalami **pembiasan** (refraksi).
- **Berkas cahaya sejajar** yang datang pada lensa bikonveks akan dibiaskan ke **titik fokus** di belakang lensa.
- Berkas cahaya yang datang dari objek berjarak 6 m atau lebih dianggap sejajar.

Jarak antara lensa dengan titik fokus dinamakan **jarak fokus**. Semakin cembung lensa, semakin pendek jarak fokusnya. Daya refraktif lensa diukur dalam **dioptri**:

$$P = 1 / f$$

P : Daya refraktif lensa dalam dioptri

f : Jarak fokus dalam meter



Gambar 10.7 Mekanisme pembentukan bayangan

▪ Akomodasi

Pada lensa mata normal (**emmetrop**), jika muskulus siliaris dalam keadaan relaksasi, berkas cahaya sejajar yang datang akan difokuskan pada retina.

Objek yang jaraknya kurang daripada 6 meter akan menghasilkan berkas cahaya divergen (menyebar), dan bayangannya akan difokuskan di belakang retina, sehingga membentuk gambaran kabur. Agar bayangan jatuh tepat pada retina, otot siliaris akan berkontraksi, sehingga lensa menjadi cembung dan bayangan jatuh tepat pada retina.

Proses penyesuaian kecembungan lensa mata agar bayangan objek yang dilihat jatuh tepat pada retina dinamakan **akomodasi**.

Mata memiliki batas maksimum untuk daya akomodasinya. Jarak terdekat dengan mata yang masih dapat menghasilkan bayangan objeknya jatuh tepat pada retina dinamakan **titik dekat penglihatan**.

▪ **Presbiopia**

Daya kemampuan akomodasi menurun pada usia lanjut, menyebabkan mata **presbiop**, yaitu titik dekat menjauh dari mata.

Presbiopia harus dikoreksi dengan **lensa positif** (lensa cembung), agar objek yang dekat mata menghasilkan berkas cahaya yang kurang menyebar.

▪ **Myopia**

Myopia disebabkan oleh lensa mata yang terlalu cembung atau bola mata terlalu panjang, sehingga berkas cahaya sejajar difokuskan di depan retina.

Myopia dikoreksi dengan **lensa negatif** (lensa cekung) agar berkas cahaya sejajar difokuskan tepat pada retina.

▪ **Hipermetropia**

Hipermetropia disebabkan oleh lensa mata yang terlalu pipih atau bola mata terlalu pendek, sehingga berkas cahaya sejajar difokuskan di belakang retina.

Hipermetropia dapat dikoreksi sendiri dengan kontraksi otot siliaris, namun kontraksi otot mata yang berkepanjangan melelahkan mata dan dapat menyebabkan sakit kepala. Hipermetropia sebaiknya dikoreksi dengan lensa positif (lensa cembung).

▪ **Astigmatisma**

Astigmatisma disebabkan oleh kelengkungan lensa yang tidak seragam. Bagian lensa dengan kelengkungan yang berbeda akan membiaskan cahaya ke fokus yang berlainan, sehingga membentuk bayangan yang kabur pada segmen tertentu.

Astigmatisma diperbaiki dengan lensa silendris.

▪ **Mekanisme fotoreseptor**

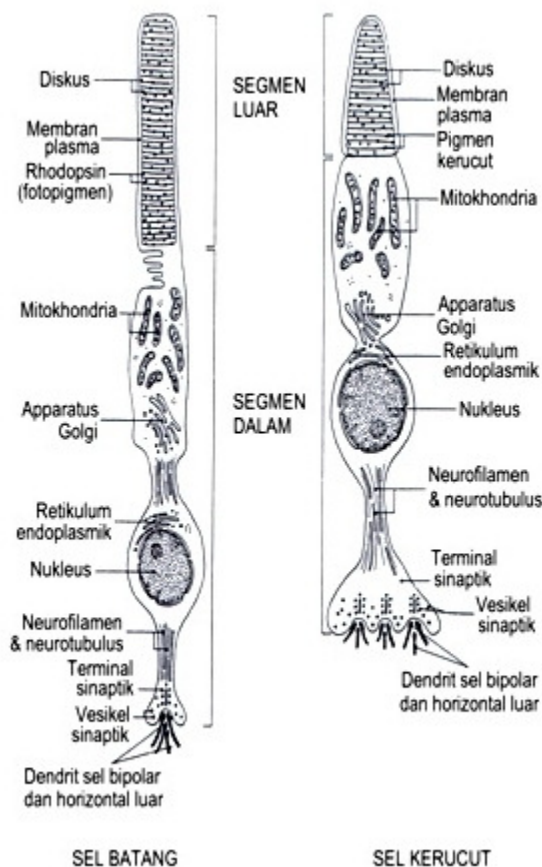
Potensial aksi dibangkitkan oleh kerja cahaya terhadap senyawa fotosensitif pada sel batang dan kerucut (gambar 10.8). Sel fotoreseptor mengandung **fotopigmen**. Ada 4 macam fotopigmen, 1 pada sel batang, dan 3 pada tiga tipe sel kerucut.

Fotopigmen pada sel batang dinamakan **rhodopsin**, terdiri atas:

- **Protesin/opsin** (berbeda-beda untuk keempat macam fotopigmen), untuk sel batang dinamakan **skotopsin**.

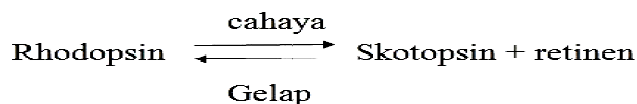
- **Retinen 1 (retinal):** aldehida vitamin A1 (sama untuk keempat fotopigmen).

Cahaya yang datang melepaskan ikatan kimia retinen-skotopsin dan ‘memucatkan’ (‘memutihkan’, *bleaching*) retinen. Jika tidak ada lagi cahaya yang datang, retinen dengan proses enzimatik bergabung kembali dengan skotopsin membentuk rhodopsin.



Gambar 10.8 Sel batang dan sel kerucut

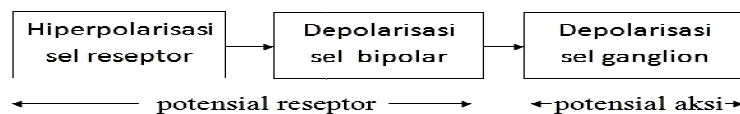
Efek cahaya terhadap fotopigmen adalah sebagai berikut:



Berbeda dengan sel lain pada umumnya, saluran ion Na^+ pada membran sel fotoreseptor dalam keadaan normal **terbuka**. Pemecahan ikatan kimia retinen-skotopsin akan menutup saluran ion Na^+ dan menyebabkan:

- Hiperpolarisasi dan penghentian pelepasan neurotransmitter pada sel fotoreseptor,
- Depolarisasi dan peningkatan pelepasan neurotransmitter pada sel bipolar, dan
- Membangkitkan potensial aksi pada sel ganglion

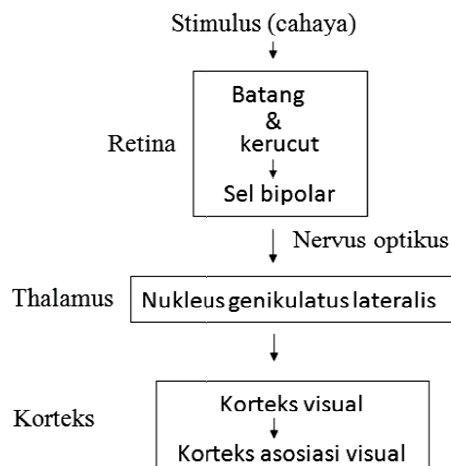
Proses bangkitnya potensial aksi pada sel ganglion digambarkan sebagai berikut:

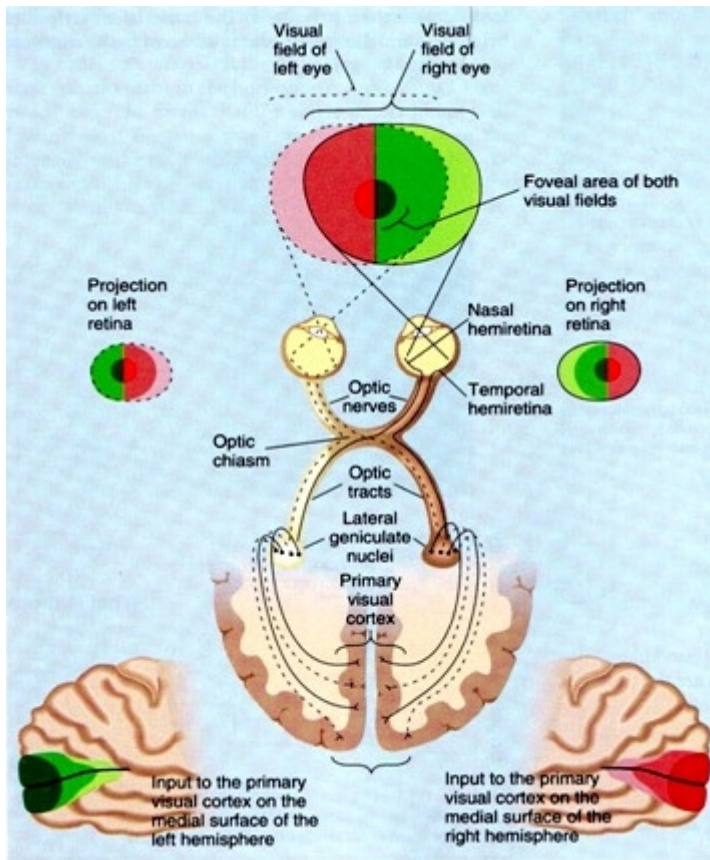


▪ Jaras visual

Stimulus cahaya yang datang akan membangkitkan potensial reseptor pada sel reseptor, yaitu sel kerucut dan sel batang, lalu pada sel bipolar. Potensial reseptor ini selanjutnya akan menghasilkan potensial aksi pada sel ganglion, yang selanjutnya dirambatkan melalui nervus optikus, sehingga mencapai nukleus genikulatus lateralis pada thalamus.

Dari sini, impuls visual akan di-*relay* sehingga mencapai area visual primer, lalu area visual sekunder pada korteks serebri, dan akhirnya sampai ke area asosiasi visual. Perjalanan impuls dapat digambarkan pada skema berikut dan gambar 10.9:





Gambar 10.9
Jaras visual

▪ Adaptasi gelap dan adaptasi cahaya

Jika seseorang yang berada cukup lama di lingkungan terang tiba-tiba pindah ke lingkungan gelap, retina perlahan-lahan menjadi lebih sensitif terhadap cahaya selama orang tersebut ‘menyesuaikan diri dengan keadaan gelap’. Proses penurunan ambang visual ini dinamakan **adaptasi gelap**, berlangsung maksimal 20 menit.

Sebaliknya, orang yang tiba-tiba pindah dari tempat gelap ke tempat terang akan merasa silau sampai matanya menyesuaikan diri dan ambang visualnya meningkat. Proses ini dinamakan **adaptasi cahaya**, berlangsung selama 5 menit.

Adaptasi gelap memiliki 2 komponen:

- Penurunan ambang visual yang kecil, tetapi cepat mula-mula berlangsung pada **sel kerucut**.

- Setelah proses ini terhenti, penurunan ambang visual masih berlanjut pada **sel-sel batang** di bagian perifer retina yang berlangsung lebih lambat, namun mencapai ukuran lebih besar.

▪ Gerakan Mata

Tujuan gerakan mata ialah agar bayangan objek terfokus di fovea pada retina. Saraf kranialis pengatur gerakan bola mata adalah:

- **Nervus okulomotorius** (saraf otak III)
- **Nervus trokhlearis** (saraf otak IV)
- **Nervus abducens** (saraf otak VI)

Didapatkan empat tipe gerakan mata:

- **Sakkade** (*saccades*; melirik): terjadi jika objek pandang tiba-tiba berubah.
- **Gerak mengikuti halus** (*smooth pursuit movements*): gerak mata mengikuti benda yang bergerak lambat.
- **Gerak vestibular**: respons terhadap stimulus pada kanalis semisirkularis, mempertahankan fiksasi visual sementara kepala bergerak.
- **Gerak konvergensi**: sumbu visual saling mendekat, jika perhatian dipusatkan pada objek yang dekat.

▪ Strabismus

Strabismus (juling) terjadi jika sumbu mata tidak bertahan pada posisi yang menghasilkan bayangan visual pada retina.

▪ Penglihatan Warna

Persepsi warna tergantung pada **panjang gelombang cahaya** yang dipantulkan, diserap, dan ditransmisi oleh pigmen pada objek dalam dunia visual.

Contoh:

Suatu benda tampak **merah** karena **cahaya gelombang pendek** yang akan menghasilkan persepsi '**biru**' diserap oleh benda itu, sedangkan **cahaya gelombang panjang** yang akan menghasilkan persepsi '**merah**' dipantulkan dan mengeksitasi fotopigmen retina yang sensitif terhadap merah.

Penglihatan warna terjadi karena aktivasi fotopigmen pada sel kerucut. Tiga tipe sel kerucut pada retina manusia, masing-masing berisi fotopigmen yang sensitif terhadap kuning, hijau, dan biru.

Fotopigmen kuning seringkali disebut juga fotopigmen merah, karena panjang gelombangnya berdekatan. Merah, hijau, dan biru disebut sebagai **warna primer**.

▪ **Teori Young-Helmholtz**

Penglihatan warna ditentukan oleh tiga tipe sel kerucut, masing-masing memiliki substansi fotosensitif yang berbeda dan memiliki sensitivitas maksimal terhadap salah satu di antara tiga warna primer.

Penginderaan salah satu warna ditentukan oleh frekuensi relatif impuls yang mencapai otak dari salah satu di antara ketiga sistem kerucut.

▪ **Warna komplementer**

Pasangan warna yang jika dipadukan dalam proporsi yang sesuai, akan saling meniadakan, misalnya merah dan hijau, kuning dan biru.

▪ **Penglihatan warna abnormal**

Penglihatan warna abnormal terdapat pada 8% pria dan 0.4% wanita dalam populasi manusia, sebagian besar disebabkan oleh kelainan genetik (gen mutan pada **kromosom X** yang **bersifat resesif**).

Klasifikasi penglihatan warna abnormal:

- **Akhiran anomali** menyatakan '**kelemahan warna**' (*color weakness*) dan **akhirian anopia** menyatakan '**buta warna**' (*color blindness*)
- **Awalan prot-, deuter-, dan trit-** masing-masing mengacu pada defek dalam sistem kerucut merah, hijau dan biru.

Macam kelemahan warna yaitu **protanomali**, **deuteranomali**, dan **tritanomali**. Macam buta warna yaitu **protanopia**, **deuteranopia**, dan **tritanopia**.

Pada **protanopia**, kerucut 'merah'-nya terisi opsin kerucut 'hijau', sedangkan pada **deuteranopia**, kerucut 'hijau'-nya terisi opsin kerucut 'merah' dan pada **tritanopia**, kerucut 'biru' tidak ada.

▪ **Agnosia**

Agnosia adalah kegagalan untuk mengenali sesuatu yang tidak disebabkan oleh gangguan sensorik, verbal, atau intelektual. Kebanyakan kasus agnosia bersifat spesifik untuk satu sistem sensorik tertentu, subjek tak dapat mengenali materi yang disajikan dalam satu modalitas sensorik, namun dapat mengenalinya apabila disajikan dalam modalitas sensorik lain.

Macam-macam **agnosia visual** yaitu:

- **Agnosia visual aperseptif**: ketajaman penglihatan normal, namun tidak dapat mengenali objek secara visual melalui bentuknya.
- **Prosopagnosia**: ketidakmampuan mengenali wajah.
- **Agnosia visual asosiatif**: mampu mempersepsikan objek secara normal, namun tidak dapat menyebutkan nama objek (tidak menyadari persepsinya).

▪ **Teori Duplisitas**

Teori duplisitas (*duplicity theory*) menyatakan ada 2 macam masukan untuk penglihatan, masing-masing bekerja secara maksimal pada kondisi iluminasi (penerangan) yang berbeda, yaitu:

- **Penglihatan skotopik** (*scotopic vision*): masukan diterima oleh **sel batang** yang sangat **sensitif terhadap cahaya**, merupakan reseptor untuk **penglihatan malam**.
- **Penglihatan fotopik** (*photopic vision*): masukan diterima oleh **sel kerucut** yang memiliki **ketajaman penglihatan** jauh lebih besar, merupakan reseptor untuk **penglihatan dalam cahaya terang** dan **penglihatan warna**.

LATIHAN 10

Pilihlah jawaban yang paling benar!

Untuk soal No. 1 s.d. 5, pilihlah bagian mata yang memenuhi sifat-sifat berikut:

1. Lapisan terluar mata yang keras dan bersifat *opak*:
A. Kornea
B. Sklera
C. Koroidea
D. Retina
2. Lapisan terluar mata di bagian anterior yang bersifat transparan:
A. Kornea
B. Sklera
C. Koroidea
D. Retina
3. Lapisan vaskular antara sklera dan retina:
A. Kornea
B. Iris
C. Koroidea
D. Pupil
4. Memiliki kemampuan akomodasi:
A. Iris
B. Pupil
C. Lensa
D. Semuanya benar
5. Tempat terjadinya transduksi gelombang cahaya menjadi impuls saraf:
A. Kornea
B. Sklera
C. Koroidea
D. Retina
6. Retina terdiri atas:
A. Lapisan saraf
B. Lapisan pigmen
C. A) dan B) benar
D. A) dan B) salah
7. Pilihlah yang benar:
A. Iris terdapat pada lapisan penunjang mata
B. Kornea terdapat pada lapisan vaskular mata
C. Fovea sentralis terdapat pada lapisan retina mata
D. Semuanya benar
8. Fovea sentralis mengandung sel:
A. Kerucut
B. Batang
C. Keduanya benar
D. Keduanya salah

9. Bagian mata yang berwarna putih adalah:
A. Kornea
B. Sklera
C. Pupil
D. Semuanya salah
10. Bagian mata berikut yang bersifat transparan, **kecuali**:
A. Kornea
B. Lensa
C. Retina
D. Semuanya salah
11. Ditinjau dari aspek fisika, lensa mata adalah:
A. Lensa cembung
B. Lensa cekung
C. Adakalanya merupakan lensa cembung, adakalanya merupakan lensa cekung
D. Semuanya salah
12. Yang **tidak benar** di antara pernyataan yang berikut ialah:
A. Kamar depan berada di antara kornea dan iris
B. Kamar belakang berada di antara iris dan lensa
C. Kamar vitreus berada di belakang lensa
D. Kamar belakang berisi cairan vitreus
13. Yang **bukan** merupakan sel saraf di antara sel-sel berikut pada retina yaitu:
A. Sel bipolar
B. Sel batang
C. Sel ganglion
D. Sel amakrin
14. Hubungan sinapsis yang ada pada retina antara lain yaitu:
A. Antara sel kerucut dengan sel batang
B. Antara sel batang dengan sel ganglion
C. Antara sel bipolar dengan sel ganglion
D. Semuanya benar
15. Perjalanan impuls saraf pada mata adalah sebagai berikut:
A. Sel bipolar → sel kerucut & batang → sel ganglion → nervus optikus
B. Sel kerucut & batang → sel ganglion → sel bipolar → nervus optikus
C. Sel kerucut & batang → sel bipolar → sel ganglion → nervus optikus
D. Semuanya salah

16. Sel horizontal terdapat pada:
A. Lamina pleksiformis interna
B. Lamina pleksiformis eksterna
C. Keduanya benar
D. Keduanya salah
17. Sel glia pada retina mata adalah:
A. Astroglia
B. Oligodendroglia
C. Sel Müller
D. Semuanya salah
18. Area pada retina yang tidak memiliki reseptor visual adalah:
A. Fovea sentralis
B. Diskus optikus
C. Keduanya benar
D. Keduanya salah
19. Semakin jauh letak objek pandang, akomodasi akan mengakibatkan:
A. Lensa mata semakin cembung
B. Lensa mata semakin pipih
C. Keduanya mungkin benar
D. Keduanya salah
20. Lensa berkekuatan +2 dioptri memiliki jarak fokus:
A. 0.5 cm
B. 2 cm
C. 50 cm
D. Semuanya salah
21. Pada mata miop, apabila muskulus siliaris dalam keadaan relaksasi, jarak fokus lensa mata:
A. Lebih pendek daripada panjang bola mata
B. Sama panjangnya dengan panjang bola mata
C. Lebih panjang daripada panjang bola mata
D. Tak dapat ditentukan
22. Titik dekat pada mata presbiop:
A. Lebih dekat dengan mata dibandingkan dengan mata emmetrop
B. Sama dekatnya dengan mata dibandingkan dengan mata emmetrop
C. Lebih jauh dari mata dibandingkan dengan mata emmetrop
D. Tak dapat ditentukan
23. Kelainan pada mata miop antara lain disebabkan oleh:
A. Lensa mata terlalu pipih
B. Bola mata terlalu panjang
C. Daya akomodasi menurun
D. Semuanya benar

24. Kelainan pada mata hipermetrop antara lain disebabkan oleh:
A. Lensa mata terlalu pipih
B. Bola mata terlalu panjang
C. Daya akomodasi menurun
D. Semuanya benar
25. Astigmatisme disebabkan oleh:
A. Lensa mata tak dapat berakomodasi
B. Lensa mata tidak transparan
C. Kelengkungan lensa tak seragam
D. Semuanya salah
26. Koreksi pada astigmatisme dilakukan dengan:
A. Lensa positif
B. Lensa negatif
C. Lensa silindris
D. Lensa prismatis
27. Diskus optikus yang tampak pada pemeriksaan ophthalmoskopi dinamakan juga:
A. Bintik buta
B. Bintik hitam
C. Bintik kuning
D. Semuanya salah
28. Refraksi adalah:
A. Pemantulan cahaya
B. Pembiasan cahaya
C. Penyerapan cahaya
D. Semuanya salah
29. Fotopigmen pada sel batang adalah:
A. Rhodopsin
B. Iodopsin
C. Skotopsin
D. Fotopsin
30. Penguraian rhodopsin menjadi skotopsin dan retinen dipengaruhi oleh:
A. Keadaan gelap
B. Cahaya
C. Proses enzimatik
D. Semuanya salah
31. Penerimaan cahaya dalam intensitas yang cukup pada retina mengakibatkan:
A. Depolarisasi pada sel reseptor
B. Hiperpolarisasi pada sel bipolar
C. Depolarisasi pada sel ganglion
D. Semuanya salah
32. Potensial aksi untuk impuls visual dibangkitkan pertama kali pada:
A. Sel reseptor
B. Sel bipolar
C. Sel ganglion
D. Nervus optikus

33. Korteks visual terdapat pada:
- | | |
|---------------------|----------------------|
| A. Lobus frontalis | C. Lobus temporalis |
| B. Lobus parietalis | D. Lobus oksipitalis |
34. Proses penyesuaian sensitivitas retina seseorang yang telah berada cukup lama di lingkungan terang ketika berpindah ke lingkungan gelap adalah:
- | | |
|--------------------|-------------------|
| A. Adaptasi terang | C. Adaptasi gelap |
| B. Adaptasi cahaya | D. Semuanya salah |
35. Penurunan ambang visual terbesar pada adaptasi gelap terjadi untuk:
- | | |
|----------------|-------------------|
| A. Sel batang | C. Keduanya benar |
| B. Sel kerucut | D. Keduanya salah |
36. Durasi proses adaptasi terang pada orang normal kurang lebih adalah:
- | | |
|-------------|-------------------|
| A. 5 menit | C. 20 menit |
| B. 10 menit | D. Semuanya salah |
37. Saraf kranialis pengatur gerakan bola mata antara lain yaitu:
- | | |
|----------------------|------------------------|
| A. Nervus optikus | C. Nervus ophthalmikus |
| B. Nervus troklearis | D. Semuanya benar |
38. Gerakan mata yang terjadi apabila objek pandang seseorang tiba-tiba berubah adalah:
- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| A. Sakkade | C. Gerak vestibular |
| B. <i>Smooth pursuit movements</i> | D. Gerak konvergensi |
39. Gerakan mata seorang pengamat serangga yang mengamati lintasan gerak seekor semut adalah:
- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| A. Sakkade | C. Gerak vestibular |
| B. <i>Smooth pursuit movements</i> | D. Gerak konvergensi |
40. Tiga warna primer adalah:
- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| A. Merah, kuning, hijau | C. Merah, hijau, biru |
| B. Merah, kuning, biru | D. Semuanya salah |
41. Contoh pasangan warna komplementer yaitu:
- | | |
|---------------------|-------------------|
| A. Merah dan biru | C. Keduanya benar |
| B. Kuning dan hijau | D. Keduanya salah |

42. Warna-warna benda yang tampak pada monitor kamera pada saat hendak dilakukan pemotretan dihasilkan oleh:
- A. Panjang gelombang cahaya yang diserap benda itu
 - B. Panjang gelombang cahaya yang ditransmisikan benda itu
 - C. Panjang gelombang cahaya yang dipantulkan benda itu
 - D. Semuanya salah
43. Buta warna adalah kelainan genetik yang:
- A. Terkait dengan kromosom X dan bersifat dominan
 - B. Terkait dengan kromosom X dan bersifat resesif
 - C. Terkait dengan kromosom Y
 - D. Tak terkait dengan kromosom seks
44. Buta warna pada manusia:
- A. Lebih banyak terdapat pada pria
 - B. Sama banyaknya pada pria dan wanita
 - C. Lebih banyak terdapat pada wanita
 - D. Semuanya salah
45. Buta warna akibat defek pada sistem kerucut hijau adalah:
- A. Protanopia
 - B. Deutanopia
 - C. Tritanopia
 - D. Protanomali
46. Defek pada penderita agnosia visual terdapat pada:
- A. Reseptor visual
 - B. Nervus optikus
 - C. Nukleus genikulatus lateralis thalamus
 - D. Korteks visual asosiasi
47. Seseorang dengan ketajaman visus dan tingkat intelektual normal, namun tidak mampu untuk mengenali hanya dengan melihat wajah orang yang dikenalnya dinyatakan menderita:
- A. Agnosia visual asosiatif
 - B. Prosopagnosia
 - C. Somatognosia
 - D. Astereognosia
48. Penglihatan skotopik terutama berfungsi pada:
- A. Siang hari
 - B. Malam hari
 - C. Tak tergantung pada siklus waktu harian
 - D. Semuanya salah

BAB 11

SISTEM ENDOKRIN I

❖ Pengertian Umum Sistem Endokrin

▪ Sistem dan kelenjar endokrin

Sistem endokrin merupakan sistem komunikasi utama tubuh selain susunan saraf. Berbagai kelenjar endokrin ini tidak memiliki kontinuitas anatomi satu dengan yang lain, namun tetap membentuk satu sistem dalam pengertian fungsional.

Sistem endokrin dibentuk oleh jaringan dan organ-organ yang disebut **kelenjar endokrin**. Kelenjar endokrin mensekresi **hormon** ke dalam ruang ekstrasel, yang lalu mengikuti aliran darah dan disirkulasikan ke seluruh tubuh sampai mencapai area target.

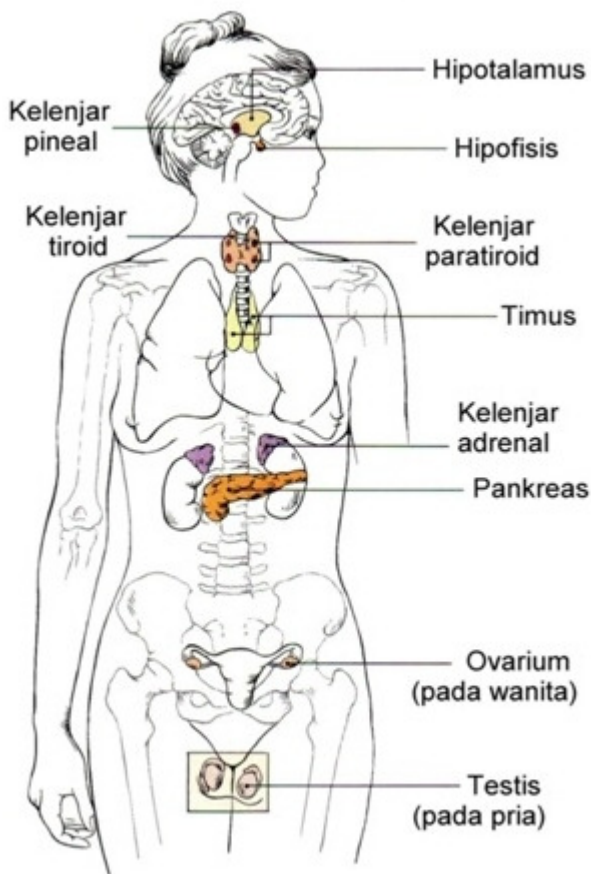
Kelenjar endokrin terpenting dalam tubuh antara lain adalah (gambar 11.1):

- Hipotalamus
- Hipofisis anterior
- Hipofisis posterior
- Kelenjar tiroid
- Kelenjar paratiroid
- Pankreas
- Kelenjar adrenal
- Testis (pada pria; *pl testes*)
- Ovarium (pada wanita; *pl ovaria*)

Satu kelenjar endokrin dapat mensekresi beberapa hormon, sebaliknya satu hormon yang sama mungkin diproduksi oleh lebih daripada satu kelenjar endokrin.

Neurohormon

Hipotalamus dan **hipofisis posterior** juga dianggap merupakan bagian sistem endokrin. Hormon yang dilepaskan dari terminal neuron yang badan sel pada hipotalamus, sedangkan ujung aksonnya ada pada hipofisis posterior, dinamakan **neurohormon**.



Gambar 11.1
Kelenjar endokrin
utama

▪ Fungsi sistem endokrin

Fungsi sistem endokrin adalah:

1. Membantu **mempertahankan homeostasis**:
 - a. Mengatur kadar zat kimia dalam cairan tubuh.
 - b. Mengatur metabolisme protein, lemak, dan karbohidrat.
2. Bekerja sama dengan susunan saraf untuk **bereaksi terhadap stress**.
3. Pengatur utama **pertumbuhan dan perkembangan**, termasuk perkembangan seksual dan reproduksi.

▪ **Klasifikasi hormon**

Secara umum, berdasarkan struktur kimiawinya hormon dapat dikelompokkan dalam 3 kategori:

A. Amina:

Hormon yang memiliki gugus amina (-NH₂), misalnya:

- **Hormon tiroid:** tiroksin (T₄) dan triiodotironin (T₃)
- **Hormon medulla adrenal:** epinefrin & nor-epinefrin

B. Peptida:

Mayoritas hormon termasuk dalam kategori ini.

C. Steroid:

Hormon yang memiliki cincin steroid, bersifat larut dalam lemak. Prekursornya (zat asal) adalah kolesterol.

Contoh hormon steroid adalah:

- **Hormon-hormon korteks adrenal:**
 - Mineralokortikoid: Aldosteron
 - Glukokortikoid: Kortisol
 - Gonadokortikoid: Androgen
- **Hormon-hormon gonad:**
 - **Testes** (pria): Androgen
 - **Ovarium** (wanita): Estrogen

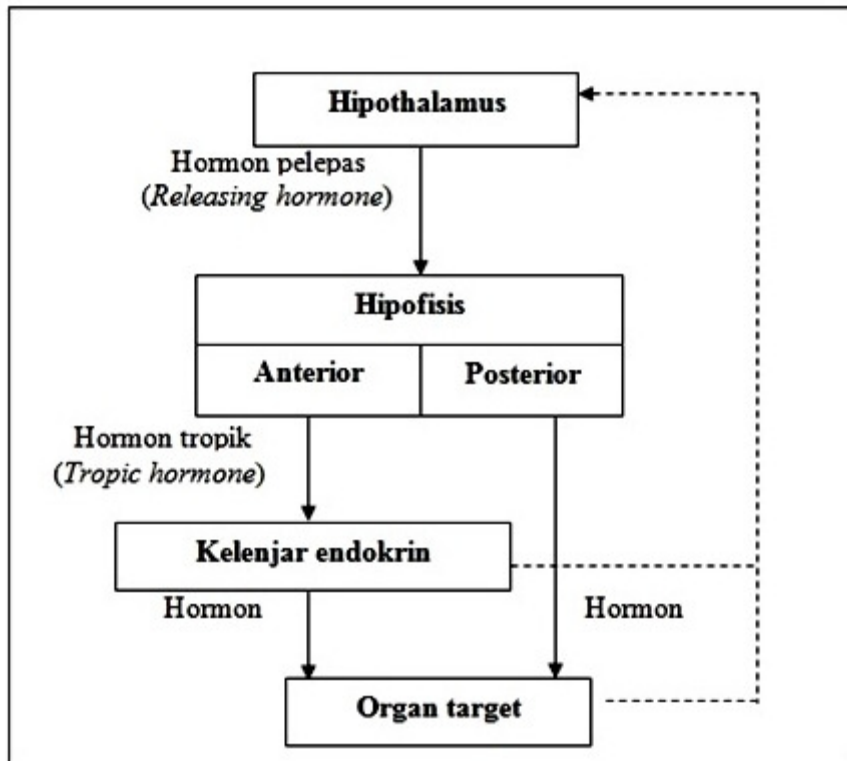
❖ **Aksis Hipotalamus - Hipofisis**

▪ **Sistem Kendali Hormon**

Pusat tertinggi pengaturan sistem endokrin adalah hipotalamus. Hipotalamus kebanyakan akan menghasilkan **hormon pelepas** (*releasing hormone*), yang akan menstimulasi pelepasan hormon **hipofisis anterior**. Selain itu hipotalamus juga akan menghasilkan **hormon biasa**, yang akan dihantarkan melalui akson neuronnya ke **hipofisis posterior** dan dilepaskan di sana. Hormon yang dilepas oleh hipofisis posterior dapat langsung bekerja pada organ target.

Di bawah pengaruh hormon pelepas hipotalamus, hipofisis anterior kebanyakan akan menghasilkan **hormon tropik** (*tropic hormone*) yang akan menstimulasi kelenjar endokrin biasa untuk mensekresikan hormonnya. Hormon yang dihasilkan kelenjar endokrin biasa ini akan bekerja pada organ target.

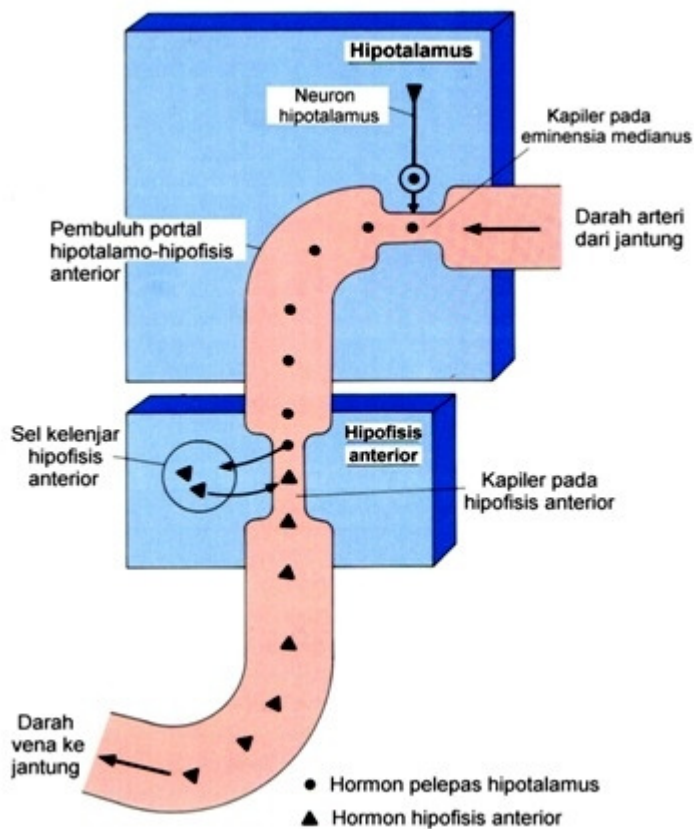
Jika kadar hormon pelepas, hormon tropik, ataupun hormon biasa dalam darah terlalu tinggi, sistem *feed-back* dari kelenjar endokrin biasa ataupun organ target untuk menghambat pelepasan hormon pelepas, hormon tropik, ataupun hormon biasa (gambar 11.2).



Gambar 11.2 Sistem kendali hormon

- **Aksis hipotalamus – hipofisis anterior**

Kontak hormonal hipotalamus – hipofisis anterior diperlihatkan pada gambar 11.3, sedangkan kendali hormon hipotalamus - hipofisis anterior diperlihatkan pada gambar 11.4.

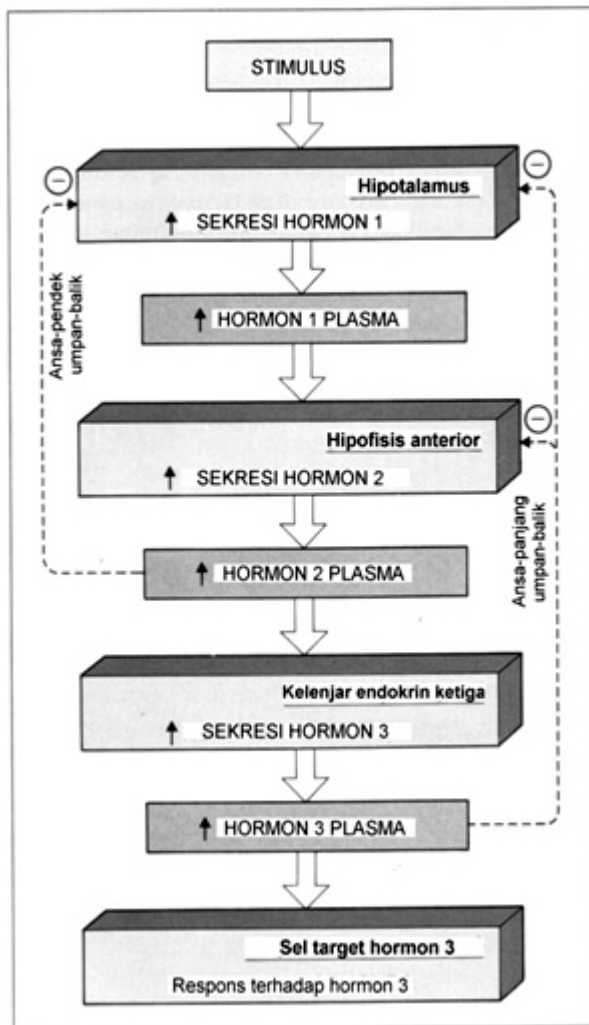


Gambar 11.3
Hubungan
hipothalamus –
hipofisis
anterior

▪ **Hormon hipotalamus**

Secara umum, hormon hipotalamus yang aktif dalam aksis hipotalamus – hipofisis anterior dapat dikelompokkan menjadi:

- **Hormon pelepas** (*releasing hormones*): Menstimulasi sekresi hormon oleh hipofisis anterior
- **Hormon penghambat** (*inhibiting hormones*): Menginhibisi sekresi hormon oleh hipofisis anterior



Gambar 11.4 Kendali hipotalamus – hipofisis anterior

Hormon pelepas hipotalamus adalah:

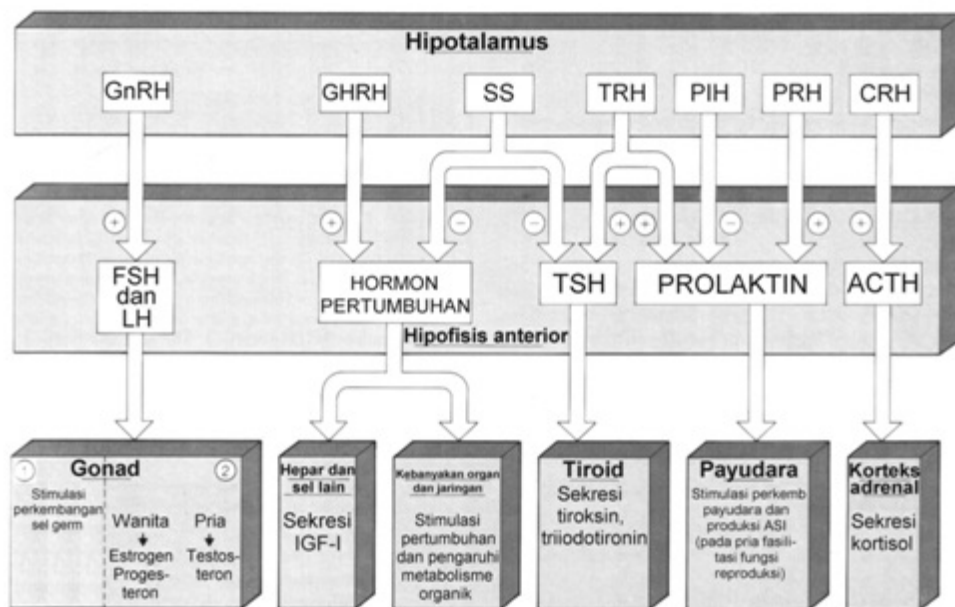
- **GnRH** (*Gonadotropin Releasing Hormone*; hormon pelepas gonadotropin): Menstimulasi hipofisis anterior untuk mensekresi gonadotropin.
- **GHRH** (*Growth Hormone Releasing Hormone*; hormon pelepas GH): Menstimulasi hipofisis anterior untuk mensekresi GH (*growth hormone*).
- **TRH** (*Thyrotropin Releasing Hormone*; hormon pelepas tirotropin): Menstimulasi hipofisis anterior untuk mensekresi TSH (*thyroid stimulating hormone*) dan prolaktin.

- **PRH** (*Prolactin Releasing Hormone*; hormon pelepas prolaktin): Menstimulasi hipofisis anterior untuk mensekresi prolaktin.
- **CRH** (*Corticotropin Releasing Hormone*; hormon pelepas kortikotropin): Menstimulasi hipofisis anterior untuk mensekresi kortikotropin (ACTH; *adreno-corticotropic hormone*).

Hormon penghambat hipotalamus adalah:

- **SS** (Somatostatin): Menginhibisi hipofisis anterior untuk mensekresi GH dan TSH
- **PIH** (*Prolactin Inhibiting Hormone*; hormon penghambat pelepasan prolaktin): Menginhibisi hipofisis anterior untuk mensekresi prolaktin.

Hormon-hormon hipotalamus ini dihantarkan melalui aliran vena ke hipofisis anterior. Keseluruhan hormon dalam aksis hipotalamus – hipofisis anterior diperlihatkan pada gambar 11.5.



Gambar 11.5 Sistem hipotalamus – hipofisis anterior

▪ **Hormon Hipofisis Anterior**

Hormon yang dihasilkan hipofisis anterior adalah:

- **TSH** (*Thyroid Stimulating Hormone*; hormon perangsang tiroid): Menstimulasi sekresi kelenjar tiroid
- **ACTH** (*Adrenocorticotropic Hormone*; kortikotropin): Menstimulasi sekresi korteks adrenal
- **GH** (*Growth Hormone*; hormon pertumbuhan): Mempercepat pertumbuhan tubuh
- **Gonadotropin**: Gonadotropin terdiri atas LH dan FSH.
 - **LH** (*Luteinizing Hormone*)
 - **FSH** (*Follicle Stimulating Hormone*)
- **Prolaktin**: Menstimulasi sekresi ASI

▪ **Hormon Hipofisis Intermedia**

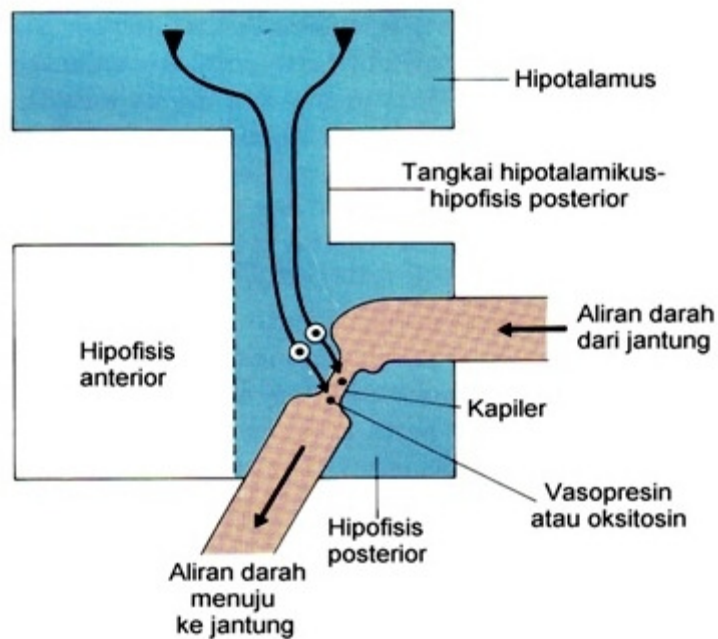
Hormon yang dihasilkan hipofisis intermedia adalah:

- **MSH** (*Melanocyte Stimulating Hormone*; hormon penstimulasi melanosit): Menstimulasi sintesis melanin pada melanosit
- **Beta-endorfin**
- **Lipotropin**: Lipotropin terdiri atas endorfin dan enkefalin

Sebagian ahli menganggap hipofisis intermedia adalah bagian hipofisis anterior.

▪ **Aksis hipotalamus – hipofisis posterior**

Kontak hormonal hipotalamus – hipofisis posterior diperlihatkan pada gambar 11.6.



Gambar 11.6 Hubungan hipotalamus – hipofisis posterior

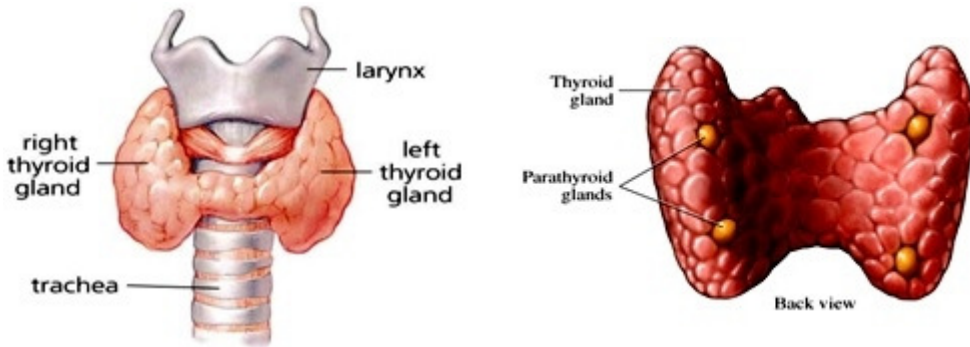
▪ **Hormon Hipofisis Posterior**

Hormon yang dihasilkan hipofisis posterior adalah:

- **Vasopressin** (ADH; *Anti-diuretic hormone*): Fungsi vasopressin adalah:
 - Meningkatkan retensi air
 - Menaikkan tekanan darah
- **Oksitosin**: Fungsi oksitosin adalah:
 - Menstimulasi kontraksi rahim pada persalinan
 - Menyebabkan pelepasan ASI.

❖ **Kelenjar Tiroid**

Letak kelenjar tiroid adalah melingkupi trakea (gambar 11.7). Terdapat 2 tipe sel pada kelenjar tiroid, yaitu sel folikular dan sel parafolikular.



Gambar 11.7 Kelenjar tiroid dan paratiroid

▪ **Sel folikular:**

Sel folikular menghasilkan hormon **tiroksin** (T4) dan **triiodotironin** (T3). Fungsinya adalah:

- Meningkatkan metabolisme
- Menstimulasi pertumbuhan

Hipersekresi kelenjar tiroid mengakibatkan hipertiroidisme / penyakit Graven (gambar 11.8), sedangkan defisiensi menyebabkan hipotiroidisme / penyakit Hashimoto.



**Gambar 11.8
Penyakit Grave**

▪ **Goiter**

Goiter adalah **pembesaran kelenjar tiroid**, dapat terjadi baik pada hipotiroidisme maupun pada hipertiroidisme (gambar 11.9).

Hipotiroidisme mengakibatkan defisiensi Jodium, sehingga terjadi peningkatan stimulasi produksi tiroksin dan T3 dengan akibat pembesaran kelenjar tiroid.

Pada **hipertiroidisme**, hipersekresi TSH juga meningkatkan stimulasi produksi tiroksin dan T3 yang menyebabkan pembesaran kelenjar tiroid.



Gambar 11.9 Goiter

▪ **Sel parafolikular:**

Sel parafolikular menghasilkan hormon **kalsitonin**, yang berfungsi menurunkan kadar kalsium dalam darah dengan fungsi:

- Mencegah pelepasan kalsium dari tulang
- Mencegah kehilangan kalsium melalui urine

❖ **Kelenjar Paratiroid**

Kelenjar paratiroid (lihat kembali gambar 11.7) memproduksi **PTH** (*Parathyroid Hormone*; **parathormon**). Fungsinya yaitu meningkatkan kadar kalsium darah melalui:

- Mobilisasi kalsium dari tulang
- Absorpsi kalsium dari usus
- Pencegahan kehilangan kalsium melalui urine

❖ Kelenjar Pinealis

Kelenjar pinealis terletak dalam otak sebagai bagian **epithalamus**, di belakang otak tengah (*midbrain*), berukuran kurang lebih sebesar butir beras. Kelenjar pinealis menghasilkan hormon **melatonin** (derivat serotonin). Produksi melatonin dipicu oleh suasana gelap dan dihambat oleh cahaya.

Kelenjar pinealis seringkali terlihat mengalami **kalsifikasi** pada pemeriksaan Röntgen kepala. Kalsifikasi kelenjar pinealis diduga terkait dengan patogenesis **penyakit Alzheimer**.

Fungsi hormon melatonin yaitu mengatur siklus sirkadian tubuh, yaitu siklus 24 jam internal dalam tubuh. Pada anak, melatonin berfungsi menghambat perkembangan seksual. Melatonin diduga menstimulasi tubuh untuk tidur

❖ Pankreas

Bagian pankreas yang berfungsi endokrin adalah **pulau-pulau Langerhans** (gambar 11.10). Pada pulau-pulau Langerhans terdapat 3 tipe sel, yaitu:

➤ Sel alpha

Sel alpha memproduksi hormon **glukagon**. Fungsinya yaitu meningkatkan kadar glukosa darah melalui:

- Pemecahan glikogen di hati menjadi glukosa darah
- Pembentukan glukosa dari nutrien non-karbohidrat

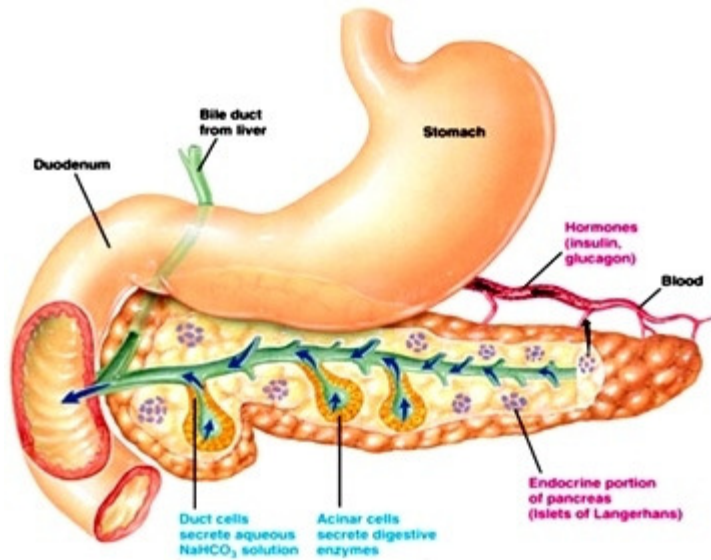
➤ Sel beta:

Sel beta memproduksi hormon **insulin**. Fungsinya yaitu menurunkan kadar glukosa darah melalui:

- Fasilitasi pemasukan glukosa ke dalam sel
- Konversi glukosa menjadi glikogen untuk disimpan di hati

➤ Sel delta:

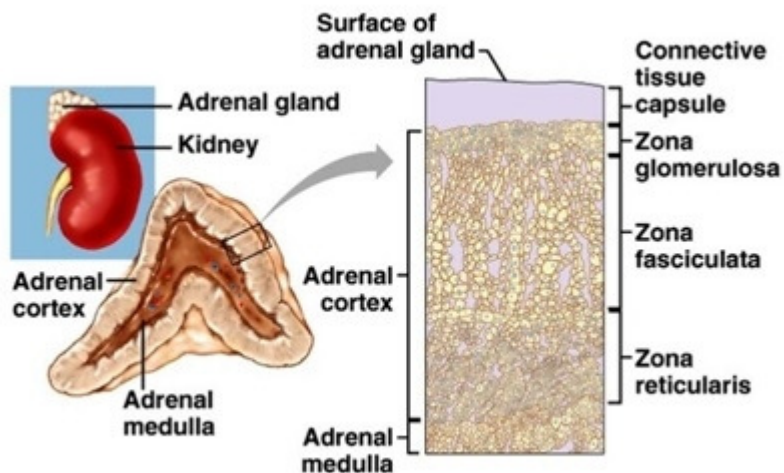
Sel delta memproduksi hormon **somatostatin**. Fungsinya adalah menghambat pelepasan GH (*growth hormone*) oleh hipofisis anterior.



Gambar 11.10 Pankreas

❖ Kelenjar Adrenal

Bagian yang berfungsi endokrin pada kelenjar adrenal terbagi menjadi **medulla adrenal** dan **korteks adrenal** (gambar 11.11).



Gambar 11.11 Kelenjar adrenal

▪ **Medulla Adrenal**

Medulla adreanal memproduksi hormon **epinefrin** dan **nor-epinefrin**. Fungsi kedua hormon ini adalah:

- Mempercepat dan memperkuat kontraksi otot jantung, terutama oleh epinefrin.
- Konstriksi pembuluh darah, sehingga meningkatkan tekanan darah, terutama oleh nor-epinefrin.
- Dilatasi (pelebaran) bronkioli di paru.
- Meningkatkan metabolisme, terutama oleh epinefrin.

▪ **Korteks Adrenal**

Hormon-hormon korteks adrenal terbagi menjadi 3 kelompok:

➤ **Mineralokortikoid:**

Mineralokortikoid diproduksi oleh zona glomerulosa. Contoh hormon mineralokortikoid antara lain yaitu **aldosteron**. Fungsi aldosteron adalah:

- Mencegah kehilangan natrium dalam urine
- Meningkatkan resorpsi air
- Meningkatkan ekskresi kalium melalui urine

Hipersekresi aldosteron mengakibatkan **hipertensi**, sedangkan defisiensi hormon ini menyebabkan **penyakit Addison**.

➤ **Glukokortikoid**

Glukokortikoid diproduksi oleh zona fasciculata. Salah satu hormon glukokortikoid yaitu **kortisol**. Fungsi kortisol adalah:

- Stimulasi pembentukan glukosa dari nutrien non-karbohidrat
- Stimulasi pemecahan lemak dari jaringan lemak
- Anti peradangan dan menekan reaksi imun

Hipersekresi hormon kortisol mengakibatkan **sindrom Cushing** (gambar 11.12), sedangkan defisiensi hormon ini menyebabkan **penyakit Addison**.



Gambar 11.12
Sindrom Cushing

➤ **Gonadokortikoid**

Gonadokortikoid diproduksi oleh zona retikularis. Contoh hormon gonadokortikoid yaitu **androgen** (terutama) dan **estrogen**. Fungsi hormon-hormon ini adalah menstimulasi perkembangan karakteristik seks sekunder.

Hipersekresi androgen pada wanita mengakibatkan **adrenal virilisme**.

❖ **Jaringan Lemak**

Jaringan lemak merupakan jaringan hormon terbesar dalam tubuh. Hormon jaringan lemak adalah **leptin** dan **adiponektin**.

Leptin berfungsi menekan nafsu makan. Defisiensinya mengakibatkan **obesitas** (gambar 11.13).

Adiponektin berfungsi memediasi proses-proses metabolisme, antara lain yaitu pengaturan kadar glukosa dan oksidasi asam lemak. Defisiensi adiponektin mengakibatkan berbagai kelainan, antara lain resistensi terhadap insulin dan gangguan fungsi ovarium yang dapat menyebabkan infertilitas pada wanita.



Gambar 11.13 Defisiensi Leptin

Lampiran 11.1

KELENJAR ENDOKRIN UTAMA DAN FUNGSINYA

| Kelenjar | Hormon | Fungsi hormon |
|---|---|---|
| Hipotalamus | Hormon pelepas (<i>releasing hormones</i>) | - Stimulasi sekresi hormon oleh hipofisis anterior |
| | Hormon penghambat (<i>inhibiting hormones</i>) | - Inhibisi sekresi hormon oleh hipofisis anterior |
| Hipofisis posterior (neurohipofisis) | <i>Antidiuretic hormone</i> (ADH; <i>vasopressin</i>) | - Meningkatkan absorpsi air dari tubulus ginjal - Menaikkan tekanan darah |
| | <i>Oxytocin</i> | - Merangsang kontraksi rahim pada kehamilan - Merangsang pengeluaran ASI dari payudara setelah melahirkan |
| Hipofisis anterior (adenohipofisis) | <i>Growth hormone</i> (GH; <i>somatotropic hormone</i> , STH) | - Merangsang pertumbuhan tulang dan otot - Meningkatkan pembentukan protein dan mobilisasi lemak - Memperlambat metabolisme karbohidrat |
| | <i>Prolactin</i> | - Meningkatkan pertumbuhan payudara selama kehamilan dan produksi ASI setelah melahirkan |
| | <i>Thyroid-stimulating hormone</i> (TSH) | - Merangsang produksi dan sekresi hormon tiroid |
| | <i>Adrenocorticotrophic hormone</i> (ACTH) | - Merangsang produksi dan sekresi steroid korteks adrenal |

| | | |
|-----------------------------------|--|---|
| | <i>Luteinizing hormone (LH)</i> | <ul style="list-style-type: none"> - <i>Wanita</i>: Merangsang perkembangan korpus luteum, pelepasan oosit, serta produksi progesteron dan estrogen - <i>Pria</i>: Merangsang sekresi testosteron dan perkembangan jaringan interstitial testes |
| | <i>Follicle-stimulating hormone (FSH)</i> | <ul style="list-style-type: none"> - <i>Wanita</i>: Merangsang pertumbuhan follikel ovarium dan ovulasi - <i>Pria</i>: Merangsang produksi sperma |
| | <i>Melanocyte-stimulating hormone (MSH)</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Berkaitan dengan warna kulit (melanosit) bersama ACTH; perannya tidak jelas |
| Tiroid (sel folikular) | <i>Thyroid hormones: thyroxine (T4), triiodothyronine (T3)</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan derajat metabolisme dan sensitivitas sistem kardiovaskular terhadap aktivitas saraf simpatis - Mempengaruhi maturasi dan homeostasis otot rangka |
| Tiroid (sel parafolikular) | <i>Calcitonin</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Menurunkan kadar kalsium dan fosfat darah - Bekerja terhadap tulang, ginjal, dan sel lainnya |
| Paratiroid | <i>Parathormone (PTH; parathyroid hormone)</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan kadar kalsium darah - Menurunkan kadar fosfat darah - Bekerja terhadap tulang, usus, ginjal, dan sel lainnya |
| Medula adrenal | <i>Epinephrine (adrenaline)</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan kecepatan denyut jantung - Mengatur diameter arteriol - Merangsang kontraksi otot polos - Meningkatkan kadar glukosa darah |
| | <i>Norepinephrine (noradrenaline)</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Konstriksi arteriol - Meningkatkan derajat metabolisme |

| | | |
|--|---|--|
| Korteks adrenal | <i>Glucocorticoids</i> , terutama <i>cortisol</i> (<i>hydrocortisone</i>), <i>corticosterone</i> , 11- <i>deoxycorticosterone</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Mempengaruhi metabolisme seluruh nutrisi - Mengatur kadar glukosa darah - Anti peradangan - Mempengaruhi pertumbuhan - Mengurangi efek stress dan sekresi ACTH |
| | <i>Mineralocorticoids</i> , terutama <i>aldosterone</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Mengendalikan retensi natrium dan kehilangan kalium dalam tubulus ginjal |
| | <i>Gonadocorticoids</i> (<i>adrenal sex hormones</i>) | <ul style="list-style-type: none"> - Efek ringan terhadap ovarium dan testes |
| Pankreas (sel alpha pulau-pulau Langerhans) | <i>Glucagon</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan kadar glukosa darah |
| Pankreas (sel beta pulau-pulau Langerhans) | Insulin | <ul style="list-style-type: none"> - Menurunkan glukosa darah dengan memfasilitasi transport glukosa melalui membran plasma dan meningkatkan penyimpanan glikogen - Mempengaruhi otot, hati, dan jaringan lemak |
| Pankreas (sel delta pulau-pulau Langerhans) | Somatostatin | <ul style="list-style-type: none"> - Menghambat pelepasan GH oleh hipofisis anterior |
| Ovarium (folikel de Graaf) | <i>Estrogens</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Mempengaruhi perkembangan organ seks dan karakteristik kewanitaan - Membuat folikel ovarium mulai berkembang |
| Ovarium (korpus luteum) | <i>Progesterone, estrogens</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Mempengaruhi siklus menstruasi - Mempengaruhi pertumbuhan dinding rahim - Mempertahankan kehamilan |
| Plasenta | <i>Estrogens, progesterone, human chorionic gonadotropin</i> (HCG) | <ul style="list-style-type: none"> - Mempertahankan kehamilan |

| | | |
|--------------------|---|---|
| Testes | <i>Androgens</i> , terutama <i>testosterone</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Mempengaruhi perkembangan organ seks dan karakteristik pria - Membantu produksi sperma |
| Timus | <i>Thymosin</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Stimulasi sel limfoid untuk berkembang dan memproduksi zat-zat anti |
| Pinealis | Melatonin | <ul style="list-style-type: none"> - Mempengaruhi proses pematangan seksual (?) - Berperan dalam pengaturan irama tubuh (?) |
| Saluran pencernaan | <i>Secretin</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Merangsang pelepasan getah pankreas untuk menetralkan asam lambung |
| | Gastrin | <ul style="list-style-type: none"> - Memproduksi enzim pencernaan dan asam hidroklorida dalam lambung |
| | <i>Cholecystokinin (CCK)</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Merangsang pelepasan enzim pankreas dan kontraksi kandung empedu |
| | Somatostatin | <ul style="list-style-type: none"> - Menghambat pelepasan GH oleh hipofisis anterior |

LATIHAN 11

Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Fungsi sistem endoktrin dalam tubuh adalah sebagai berikut, **kecuali**:
 - A. Membantu mempertahankan osteoporosis
 - B. Bekerja sama dengan susunan saraf dalam reaksi terhadap stress
 - C. Mengatur pertumbuhan dan perkembangan
 - D. Mengendalikan mekanisme imunitas
2. Sebagian besar hormon tergolong dalam kategori:
 - A. Amina
 - B. Peptida
 - C. Steroid
 - D. Tak dapat ditentukan
3. Contoh hormon yang larut dalam air yaitu:
 - A. Hormon-hormon korteks adrenal
 - B. Hormon-hormon gonad
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
4. Contoh hormon peptida di antara yang berikut ialah:
 - A. Triiodotironin
 - B. Prolaktin
 - C. Aldosteron
 - D. Testosteron
5. Hormon yang semata-mata berfungsi untuk menstimulasi sekresi hormon lain dinamakan juga:
 - A. Neurohormon
 - B. Neurotransmitter
 - C. Neuromodulator
 - D. Hormon tropik
6. Yang tergolong dalam neurohormon di antara yang berikut yaitu:
 - A. Tiroksin
 - B. Androgen
 - C. Vasopressin
 - D. Gonadotropin
7. Hormon yang sekresinya dikendalikan oleh kadar nutrien organik tertentu dalam darah antara lain yaitu:
 - A. Gonadotropin hipofisis
 - B. Gonadotropin korionik
 - C. *Growth hormone*
 - D. Insulin
8. Sekresi hormon insulin dikendalikan oleh:
 - A. Kadar glukosa darah
 - B. Stimulasi saraf simpatis
 - C. A) dan B) benar
 - D. A) dan B) salah

9. Fungsi utama hormon tiroid adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Pematangan susunan saraf pada janin dan bayi
 - B. Pertumbuhan tubuh pada anak
 - C. Mengatur kadar kalsium dalam darah dan cairan ekstrasel
 - D. Determinan utama tingkat produksi panas tubuh dalam keadaan metabolik basal
10. *Basal metabolic rate* (BMR) adalah:
- A. Tingkat metabolisme seseorang dalam keadaan istirahat fisik
 - B. Tingkat metabolisme seseorang dalam keadaan istirahat mental dan fisik
 - C. Tingkat metabolisme rata-rata seseorang selama 24 jam
 - D. Semuanya salah
11. Efek kalorigenik hormon tiroksin berlaku bagi jaringan berikut, kecuali:
- A. Otot rangka
 - B. Otak
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
12. Pilihlah yang benar:
- A. Hipotiroidismus pada anak menyebabkan miks-oedema
 - B. Goiter eks-opthalmik disebabkan oleh defisiensi jodium
 - C. Tumor hipofisis yang mensekresi TSH menyebabkan pembesaran kelenjar tiroid
 - D. Semuanya benar
13. Pilihlah yang benar:
- A. Hormon T3 dihasilkan oleh sel follikular
 - B. Hormon T4 dihasilkan oleh sel parafollikular
 - C. A) dan B) benar
 - D. A) dan B) salah
14. Gejala hipofungsi kelenjar tiroid antara lain adalah:
- A. Selalu gelisah dan waspada
 - B. Sensitif terhadap panas
 - C. Nafsu makan menurun
 - D. Frekuensi denyut jantung meningkat

15. Hiperfungsi kelenjar paratiroid menyebabkan:
 - A. Penurunan kadar Ca darah
 - B. Peningkatan kecenderungan terjadinya osteoporosis
 - C. Terjadinya tetani
 - D. Semuanya salah
16. Sifat hormon melatonin yaitu:
 - A. Disekresikan pada malam hari
 - B. Produksinya distimulasi oleh cahaya
 - C. Efeknya meningkatkan kewaspadaan
 - D. Semuanya benar
17. Medulla adrenal mensekresikan:

| | |
|----------------------|--------------------|
| A. Glukokortikoid | C. Gonadokortikoid |
| B. Mineralokortikoid | D. Semuanya salah |
18. Fungsi glukokortikoid adalah:
 - A. Mengatur metabolisme karbohidrat dan protein
 - B. Mempertahankan keseimbangan natrium dan volume cairan ekstrasel
 - C. Mempengaruhi fungsi reproduksi
 - D. Semuanya salah
19. Sekresi medulla adrenal terjadi akibat stimulasi:

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| A. Susunan saraf simpatis | C. Keduanya mungkin benar |
| B. Susunan saraf parasimpatis | D. Keduanya pasti salah |
20. Pilihlah yang benar:
 - A. Hormon-hormon korteks adrenal tidak esensial bagi kehidupan
 - B. Medulla adrenal dapat dianggap sebagai ganglion parasimpatis yang berisikan neuron post-ganglionik yang telah kehilangan aksonnya
 - C. Medulla adrenal mensekresi epinefrin, norepinefrin, dan dopamin
 - D. Korteks adrenal secara embrionik berasal dari ektoderm
21. Aldosteron disekresi oleh jaringan korteks adrenal pada:

| | |
|---------------------|---------------------|
| A. Zona glomerulosa | C. Zona retikularis |
| B. Zona faskikulata | D. Semuanya salah |
22. Senyawa prekursor hormon-hormon korteks adrenal adalah:

| | |
|---------------|--------------|
| A. Kolesterol | C. Serotonin |
| B. Tirosin | D. Triptofan |

23. Efek hormon aldosteron adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Meningkatkan reabsorpsi natrium dari tubulus ginjal
 - B. Meningkatkan sekresi kalium pada tubulus ginjal
 - C. Meningkatkan reabsorpsi air dari tubulus ginjal
 - D. Semua di atas merupakan efek hormon aldosteron
24. Proporsi terbesar cairan tubuh adalah berupa:
- A. Plasma darah
 - B. Cairan interstitial
 - C. Cairan intrasel
 - D. Cairan ekstrasel
25. Volume cairan ekstrasel tubuh terutama tergantung pada:
- A. Jumlah kalsium dalam tubuh
 - B. Jumlah natrium dalam tubuh
 - C. Jumlah kalium dalam tubuh
 - D. Semuanya benar
26. Jumlah natrium dalam tubuh dikendalikan oleh:
- A. Hormon aldosteron
 - B. Baroreseptor melalui tingkat filtrasi glomerulus pada ginjal
 - C. A) dan B) benar
 - D. A) dan B) salah
27. Efek glukokortikoid adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Katabolik terhadap protein
 - B. Katabolik terhadap lemak
 - C. Menghambat pemasukan glukosa ke otot
 - D. Menghambat pemasukan glukosa ke otak
28. Gonadokortikoid yang dihasilkan oleh korteks adrenal tergolong dalam:
- A. Androgen
 - B. Estrogen
 - C. A) dan B) benar
 - D. A) dan B) salah
29. Pilihlah yang benar:
- A. Epinefrin menimbulkan efek vasodilatasi melalui reseptor-adrenergik
 - B. Epinefrin menimbulkan efek vasokonstriksi melalui reseptor-adrenergik
 - C. Norepinefrin menimbulkan efek vasokonstriksi melalui reseptor-adrenergik
 - D. Semuanya salah

30. Pilihlah yang benar:
- A. Hipereksresi aldosteron menyebabkan sindrom Cushing
 - B. Hipersekresi kortisol menyebabkan sindrom Conn
 - C. Insufisiensi umum kelenjar adrenal menyebabkan penyakit Addison
 - D. Semuanya benar
31. Efek stress yang terjadi melalui hipofisis anterior dan korteks adrenal adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Katabolik terhadap protein
 - B. Katabolik terhadap lemak
 - C. Glukoneogenesis
 - D. Penurunan kemampuan untuk mempertahankan vasokonstriksi sebagai respons terhadap norepinefrin
32. Efek stress yang terjadi melalui susunan saraf simpatis dan medulla adrenal antara lain berupa:
- A. Peningkatan pemecahan glikogen menjadi glukosa pada hati
 - B. Peningkatan hasil pemompaan jantung
 - C. Vasodilatasi pada otot rangka disertai vasokonstriksi pada vissera
 - D. Semuanya benar
33. Pulau-pulau Langerhans pada pankreas tergolong dalam:
- A. Kelenjar endoktrin
 - B. Kelenjar eksoktrin
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
34. Pernyataan yang benar mengenai pulau-pulau Langerhans pada pankreas yaitu:
- A. Sel alpha memproduksi hormon insulin
 - B. Sel delta memproduksi hormon somatostatin
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
35. Insulin tergolong dalam kelompok hormon:
- | | |
|------------|-------------------|
| A. Amina | C. Steroid |
| B. Peptida | D. Semuanya salah |

36. Efek insulin antara lain adalah:
- A. Meningkatkan penggunaan glukosa dalam sel
 - B. Meningkatkan transportasi asam amino ke dalam sel
 - C. Fasilitasi sintesis protein
 - D. Semuanya benar
37. Koma hiperglikemia pada penderita diabetes mellitus secara langsung disebabkan oleh:
- A. Poliphagia
 - B. Polidipsia
 - C. Poliuria
 - D. Keto-asidosis
38. Pada penderita diabetes mellitus didapatkan:
- A. Ekses glukosa intrasel
 - B. Defisiensi glukosa ekstrasel
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
39. Akibat defisiensi insulin adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Penurunan pemasukan glukosa ke dalam otot rangka
 - B. Penurunan pemasukan glukosa ke dalam hati
 - C. Peningkatan pemasukan glukosa ke dalam otak
 - D. Semua di atas merupakan akibat defisiensi insulin
40. Manfaat olah fisik pada penderita diabetes mellitus disebabkan oleh:
- A. Peningkatan pemasukan glukosa ke dalam sel pada kondisi aerobik
 - B. Peningkatan afinitas reseptor otot terhadap insulin
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
41. Efek glukagon adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Glikogenik
 - B. Glukoneogenik
 - C. Lipolitik
 - D. Ketogenik
42. Hormon yang disekresi oleh hipofisis posterior antara lain yaitu:
- A. GH (*growth hormone*)
 - B. ADH (*antidiuretic hormone*)
 - C. TSH (*thyroid-stimulating hormone*)
 - D. Semuanya benar

43. Insuffisiensi hipofisis antara lain menyebabkan:
- A. Penurunan sensitivitas terhadap stress
 - B. Peningkatan toleransi terhadap dingin
 - C. Terhentinya siklus menstruasi
 - D. Semuanya benar
44. Diabetes insipidus adalah:
- A. Poliuria yang disebabkan oleh hipokresi ADH
 - B. Poliuria yang disebabkan oleh hipersekresi ADH
 - C. Poliuria yang disebabkan oleh hiper-osmolalitas darah
 - D. Semuanya salah
45. Yang tidak tergolong dalam hormon tropik di antara yang berikut yaitu:
- A. LH
 - B. Prolaktin
 - C. ACTH
 - D. TSH
46. Produksi ASI secara tak langsung dihambat oleh:
- A. TRH
 - B. PIH
 - C. PRH
 - D. Semuanya salah
47. Hormon-hormon yang berpengaruh terhadap pertumbuhan adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. GH
 - B. TSH
 - C. Gonadotropin hipofisis
 - D. Semuanya salah
48. Efek GH adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Stimulasi pertumbuhan tulang dan otot
 - B. Peningkatan pembentukan protein
 - C. Peningkatan metabolisme karbohidrat
 - D. Semuanya salah

BAB 12

SISTEM ENDOKRIN II

❖ Pola Umum Pengendalian Reproduksi

Secara umum, pengendalian hormonal reproduksi baik pada pria maupun wanita adalah sebagai berikut (gambar 12.1):

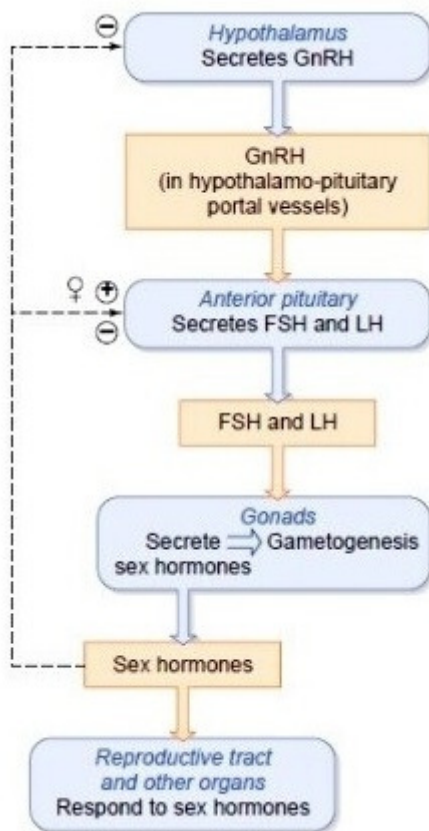
- Hipotalamus memproduksi GnRH (*gonadotropin releasing hormone*).
- Di bawah pengaruh GnRH, hipofisis anterior memproduksi gonadotropin, yang terdiri atas FSH (*follicle stimulating hormone*) dan LH (*luteinizing hormone*).
- Gonadotropin (FSH dan LH) menstimulasi gonad, yaitu testis pada pria dan ovarium pada wanita, untuk mensekresi hormon seks yang menstimulasi pembentukan gamet, yaitu spermatozoa pada pria dan ovum pada wanita.
- Hormon seks yang disekresikan gonad juga masuk ke dalam aliran darah, lalu memfasilitasi pertumbuhan organ reproduksi serta perkembangan karakteristik sekunder.
- Jika kadar hormon seks gonad terlalu tinggi dalam darah, akan terjadi proses umpan-balik (*feed-back*) pengurangan produksi gonadotropin hipofisis anterior, bahkan GnRH hipotalamus.

❖ Organ Reproduksi Wanita

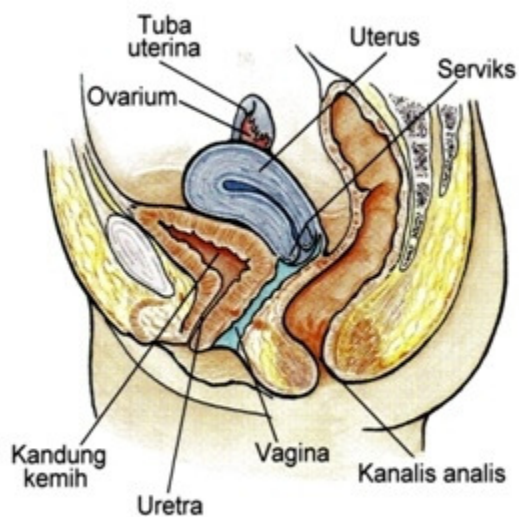
▪ Anatomi Organ Reproduksi Wanita

Organ reproduksi wanita terdiri atas (gambar 12.2):

- A. Ovarium
- B. Tuba Falopi
- C. Uterus
- D. Vagina
- E. Vulva (Genitalia Eksterna)
- F. Kelenjar Mammariae

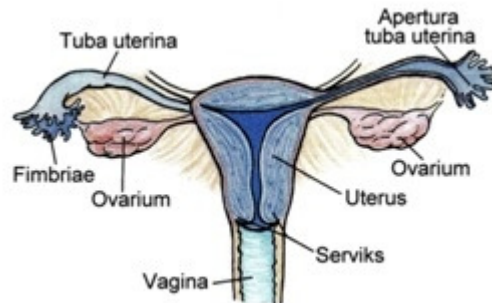


Gambar 12.1 Pola umum pengendalian reproduksi

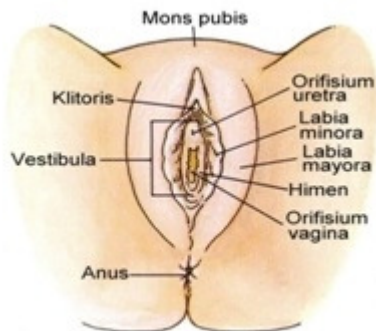


Gambar 12.2 Traktus genitalis wanita

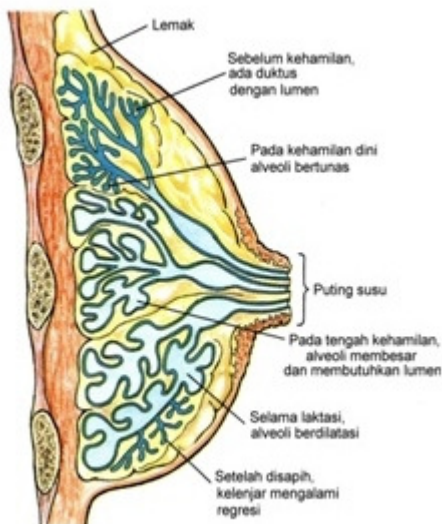
Penampang frontal ovarium, tuba Falopi, uterus, dan vagina diperlihatkan pada gambar 12.3; vulva pada gambar 12.4, dan kelenjar mammae pada gambar 12.5



Gambar 12.3 Ovarium, tuba Falopi, uterus, dan vagina



Gambar 12.4 Vulva



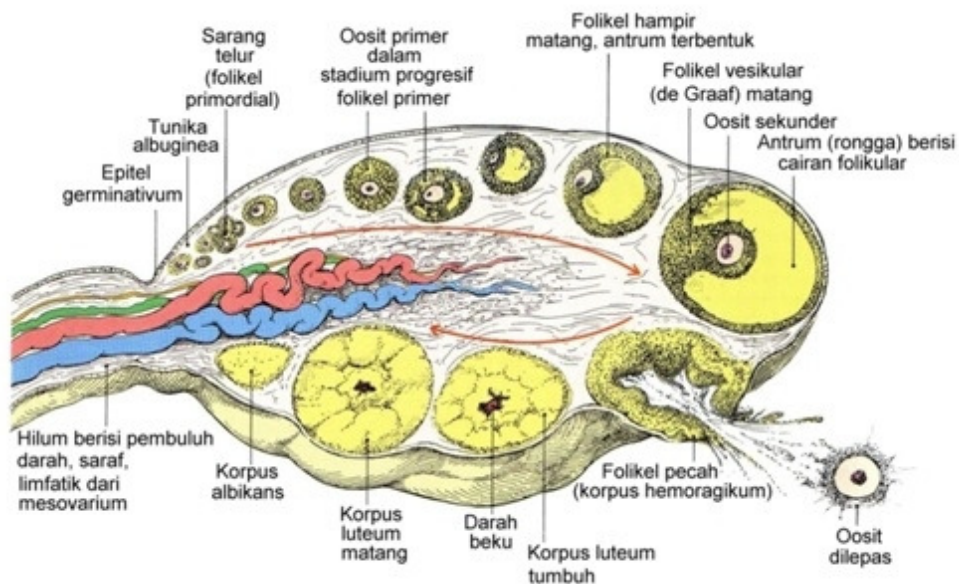
**Gambar 12.5
Kelenjar mammae**

■ Proses Ovulasi

Proses ovulasi, yaitu pelepasan ovum terjadi pada ovarium. Ovarium terdiri atas **korteks** dan **medula**. Pada korteks terdapat sejumlah besar vesikel (gelembung) yang dinamakan **folikel de Graaf**, yang merupakan pusat-pusat pembentukan ovum (gambar 12.6). Folikel menghasilkan hormon estrogen, tiap folikel berisi sebuah ovum yang belum matang.

Dalam tiap siklus menstruasi, sebuah ovum dalam satu folikel mengalami proses pematangan. Ovum yang mengalami pematangan dilepas dari folikel (**proses ovulasi**), sedangkan folikel yang ditinggalkan berubah menjadi **korpus luteum** (*corpus luteum*). Korpus luteum menghasilkan hormon estrogen dan progesteron yang menghalangi proses ovulasi pada folikel lain serta merangsang penebalan dinding uterus dan pembesaran kelenjar payudara sebagai persiapan untuk kehamilan.

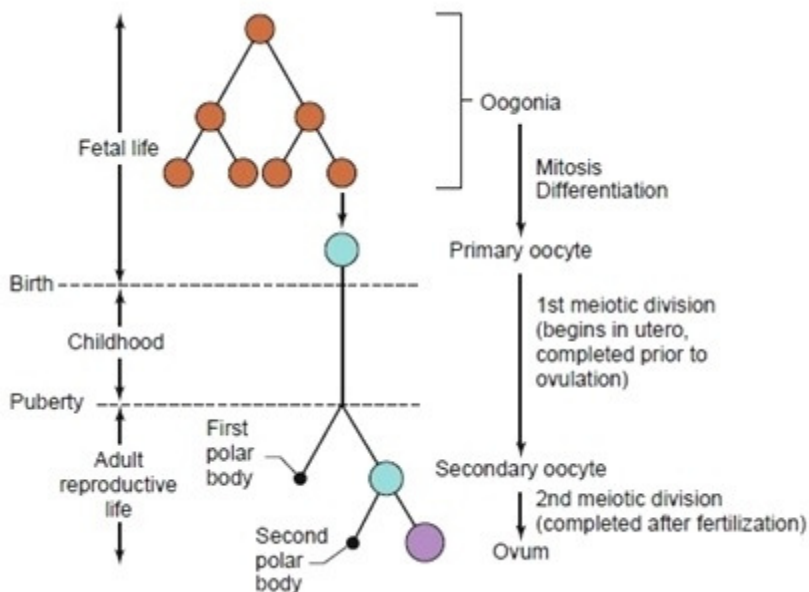
Jika tidak terjadi kehamilan dalam 14 hari setelah pembentukannya, korpus luteum berdegenerasi menjadi **korpus albicans** yang tersusun oleh jaringan ikat dan terjadi menstruasi. Jika terjadi kehamilan, korpus luteum bertahan 2-3 bulan sampai terbentuk plasenta yang mengambil alih fungsinya.



Gambar 12.6 Proses ovulasi

▪ Oogenesis

Oogenesis dimulai pada saat janin masih dalam kandungan ibunya, yaitu dimulainya proses meiosis dalam **folikel ovarium**, tetapi hanya mencapai tahap pembelahan pertama pada saat lahir yang menghasilkan **oosit primer** (gambar 12.7). Setelah itu proses meiosis akan terhenti (*meiotic arrest*), lalu pada saat pubertas pembelahan akan berlanjut untuk menghasilkan **oosit sekunder**. Oosit sekunder dilepaskan oleh folikel de Graaf, bergerak menuju **tuba Falopi** dan hanya akan membelah menjadi **ovum matang** (*mature ovum*) jika mengalami fertilisasi (penetrasi oleh spermatozoa). Jika tidak mengalami fertilisasi, oosit sekunder akan berdegenerasi.

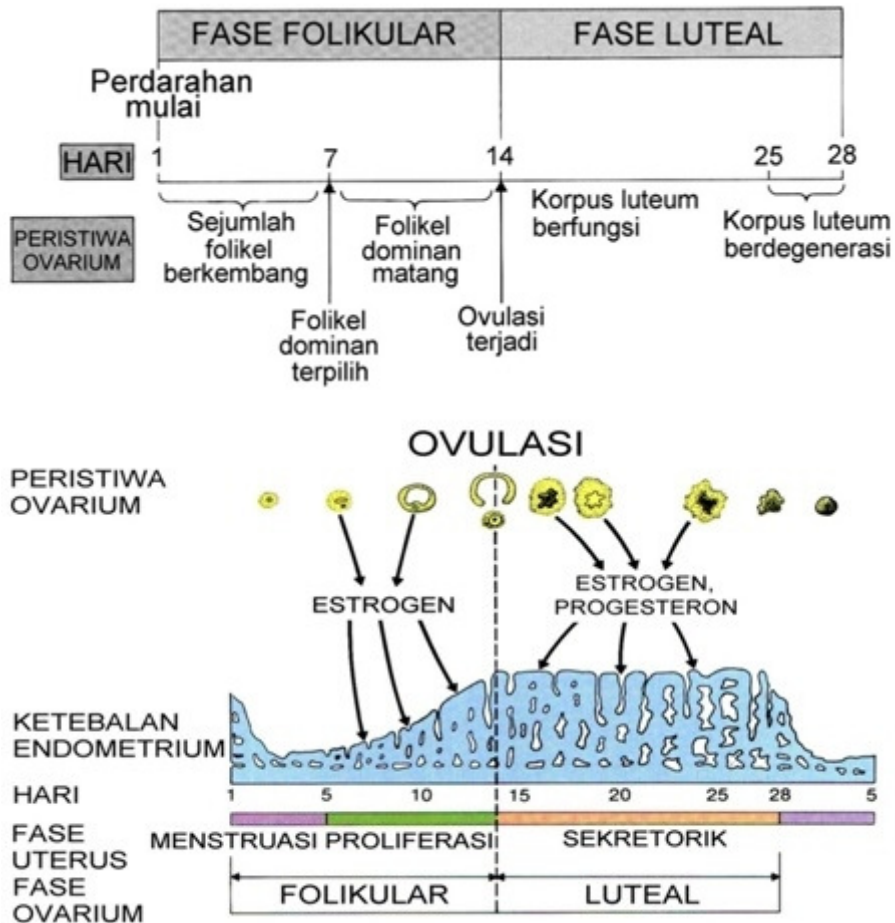


Gambar 12.7 Oogenesis

▪ Siklus Menstruasi

Menstruasi adalah peluruhan jaringan endometrium uterus. Uterus terdiri atas tiga lapis jaringan, yaitu **perimetrium**, **miometrium**, dan **endometrium**. Dalam tiap siklus menstruasi, endometrium menebal pada saat pertumbuhan korpus luteum.

Jika terjadi kehamilan, penebalan endometrium tetap dipertahankan oleh sekresi korpus luteum dan kemudian oleh plasenta. Jika tidak terjadi kehamilan, penebalan endometrium meluruh dan keluar sebagai aliran menstruasi (gambar 12.8).



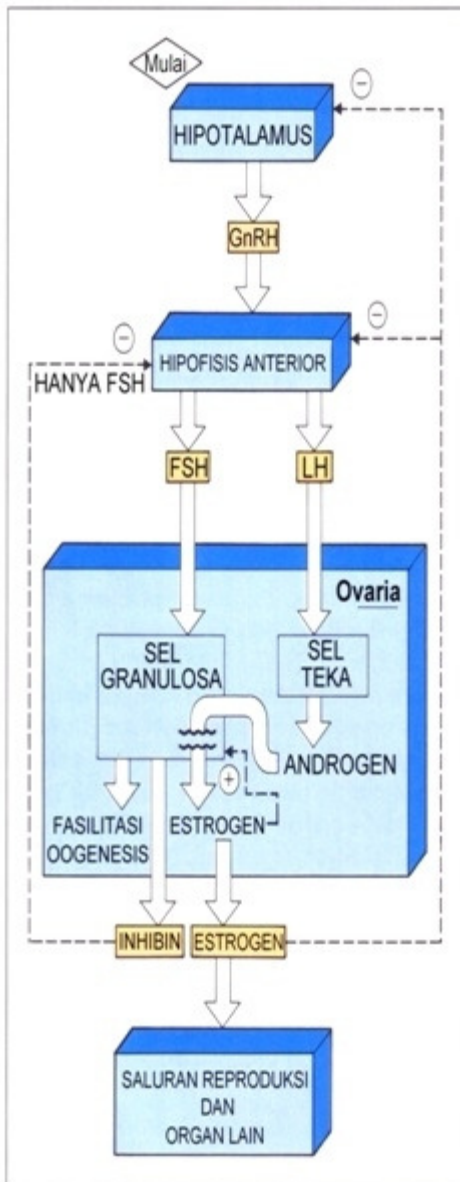
Gambar 12.8 Siklus menstruasi
Atas: Siklus waktu; Bawah: Siklus endometrium

Folikel sebelum ovulasi memproduksi hormon estrogen, sedangkan korpus luteum setelah ovulasi memproduksi hormon estrogen dan progesteron.

▪ **Aspek Endokrin Pengendalian Reproduksi pada Wanita**

Pengendalian hormonal reproduksi pada wanita adalah sebagai berikut (gambar 12.9):

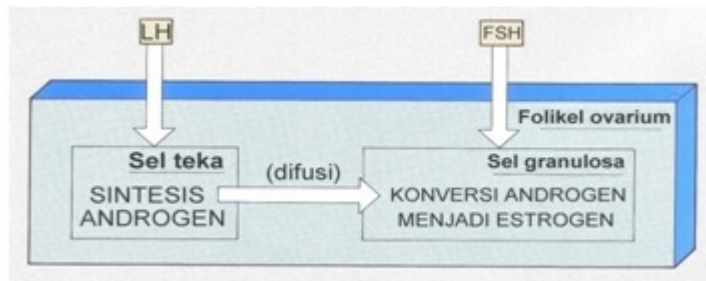
- Hipotalamus memproduksi GnRH.
- Di bawah pengaruh GnRH, hipofisis anterior memproduksi FSH dan LH.



Gambar 12.9 Hipotalamus – hipofisis anterior - ovarium

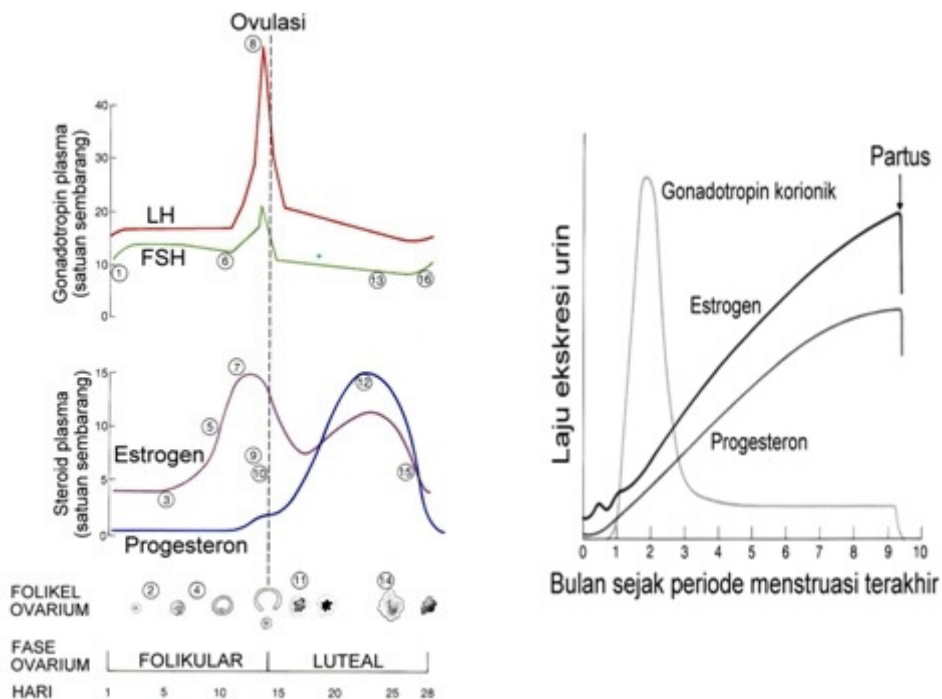
- LH menstimulasi sel teka ovarium untuk mensekresi hormon androgen.
- FSH memfasilitasi sel granulosa ovarium untuk mengkonversi hormon androgen dari sel teka menjadi estrogen (gambar 12.10).
- FSH juga menstimulasi sel granulosa ovarium untuk memfasilitasi oogenesis, yaitu proses pembentukan ovum.
- Estrogen yang masuk ke dalam aliran darah akan menstimulasi pertumbuhan organ reproduksi dan perkembangan seks sekunder wanita.

- Sel granulosa juga memproduksi inhibin yang berfungsi memberi umpan-balik terhadap produksi FSH hipofisis anterior.
- Hormon estrogen dalam darah memberi umpan-balik terhadap produksi gonadotropin (FSH dan LH) hipofisis anterior dan GnRH hipotalamus.



Gambar 12.10 Androgen dan estrogen ovarium

Perubahan kadar hormon gonadotropin (FSH dan LH) serta estrogen dan progesteron dalam siklus menstruasi serta kehamilan diperlihatkan pada gambar 12.11.



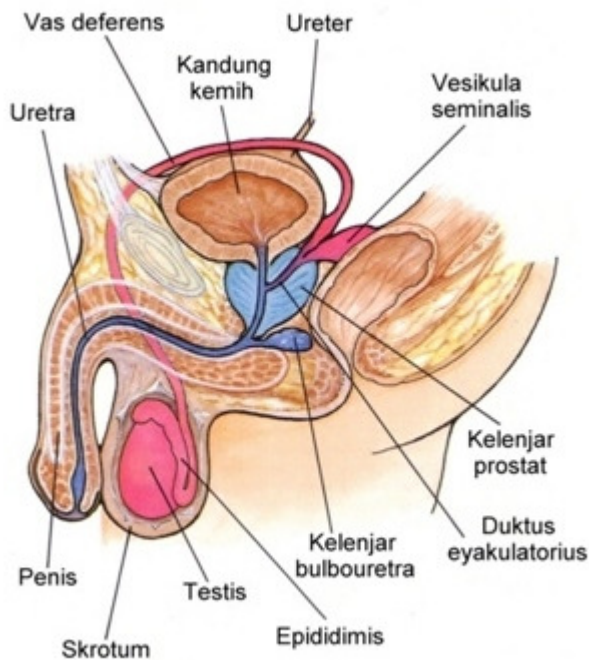
Gambar 12.11 Kadar hormon pada siklus menstruasi (kiri) dan kehamilan (kanan)

❖ Organ Reproduksi Pria

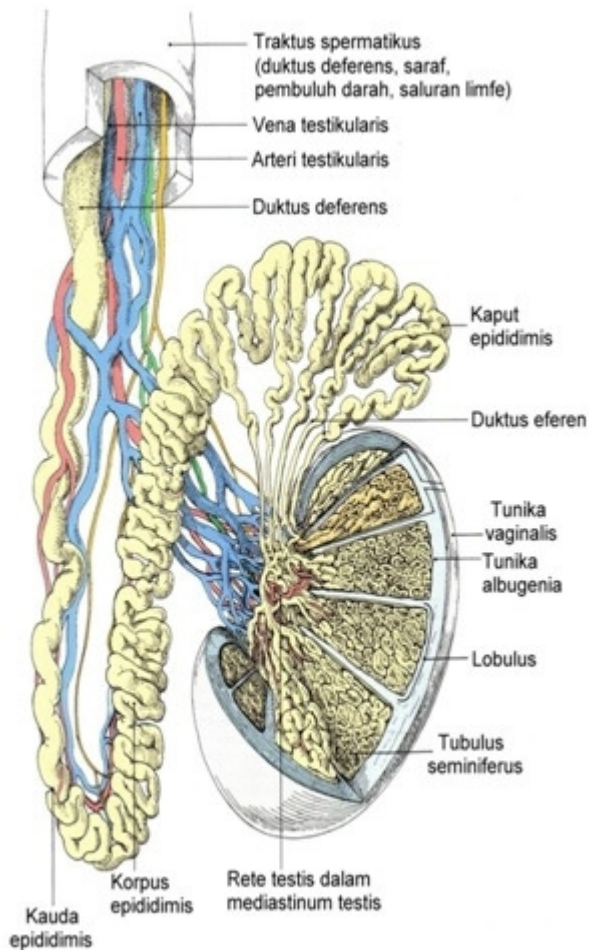
▪ Anatomi Organ Reproduksi Pria

Organ reproduksi pria terdiri atas (gambar 12.12 dan 12.13):

- I. Testes
- II. Kelenjar Aksesorius
 - Vesikula seminalis
 - Kelenjar prostat
- III. Duktus Aksesorius
 - Epididimis
 - Duktus deferens
 - Duktus ejakulatorius
 - Urethra
- IV. Penis



Gambar 12.12
Traktus genitalis
pria



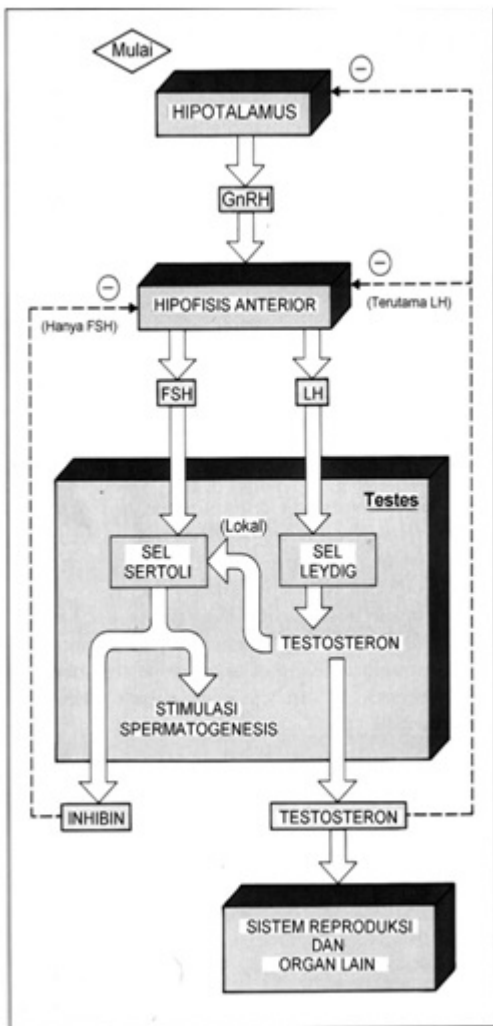
Gambar 12.13
Testis, epididimis, dan
duktus deferens

■ **Aspek Endokrin Pengendalian Reproduksi pada Pria**

Pengendalian hormonal reproduksi pada pria adalah sebagai berikut (gambar 12.14):

- Hipotalamus memproduksi GnRH.
- Di bawah pengaruh GnRH, hipofisis anterior memproduksi FSH dan LH.
- LH menstimulasi sel Leydig testis untuk mensekresi hormon testosteron.
- FSH dan hormon testosteron akan menstimulasi sel Sertoli pada tubulus seminiferus testis untuk memproduksi spermatozoa (spermatogenesis).
- Testosteron yang masuk ke dalam aliran darah akan menstimulasi pertumbuhan organ reproduksi dan perkembangan seks sekunder pria.
- Sel Sertoli juga memproduksi inhibin yang berfungsi memberi umpan-balik terhadap produksi FSH hipofisis anterior.

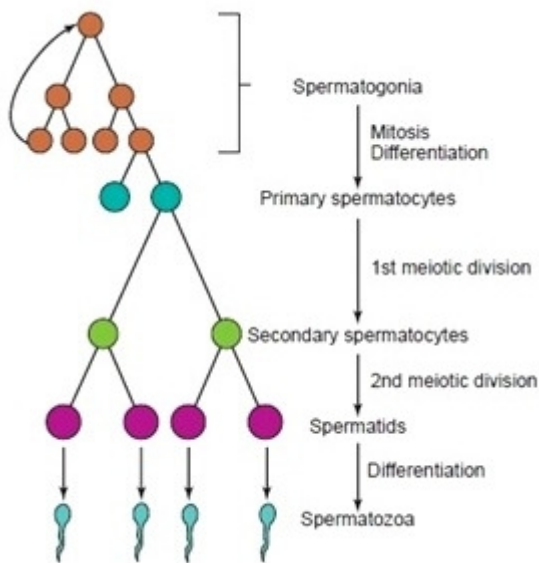
- Hormon testosteron dalam darah memberi umpan-balik terhadap produksi LH hipofisis anterior dan GnRH hipotalamus.



Gambar 12.14 Hipotalamus – hipofisis anterior – testis

▪ Spermatogenesis

Berbeda dengan oogenesis, spermatogenesis mulai berlangsung sejak pubertas dan seluruhnya diselesaikan dalam **sel Sertoli** pada tubulus seminiferus testis (gambar 12.15). Mula-mula yang terbentuk adalah **spermatisit primer**, lalu **spermatisit sekunder**, dan akhirnya menjadi **spermatid**. Spermatid mengalami diferensiasi, yaitu pembentukan akrosom pada kepala sel dan pertumbuhan ekor cambuk flagella menjadi **spermatozoa**.



Gambar 12.15
Spermatogenesis

Spermatozoa selanjutnya berenang memasuki epididimis, lalu tersimpan dalam vas deferens. Jika ada stimulasi seksual, akan terjadi ereksi penis. Stimulasi seksual kuat akan mengakibatkan pelepasan cairan semen dari duktus seminalis dan terjadi ejakulasi, yaitu pengeluaran semen bersama spermatozoa dari urethra penis.

Penetrasi penis ke dalam vagina memungkinkan pergerakan spermatozoa memasuki uterus, lalu tuba Falopi dan akhirnya fertilasi dengan spermatozoa memasuki ovum matang.

❖ Perilaku Seksual

Kopulasi adalah fenomena dasar namun kompleks, melibatkan berbagai bagian SSP. Kopulasi tersusun atas serangkaian refleks yang terintegrasi pada pusat-pusat batang otak bawah dan medulla spinalis, disertai komponen perilaku, hasrat untuk berkopulasi, serta serangkaian kejadian pada pasangan kedua jenis kelamin yang mengarah pada kehamilan, sebagian besar diatur oleh sistem limbik dan hipotalamus.

Belajar memegang peranan penting dalam perilaku kopulasi, terutama pada Primata dan manusia.

▪ **Perilaku seksual hewan**

Perilaku seksual pada hewan bersifat stereotipe. Pada hewan dengan tingkat evolusi rendah, kopulasi dapat terjadi tanpa pengalaman seksual terdahulu.

Pada Mammalia, kegiatan seksual hewan jantan bersifat kontinu, sedangkan pada hewan betina bersifat periodik. Hewan betina hanya bersedia berkopulasi pada fase estrus ('panas') yaitu pada saat ovulasi ketika kadar estrogen dan progesteron meningkat. Produksi gonadotropin hipofisis hewan betina bersifat siklik, sedangkan pada hewan jantan bersifat tonik.

Pada kera betina, 'ajakan' kepada kera jantan untuk berkopulasi dikirim dalam bentuk 'pesan' olfaktoris, yaitu asam lemak tertentu dalam sekresi vagina. Substansi demikian, yang diproduksi hewan betina dan bekerja dalam jarak jauh untuk membangkitkan perilaku seksual hewan jantan dinamakan **feromon**.

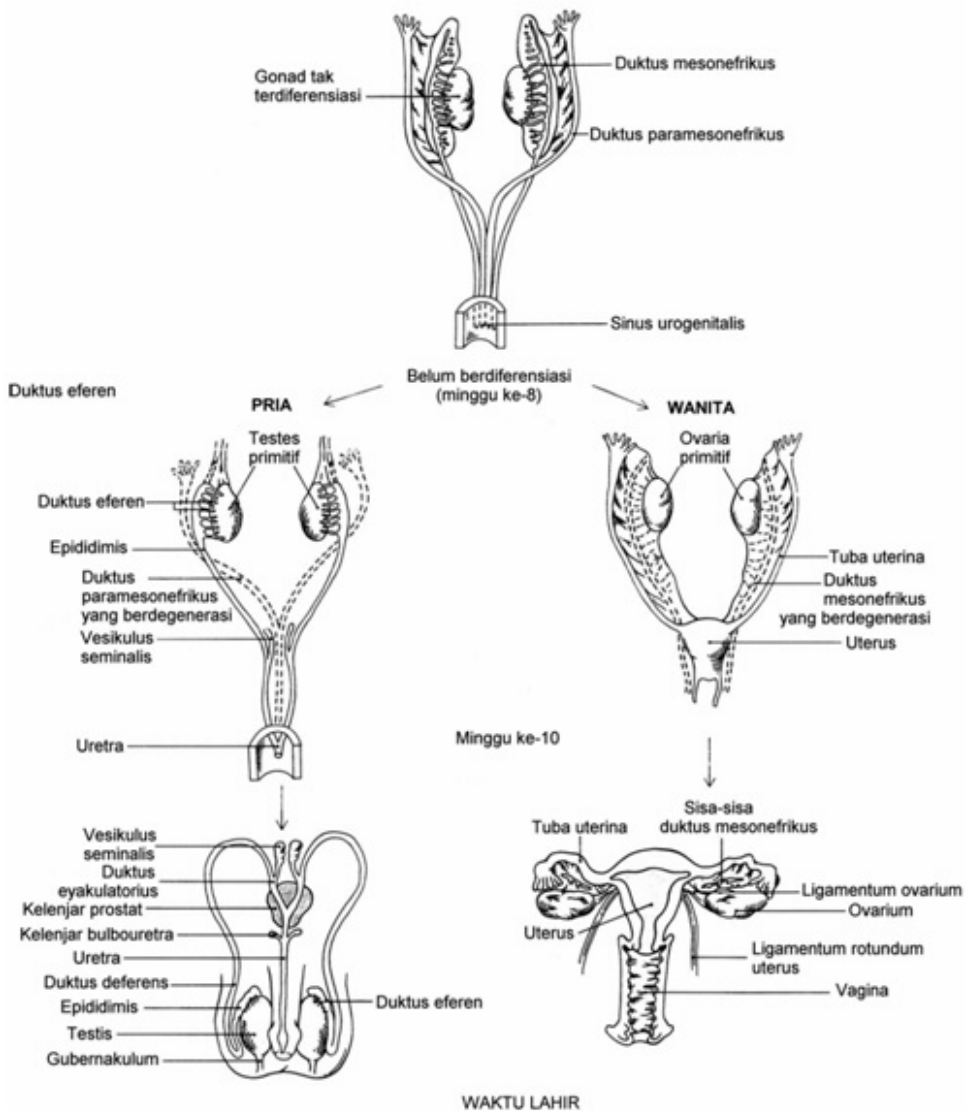
▪ **Perilaku seksual manusia**

Pada manusia perilaku seksual telah mengalami ensefalisisasi, yaitu sangat terpengaruh oleh otak, serta terkondisi oleh faktor sosial dan psikis. Tidak ada fase estrus pada wanita dan pengangkatan ovarium tidak menurunkan libido maupun kemampuan seksual. Wanita pasca-menopause juga dapat tetap melakukan aktivitas seksual, walaupun dengan frekuensi berbeda.

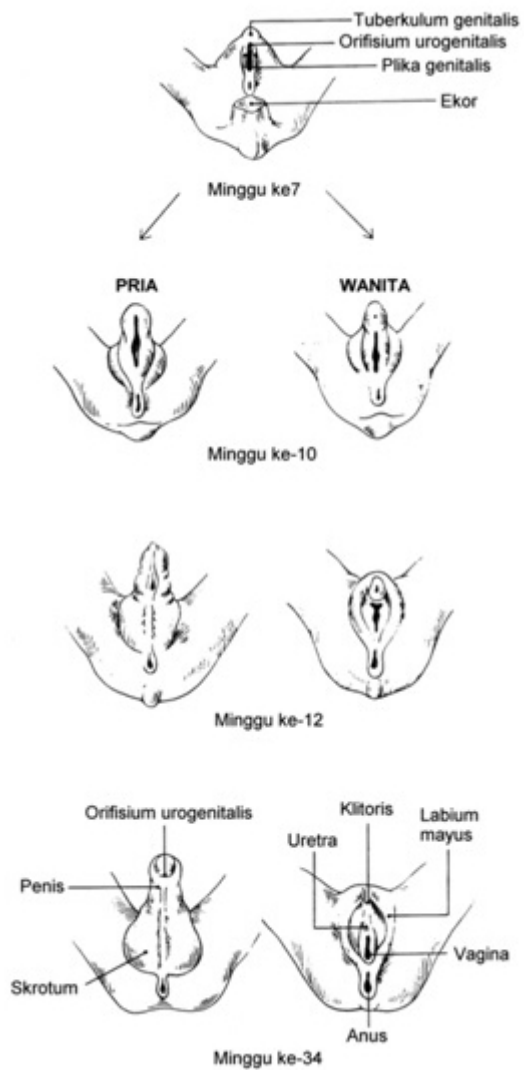
Lampiran 12.1

PERKEMBANGAN EMBRIONAL GENITALIA

Beberapa tahap perkembangan embrional genitalia internal diperlihatkan pada gambar XII.1, sedang perkembangan embrional genitalia eksternal diperlihatkan pada gambar XII.2.



Gambar XII.1 Perkembangan embrional genitalia internal

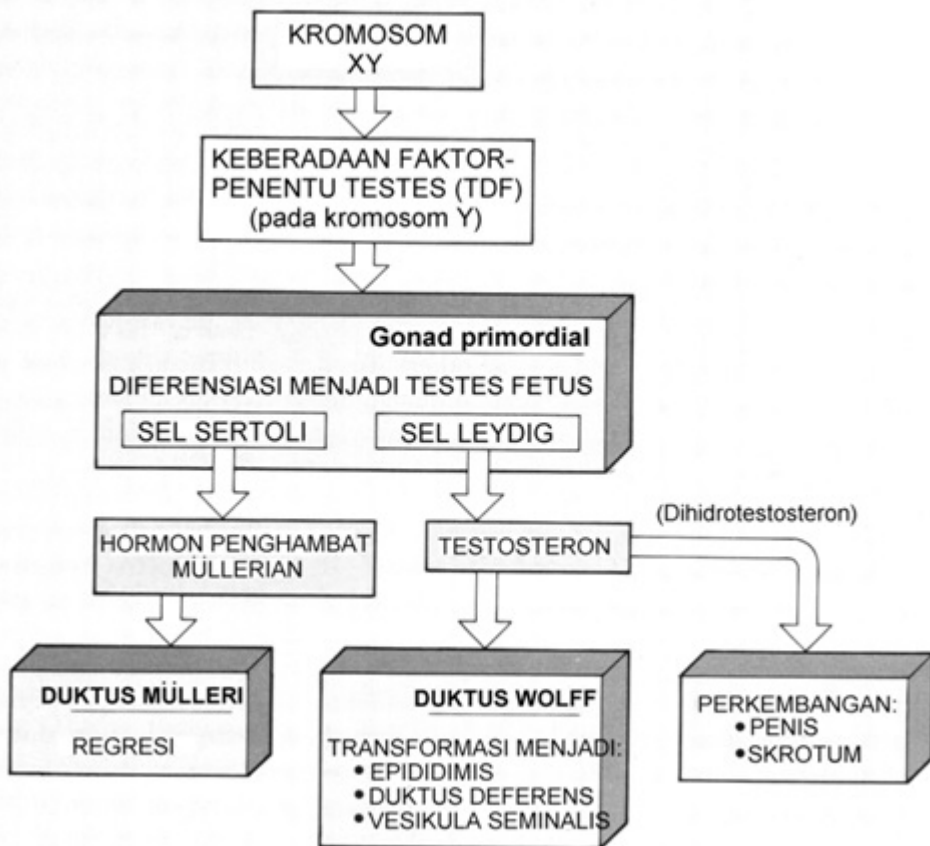


Gambar XII.2
Perkembangan embrional
genitalia eksternal

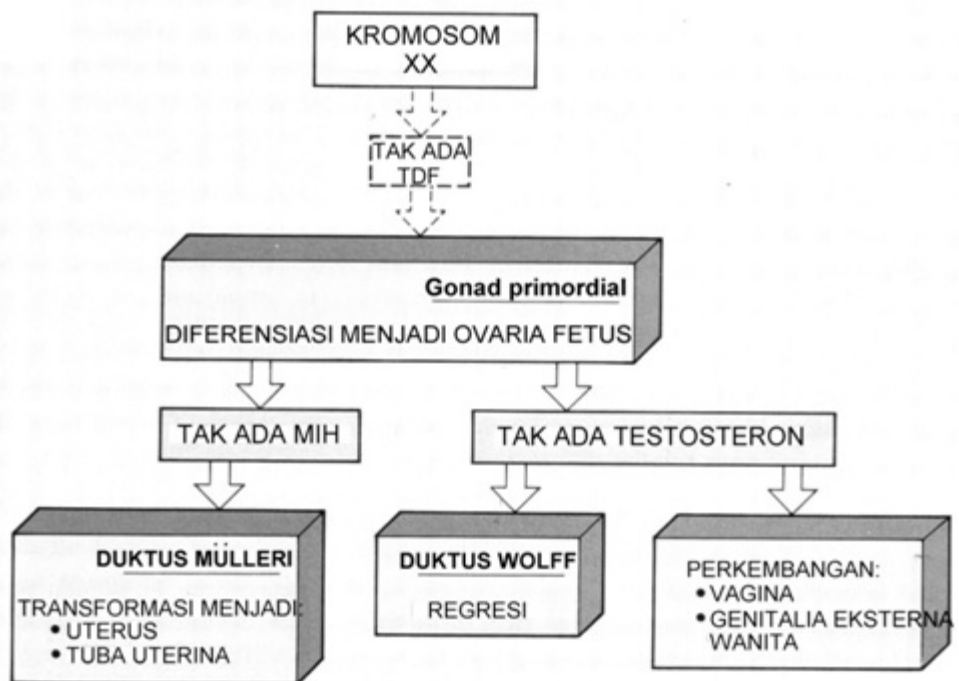
Lampiran 12.2

TESTIS DETERMINING FACTOR

TDF (*testis determining factor*) adalah faktor penentu arah perkembangan jenis kelamin janin menjadi pria serta perkembangan organ genitalia pria (gambar XII.3). TDF didapatkan pada kromosom Y. Pada wanita dengan kromosom XX, tidak ada TDF sehingga jenis kelamin janin menjadi wanita dan yang berkembang adalah organ genitalia wanita (gambar XII.4).



Gambar XII.3 Kromosom XY dan TDF pada pria



Gambar XII.4 Kromosom XX tanpa TDF pada wanita

Lampiran 12.3

KARAKTERISTIK SEKS SEKUNDER

| Area tubuh | Pria | Wanita |
|-----------------------------|--|---|
| Perubahan tubuh umum | Bahu melebar, otot menebal, tinggi badan bertambah. Bau badan dari ketiak dan genitalia. Pertumbuhan tulang terhenti pada usia \pm 21 tahun. | Pinggul melebar. Distribusi lemak meningkat pada pinggul, bokong, dan payudara. Pertumbuhan tulang terhenti pada usia \pm 18 tahun. |
| Organ genitalia eksternal | Ukuran penis membesar, pigmennya bertambah. Skrotum membesar, pigmen bertambah, lebih berkerut. | Payudara membesar. Vagina membesar dan dinding vagina menebal. |
| Organ genitalia internal | Testis membesar. Produksi sperma meningkat dalam testis. Vesikula seminalis dan kelenjar prostat membesar, mulai menghasilkan sekret. | Uterus membesar. Ovarium mensekresi estrogen. Ovum dalam ovarium memulai pematangan. Haid mulai. |
| Kulit | Sekresi kelenjar sebacea mengental dan meningkat, sering menyebabkan jerawat. Kulit menebal. | Sekresi estrogen menyebabkan sekresi sebacea tetap cair, menghambat pertumbuhan jerawat dan komedo. |
| Pertumbuhan rambut dan bulu | Janggut tumbuh. Bulu muncul pada muka, area pubis, ketiak, dada, dan sekitar anus. Bulu tubuh secara umum bertambah. Garis rambut mundur pada regio frontal lateral. | Bulu muncul pada area pubis dan ketiak. Rambut kepala bertambah dengan batas rambut pada usia anak tetap dipertahankan. |
| Suara | Suara menjadi lebih dalam karena laring membesar dan pita suara menjadi lebih panjang dan lebih tebal. | Suara relatif bertahan pada nada tinggi karena laring hanya bertumbuh sedikit. |
| Mental | Lebih agresif dan bersifat aktif. Minat terhadap lawan jenis seks berkembang. | |

LATIHAN 12

Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Sel tubuh manusia memiliki kromosom sebanyak:
A. 22 pasang
B. 23 pasang
C. 44 pasang
D. 46 pasang
2. Di antara sel berikut yang bersifat diploid adalah:
A. Sperma
B. Ovum
C. Zigote
D. Semuanya salah
3. Pilihlah pernyataan yang benar:
A. Organ seks internal pria berasal dari sistem Müller
B. Organ seks internal wanita berasal dari sistem Wolff
C. Tanpa adanya hormon androgen, duktus mesonefrikus akan berdiferensiasi menjadi labia, klitoris, dan vagina 1/3 bawah
D. Semuanya salah
4. Organ seks pria yang **tidak** berasal dari sistem Wolff ialah:
A. Epididimis
B. Penis
C. Vesikula seminalis
D. Prostat
5. Perubahan karakteristik seks sekunder wanita pada saat pubertas antara lain yaitu:
A. Vagina membesar dan dindingnya menebal
B. Sekresi kelenjar sebacea mengental dan meningkat
C. Pertumbuhan tulang sampai dengan usia \pm 21 tahun
D. Semuanya benar
6. Organ seks wanita yang berasal dari sistem Müller yaitu:
A. Labia
B. Klitoris
C. Uterus
D. Vagina 1/3 bawah
7. Karakteristik produksi gonadotropin hipofisis pada hewan yaitu:
A. Bersifat tonik pada hewan jantan
B. Bersifat siklis pada hewan betina
C. A) dan B) benar
D. A) dan B) salah

8. Pilihlah pernyataan yang benar:
- A. Perilaku seksual pada hewan bersifat *stereotype*
 - B. Kopulasi pada hewan rendah dapat terjadi tanpa pengalaman seksual terdahulu
 - C. Proses belajar dalam perilaku kopulasi penting bagi primata
 - D. Semuanya benar
9. Perubahan hormonal pada hewan betina pada saat ovulasi antara lain:
- A. Kadar estrogen meningkat
 - B. Kadar progesteron menurun
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
10. Primata betina dalam fase estrus akan mengirimkan 'pesan' ajakan untuk berkopulasi kepada lawan jenisnya secara:
- A. Visual
 - B. Auditorik
 - C. Olfaktorik
 - D. Semuanya benar
11. Sifat feromon antara lain yaitu:
- A. Diproduksi oleh hewan betina
 - B. Bekerja dalam jarak jauh
 - C. Membangkitkan perilaku seksual hewan jantan dari spesies yang sama
 - D. Semuanya benar
12. Produksi gonadotropin hipofisis yang bersifat tonik dapat ditunjukkan pada:
- A. Tikus betina yang diberikan androgen dalam dosis rendah pada usia 10 hari
 - B. Tikus jantan yang dikastrasi pada saat lahir
 - C. Tikus jantan yang dikastrasi sesudah dewasa
 - D. Semuanya benar
13. Vesikula seminalis menghasilkan:
- A. Sperma
 - B. Semen
 - C. Hormon testosteron
 - D. Semuanya benar

14. Perjalanan sperma saat produksinya sampai dengan proses ejakulasi adalah:
 - A. Epididimis → tubulus seminiferus → duktus ejakulatorius → duktus deferens → urethra
 - B. Epididimis → tubulus seminiferus → duktus deferens → duktus ejakulatorius → urethra
 - C. Tubulus seminiferus → epididimis → duktus deferens → duktus ejakulatorius → urethra
 - D. Tubulus seminiferus → duktus ejakulatorius → duktus deferens → epididimis → urethra
15. Fungsi endoktrin pada testis didapatkan pada:
 - A. Sel Sertoli
 - B. Sel Leydig
 - C. Tunika albuginea
 - D. Semuanya salah
16. Pematangan sperma terjadi pada:
 - A. Vesikula seminalis
 - B. Epididimis
 - C. Duktus deferens
 - D. Semuanya salah
17. Saluran sperma yang dipotong dan diikat pada tindakan vasektomi ialah:
 - A. Duktus deferens
 - B. Duktus ejakulatorius
 - C. Urethra
 - D. Semuanya salah
18. Jaringan erektile pada penis ialah:
 - A. Korpora kavernosa
 - B. Korpus spongiosum
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
19. Hormon testosteron diproduksi oleh:
 - A. Sel Leydig pada testis
 - B. Korteks adrenal
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
20. Efek hormon testosteron adalah sebagai berikut, **kecuali**:
 - A. Efek gametogenesis
 - B. Efek androgenik
 - C. Efek katabolik
 - D. Semuanya benar
21. Hormon yang menstimulasi sel Leydig untuk memproduksi testosteron yaitu:
 - A. FSH
 - B. LH
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah

22. Fungsi tuba Fallopi ialah:
- A. Memproduksi hormon estrogen dan testosteron
 - B. Mengangkut ovum ke uterus
 - C. Menerima implantasi embrio
 - D. Semuanya salah
23. Ovarium pada manusia berjumlah:
- A. Satu buah
 - B. Dua buah
 - C. Empat buah
 - D. Semuanya salah
24. Follikel pada ovarium yang telah melepaskan ovum yang matang, namun masih menghasilkan hormon estrogen dan progesteron adalah:
- A. Follikel de Graaf
 - B. Korpus luteum
 - C. Korpus albicans
 - D. Semuanya salah
25. Proses penetrasi ovum oleh sperma dinamakan juga:
- A. Kopulasi
 - B. Implantasi
 - C. Fertilisasi
 - D. Semuanya salah
26. Letak uterus dalam rongga pelvis yaitu:
- A. Di depan kantong kemih dan di depan rektum
 - B. Di belakang kantong kemih, di depan rektum
 - C. Di belakang kantong kemih dan di belakang rektum
 - D. Semuanya salah
27. Pada penggunaan AKDR (Alat Kontrasepsi Dalam Rahim) untuk mencegah kehamilan, alat tersebut diletakkan dalam:
- A. Vagina
 - B. Uterus
 - C. Tuba Fallopi
 - D. Semuanya salah
28. Ukuran payudara pada wanita ditentukan oleh:
- A. Massa otot dada
 - B. Jumlah jaringan lemak
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
29. Proses ovulasi pada daur haid normal umumnya terjadi pada:
- A. Hari 1-5
 - B. Hari 9-16
 - C. Hari 12-16
 - D. Hari 20-25
30. Proliferasi endometrium dalam daur haid terutama terjadi pada fase:
- A. Follikular
 - B. Ovulasi
 - C. Luteal
 - D. Prahaid

31. Menarkhe pada wanita rata-rata terjadi pada usia:
- | | |
|---------------|-------------------|
| A. 6-10 tahun | C. 12-18 tahun |
| B. 8-13 tahun | D. Semuanya salah |
32. Perubahan yang pertama dapat diamati dalam usia pubertas pada wanita umumnya ialah:
- Mulainya siklus menstruasi
 - Pembesaran payudara
 - Pertumbuhan rambut pubis
 - Semuanya salah
33. Tanda pertama pubertas pada pria umumnya ialah:
- Pembesaran penis
 - Pertumbuhan rambut ketiak
 - Pembesaran testis dan skrotum
 - Semuanya salah
34. Usia hidup sperma normal rata-rata dalam vagina adalah:
- | | |
|--------------|-------------------|
| A. 10-15 jam | C. 7 hari |
| B. 48 jam | D. Semuanya salah |
35. Fertilisasi pada manusia umumnya terjadi pada:
- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| A. Tuba Fallopi 1/3 lateral | C. Uterus |
| B. Tuba Fallopi 1/3 medial | D. Semuanya salah |
36. Kehamilan ektopik dapat terjadi karena implantasi zigote pada:
- | | |
|-------------------|-------------------|
| A. Tuba Fallopi | C. Keduanya benar |
| B. Rongga abdomen | D. Keduanya salah |
37. Kembar monozigote terjadi karena:
- Kumpulan sel hasil pembelahan zigote terpisah sepenuhnya menjadi dua massa sel yang tumbuh independen
 - Fertilisasi dua ovum yang dilepaskan sekaligus dalam siklus haid yang sama
 - Keduanya benar
 - Keduanya salah

38. Bagi sepasang saudara kembar yang keduanya berjenis kelamin wanita dapat disimpulkan bahwa:
- A. Keduanya pasti merupakan pasangan kembar monozigote
 - B. Keduanya pasti merupakan pasangan kembar dizigote
 - C. Keduanya mungkin merupakan pasangan kembar monizigote atau dizigote
 - D. Semuanya salah
39. Tehnik diagnosis fetus yang aman adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Sampling cairan amnion
 - B. Pemeriksaan ultrasonografi
 - C. Pemeriksaan radiologi
 - D. Semuanya aman bagi fetus
40. Fungsi plasenta ialah:
- A. Memasok nutrisi bagi fetus
 - B. Mensekresi hormon-hormon pada kehamilan
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
41. Kehamilan normal pada manusia rata-rata berlangsung selama:
- A. 36 minggu
 - B. 38 minggu
 - C. 40 minggu
 - D. 42 minggu
42. Hormon **terpenting** bagi sekresi ASI adalah:
- A. Estrogen
 - B. Progesteron
 - C. Laktogen plasenta
 - D. Prolaktin
43. Faktor utama yang mempertahankan sekresi prolaktin setelah partus adalah:
- A. Kadar estrogen dan progesteron yang rendah
 - B. Stimulasi mekanis terhadap puting susu pada waktu menyusui
 - C. Keduanya benar
 - D. Keduanya salah
44. Efek hormon prolaktin pada pasca persalinan adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Stimulasi sekresi ASI oleh kelenjar mammae
 - B. Inhibisi proses ovulasi pada ovarium
 - C. Mengecilkan ukuran uterus
 - D. Semua di atas merupakan efek hormon prolaktin

45. Kontrasepsi hormonal pada wanita dapat diberikan dalam bentuk berikut, **kecuali**:
- A. Pil oral
 - B. Suntikan
 - C. Implant
 - D. Semuanya benar
46. Menopause pada wanita terjadi karena:
- A. Produksi gonadotropin hipofisis terhenti
 - B. Follikel yang masih ada pada ovarium bersifat hiporesponsif terhadap stimulasi gonadotropin hipofisis
 - C. Kegagalan proliferasi endometrium terhadap stimulus hormon estrogen
 - D. Semuanya benar
47. Perubahan yang terjadi pada wanita yang mengalami menopause antara lain:
- A. Pengecilan payudara dan organ genitalia
 - B. Osteoporosis
 - C. Peningkatan insidens hipertensi dan atherosklerosis
 - D. Semuanya benar
48. Risiko penyakit jantung koroner pada wanita yang belum mengalami menopause:
- A. Lebih rendah dibandingkan dengan pria pada usia yang sama
 - B. Sama dengan pria pada usia yang sama
 - C. Lebih tinggi daripada pria dengan usia yang sama
 - D. Tak dapat ditentukan
49. Salah satu keberatan untuk memberikan terapi penggantian hormon pada wanita pasca menopause yaitu karena kemungkinan terjadinya:
- A. Peningkatan risiko penyakit jantung koroner
 - B. Peningkatan risiko osteoporosis
 - C. Peningkatan risiko kanker rahim
 - D. Penurunan libido
50. Efek hormon oksitosin adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Menaikan tekanan darah
 - B. Menstimulasi kontraksi uterus pada kehamilan
 - C. Menstimulasi pengeluaran ASI dari payudara setelah melahirkan
 - D. Semua di atas merupakan efek hormon oksitosin

51. Efek LH antara lain adalah:
- A. Stimulasi terjadinya ovulasi pada wanita
 - B. Stimulasi proses spermatogenesis pada pria
 - C. Stimulasi sekresi testosteron oleh sel Leydig
 - D. Semuaanya benar

BAB 13

OBAT DAN TRANSMISI SINAPSIS

❖ Neurotransmitter

Neurotransmitter adalah molekul kimia yang melanjutkan konduksi saraf pre-sinaptik dalam bentuk transmisi sinaptik kimiawi untuk menyeberangi celah sinaptik serta diteruskan dalam bentuk konduksi saraf kembali pada serabut post-sinaptik

▪ Macam neurotransmitter

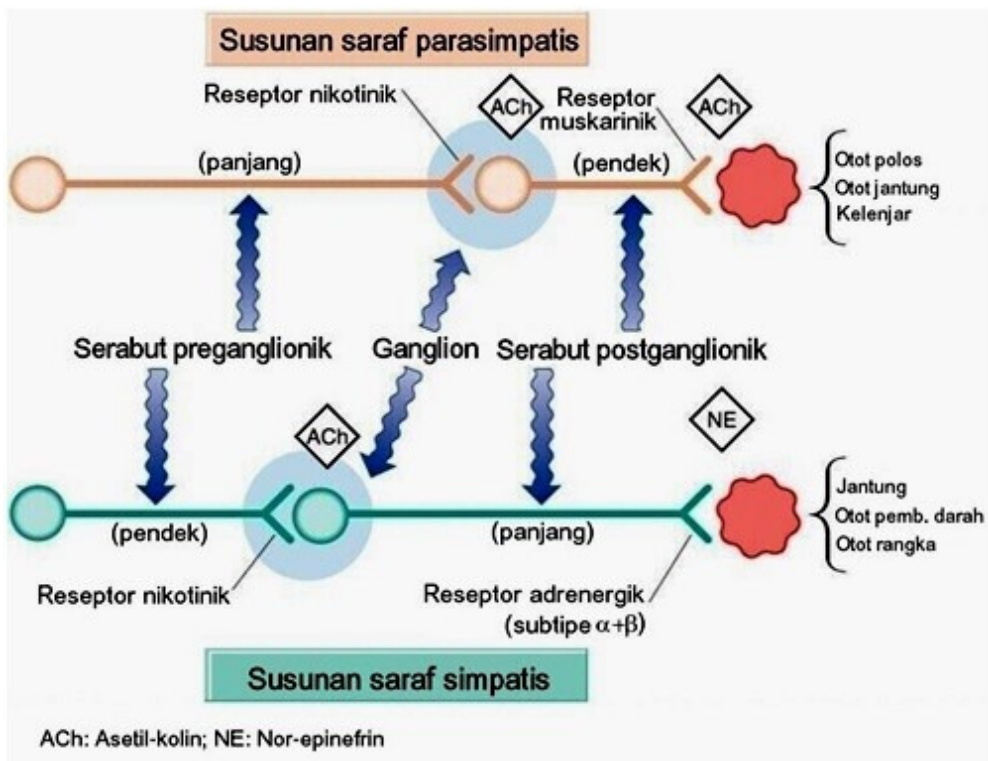
Beberapa neurotransmitter terpenting antara lain adalah:

- **Asetil-kolin** (*Acetyl Choline*; ACh)
- **Nor-epinefrin** (NE)
- Epinefrin
- Dopamine
- Serotonin (5HT; *5 hydroxytryptamine*)
- GABA (*gamma amino-butiric acid*)
- Histamin, dan lain lain.

▪ Komponen simpatis dan parasimpatis saraf otonom

Beberapa perbandingan komponen simpatis dan parasimpatis saraf otonom yaitu (gambar 13.1):

| | Saraf simpatis | Saraf parasimpatis |
|--------------------------------|---|--|
| Badan neuron pre-ganglionik | Ruas thorakal dan lumbal medulla spinalis | Batang otak dan ruas sakral medulla spinalis |
| Ganglion otonom | Dekat SSP | Dekat organ target |
| Serabut pre-ganglion | Pendek | Panjang |
| Serabut post-ganglion | Panjang | Pendek |
| Organ target | Otot polos dan otot jantung | Otot polos, otot jantung, dan kelenjar |
| Neurotransmitter pre-ganglion | ACh dengan reseptor nikotinik | ACh dengan reseptor nikotinik |
| Neurotransmitter post-ganglion | NE dengan reseptor adrenergik | ACh dengan reseptor muskarinik |



Gambar 13.1 Perbandingan saraf simpatis dan parasimpatis

▪ Kerja Neuro-transmitter

Kerja neurotransmitter pada sinapsis saraf otonom dapat dirinci menjadi tujuh langkah, yaitu (gambar 13.2):

1. Sintesis

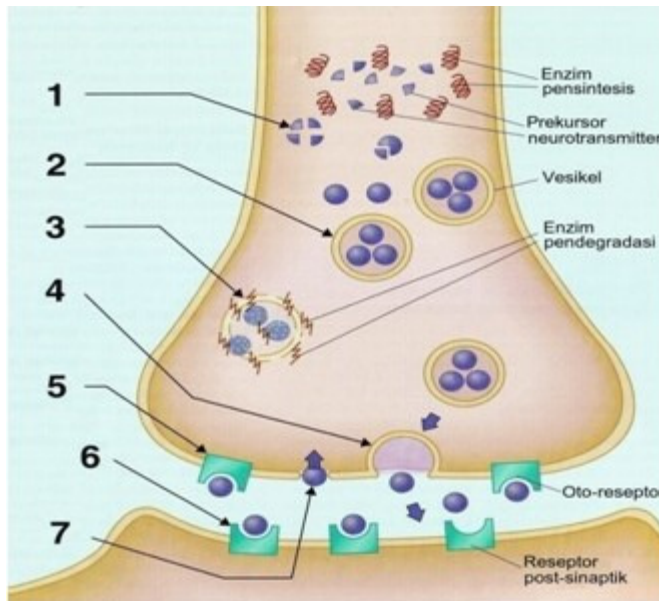
Pembentukan molekul neurotransmitter dari prekursor-nya dengan bantuan enzim pensintesis.

2. Penyimpanan dalam vesikel

Neurotransmitter yang terbentuk disimpan dalam vesikel yang dihasilkan oleh apparatus Golgi.

3. Pemecahan neurotransmitter yang bocor dari vesikel oleh enzim pendegradasi

Molekul neurotransmitter yang bocor dari vesikel akan dirusak oleh enzim pendegradasi.



Gambar 13.2 Langkah-langkah kerja neurotransmitter pada sinapsis otonom

4. Eksositosis

Vesikel bergerak menuju membran presinaptik. Setelah mencapai membran presinaptik, vesikel akan hancur dan molekul neurotransmitter dikeluarkan ke celah sinapsis (*synaptic gap*) dengan proses eksositosis.

5. *Feedback* inhibitif melalui oto-reseptor

Sebagian molekul neurotransmitter mengalami ambilan-kembali (*reuptake*) oleh oto-reseptor pada membran postsinaptik.

6. Aktivasi reseptor post-sinaptik

Molekul neurotransmitter yang berhasil menyeberangi celah sinapsis akan bergabung dengan dan mengaktivasi reseptor post-sinaptik.

7. Deaktivasi

Setelah mengaktivasi reseptor post-sinaptik dan membangkitkan depolarisasi post-sinaptik, neurotransmitter pada membran post-sinaptik akan mengalami deaktivasi oleh enzim ACh-ase, demikian pula molekul neurotransmitter yang tidak berhasil menyeberangi celah sinaptik dan kembali ke membran pre-sinaptik.

▪ **Reseptor Neurotransmitter**

Reseptor neurotransmitter (**neuro-reseptor**) adalah protein reseptor membran yang akan diaktivasi oleh neurotransmitter. Beberapa tipe neuro-reseptor antara lain ialah:

- **Adrenergik**, untuk nor-epinefrin dan epinefrin.
- **Kolinergik**, untuk asetil kolin.
- Dopaminergik, untuk dopamine.
- Serotonergik, untuk serotonin (5 hidroksi-triptamin), dan sebagainya.

▪ **Klasifikasi Neuro-reseptor**

Berdasarkan neurotransmitter yang dapat mengaktifkannya, neuro-reseptor diklasifikasikan menjadi:

- **Adrenergik**
 - Alpha: α_1 , α_2
 - Beta: β_1 , β_2 , β_3
- **Kolinergik**:
 - Muskarinik
 - Nikotinik

❖ **Klasifikasi Obat Otonom**

Obat otonom adalah obat yang kerjanya **mengeksitasi** (memperkuat) **atau menghambat** (menghambat/memperlemah) **transmisi sinaptik** pada sambungan neuro-muskular atau sambungan neuro-efektor saraf otonom.

Target obat otonom adalah otot jantung, otot polos pada dinding pembuluh darah, saluran pencernaan, bronkhi, dan sebagainya, serta kelenjar. Sambungan neuro-muskular (*neuro-muscular junction*) untuk obat otonom adalah sinapsis antara saraf post-ganglionik dengan otot jantung atau otot polos. Sambungan neuro-efektor yang dimaksud di sini adalah sinapsis antara saraf post-ganglionik dengan kelenjar.

▪ **Klasifikasi Obat Otonom Berdasarkan Efek**

Berdasarkan efeknya, obat otonom diklasifikasikan menjadi:

✓ **Simpatomimetik**

Obat simpatomimetik adalah obat yang efeknya serupa dengan hasil **stimulasi** terhadap **saraf simpatis**.

✓ **Simpatolitik**

Obat simpatolitik adalah obat yang efeknya serupa dengan hasil **inhibisi** terhadap **saraf simpatis**.

✓ **Parasimpatomimetik**

Obat parasimpatomimetik adalah obat yang efeknya serupa dengan hasil **stimulasi** terhadap **saraf parasimpatis**.

✓ **Parasimpatolitik**

Obat parasimpatolitik adalah obat yang efeknya serupa dengan hasil **inhibisi** terhadap **saraf parasimpatis**.

▪ **Klasifikasi Obat Otonom Berdasarkan Neurotransmitter**

Berdasarkan neurotransmiternya, obat otonom diklasifikasikan menjadi:

➤ **Agonist adrenergik**

Obat agonist adrenergik (obat adrenergik) adalah obat yang kerjanya **memperkuat** stimulasi neurotransmitter **Norepinefrine** (dan Epinefrine).

➤ **Antagonist adrenergik**

Obat antagonist adrenergik (obat anti-adrenergik) adalah obat yang kerjanya **memperlemah** stimulasi neurotransmitter **Norepinefrine** (& Epinefrine).

➤ **Agonist kolinergik**

Obat agonist kolinergik (obat kolinergik) adalah obat yang kerjanya **memperkuat** stimulasi neurotransmitter **Asetil-kolin**.

➤ **Antagonist kolinergik**

Obat antagonist kolinergik (obat anti-kolinergik) adalah obat yang kerjanya **memperlemah** stimulasi neurotransmitter **Asetil-kolin**.

❖ Mekanisme Kerja Obat Otonom

Berdasarkan 7 langkah kerja neurotransmitter pada sinapsis otonom (lihat kembali gambar 13.2), obat otonom dapat memperkuat efek langkah kerja tersebut (**obat agonist**) ataupun memperlemah efek langkah kerja tersebut (**obat antagonistik**).

▪ Mekanisme kerja obat agonist

Mekanisme kerja obat agonist dapat terjadi melalui salah satu di antara berikut (sisi kiri gambar 13.3):

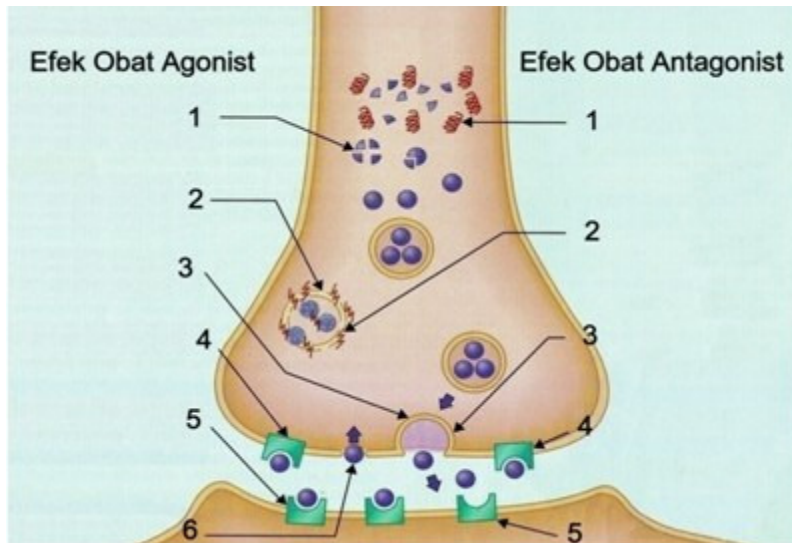
1. Meningkatkan sintesis neurotransmitter
2. Merusak enzim pendegradasi neurotransmitter yang bocor
3. Meningkatkan pelepasan neurotransmitter dari *terminal button*
4. Menduduki oto-reseptor & menyekat efek hambatannya terhadap pelepasan neurotransmitter
5. Menduduki reseptor post-sinaptik dan mengaktifkannya
6. Menyekat proses deaktivasi neurotransmitter

▪ Mekanisme Kerja Obat Antagonist

Mekanisme kerja obat antagonist dapat terjadi melalui salah satu di antara berikut (sisi kanan gambar 12.3):

1. Menyekat sintesis neurotransmitter
2. Menimbulkan kebocoran neurotransmitter dari vesikel untuk dirusak oleh enzim pendegradasi
3. Menyekat pelepasan neurotransmitter dari *terminal button*
4. Mengaktivasi oto-reseptor dan menghambat pelepasan neurotransmitter
5. Menduduki reseptor post-sinaptik dan menyekat efek neurotransmitter terhadapnya

Perhatikan bahwa mekanisme kerja agonist maupun antagonist ini dapat terjadi terhadap neuro-reseptor adrenergik maupun kolinergik.



Gambar 13.3 Mekanisme kerja obat agonist (kiri) dan antagonist (kanan)

❖ **Klasifikasi Farmakologis dan Contoh Obat Otonom**

Berdasarkan efek farmakologisnya, obat otonom diklasifikasikan menjadi:

- Obat adrenergik
- Obat anti-adrenergik
- Obat kolinergik
- Obat antikolinergik

▪ **Obat Adrenergik**

Obat adrenergik (obat agonist adrenergik) ‘dapat dianggap’ sama dengan obat simpatomimetik. Klasifikasi dan efek obat adrenergik adalah:

- **Alpha-adrenergik:** Efek obat alpha adrenergik meningkatkan tekanan darah. Contohnya yaitu:
 - **Fenil-efrin:** Obat anti kongesti nasal (meredakan pembengkakan mukosa hidung)
- **Beta-adrenergik:** Efek obat beta adrenergik memperkuat denyut jantung, melebarkan bronkhi, dan sebagainya. Contohnya yaitu:
 - **Salbutamol:** Obat bronkhodilator (melebarkan bronkhi)

Kebanyakan obat adrenergik menunjukkan aktivitas alpha maupun beta, misalnya **Fenil-propanolamin**, **Pseudoefedrin**, dan lain lain.

▪ **Obat Anti-Adrenergik**

Obat anti-adrenergik (obat antagonist adrenergik) ‘dapat dianggap’ sama dengan obat simpatolitik. Klasifikasi dan efek obat anti-adrenergik adalah:

- **Penyekat alpha:** Efek obat penyekat alpha (*alpha blocker*) menurunkan tekanan darah, anti depresi, dan sebagainya. Contohnya yaitu:
 - **Prazosin:** Obat anti hipertensi
 - **Ergotamine:** Obat migrain
 - **Ergometrine:** Obat untuk mencegah perdarahan pasca persalinan
- **Penyekat beta:** Efek obat penyekat beta (*beta blocker*) adalah anti hipertensi, anti ansietas, dan sebagainya. Contohnya yaitu:
 - **Propranolol:** Obat anti hipertensi.

▪ **Obat Kolinergik**

Obat kolinergik (obat agonist kolinergik) ‘dapat dianggap’ sama dengan obat parasimpatomimetik. Klasifikasi dan efek obat kolinergik adalah:

- **Muskarinik.** Contoh obat kolinergik muskarinik yaitu:
 - **Pilokarpin:** Obat glaukoma, obat untuk efek mengecilkan pupil (miosis), obat untuk terapi keracunan atropine, dan sebagainya.
- Racun kolinergik adalah:
- **Muskarin.** Muskarin adalah alkaloid dari jamur beracun.
 - **Nikotin.** Nikotin adalah zat toksik dari roko..

▪ **Obat Anti-Kolinergik**

Obat anti-kolinergik (obat antagonist kolinergik) ‘dapat dianggap’ sama dengan obat parasimpatolitik. Klasifikasi dan contoh obat anti-kolinergik adalah:

- **Anti-muskarinik**
 - **Atropin:** Obat untuk melebarkan pupil (midriasis), obat untuk terapi bradikardia, obat untuk terapi keracunan insektisida organofosfat, dan lain-lain
 - **Difenhidramine:** Obat alergi, obat untuk *common cold*, insomnia, dan lain-lain.
 - **Dimenhidrinat:** Obat untuk mual dan muntah, mabuk kendaraan, dan lain-lain.
- **Anti-nikotinik**
 - **Dekstrometorfan:** Obat batuk (menghambat refleks batuk)

- **Curare:** Racun pelumpuh otot rangka.
- **Botox** (botulinum toxin): Obat untuk mengurangi tremor dan kerutan kulit (kosmetik).

LATIHAN 13

Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Neurotransmitter adalah:
 - A. Molekul kimia yang mengubah transmisi impuls saraf
 - B. Molekul kimia yang berperan dalam transmisi sinaptik
 - C. Molekul kimia yang memiliki efek regulator spesifik terhadap aktivitas sel atau organ tertentu
 - D. Semuanya salah
2. Contoh neurotransmitter adalah sebagai berikut, **kecuali**:
 - A. Dopamine
 - B. Serotonin
 - C. Testosteron
 - D. Semuanya benar tanpa kecuali
3. Pilihlah yang benar:
 - A. Serabut pre-ganglion saraf simpatis lebih panjang daripada serabut post-ganglionnya
 - B. Reseptor pada ganglion parasimpatis adalah reseptor muskarinik
 - C. Neurotransmitter serabut post-ganglion saraf simpatis ke organ targetnya adalah nor-epinefrin
 - D. Semuanya salah
4. Neurotransmitter yang disintesis pada akson terminal disimpan dalam:
 - A. Mitokhondria
 - B. Vesikel
 - C. Lisosom
 - D. Semuanya salah
5. Pelepasan molekul neurotransmitter ke dalam celah sinapsis terjadi melalui proses:
 - A. Endositosis
 - B. Eksositosis
 - C. Pinositosis
 - D. Semuanya salah
6. Proses ambilan-kembali (*re-uptake*) neurotransmitter terjadi melalui:
 - A. Oto-reseptor
 - B. Reseptor post-sinaptik
 - C. Membran pre-sinaptik
 - D. Semuanya salah

7. Obat otonom adalah obat yang bekerja terhadap transmisi sinaptik pada:
- A. Sambungan neuro-muskular otot rangka
 - B. Sambungan neuro-efektor kelenjar
 - C. (A) dan (B) benar
 - D. (A) dan (B) salah
8. Target obat otonom adalah sebagai berikut, **kecuali**:
- A. Otot rangka
 - B. Otot polos
 - C. Otot jantung
 - D. Semuanya benar tanpa kecuali
9. Obat yang kerjanya serupa dengan stimulasi terhadap saraf otonom divisi thorakolumbal dinamakan obat:
- A. Simpatomimetik
 - B. Simpatolitik
 - C. Parasimpatomimetik
 - D. Parasimpatolitik
10. Obat agonististik adalah obat yang kerjanya:
- A. Memperkuat stimulasi suatu neurotransmitter
 - B. Memperlemah stimulasi suatu neurotransmitter
 - C. Kadang-kadang memperkuat, kadang-kadang memperlemah
 - D. Semuanya salah
11. Obat antagonististik adalah obat yang kerjanya:
- A. Memperkuat stimulasi suatu neurotransmitter
 - B. Memperlemah stimulasi suatu neurotransmitter
 - C. Kadang-kadang memperkuat, kadang-kadang memperlemah
 - D. Semuanya salah
12. Efek obat golongan adrenergik yaitu:
- A. Meningkatkan tonus simpatis
 - B. Menurunkan tonus simpatis
 - C. Meningkatkan tonus parasimpatis
 - D. Menurunkan tonus parasimpatis
13. Efek obat golongan anti-adrenergik yaitu:
- A. Meningkatkan tonus simpatis
 - B. Menurunkan tonus simpatis
 - C. Meningkatkan tonus parasimpatis
 - D. Menurunkan tonus parasimpatis

14. Efek obat golongan kolinergik yaitu:
- A. Meningkatkan tonus simpatis
 - B. Menurunkan tonus simpatis
 - C. Meningkatkan tonus parasimpatis
 - D. Menurunkan tonus parasimpatis
15. Efek obat golongan anti-kolinergik yaitu:
- A. Meningkatkan tonus simpatis
 - B. Menurunkan tonus simpatis
 - C. Meningkatkan tonus parasimpatis
 - D. Menurunkan tonus parasimpatis
16. Efek obat penyekat alpha yaitu:
- A. Meningkatkan tonus simpatis
 - B. Menurunkan tonus simpatis
 - C. Meningkatkan tonus parasimpatis
 - D. Menurunkan tonus parasimpatis
17. Efek obat penyekat beta yaitu:
- A. Meningkatkan tonus simpatis
 - B. Menurunkan tonus simpatis
 - C. Meningkatkan tonus parasimpatis
 - D. Menurunkan tonus parasimpatis
18. Cara kerja obat agonistik antara lain adalah:
- A. Menghambat sintesis neurotransmitter
 - B. Menghambat pelepasan neurotransmitter dan membran pre-sinaptik
 - C. Menghambat kerja enzim yang mendegradasi neurotransmitter
 - D. Semuaanya benar
19. Obat antagonistik **tidak** bekerja dengan cara:
- A. Meningkatkan sintesis neurotransmitter
 - B. Menyebabkan kebocoran neurotransmitter dari vesikel
 - C. Bersaing dengan neurotransmitter untuk menduduki reseptor
 - D. Meningkatkan resorpsi pada otoreseptor
20. Untuk menurunkan tekanan darah dapat digunakan obat golongan:
- A. Penyekat alpha
 - B. Penyekat beta
 - C. (A) dan (B) benar
 - D. (A) dan (B) salah

21. Salbutamol yang digunakan bagi penderita asthma bronkhialis untuk melebarkan bronkhi terutama menunjukkan aktivitas:
- | | |
|---------------------|--------------------------|
| A. Alpha-adrenergik | C. Kolinergik muskarinik |
| B. Beta-adrenergik | D. Kolinergik nikotinik |
22. Botox (*botulinum toxin*) yang antara lain digunakan untuk indikasi kosmetik terutama menunjukkan aktivitas:
- | | |
|-------------------|--------------------|
| A. Penyekat alpha | C. Anti-muskarinik |
| B. Penyekat beta | D. Anti-nikotinik |
23. Pada kasus keracunan insektisida golongan organofosfat, antidotum yang diberikan adalah:
- | | |
|-------------------|--------------------|
| A. Sulfas atropin | C. Botulinum toxin |
| B. d-tubocurarin | D. Semuanya salah |
24. Obat/zat kimia yang merupakan antagonistik untuk reseptor kolinergik muskarinik yaitu:
- | | |
|-------------------|------------------|
| A. Morfin | C. Atropine |
| B. Benzodiazepine | D. d-tubokurarin |
25. Obat/zat kimia yang merupakan agonistik untuk reseptor kolinergik muskarinik yaitu:
- | | |
|------------------|-------------------|
| A. Morfin | C. Atropin |
| B. Benzodiazepin | D. d- tubokurarin |

DAFTAR PUSTAKA

- Carlson NR. **Physiology of Behavior**, 11th Ed. Boston: Pearson Education, Inc, 2013.
- Freedheim DK, Weiner IB. **Handbook of Psychology, Vol 1: History of Psychology**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- Gallagher M, Nelson RJ, Weiner B. **Handbook of Psychology, Vol 3: Biological Psychology**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- Getz GE. **Applied Biological Psychology**. New York, NY: Springer Publishing Company, LLC, 2014.
- Guyton AC & Hall JE. **Textbook of Medical Physiology**, 11th Ed. Philadelphia: Elsevier-Saunders, 2006.
- Hall JE. **Guyton & Hall Textbook of Medical Physiology**, 12 Ed. New Delhi: Elsevier, 2013.
- Kalat JW. **Biological Psychology**, 10th Ed. Belmont CA: Wadsworth-Cenage Learning. 2009.
- Pinel JPJ. **Biopsychology**, 8th Ed. Boston: Allyn & Bacon, 2011.
- Rhoades RA & Bell DR. **Medical Physiology: Principles for Clinical Medicine**, 4th Ed. Baltimore: Lippincott William & Wilkins, 2013.
- Stone CL. **The Basics of Biology**. Westport, Connecticut: Greenwood Press, 2004.
- Tortora GJ, Derrickson B. **Principles of Anatomy & Physiology**, 13th Ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2012.
- Widmaier EP, Raff H, Strang KT. **Vander's Human Physiology: The Mechanisms of Body Function**, 11th Ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

Dari penulis yang sama:

- Ilmu Penyakit Umum
- Biopsikologi
- Epidemiologi Kebidanan
- Biostatistika Dasar
- Metode Penelitian Kesehatan
- Informatika Kesehatan
- Akupunktur Kebidanan
- Metode Statistika 1
- Metode Statistika 2
- Pengenalan Stata
- Data Kosong dan Imputasi Ganda
- Perhitungan Ukuran Sampel, Power dan Ukuran Efek
- Analisis Variansi
- Analisis Regresi Linear
- Analisis Regresi Logistik
- Structural Equation Modeling I: Analisis Jalur
- Structural Equation Modeling II: Analisis Faktor Konfirmatorik
- Structural Equation Modeling III: Model Regresi Struktural & Generalized Structural Equation Modeling
- Analisis Data Survei
- Analisis Data Longitudinal
- Analisis Multilevel
- Analisis Survival

