

# BBM 8

## BERBAGAI FUNGSI PADA HEWAN II

### PENDAHULUAN

Pada BBM 8 Anda diajak untuk menerapkan konsep-konsep fisiologi tubuh hewan sebagai lanjutan dari BBM 7 yang telah selesai pelajari.

Secara umum modul ini menjelaskan tentang : sistem reproduksi, sistem saraf dan alat indera, sistem endokrin/ hormon, alat gerak (otot dan rangka ).

Dalam hal ini Anda diharapkan memiliki kemampuan menjelaskan konsep-konsep yang berkaitan dengan sistem reproduksi, sistem saraf dan alat indera, sistem endokrin/ hormon, alat gerak (otot dan rangka ). Secara lebih khusus lagi, Anda diharapkan dapat :

1. menjelaskan struktur dan fungsi sistem reproduksi
2. menjelaskan fungsi hormon yang terlibat dalam sistem reproduksi
3. menjelaskan spermatogenesis dan oogenesis
4. menjelaskan struktur dan fungsi sistem koordinasi (saraf dan hormon)
5. menjelaskan mekanisme kerja sistem saraf
6. menjelaskan struktur dan fungsi alat indera (kulit, mata, telinga, hidung, lidah)
7. menjelaskan mekanisme kerja sistem hormon
8. menjelaskan struktur dan fungsi alat gerak (tulang dan otot).
9. memiliki keterampilan dalam merawat kesehatan sistem reproduksi, sistem saraf, sistem endokrin, alat indera, dan alat gerak.

Kemampuan tersebut sangat penting untuk semua guru kelas, karena dengan memahami materi tentang tersebut sistem reproduksi, sistem saraf dan alat indera, sistem endokrin/ hormon, alat gerak (otot dan kerangka ) maka Anda dapat menjelaskan hal-hal yang berkaitan dengan berbagai struktur dan fungsi pada makhluk hidup uniseluler maupun multiseluler yang ada di muka bumi ini.

Selain itu Anda dapat tampil di depan kelas lebih percaya diri. Dengan menguasai materi secara mantap, para siswa akan merasa senang dan bersemangat belajar bersama Anda.

Untuk membantu Anda mencapai tujuan tersebut, BBM ini diorganisasikan menjadi empat kegiatan belajar (KB), sebagai berikut :

KB 1 : Sistem Reproduksi

KB 2 : Sistem Saraf dan Alat Indera

KB 3 : Sistem Endokrin (hormon)

KB 4 : Alat gerak (Otot dan kerangka)

Untuk membantu Anda dalam mempelajari BBM ini, ada baiknya diperhatikan beberapa petunjuk belajar berikut ini:

1. Bacalah dengan cermat bagian pendahuluan ini sampai Anda memahami secara tuntas tentang apa, untuk apa dan bagaimana mempelajari bahan belajar ini.
2. Bacalah sepiantas bagian demi bagian, dan temukan kata-kata kunci dan kata-kata yang dianggap baru. Carilah dan baca pengertian kata-kata kunci tersebut dalam kamus yang Anda miliki dan dalam bagian glosarium BBM ini.
3. Tangkaplah pengertian demi pengertian melalui pemahaman sendiri dan tukar pikiran dengan mahasiswa lain atau dengan tutor Anda.
4. Untuk memperluas wawasan, baca dan pelajari sumber-sumber lain yang relevan. Anda dapat menemukan bacaan dari berbagai sumber, termasuk internet.
5. Mantapkan pemahaman Anda dengan mengerjakan latihan dan melalui kegiatan diskusi dalam kegiatan tutorial dengan mahasiswa lainnya atau teman sejawat.
6. Jangan dilewatkan untuk mencoba menjawab soal-soal yang dituliskan dalam setiap akhir kegiatan belajar. Hal ini berguna untuk mengetahui apakah Anda sudah memahami dengan benar kandungan bahan belajar ini.

**Selamat Belajar!.**

## SISTEM REPRODUKSI

### PENGANTAR

Individu setiap spesies, baik uniseluler maupun multiseluler, harus berreproduksi. Perkembangan tahap reproduksi mencakup tingkah laku, anatomi, dan fisiologi jantan dan betina dewasa, baik pada mentimun laut, katak, maupun manusia.

Reproduksi merupakan proses perkembangbiakan atau menghasilkan generasi baru. Pada hewan terdapat **reproduksi aseksual** (tidak kawin, misalnya dengan membelah diri) dan **reproduksi seksual** (kawin, dimulai dengan fertilisasi atau peleburan sel kelamin jantan/sperma dan sel kelamin betina/telur, ovum). Pada hewan primata khususnya manusia, reproduksi dimulai dengan pembentukan sel gamet (kelamin) jantan atau sperma, dan sel kelamin betina (telur/ ovum). Reproduksi seksual berguna untuk meningkatkan keragaman genetik melalui proses pindah silang dan penyebaran secara bebas sifat-sifat genetik.

Dalam modul ini reproduksi difokuskan pada hewan vertebrata dan manusia, karena memiliki banyak hal yang menarik untuk dipahami.

#### A. Reproduksi Pada Vertebrata

Melalui evolusi hewan, mulai ancestor (nenek moyang) invertebrata sampai ikan, amfibi, reptil, burung, dan mamalia, termasuk manusia, gamet jantan dan betina yang haploid tetap terpelihara. Strategi dasar reproduksi seksual menghasilkan keuntungan tertentu: peningkatan keragaman genetik melalui pindah silang dan penyebaran secara bebas, serta pertemuan secara acak antara sel sperma dengan sel telur.

Beberapa struktur dan proses menjamin keberhasilan reproduksi manusia yang dicapai nenek moyang kita, reptil dan mamalia pertama. Pada reptil sistem tersebut disempurnakan untuk menghasilkan telur yang tertutup, kekebalan-terpelihara, dengan empat membran dasar embrionik yang mencirikan setiap embrio manusia. Mamalia pertama rupanya berkembang dengan kemampuan untuk tetap mengembangkan embrio didalam tubuh betina untuk periode yang lama. Selama waktu kehamilan tersebut, embrio diberi makan dan disuplai oksigen, sebelumnya dijaga dari serangan penyakit oleh sistem imun ibunya. Setelah lahir, mamalia purba memberi makan bayinya dari kelenjar susu, seperti pada manusia dan mamalia lain saat ini.

Saat ini biologi dan tingkah laku sangat berkaitan dalam reproduksi dan tingkah laku seksual. Mengendalikan reproduksi berbagai kehidupan beberapa vertebrata, seperti yang digambarkan pada tempat bertelur ikan salmon, dan musim kawin, kijang, beruang dan paus. Betina sebagian besar spesies mamalia mengalami estrus (periode tanda siap secara seksual), pada waktu yang sama setiap tahun. Saat estrus masing-masing spesies dihubungkan dengan (1) melahirkan bayi ketika lingkungan dan musim membuatnya bertahan hidup dengan sangat baik (misalnya estrus terjadi pada bulan Oktober dan kelahiran bayi terjadi pada bulan April) atau (2) melahirkan bayi pada awal tahun (saat kondisi tidak optimal) jadi beberapa bulan kemudian, ketika bayi tumbuh dan membutuhkan banyak air susu, makanan tersedia secara maksimal untuk produksi dan sekresi air susu ibunya.

Di antara primata, khususnya manusia, estrus mengikuti beberapa pola. Individu betina dan apes cenderung memasuki estrus tidak sesuai, hal ini berarti saat kawin dan melahirkan dapat memakan waktu beberapa tahun. Betina tersebut akan kawin ketika estrus, hal ini meningkatkan kesempatan untuk memperoleh kehamilan. Wanita (pada manusia) memperlihatkan sedikit perbedaan pada fase estrus dan dapat berreproduksi sepanjang tahun. Hal ini sangat signifikan bahwa wanita dapat melakukan aktifitas seksualnya tidak bergantung pada reproduksi : sejauh ini tingkah laku seksual tidak berkaitan

dengan ovulasi. “Kesiapan seksual” bergantung pada pusat otak besar manusia dan tingkah laku yang mengendalikannya.

## **B. Reproduksi Pada Manusia**

### **1. Pembentukan Gamet**

Proses pembentukan sel gamet jantan disebut **spermatogenesis**, testis merupakan tempat pembentukan sperma dalam sistem reproduksi pria. Testis menghasilkan sel-sel khusus yang disebut spermatogonia yang akan berubah menjadi spematosit primer, spermatosit sekunder, spermatid dan akhirnya membentuk sperma. Proses pelepasan sperma disebut **ejakulasi**.

Sebuah sperma terdiri atas : 1). Kepala, yang mengandung kromosom yang kompak dan inaktif; 2). Dua sentriol; dan 3). Ekor. Salah satu sentriol, merupakan badan basal dari flagelum, yang merentang sepanjang ekor. Mitokondria terdapat sekeliling bagian atas flgalum dan menyediakan energi untuk gerakan sperma seperti pukulan cambuk.

Gambar 8-1. Tahap-tahap Spermatogenesis (a) dan Oogenesis (b).

Proses pembentukan sel telur (ovum) disebut **oogenesis**. Telur dihasilkan dalam ovarium atau indung telur. Bakal sel telur atau Oogonium yang berubah menjadi oosit primer selanjutnya menjadi satu oosit sekunder (akan membelah menjadi 1 telur/ovum dan 1 badan kutub kedua) dan satu badan kutub pertama (akan membelah menjadi 2 badan kutub kedua). Hasil akhir oogenesis adalah satu sel telur / ovum, dan tiga badan kutub kedua. Proses pelepasan telur dari ovarium disebut **ovulasi**.

## 2. Hormon Yang Berperan Dalam Sistem Reproduksi

Beberapa hormon terlibat dalam sistem reproduksi manusia. Hormon-hormon tersebut berfungsi : siklus menstruasi, siklus persiapan uterus untuk menerima embrio, membantu pembentukan dan pertumbuhan sel gamet jantan dan betina; membantu pelepasan sel gamet; membantu pertumbuhan alat kelamin sekunder; membantu produksi hormon lain yang berperan dalam sistem reproduksi, yang tersaji pada tabel 8-1.

Tabel 8-1. Hormon Pada Sistem Reproduksi Pria Dan Wanita

NO	HORMON PRIA & ORGAN PENGHASIL	HORMON WANITA	PERAN HORMON
1.	<i>Testosteron</i> (Sel Interstitial Di Testis)		Membantu Perkembangan Alat Kelamin Sekunder (Jakun, Kumis, Janggut,Dll) Dan Produksi Sperma
2.	<i>Lutenizing Hormon /LH</i> (Kel.Hipofisis Di Otak)		Merangsang Sel Interstitial Di Testis Untuk Menghasilkan Sperma
3.	<i>Folicle Stimulating Hormon/FSH</i> (Kelenjar Hipofisis)		Merangsang Spermatogonia/ Untuk Membantu Pembentukan Sperma
1.		<i>Estrogen</i> (Sel Folikel Pada Ovarium / Indung Telur)	Membantu Perkembangan Alat Kelamin Sekunder (Pelebaran Panggul, Perkembangan Payudara Dan Jaringan Lemak Wanita) Dan Membantu Ovulasi
2.		<i>Lutenizing Hormon</i> (Kelenjar Hipofisis)	Membantu Produksi Estrogen
3.		<i>Folicle Stimulating Hormon</i> (Kelenjar Hipofisis)	Membantu Perkembangan Sel Telur

4.		<i>Progesteron (Corpus Luteum /Sisa Folikel)</i>	Mempersiapkan Uterus /Penebalan Uterus Untuk Mempersiapkan Kehamilan
5.		<i>Human Chorionic Gonadotropin (Embrio/Uterus)</i>	Jika Terjadi Kehamilan HCG Mempertahankan Kadar Progesteron Sehingga Tidak Terjadi Menstruasi.

### 3. Sistem Reproduksi Pria

Sistem reproduksi pria terdiri atas : 1). testis (buah zakar); 2). Tubulus seminiferus; 3).epididimis ; 4). vas deferens; 5). vesikel seminal; 6). kelenjar prostat (menghasilkan prostaglandin, untuk meningkatkan pH semen atau cairan sperma); 7). uretra bagian ujung tempat terjadinya ejakulasi (pelepasan sperma dan semen), setiap ejakulasi 3 – 4 ml, mengandung 300-500 juta sperma.

**Testis** merupakan tempat menghasilkan sperma dalam sistem reproduksi pria. Sebagian besar jaringan dalam testis mengandung **tubulus seminiferus**, saluran yang jika dilepaskan dari satu testis manusia dan direntangkan, panjangnya bisa mencapai dua kali lapangan sepakbola. Suhu ideal untuk produksi sperma yang baik adalah 34<sup>0</sup>C, atau lebih rendah dari suhu tubuh manusia (37,5 <sup>0</sup>C), testis dilindungi oleh **skrotum** di luar kehangatan rongga tubuh.

Sperma yang matur/matang dipindahkan dari tubulus seminiferus ke tempat penyimpanan yang disebut **epididimis**, sebelum dilepaskan kedalam tabung lain, yang disebut **vas deferens**. Vas deferens melalui rongga tubuh dan akhirnya bergabung dengan **uretra**. Dalam epididimis ini, sperma menjadi motil (bergerak), sebagai persiapan untuk perjalanannya dalam saluran reproduksi wanita. Uretra bagian ujung tempat terjadinya **ejakulasi** (pelepasan sperma dan semen), setiap ejakulasi 3 – 4 ml, mengandung 300-500 juta sperma.

Kontraksi sel otot polos yang menjalin vas deferens, membantu pergerakan sperma sepanjang saluran tersebut, sedangkan **vesikel seminal** dan **kelenjar prostat** memberi nutrisi berupa gula, asam lemak, yang disebut **prostaglandin**, dan penambahan substansi yang meningkatkan pH sehingga cairan sperma menjadi alkalin. Gabungan cairan tersebut disebut **semen**.

Selanjutnya sperma dan semen melewati **uretra**, tabung yang melewati **penis** (organ kopulasi pria). Penis disusun oleh tiga masa jaringan mirip-busa : dua *corpora cavernosa* dan satu *corpus spongiosum*. Ujung penis disebut **glans**, memiliki diameter lebih besar dari batangnya dan memiliki banyak ujung saraf sensori.

Hormon seks pria disebut androgen. Hormon dipindahkan dari otak dan kelenjar hipofisa ke testes. Hipotalamus (bagian otak) melepaskan dua hormon ke kelenjar hipofisa anterior. Pelepasan hormon tersebut memicu pelepasan gonadotropin (FSH dan LH) ke dalam darah. Pada embrio dan bayi laki-laki, LH berperan dalam sel interstitial yang bertempat di antara tubulus seminiferus. Sel ini merespon LH untuk membuat dan mensekresikan testosteron, suatu androgen ke dalam darah. FSH pada tubulus seminiferus membantu produksi sperma. FSH diatur oleh inhibin yang dihasilkan oleh sel sertoli.

Selama pubertas, testosteron menyebabkan berbagai perubahan pada tubuh, meliputi perkembangan ciri kelamin sekunder : penis, testis, dan kelenjar yang berkaitan, berkembang menjadi fungsional, tumbuh rambut, terjadi perubahan otot dan tulang. Tanpa testosteron pria tidak akan terlihat maskulin (pria dewasa), tapi tetap seperti penampilan anak laki-laki.

#### **4. Sistem Reproduksi Wanita**

Sistem reproduksi wanita terdiri atas : 1). Dua ovarium/indung telur kiri dan kanan; 2). Dua tuba fallopi (saluran telur); 3). Uterus atau rahim (tempat pertumbuhan janin); 4). serviks (leher rahim); dan 5). vagina

Persiapan bulanan dinding uterus untuk pembuahan telur dimulai pada pubertas, menstruasi pertama, dan bergantung pada beberapa hormon gonadotropin dan ginogen, atau hormon seks wanita. **FSH** , suatu gonadotropin yang dihasilkan kelenjar hipofisa untuk menstimulasi folikel ovarian dalam menumbuhkan dan mematangkan sel telur. Pada wanita, ovarium mengatur kadar FSH. Pada saat yang bersamaan, **LH** dilepaskan dari kelenjar hipofisa untuk menstimulasi folikel untuk membuat hormon **estrogen**, suatu ginogen. Fungsi



estrogen diantaranya menebalkan dinding uterus (rahim) menjadi 2-6 mm dan menjadi banyak pembuluh darah.

Ovulasi dipicu oleh kadar LH dari kelenjar hipofisis. **Korpus luteum** adalah masa sel yang dibentuk folikel mati yang telah melepaskan sel telur, yang sebelumnya menghasilkan ginogen lain yaitu **progesteron**, sebagai tambahan terhadap estrogen. Progesteron membantu penebalan dinding uterus, juga mencegah pematangan dan pelepasan telur, jika terjadi pembuahan akibat aktifitas seksual.

Gambar 8-2. Siklus bulanan kadar hormon pada wanita.

Telur yang diovulasikan secara normal, dapat dibuahi hanya dalam waktu 24 jam pelepasan. Jika tidak dibuahi, telur akan mati dalam beberapa hari. Sekitar 11 hari setelah ovulasi, jika telur tidak dibuahi, korpus luteum mulai menyusut, selanjutnya berhenti menghasilkan progesteron. Hal tersebut mengawali resorpsi dan pelepasan endometrium atau menstruasi. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa prostaglandin dihasilkan setelah ovulasi, menurunkan fungsi korpus luteum dan karena itu mengurangi sekresi progesteron. Penurunan tersebut bukan hanya memicu menstruasi, tetapi memperbaharui kembali sekresi kelenjar hipofisa (FSH dan LH) yang diharapkan untuk memulai siklus baru.

Sampai usia 45-50 tahun, ovarium akan kehilangan sensitifitasnya terhadap FSH dan LH dan berhenti menghasilkan progesteron dan estrogen, berikutnya merupakan akhir dari siklus menstrual bulanan, yang keseluruhannya disebut **menopause**.

Gambar 8-3. (a). Sistem reproduksi pria, dan (b). sistem reproduksi wanita

Seperti pada pria, pada wanita ciri kelamin sekunder berkembang ketika pubertas, dalam respon terhadap adanya hormon seks. Sekresi estrogen pada wanita menyebabkan perkembangan buah dada, perubahan bagian tubuh dan

perpindahan lemak, pertumbuhan rambut, mulainya ovulasi dan responseksual wanita.

## **5. Alat Keluarga Berencana Dan Reproduksi Bantuan**

### **a. Alat Keluarga Berencana**

- KB Wanita : Intra Uterin Device (IUD; spiral, cupper T), Pil Kb , Suntik Hormon, Susuk, Tubektomi, dan lain-lain.
- KB Pria : Vasektomi, Kondom, dan lain-lain.

### **b. Alat Reproduksi Bantuan**

- Inseminasi Buatan
- Bayi Tabung

## **LATIHAN 1**

1. Mengapa sperma berbagai mamalia disimpan dalam skrotum?
2. Jelaskan perjalanan sperma mulai testis sampai ke uretra!
3. Sebutkan beberapa hormon yang terlibat dalam sistem reproduksi pria dan wanita serta fungsinya.

Untuk dapat menjawab latihan secara lengkap. Carilah buku-buku dan bahan bacaan lain yang memuat tentang sistem reproduksi pada hewan, dan Anda dapat mengacu pada rambu-rambu pengerjaan latihan berikut :

1. Suhu ideal untuk produksi sperma yang baik adalah  $34^{\circ}\text{C}$ , atau lebih rendah dari suhu tubuh manusia ( $37,5^{\circ}\text{C}$ ), testis dilindungi oleh skrotum di luar kehangatan rongga tubuh.
2. Testis (buah zakar) - Tubulus seminiferus -.epididimis - vas deferens- uretra bagian ujung tempat terjadinya ejakulasi (pelepasan sperma dan semen), setiap ejakulasi 3 – 4 ml, mengandung 300-500 juta sperma.
3. Androgen seperti testosteron dan hormon-hormon dari kelenjar hipofisa (LH dan FSH) membantu produksi sperma dan maturasi seksual, dan perilaku seksual lain pada pria.Hormon kelamin wanita (ginogen) mengendalikan

siklus menstruasi siklus ovarium. Dua hormon dari kelenjar hipofisa (FSH menstimulasi ovulasi dan LH membantu produksi hormon estrogen melalui folikel ovarium) estrogen menebalkan dan mematangkan dinding endometrium uterus. Setelah ovulasi folikel tanpa telur menjadi korpus luteum dan mulai menghasilkan hormon progesteron, yang menyebabkan pematangan endometrium dan menghambat pertumbuhan folikel lain.

## RANGKUMAN

Sperma dihasilkan dalam tubulus seminiferus pada testis, dan disimpan dalam epididimis, selanjutnya dialirkan ke vas deferens, keluar melalui uretra.

Androgen seperti testosteron dan hormon-hormon dari kelenjar hipofisa (LH dan FSH) membantu produksi sperma dan maturasi seksual, dan perilaku seksual lain pada pria.

Pelepasan sel telur dari ovarium selama ovulasi melalui tuba Falopi dibantu oleh LH, dan jika terjadi fertilisasi (pembuahan), akan menempel pada dinding endometrium uterus.

Alat kelamin wanita bagian luar meliputi labium mayor, labium minor, klitoris, dan lubang vagina serta uterus.

Respon seksual wanita bersifat paralel dengan pria yaitu dengan rangsangan, meningkat, orgasmik, dan fase resolusi.

Hormon kelamin wanita (ginogen) mengendalikan siklus menstruasi siklus ovarium. Dua hormon dari kelenjar hipofisa (FSH menstimulasi ovulasi dan LH membantu produksi hormon estrogen pada folikel ovarium), estrogen menebalkan dan mematangkan dinding endometrium uterus. Setelah ovulasi folikel tanpa telur menjadi korpus luteum dan mulai menghasilkan hormon progesteron, yang menyebabkan pematangan endometrium dan menghambat pertumbuhan folikel lain.

## TES FORMATIF 1

- Petunjuk : Pilihlah**
- A. Jika jawaban (1), (2), dan (3) benar
  - B. Jika jawaban (1), dan (3) benar
  - C. Jika jawaban (2), dan (4) benar
  - D. Jika jawaban (4) saja yang benar

1. Urutan yang benar organ reproduksi wanita terdiri dari :

- (1). Ovarium-tuba falopi
  - (2). Tuba falopi-ovarium
  - (3). Uterus-vagina
  - (4). Uterus vagina
2. Hormon yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisa, yang berperan dalam sistem reproduksi pria dan wanita adalah :
- (1). FASH
  - (2). FSH
  - (3). ADH
  - (4). LH
3. Suhu ideal untuk produksi sperma yang baik, adalah :
- (1). 37<sup>0</sup>C
  - (2). 34<sup>0</sup>C
  - (3). Lebih tinggi dari suhu tubuh
  - (4). Lebih rendah dari suhu tubuh
4. Hormon progesteron dihasilkan oleh korpus luteum, fungsinya adalah :
- (1). Penebalan dinding endometrium
  - (2). Mencegah pematangan telur
  - (3). Menghambat pembentukan folikel
  - (4). Membantu ovulasi
5. Hormon-hormon yang membantu perkembangan alat kelamin sekunder adalah :
- (1). Testosteron
  - (2). FSH
  - (3). Estrogen
  - (4). Progesteron
6. Jika tidak terjadi pembuahan sel telur oleh sperma, maka proses yang terjadi pada sistem reproduksi wanita adalah :
- (1). Korpus luteum mulai menyusut

- (2). Produksi progesteron berhenti
  - (3). Resorpsi dan pelepasan endometrium
  - (4). Perkembangan korpus luteum
7. Sampai usia 45-50 tahun, wanita akan memasuki tahap menopause artinya terjadi beberapa proses berikut ini :
- (1). ovarium tidak sensitifitas terhadap FSH dan LH
  - (2). Produksi estrogen berhenti
  - (3). Produksi progesteron berhenti
  - (4). Produksi progesteron meningkat
8. Penis disusun oleh masa jaringan mirip-busa terdiri dari :
- (1). dua *corpora cavernosa*
  - (2). dua *corpus spongiosum*
  - (3). satu *corpus spongiosum*
  - (4). dua *corpora cavernosa*
9. Hormon estrogen, termasuk ginogen pada wanita yang berfungsi sebagai berikut :
- (1). Menebalkan dinding uterus
  - (2). Mencegah pembentukan sel telur
  - (3). Memperbanyak pembuluh darah pada uterus
  - (4). Melepaskan dinding endometrium
10. Perjalanan sperma dari testis melewati bagian-bagian berikut ini :
- (1). Tubulus seminiferus
  - (2). epididimis
  - (3). Vas deferens
  - (4). Uterus

## BALIKAN DAN TINDAK LANJUT

Untuk mengetahui kebenaran jawaban Anda, bandingkan dengan kunci jawaban pada bagian akhir modul ini. Hitunglah jumlah jawaban yang benar, selanjutnya hitung tingkat penguasaan Anda terhadap materi di atas dengan menggunakan rumus :

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{10} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai :

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

< 69% = kurang

Apabila Anda mencapai tingkat penguasaan 80% ke atas, Anda dapat meneruskan untuk mempelajari Kegiatan belajar 2. Bagus! Akan tetapi, bila tingkat penguasaan Anda masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi mempelajari materi di atas terutama bagian yang belum Anda kuasai.

## SISTEM SARAF

### PENGANTAR

Berbagai proses fisiologis yang terjadi pada semua sistem organ dalam tubuh harus dikoordinasikan dan dikendalikan, jika suatu organisme ingin menggabungkan fungsi-fungsi sistem organ tersebut. Koordinasi demikian atau gabungan dari unsur-unsur ke dalam keseluruhan hormon disebut integrasi. Integrasi aktivitas berbagai sel, jaringan dan organ pada organisme multiseluler diperoleh dari dua sistem kendali yaitu sistem saraf dan endokrin (hormon), yang bekerja melalui prinsip umum yang sama, yaitu: menggunakan molekul, ion, atau sinyal elektrik untuk komunikasi sel-ke-sel; dan memicu perubahan sel efektor khusus dan organ-organ, yang membuat perubahan fisiologis atau tingkah laku organisme. Menurut ahli biologi tradisional, cara kerja sistem endokrin (hormon) dibedakan dari sistem saraf yaitu sistem endokrin bekerja akibat aksi hormon yang lambat, sedangkan sistem saraf bekerja akibat sinyal elektrik yang cepat. Penelitian moderen menunjukkan bahwa terdapat keterikatan yang sangat kuat pada sekresi lusinan hormon yang distimulasi oleh sel saraf dan mengatur aktivitas saraf atau sirkulasi neuronal.

### A. Sistem Saraf

Unit dasar sistem saraf adalah **neuron atau sel saraf**, merupakan suatu alat pengubah, suatu transduser energi. Ketika dipicu oleh bahan kimia, panas, tekanan, dan berbagai bentuk energi lainnya, neuron mulai mendapatkan stimulus berupa sinyal elektrik yang disebut **impuls saraf atau potensial aksi**.



Gambar 8-4. Neuron dan bagian-bagiannya.

Neuron tidak hanya mendapatkan transduksi energi dari suatu stimulus, tetapi juga menyalurkan informasi dalam bentuk impuls saraf tersebut dan mengkomunikasikannya dengan sel lain dalam jaringan kerja saraf.

### 1. Struktur Neuron

Neuron terdapat dalam berbagai bentuk, tetapi memiliki empat struktur dasar, dengan fungsi masing-masing yaitu :

- 1). Antena (**dendrit**) : berfungsi menerima pesan; sebagian besar dendrit berukuran relatif pendek, banyak cabang, sebagai perpanjangan dari permukaan sel. Secara keseluruhan menyediakan sejumlah besar area penerima informasi, yang ditransmisikan ke permukaan badan sel, yang datang atau tidak datang dari axon. Dari percabangan dendrit banyak input dapat diterima sebuah neuron. Banyak neuron hanya memiliki satu dendrit, tetapi ada yang tidak memiliki dendrit dan menerima pesan secara langsung pada permukaan badan selnya dari neuron lain;
- 2). **Badan sel** : suatu tempat pemelihara seluruh perbaikan sel. Badan sel berisi nukleus (inti) dan bermacam organel seperti yang ditemukan pada sel tubuh lain. Sintesis protein dan sejumlah aktifitas metabolisme terjadi dalam badan sel saraf ini, dengan produk- produknya untuk pemeliharaan neuron tersebut;
- 3). Kabel (**axon**) : berfungsi menghantarkan pesan. Axon merupakan kabel neuronal yang menghantarkan sinyal dalam bentuk **potensial aksi (impuls**

**saraf**) dari satu sel ke sel lain dalam sistem saraf. Bagian tempat axon menempel pada badan sel disebut axon hillock yang dianggap sebagai tempat dihasilkannya potensial aksi. Beberapa axon memiliki selaput **mielin** yang berisi **sel glia**, fungsi mielin adalah mempercepat transmisi potensial aksi dan mempercepat fungsi sistem saraf.

4). Ujung kabel khusus (**ujung sinaptik**) : merupakan ujung axon yang berfungsi menyambungkan komunikasi dengan sel berikutnya dalam jaringan saraf. Suatu ujung sinaptik dan permukaan sel target bersentuhan secara bersama-sama membentuk sinaps. Sinapsis adalah tempat suatu neuron mengkomunikasikan sinyal baik secara kimia maupun elektrik dengan sel target (berupa sel otot atau sel sekretori). Ujung sinaptik mengandung paket bahan kimia yang digunakan untuk komunikasi antara sel satu dengan sel lain, yang disebut **neurotransmitter**.

## 2. Tiga Tipe Utama Neuron

Perbedaan berbagai lokasi dan proporsi dendrit dan axon membantu membedakan neuron berkaitan dengan sensasi, gerakan, dan aktifitas otak. Tiga kelompok utama neuron yang perlu diperhatikan adalah :

**1). Neuron Reseptor (sensori)** : merupakan transduser energi terspesialisasi. Setiap neuron reseptor sensitif terhadap bentuk stimulus tertentu, seperti cahaya, tekanan, panas, atau bahan kimia tertentu, dan sekali stimulus ini diterima oleh dendrit akan memicu perubahan aktifitas elektrik yang menjalankan sebuah impuls menuju akson. Sejumlah organ sensori memiliki banyak sel reseptor : pada mata terdapat 100 juta, pada telinga 20.000. Sel reseptor tersebut tanpa akson dan menyampaikan informasinya ke neuron sensori sebenarnya, yang membawanya ke **interneuron** atau kadang-kadang ke **neuron motor**.

**2). Interneuron** : menerima informasi dari neuron reseptor, atau interneuron lain, dan memproses informasi tersebut, kemudian mengirimkan komando kepada neuron efektor. Sekitar 98% sistem saraf manusia adalah interneuron

atau sekitar 10 milyar. Sirkuit interneuron semata-mata merupakan tempat untuk mengkoordinasikan neuron motor, selanjutnya pergerakan dan aktifitas bagian-bagian tubuh. Sirkuit interneuron juga memproses pesan tingkat tinggi, seperti belajar dan mengingat, juga tempat integrasi sistem saraf. Interneuron disebut juga neuron asosiasi.

**3). Neuron Efektor (motor) :** menyampaikan pesannya ke otot menyebabkan kontraksi otot; dan ke kelenjar, menyebabkan sekresi cairan kelenjar tersebut. Baik respon terhadap stimuli tertentu atau komando khusus dari otak, kedipan mata atau geraman, merupakan akibat langsung dari aktifitas terkoordinasi pada beberapa rangkai neuron efektor. Manusia memiliki sekitar 3 juta neuron efektor.

Gambar 8-5. Tiga tipe neuron, reseptor, interneuron, dan efektor

### 3. Sinyal Neuron

Impuls saraf atau **potensial aksi**, adalah 'bahasa' sistem saraf, serupa dengan kode morse yang dikomunikasikan oleh sel saraf ke sel saraf lain atau ke sel tubuh lain. Menurut Julius Bernstein (ahli fisiologi Jerman), impuls saraf merupakan suatu peristiwa elektrokimia selama ion-ion bergerak melintasi membran plasma sel saraf, menyebabkan sel yang secara normal bermuatan negatif melepaskan muatannya.

Untuk mengetahui bagaimana terbentuknya potensial aksi, kita harus mengetahui **status elektrik normal** suatu sel saraf yang disebut **potensial istirahat**. Kita juga harus melihat bagaimana potensial istirahat berubah menghasilkan potensial aksi, bagaimana sel kembali ke status istirahat.

Setiap sel hidup, baik sel fotosintetik pada tumbuhan atau sel saraf pada hewan, memiliki potensial istirahat, suatu keadaan muatan listrik pada bagian dalam sel berupa muatan listrik negatif terhadap bagian luar sel. Potensial istirahat biasanya karena jumlah ion  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , dan  $\text{Cl}^-$  pada dua bagian membran dan permeabilitas relatif membran plasma terhadap ion-ion tersebut. Ahli Biologi, menemukan bahwa membran plasma sel saraf memiliki pompa enzim ATPase  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  yang mengeluarkan  $\text{Na}^+$ , dan memasukan  $\text{K}^+$  ke dalam sel ketika ATP dihidrolisis. Suatu keadaan gradien konsentrasi untuk  $\text{Na}^+$ , jadi  $\text{Na}^+$  berakumulasi di luar membran, dan cenderung merembes kembali ke dalam sel.  $\text{Na}^+$ , dapat merembes perlahan, tetapi melalui saluran ion yang melintasi membran plasma hidrofobik. Pemompaan juga menyebabkan gradien konsentrasi untuk  $\text{K}^+$ ; ion  $\text{K}^+$ , bergerak melawan gradien dan merembes ke luar sel lebih mudah dibandingkan pergerakan ion  $\text{Na}^+$  ke dalam sel, hal ini disebabkan komponen pada saluran ion (*ion channel*) tempat lewatnya ion  $\text{K}^+$ . Hal tersebut menyebabkan perbedaan pergerakan  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$ , kemudian jaringan positif terbentuk di luar sel dan jaring negatif terbentuk di dalam sel. Keseimbangan, terjadi ketika aliran ion  $\text{Na}^+$  ke dalam sel seimbang dengan aliran ion  $\text{K}^+$  ke luar sel, maka keadaan ini disebut **potensial istirahat** atau keadaan **terpolarisasi**.

Ion ketiga adalah  $\text{Cl}^-$ , bergerak pasif melintasi membran sel. Karena  $\text{Cl}^-$  menempel pada jaring muatan positif di luar sel dan ditolak oleh jaring muatan negatif dalam sitoplasma,  $\text{Cl}^-$  seperti  $\text{Na}^+$ , cenderung berakumulasi di luar sel.

Potensial istirahat diukur dengan milivolt (mV), satu mV = 1/1000 Volt. Sebagian besar neuron memiliki potensial istirahat sekitar  $-70\text{mV}$ , menunjukkan perbedaan jaring muatan negatif di dalam sel dengan jaring muatan positif di luar sel. Konsentrasi  $\text{Na}^+$  tinggi di luar neuron seperti suatu dinding yang diseimbangkan agar tidak roboh ke arah dalam; sebaliknya konsentrasi  $\text{K}^+$  tinggi di dalam neuron seperti suatu dinding yang diseimbangkan agar tidak roboh ke arah luar. Jadi, **terpolarisasi atau potensial istirahat** merupakan keadaan dimana **energi disimpan**.

Jika potensial istirahat meningkat dari  $-70\text{ mV}$  ke  $0\text{ mV}$ , sel menjadi kurang terpolarisasi maka keadaan ini disebut **depolarisasi** (kehilangan sebagian polarisasi), sebaliknya jika sel menjadi lebih negatif (misalnya,  $-90\text{ mV}$ ), disebut **hiperpolarisasi**.

Saluran ion pada membran plasma neuron, bersifat kritis terhadap perubahan potensial istirahat dan terhadap aliran sinyal elektrik atau potensial aksi. Saluran ion bersifat spesifik terhadap ion tertentu, dapat terbuka atau tertutup, menyebabkan membran kadang-kadang permeabel terhadap ion tertentu. Perubahan pada potensial membran dapat memicu sementara terbukanya gerbang pada membran neuron : saluran gerbang-voltase dapat terbuka ketika suatu potensial membran tertentu ditingkatkan atau sebagai membran terpolarisasi. Bahan kimia tertentu dapat mengerjakan hal serupa : saluran gerbang-kimia terbuka ketika adanya bahan kimia yang spesifik.

Semua sel yang memiliki potensial istirahat (neuron, sel otot, maupun sel sensori) dapat dirangsang, ketika membran selnya menerima rangsangan kimia atau listrik (yang disebut stimulus) melalui pembentukan potensial aksi. Pada sel-sel tersebut, saluran ion yang selektif terhadap  $\text{Na}^+$  terbuka, menyebabkan  $\text{Na}^+$  melintasi membran pada titik stimulasi kimia atau elektrik dan diikuti oleh potensial aksi.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa : (1). saluran ion  $\text{Na}^+$  pada sel saraf terbuka ketika potensial neuron ditingkatkan dari  $-70\text{mV}$  menjadi  $-30\text{ mV}$ , akibat merembesnya  $\text{Na}^+$  dari cairan ekstrasel ke dalam sel(2). Jumlah  $\text{Na}^+$  yang memadai bergerak cepat menuju sel menyebabkan depolarisasi pada sitoplasma dalam membran mungkin mencapai  $+40\text{ mV}$  pada tempat dibukanya saluran ion (3). Saluran ion  $\text{Na}^+$  tetap terbuka hanya selama  $0,5$  milidetik sebelum menembak(4), yang berperan sebagai pori-pori protein dimana saluran dibangun dan memasuki keadaan inaktif(5). Akibat pemasukan sementara sejumlah ion  $\text{Na}^+$  , bahkan walaupun sedikit jumlahnya dapat menghasilkan **potensial aksi (impuls)** di tempat tertentu pada membran sel saraf. Ketika muatan positif disamping sel mencapai tingkat tertentu, saluran  $\text{K}^+$  gerbang-bervoltase terbuka, dan  $\text{K}^+$  keluar dari sel menurunkan gradien konsentrasi dan elektrik (6). Keluarnya  $\text{K}^+$  berarti muatan positif total dalam sel menjadi kurang; sehingga potensial dengan cepat menurun mengarah ke potensial istirahat ( $-70\text{mV}$ ). Selama periode refraktori ini ( $0,5 - 2$  mili detik) membran tidak mampu bereaksi terhadap stimulasi tambahan. Periode refraktori ini sangat singkat, tetapi memiliki arti biologik yang signifikan, karena membatasi jumlah potensial aksi yang dihasilkan perdetik. Selama periode pendek ini, saluran  $\text{Na}^+$  tidak aktif dan kembali tertutup , dan saluran  $\text{K}^+$  tertutup, tetapi konfigurasi ini mempersiapkan sistem untuk bekerja kembali (7).

Gambar 8-6. Potensial Aksi yang tercatat pada Osiloskop

#### 4. Penjalaran Potensial Aksi (Impuls Saraf)

Pesan pada sistem saraf berupa aliran potensial aksi (impuls) yang bergerak sepanjang akson yang berada pada tangan manusia atau tentakel bintang laut. Penjalaran impuls bergantung pada adanya saluran  $\text{Na}^+$  gerbang-bervoltase pada berbagai titik sepanjang membran akson. Titik awal depolarisasi pada membran akson disebabkan saluran  $\text{Na}^+$  terbuka (Gambar 8-7, Tahap 1), dan dimulainya respon (potensial aksi) “**menyeluruh atau tidak sama sekali**” (“*all-or-none*”). Aliran  $\text{Na}^+$  lokal menyebabkan aliran langsung lintasan lokal (tahap 2), dengan cara tersebut depolarisasi melebihi ambang (*threshold*) pada bagian yang berdekatan dengan membran, selanjutnya saluran  $\text{Na}^+$  terbuka (tahap 3). Bagian tersebut merupakan tahap awal penjalaran. Proses tersebut berlangsung terus menuju akson, setelah satu saluran  $\text{Na}^+$  terbuka, seperti kartu domino, terus merambat menuju keadaan inaktif, dan kembali ke keadaan tertutup. Potensial aksi berjalan sekitar 1-100 m per detik dan intensitasnya tidak berangsur menghilang; pada setiap titik baru, depolarisasi lintasan lokal langsung menyebabkan kelebihan terbukanya saluran  $\text{Na}^+$ , selanjutnya dihasilkan potensial aksi “menyeluruh atau tidak sama sekali” secara penuh.

Gambar 8-7. Penjalaran Impuls pada Akson Tak-bermielin.

Kecepatan suatu akson dalam menyalurkan impuls berbeda-beda, mulai hanya beberapa cm sampai 120 m perdetik. Salah satu perbedaan ini disebabkan oleh diameter axon, peningkatan diameter 16 kali hanya meningkatkan 4 kali kecepatan penyaluran (kecepatan penyaluran impuls merupakan akar dari diameter). Selain diameter, peningkatan temperatur juga mempercepat penyaluran impuls. Pada akson yang memiliki mielin yang letaknya teratur berdasarkan interval tertentu, batas selaput mielin dengan selaput mielin lain pada axon (bagian tanpa mielin) disebut **nodus Ranvier**. Saluran  $\text{Na}^+$  berlebihan pada nodus ini, tetapi tidak pada selaput mielin, oleh karenanya impuls meloncat dari satu nodus ke nodus berikutnya secepat perjalanan impuls dari suatu tempat di membran akson ke membran lain axon sel saraf lain yang tidak bermielin. Proses loncatan impuls dari satu nodus ke nodus lain, disebut **propagasi saltatori**.

## 5. Peran Neurotransmitter Dalam Penyaluran Impuls Antar Sel

Jutaan impuls diyalurkan dari satu neuron ke neuron lain dalam otak, melintasi hubungan antar neuron yang disebut **sinapsis**. Sinaps biasanya ditempatkan pada ujung suatu akson atau akson kolateral yang disebut **neuron presinaps** (neuron yang menyalurkan impuls menuju sinaps). Dendrit pada postsinaps terletak pada arah yang berlawanan dengan hubungan sinaps dan menerima stimulus kimia atau elektrik selama transmisi/penyaluran sinaptik, melintasi sinaps tersebut melalui sinyalnya. Neuron **postsinaptik** biasanya membentuk sinaps dengan ratusan bahkan ribuan neuron presinaptik dan selanjutnya dapat menerima sinyal bebas dari berbagai sumber pada interval waktu tertentu.

Terdapat dua bentuk sinaps : sinaps elektrik dan sinaps kimia.

- 1). Pada **sinaps elektrik**, membran plasma sel yang berkomunikasi secara nyata menyentuh, memberi fasilitas transfer ion. Perjalanan impuls dari satu neuron ke neuron lain melalui *gap junction*, dimana ion, molekul kecil, atau



aliran listrik mengalir dari satu sel ke sel lain. Karena aliran pada gap junction ini sangat cepat, sinyal elektrik ditemukan untuk kepentingan transfer impuls secara cepat, seperti yang terjadi pada otot jantung. Sebagian besar sinaps elektrik bersifat dua arah; impuls dapat bergerak melintasinya juga ke arahnya.

2). Pada **sinaps kimia**, impuls elektrik ditransduksi menjadi sinyal kimia yang dapat langsung dijalarkan. Pengirim pesan kimia ini disebut *neurotransmitter*, contohnya asetil kolin, yang dilepaskan dari sel presinaptik dan berdifusi melintasi celah di antara membran sel presinaps dengan postsinaps. Pesan kimia tersebut selanjutnya ditransduksi kembali menjadi suatu perubahan voltase listrik pada impuls di sel postsinaps. Sinaps kimia secara umum lebih lambat menyalurkan sinyal dibanding sinaps elektrik, tetapi kapasitasnya lebih besar dalam membawa informasi, karena terdapat beberapa macam neurotransmitter dan memiliki berbagai kecepatan dalam pelepasan dan pemecahannya. Karena hanya sel presinaps yang dapat melepaskan neurotransmitter, maka sinaps kimia dapat menyalurkan informasi hanya bersifat satu arah

Gambar 8-8. Bentuk-bentuk Sinapsis, (a) sinaps elektrik, (b) sinaps kimia.

Ketika potensial aksi meningkat pada sebuah ujung sinaptik, terjadi depolarisasi pada membran sel presinaptik. Depolarisasi ini membuka saluran

$\text{Ca}^{2+}$  gerbang-bervoltase, sejumlah kecil  $\text{Ca}^{2+}$  mengalir memasuki sitoplasma ujung sel, dari cairan ekstrasel sekelilingnya.  $\text{Ca}^{2+}$  membantu bersatunya gelembung-gelembung sinaptik dengan membran sel presinaptik, dan membran terbuka untuk melepaskan neurotransmitter dari gelembung tadi ke celah sinaptik.

Molekul neurotransmitter berdifusi melintasi celah sinaptik pada hitungan milidetik. Beberapa neurotransmitter mencapai dan berikatan kepada molekul reseptor (penerima) yang melekat pada membran sel presinaptik. Reseptor ini merupakan bagian dari saluran gerbang-kimia yang dibuka hanya oleh neurotransmitter spesifik. Spesifisitas pengikatan reseptor- neurotransmitter hanya terjadi ketika sinyal yang 'cocok' dapat memicu sel postsinaptik dan memungkinkan terjadinya penjalaran impuls. Saluran ion tetap terbuka sekitar 400 mikrodetik. Masuknya ion-ion melalui beberapa saluran pada sinaps dapat berakibat **positif (eksitatori)** atau berakibat **negatif (inhibitori)** pada membran sel postsinaptik.

Pada suatu sinaps eksitatori, penjalaran sinaptik menyebabkan depolarisasi sel postsinaps. Saluran ion positif terbuka pada membran sel postsinaptik;  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$ , dan sejumlah  $\text{Ca}^{2+}$  mengalir; dan merubah potensial listrik dari  $-70$  mV ke  $0$  mV, depolarisasi ini disebut eksitatori potensial postsinaptik (PSP). Hal ini membuka saluran  $\text{Na}^+$  dan dapat menyebabkan sel postsinaptik menerima listrik.

Pada suatu sinaps inhibitori, suatu aksi penjalaran sinaptik mencegah terjadinya depolarisasi pada sel postsinaptik. Neurotransmitter 'mengunci' saluran secara selektif terhadap ion  $\text{Cl}^-$  atau  $\text{K}^+$ , kemudian jika  $\text{K}^+$ , mengalir masuk atau  $\text{Cl}^-$  mengalir keluar, sitoplasma di dalam membran sel potensialnya menjadi lebih negatif; terjadi hiperpolarisasi, membuat potensial menjauhi ambang. Akibatnya pembentukan impuls dihambat pada sel postsinaptik.

## 6. Bagian-Bagian Sistem Saraf

Sistem saraf pada manusia dapat dibedakan menjadi :

1). **Sistem saraf pusat (*central*)** : dibagi menjadi **a). Otak (serebrum, serebelum, medulla oblongata)**; dan **b). sumsum tulang belakang (*spinal cord*)**.

2). **Sistem saraf tepi (*peripheral*)** : serabut saraf pada seluruh bagian tubuh yang menyampaikan informasi ke dan dari sistem saraf pusat. Sistem saraf tepi dibagi menjadi **a). sistem saraf somatik** : terdiri dari neuron sensori dan neuron motor; dan **b). sistem saraf autonomik (otonom)** : hanya terdiri dari neuron efektor yang mengontrol fungsi fisiologi tubuh tanpa-sadar. Dibagi dua subdivisi yang bekerja secara berlawanan yaitu Simpatetik dan parasimpatetik.

Gambar 8-9. Otak manusia dan bagian-bagiannya.

## 7. Lintasan Neuron Pada Sistem Saraf

Sistem saraf memiliki berbagai kompleksitas, mulai jaringan kerja sederhana pada organisme dengan tingkahlaku yang sedikit rumit sampai pada komputer hidup yang rumit (otak) pada organisme dengan tingkahlaku yang paling rumit.

### a. Lintasan Sederhana

Semua makhluk hidup peka terhadap rangsang, mereka menanggapi rangsang kimia, listrik, mekanik dan lain-lain. Organisme uniseluler sederhana dapat bergerak dari bahan kimia berbahaya atau sentuhan batang kaca.

Stimulus demikian biasanya mempengaruhi permukaan sel secara langsung atau tidak langsung, sering mengubah proporsi dan distribusi ion. Sistem saraf memiliki berbagai kompleksitas yang berdasar pada kepekaan terhadap rangsang dan respon ionik.

Pada hewan, sel terspesialisasi berkembang untuk menerima dan menanggapi stimuli. Hewan spons memiliki sejumlah sel yang mengandung neuron, tetapi bukan sistem saraf sebenarnya, coelenterata (cnidarians) seperti ubur-ubur, hidra, memiliki jaringan saraf, tanpa pusat pengendali, tetapi sering memiliki kumpulan jaringan-kerja dekat mulut. Hewan tersebut memiliki dua lintasan, pertama neuron dengan konduksi-cepat yang mengendalikan gerakan otot; kedua neuron dengan konduksi-lambat, untuk mengendalikan makan. Sinapsis dalam jaringan saraf demikian dapat dikonduksi dari segala arah, jadi tidak memperbaiki mekanisme pertahanan hidup yang menerima stimuli dari segala arah.

#### **b. Lintasan Kompleks**

Komponen utama sistem saraf berikutnya dikembangkan setelah jaringan saraf, terdapat *reflex arc* dan pusat pengendali saraf. *Reflex arc* dimulai dengan input sensori yang dapat terjadi pada sel reseptor sensori, yang menerima cahaya, tekanan, panas dan lain-lain dan mengubah sinyal fisik tersebut menjadi bentuk elektrokimia yang mengaktifkan neuron sensori. Sebagai alternatif, neuron sensori sendiri dapat berfungsi sebagai reseptor (untuk bau, pada hidung manusia) dan sebagai neuron yang menyalurkan informasi pada tungkai pertama *reflex arc*. *Reflex arc* sederhana berupa lintasan dua-neuron yang mengkaitkan neuron sensori secara langsung ke neuron motor. Tipe sirkuit ini jarang terjadi, meskipun terdapat pada primata (misalnya, reflex hentakan lutut pada manusia).

Sebagian besar *reflex arc* memiliki satu atau lebih interneuron yang menerima input sensori dari neuron sensori ke neuron motor dan menstimulasi respon neuron motor tersebut. Di samping menerima informasi dan memprosesnya, interneuron merupakan dasar untuk semua tingkahlaku hewan

yang rumit. Jadi interneuron dapat disusun dalam kompleksitas lintasan yang berkumpul, bercabang, atau arus-balik pada interneuron itu sendiri. Banyaknya interneuron dalam lintasan, memberi keuntungan besar untuk meningkatkan proses dan keluaran informasi yang rumit. Pada lintasan yang paling kompleks dihasilkan kelipatan keluaran eksitatori dan inhibitori, dan tingkah laku tidak lama mengarah pada refleksi, karena proses demikian melibatkan pembelajaran.

Evolusi otak dan kompleksitas tingkahlaku diantara hewan merupakan evolusi komponen interneuron dan lintasan. Kumpulan badan sel neuron (ganglia) bertanggung jawab untuk fungsi koordinasi atau tingkah laku pada hewan simetris bilateral, ganglia memiliki ukuran dan kompleksitas yang sangat bervariasi; ganglia dalam otak merupakan ganglia paling kompleks diantara semua ganglia. Umumnya ganglia otak disusun terutama oleh interneuron, sedangkan ganglia lokal pada bagian tubuh banyak mengandung neuron motor.

## **B. Alat Indera**

Indera pada manusia berfungsi sebagai reseptor atau penerima rangsang saraf. Rangsang yang datang dapat berupa sentuhan, suara, cahaya, rasa, bau, yang dapat dideteksi oleh masing-masing indera manusia, yaitu :

### **1). Kulit**

Dekat permukaan kulit terdapat reseptor yang dapat mendeteksi sentuhan halus, reseptor tersebar tidak merata. Setiap sentimeter persegi kulit ujung jari terdapat 100 reseptor, sedangkan bagian belakang tangan hanya 10 reseptor. Gambar di bawah ini menunjukkan berbagai reseptor yang terdapat pada kulit manusia.

Gambar 8-10. Kulit mamalia dan reseptor cahaya/Meissner (a), reseptor panas/Ruffini (b), reseptor dingin/Krause(c), dan reseptor tekanan/Pacini (d).

Pada berbagai vertebrata dapat menanggapi perubahan suhu. Ujung saraf pada kulit dan lidah merubah pola aktifitas neuronnya ketika terjadi perubahan suhu di sekitarnya. Reseptor panas (**thermoreseptor**) menghasilkan impuls saraf sebagai akibat peningkatan suhu lingkungan, reseptor dingin segera menghasilkan impuls saraf ketika suhu ujung saraf turun. Pada ular, perubahan suhu lingkungan digunakan untuk mendeteksi mangsanya.

## 2). Telinga

Kemampuan untuk mendengar ialah kemampuan untuk mendeteksi vibrasi mekanis yang kita sebut bunyi. Vibrasi ini dapat mencapai manusia melalui udara. **Telinga luar** berfungsi mengkonsentrasikan gelombang suara, kemudian masuk ke saluran pendengaran dan memukul **gendang telinga (membran timpani)**, sehingga berfibrasi. Selanjutnya vibrasi ini dilanjutkan ke tiga tulang kecil yang disebut **osikel** juga berfungsi mengkonsentrasikan vibrasi.

Telinga tengah penuh dengan udara dan dihubungkan ke udara luar oleh tabung **Eustachius** ke dalam nasofaring. Vibrasi mekanis dari osikel paling dalam (sanggurdi) ditransmisikan melalui membran yang fleksibel (jendela oval) ke koklea (telinga bagian dalam, berupa tabung panjang sekitar 3 cm yang menggulung seperti rumah siput dan berisi limfa). Di dalam ruangan konlea bagian dalam atau tengah, terletak **organ corti**, yang berisi ribuan sel “rambut” peka yang merupakan reseptor fibrasi sebenarnya. Sel- sel rambut ini terletak di

antara **membran basilar dan membran tektorial**. Vibrasi dalam cairan koklea menimbulkan vibrasi dalam membran basilar. Hal ini menggerakkan sel-sel rambut peka itu terhadap membran tektorial, dengan demikian menstimulasinya. Impuls listrik yang timbul dalam sel-sel ini kemudian mengawali impuls saraf yang menjalar kembali sepanjang **saraf auditori** ke otak.

Telinga merupakan reseptor indera istimewa yang tepat dan serbaguna. Banyak orang muda dapat mendengar bunyi dengan frekuensi serendah 16 sampai setinggi 20.000 hertz (putaran per detik). Telinga juga dapat mendeteksi : (1) posisi tubuh yang berhubungan dengan gravitasi dan, (2) gerakan tubuh.

Gambar 8-11. Irisan Memanjang Telinga dan bagian-bagiannya

### **3). Mata**

Mata manusia berbentuk agak bulat. Mata dibalut oleh tiga lapis jaringan yang berlainan. Lapisan luar, yaitu lapisan sklera, sangat kuat, berwarna putih (putih mata) kecuali di depan. Lapisan ini membentuk kornea yang bening, yang berfungsi menerima cahaya masuk ke bagian dalam mata dan membelokkan berkas cahaya sehingga dapat difokuskan. Permukaan kornea tetap basah dan bebas debu karena sekresi dari kelenjar air mata.

Lapisan tengah mata, yaitu **lapisan koroid**, amat berpigmen dengan melanin dan sangat banyak pembuluh darah. Lapisan ini berfungsi untuk menghentikan refleksi berkas cahaya yang menyimpang di dalam mata. Di bagian depan mata, lapisan koroid membentuk **iris**. Iris juga dapat berpigmen dan bertanggungjawab terhadap “warna” mata. Suatu bukaan, yaitu pupil (biji mata) ada di tengah iris. Besarnya bukaan berbeda-beda dan dikendalikan secara otomatis. Pada cahaya suram (saat ada bahaya), pupil membesar agar cahaya lebih banyak masuk ke mata. Pada cahaya terang, pupil mengecil, untuk mencegah cahaya masuk berlebihan.

Lapisan dalam mata ialah **retina**. Terdiri atas reseptor cahaya (fotoreseptor) yang sesungguhnya, yaitu batang dan kerucut, fungsinya sama seperti film pada sebuah kamera.

**Lensa mata** terdapat tepat dibelakang iris. Posisi lensa dipertahankan oleh ligamen suspensori. Biasanya lensa ditahan dalam tegangan sehingga sesuai dengan itu lensa memipih. Akan tetapi, kontraksi otot yang melekat pada ligamen-legamen tadi mengistirahatkannya sehingga membiarkan lensa itu berbentuk hampir seperti bola. Perubahan bentuk lensa ini memungkinkan mata untuk mengubah fokusnya (berakomodasi) dari obyek yang jauh ke obyek yang dekat atau sebaliknya.

**Iris dan lensa** membagi bagian dalam bola mata menjadi dua ruang utama. Ruang anterior berisi cairan mengandung air, yaitu *humor aqua*; ruang posterior berisi bahan seperti jeli yang teramat jernih, yaitu *humor vitra*.

Gerakan bola mata dilakukan oleh tiga pasang otot, aksi otot-otot yang terkoordinasi memungkinkan mata digerakkan ke segala arah.

Kalau lensa ataupun kornea mempunyai ketidakaturan dalam lekukannya, semua berkas cahaya yang memasuki mata tidak difokuskan bersama-sama, cacat ini dinamakan *astigmatisme*. Jika bola mata terlalu pendek, atau lensanya terlalu pipih atau terlalu tidak fleksibel, berkas cahaya yang memasuki mata tidak dapat difokuskan saat mengenai retina, hal ini disebut **berpenglihatan jauh** dan dapat dibantu dengan kaca mata dengan **lensa**



**cembung**. Sebaliknya bila mata terlalu panjang, atau lensanya terlalu membola dapat menyebabkan **berpenglihatan dekat**. Bayangan obyek yang jauh difokuskan di depan retina dan menjauhi fokus lagi sebelum cahaya itu benar-benar mengenai retina. Kelainan ini dapat dibantu dengan kaca mata dengan **lensa cekung**. Lensa mata yang memburam disebut **katarak**.

Gambar 8-12. (a).Mata manusia dan bagian-bagiannya; (b). mata majemuk pada serangga.

**Mata Cephalopoda dan Arthropoda.** Pasangan mata cephalopoda (misalnya gurita, remis) memiliki struktur dan fungsi yang kuat seperti mata vertebrata, termasuk penempatan kornea, pupil, lensa, retina, dan bagian lain. Perbedaannya

terletak pada memfokuskan obyek, pemrosesan saraf dan anatomi, evolusi mata kamera pada vertebrata dan invertebrata laut disebabkan luas area permukaan untuk mengatur pigmen yang terlihat dan pada jaringan –kerja saraf untuk memulai pemrosesan informasi visual.

Sebaliknya, pada arthropoda seperti serangga, laba-laba dan udang, memiliki mata majemuk yang disusun oleh beberapa unit optik yang disebut omatidia. Masing-masing omatidium, diarahkan terhadap sudut yang berbeda dan untuk maksud melihat bagian dunia yang berbeda. Pada omatidia kepiting, cahaya masuk melalui suatu lensa kedalam kelompok sel sensori (sel rinular) yang memiliki molekul pigmen penglihatan yang tersebar pada sejumlah mikrovili (secara keseluruhan disebut rhabdomer). Ketika molekul pigmen distimulasi, pembawa pesan kedua dapat berperan, sel rinular mengalami depolarisasi, dan sel esentrik tunggal omatid menghasilkan dan menyalurkan impuls saraf ke otak. Mata majemuk arthropoda berperan sebagai kumpulan lensa, cermin parabola, dan pemandu cahaya yang membias, terpusat, dan mendeteksi tingkat cahaya yang rendah dan membantu penglihatan kedalaman yang baik.

#### **4). Lidah**

Agar suatu zat terasakan, zat tersebut harus larut dalam kelembaban mulut. Zat tersebut dapat menstimulasi kuncup rasa (*taste buds*), hanya jika berada dalam suatu larutan. Pada permukaan lidah manusia terdapat sekitar 10.000 kuncup rasa, beberapa diantaranya ditempatkan pada papila lidah. Setiap kuncup rasa memiliki kelompok sel reseptor rasa (gustatori).

Lidah memiliki reseptor untuk empat rasa yaitu manis, asin, asam dan pahit, masing-masing ditempatkan pada zona tertentu di lidah. Ketika suatu larutan sampai dilidah, beberapa senyawa berikatan kepada reseptor molekul pada permukaan mikrovili, selanjutnya ion Ca dilepaskan, kemudian ion Na dan K mengalir ke dalam reseptor rasa, dan neurotransmitter dilepaskan pada ujung yang berlawanan. Hal ini merupakan aliran ion melintasi epitelium, dan

menyebabkan saraf sensori postsinaptik terdekat meningkatkan frekuensi dalam menghasilkan dan menyalurkan impuls saraf, dengan demikian otak dapat menerima impuls tersebut dan menterjemahkan rasa tertentu yang diterima lidah. Gambar di bawah ini menunjukkan zona atau bagian lidah tempat terdapatnya keempat reseptor tersebut.

Gambar 8-13. Lidah Manusia dan zona perasa (a), Kuncup Rasa (b) dan irisan melintang kuncup rasa(c).

## **5). Hidung**

Reseptor olfaktori sangat sensitif terhadap konsentrasi rendah bau-bauan di lingkungan. Pada saluran hidung vertebrata, reseptor olfaktori terletak pada lembaran tipis dari epitelium olfaktori. Reseptor ini merupakan neuron yang sebenarnya, ujung paling luar setiap reseptor disusun mikrovili, yang menanambah area permukaan dan mengandung reseptor molekul. Ujung paling dalam merupakan sebuah akson yang membawa impuls saraf. Pada vertebrata darat termasuk manusia, molekul bau-bauan memasuki saluran hidung dan berikatan pada protein pengikat-bau (*Odorant Binding-protein/OBP*) yang keluar

dari kelenjar tipis di dekatnya. Protein ini selanjutnya membawa molekul bau ke neuron olfaktori.

Para ahli biologi memperkirakan, pada epitelium olfaktori terdapat 10 tipe sel reseptor, dan masing-masing bau memiliki afinitas dan dapat menempel pada tipe-tipe sel tersebut.

Gambar 8-14. Indera Penciuman pada hidung.(a) reseptor olfaktori pada epitel rongga nasal, (b) ketika molekul bau berikatan kepada penerima pesan kedua (second messenger)

Jika molekul bau berikatan pada molekul reseptor glikoprotein, serta merta terjadi serangkaian proses yaitu menyebabkan pembawa pesan (siklik AMP atau GMP) berikatan dan membuka saluran protein pada membran sel. Selanjutnya menyebabkan ion  $\text{Na}^+$  memasuki sel reseptor dan merubah keadaan polarisasi, impuls saraf juga dapat dihasilkan secara cepat maupun lambat. Selanjutnya respon pada sel reseptor olfaktori ditingkatkan, yang terdapat sebagai beberapa sistem sensori. Perubahan pada pola perjalanan impuls menuju olfaktori *bulb* di otak, tempat dimulainya pemrosesan informasi. Serabut saraf dari olfaktori *bulb* ini bercabang dua pada bagian otak yang melibatkan *memory* dan *mood*, yaitu hipokampus dan sistem limbik. Hal ini dapat menjelaskan, bagaimana bau-bauan kadang-kadang dapat memicu *memory* (ingatan) dan *mood* (suasana hati).

## LATIHAN 2

1. Apa yang dimaksud dengan neurotransmitter? Berikan contohnya!
2. Apa yang mempengaruhi kecepatan penjalaran suatu potensial aksi ?.
3. Sebutkan tiga tipe sel saraf dan fungsinya!.
4. Sebutkan tiga kelompok utama reseptor sensori dan fungsinya!
5. Bagaimana koklea mamalia dapat mendeteksi frekuensi suara tertentu ?.

Untuk dapat menjawab latihan secara lengkap. Carilah buku-buku dan bahan bacaan lain yang memuat tentang sistem saraf dan alat indera pada hewan, dan Anda dapat mengacu pada rambu-rambu pengerjaan latihan berikut :

1. Pada **sinaps kimia**, impuls elektrik ditransduksi menjadi sinyal kimia yang dapat langsung dijalarkan. Pengirim pesan kimia ini disebut *neurotransmitter*, contohnya asetil kolin, yang dilepaskan dari sel presinaptik dan berdifusi melintasi celah di antara membran sel presinaps dengan postsinaps.
2. Terdapat stimulus yang menyebabkan depolarisasi, adanya saluran  $\text{Na}^+$  gerbang-bervoltase, neurotransmitter dan selaput mielin pada akson, diameter akson dan ada atau tidak adanya bahan isolasi.
3. Terdapat tiga tipe neuron : reseptor (sensori) sebagai transduser energi khusus; efektor (motor), yang menyalurkan informasi ke otot dan kelenjar; dan interneuron, yang memproses informasi antara sensori dan efektor.
4. Kemoreseptor, mendeteksi rasa dan bau memiliki molekul reseptor dekat permukaannya. Mekanoreseptor menanggapi perubahan bentuk sel reseptor dan membrannya melalui kekuatan mekanik. Fotoreseptor, mendeteksi berbagai proses informasi visual (dapat dilihat) yang datang pada retina terutama mencapai sel ganglion.
5. Suara dengan frekuensi tertentu mengatur tekanan gelombang pada koklea dan dipindahkan ke tempat khusus pada membran basilar, selanjutnya melipat mikrovili pada sel rambut sensori berlawanan dengan membran tektorial. Hal

ini menghasilkan aktifitas neuron, dimana akson yang memanjang melalui saraf auditori menuju ke otak.

## RANGKUMAN

Sistem saraf bekerja secara cepat menyalurkan (mentransmisikan) impuls saraf, tetapi neuron juga mensekresikan senyawa mirip-hormon yang bekerja lebih lambat dan berfungsi meningkatkan kerja sistem saraf.

Unit dasar sistem saraf adalah neuron. Neuron merupakan sel terspesialisasi yang menerima, memproses, dan menyalurkan informasi. Sebagian besar neuron memiliki struktur : dendrit, badan sel, akson, dan ujung sinaptik.

Terdapat tiga tipe neuron : reseptor (sensori) sebagai transduser energi khusus; efektor (motor), yang menyalurkan informasi ke otot dan kelenjar; dan interneuron, yang memproses informasi antara sensoris dan efektor.

Sebagian besar neuron menyalurkan sinyal yang disebut potensial aksi (impuls saraf). Untuk membangkitkan potensial aksi, suatu stimulus harus mendepolarisasi sel melewati ambang batas tertentu di atas potensial istirahat sel.

Selama potensial aksi, saluran terbuka dan  $\text{Na}^+$  mengalir ke dalam sel, menyebabkan depolarisasi. Kemudian saluran tertutup dan dalam keadaan tidak aktif. Potensial aksi berhenti selanjutnya terjadi pergerakan  $\text{K}^+$  keluar sel. Segera setelah itu, saluran kembali ke status aktif tetapi tertutup menyebabkan sel dapat merespon peristiwa depolarisasi berikutnya.

Penjalaran potensial aksi sepanjang akson melibatkan lintasan arus lokal yang membuka saluran  $\text{Na}^+$  gerbang-bervoltase baru. Kecepatan sebuah akson untuk menyalurkan impuls saraf bergantung pada diameter akson, suhu, dan ada atau tidak adanya bahan isolasi. Periode refraktori akibat ketidakaktifan sementara saluran  $\text{Na}^+$  tertutup, yang memastikan bahwa impuls saraf tidak bergerak pada akson. Arus pada akson meloncat dari satu nodus Ranvier ke nodus Ranvier berikutnya pada sel saraf yang diliputi mielin. Propagasi saltatori (loncatan penjalaran) pada akson bermielin menjadi lebih cepat dibandingkan dengan akson tanpa mielin dengan diameter yang sama.

Tempat dimana pesan diyalurkan dari satu neuron ke neuron yang lain disebut sinaps. Bahan kimia pembawa pesan disebut neurotransmitter, contohnya asetil kolin, yang disimpan dalam vesikel sinaptik pada ujung akson presinaptik; sampainya suatu potensial aksi pada ujung akson memicu pelepasan neurotransmitter ke celah sinaptik di antara dua sel neuron. Pada sinapsis eksitatori, tempat dimulainya peristiwa depolarisasi (PSP, postsynaptic potential). Pada sinapsis inhibitori, terjadi peningkatan polarisasi (PSP negatif).

Lintasan pendek sederhana pada sistem saraf adalah reflex arc. Kumpulan badan sel saraf disebut ganglia.

Sistem saraf vertebrata dibedakan menjadi : sistem saraf pusat meliputi

otak dan sumsum tulang belakang; dan sistem saraf perifer (tepi), yang memasuki semua bagian tubuh yang menyalurkan informasi dari sistem saraf pusat. Sistem saraf tepi dibedakan menjadi sistem saraf autonomik dan sistem saraf somatik. Sistem saraf somatik mencakup komponen neuron motorik dan sensorik; sistem saraf autonomik hanya mencakup neuron efektor, yang mengontrol fungsi fisiologi tubuh diluar keinginan (tidak sadar), memiliki dua subdivisi yang bekerja secara antagonis : simpatetik dan parasimpatetik.

Sel reseptor sensorik merubah berbagai bentuk energi menjadi bentuk aktifitas elektrik/listrik. Sel reseptor dapat berupa neuron yang berhubungan dengan neuron sensorik, dan dapat berupa bagian dari organ perasa.

Kemoreseptor, mendeteksi rasa dan bau memiliki molekul reseptor dekat permukaannya. Pengikatan molekul atau ion stimulus tertentu mengarah pada perubahan pembawa pesan kedua dan menghasilkan tahap-tahap perubahan pada membran sel potensial akhirnya merubah kecepatan impuls saraf ke pusat saraf di otak.

Mekanoreseptor menanggapi perubahan bentuk sel reseptor dan membrannya melalui kekuatan mekanik; keadaan polarisasi meningkat atau turun sebagai hasilnya pada neuron sensorik didekatnya, menghasilkan perubahan kecepatan pembentukan impuls saraf. Sel reseptor demikian biasanya berupa selia atau mikrovili yang merubah bentuk membran plasmanya ketika melekok.

Awal transduksi suara terjadi pada telinga bagian luar. Gelombang suara memukul membran timpani (gendang telinga), menghasilkan getaran yang dijalarkan melalui tulang tipis pada telinga bagian tengah ke jendela oval, tempat pengaturan tekanan gelombang pada cairan telinga bagian dalam.

Suara dengan frekuensi tertentu mengatur tekanan gelombang pada koklea dan dipindahkan ke tempat khusus pada membran basilar, selanjutnya melipat mikrovili pada sel rambut sensorik berlawanan dengan membran tektorial. Hal ini menghasilkan aktifitas neuron, dimana akson yang memanjang melalui saraf auditorik menuju ke otak.

Pada mata, cahaya masuk melalui kornea dan iris selanjutnya ke lensa, yang difokuskan pada sel fotoreseptor saraf retina. Sel khusus ini disebut batang dan kerucut, yang mengandung molekul pigmen penglihatan (rodopsin) yang merubah bentuknya ketika menyerap cahaya. Retina merupakan komponen rodopsin yang berubah bentuk dan selanjutnya terurai dari protein opsin. Perubahan ini menyebabkan sel menuju hiperpolarisasi dan mengirim impuls saraf ke otak melalui saraf optik.

Warna yang dapat dilihat karena sensitifitas tiga bentuk kerucut terhadap perbedaan panjang gelombang cahaya. Berbagai proses informasi visual (dapat dilihat) datang pada retina terutama mencapai sel ganglion. Masing-masing sel ganglion memiliki *visual field* yang disusun oleh fotoreseptor (batang dan kerucut).

Otak manusia mengandung paling sedikit 1 milyar neuron yang berinteraksi melalui berbagai cara yang rumit. Otak manusia dibedakan

menjadi otak depan, otak tengah dan otak belakang, cairan serebrospinal mengisi jaringan antara dan rongga, serta mengalirkan bahan-bahan penting.

Pada bagian belakang otak terdapat batang otak (medula oblongata) dan serebelum (otak kecil). Medula mengendalikan fungsi dasar seperti pernapasan dan penelanan, sedangkan serebelum mengendalikan keseimbangan, sikap, cara berdiri dan fungsi pergerakan lain.

Serebrum (otak besar) dan bagian neokorteksnya mengatur beberapa fungsi otak, seperti refleks dan perilaku instingtif. Sistem limbik termasuk hipotalamus, talamus, amigdala, dan hipokampus, mengendalikan lapar, haus, marah, takut, dan nafsu seksual.

Ingatan (memori) dapat terjadi segera, waktu-lama, dan waktu-singkat. Hipokampus dan serebelum dilibatkan dalam memori segera dan waktu singkat; sedangkan korteks menjadi tempat memori waktu-lama.

Terdapat substansi yang kenyal pada neuron otak, dengan dendrit, sinapsis. Neuron sistem saraf pusat berkomunikasi satu dengan yang lain melalui neurotransmitter dan neuroaktif peptida.

Pada vertebrata reseptor panas (**thermoreseptor**) menghasilkan impuls saraf sebagai akibat peningkatan suhu lingkungan, reseptor dingin segera menghasilkan impuls saraf ketika suhu ujung saraf turun. Pada ular, perubahan suhu lingkungan digunakan untuk mendeteksi mangsanya.

## TES FORMATIF 2

- Petunjuk : Pilihlah**
- A. Jika jawaban (1), (2), dan (3) benar
  - B. Jika jawaban (1), dan (3) benar
  - C. Jika jawaban (2), dan (4) benar
  - D. Jika jawaban (4) saja yang benar

1. Unit dasar sistem saraf adalah neuron. Neuron merupakan sel terspesialisasi yang berfungsi antara lain :
  - (1). Menerima informasi
  - (2). Memproses informasi
  - (3). Menjalarkan informasi
  - (4). Mengembangkan informasi
2. Sebagian besar neuron memiliki struktur sebagai berikut :
  - (1). dendrit



- (2). Badan sel
  - (3). Akson dan ujung sinapsis
  - (4). neurotransmitter
3. Sistem saraf selain bekerja secara cepat menyalurkan impuls saraf, tetapi melakukan kegiatan lain untuk meningkatkan fungsi sistem saraf, yaitu :
- (1). Mengekskresikan hormon
  - (2). Mensekresikan insulin
  - (3). Mensekresikan lemak
  - (4). Mensekresikan senyawa mirip-hormon
4. Pada mata, cahaya masuk melalui kornea dan iris selanjutnya ke lensa, yang difokuskan pada sel fotoreseptor saraf retina. Sel khusus ini terdiri dari :
- (1). Sel batang
  - (2). omatidia
  - (3). Sel kerucut
  - (4). rabdomer
5. Kemoreseptor, mendeteksi rasa dan bau, memiliki molekul reseptor dekat permukaannya. Kemoreseptor terdapat pada :
- (1). mata
  - (2). hidung
  - (3). telinga
  - (4). lidah
6. Pada bagian belakang otak terdapat batang otak (medula oblongata) dan serebelum (otak kecil). Medula mengendalikan fungsi dasar berikut ini :
- (1). keseimbangan
  - (2). pernapasan
  - (3). mengendalikan, sikap, cara berdiri
  - (4). penelanan
7. Ingatan (memori) dapat terjadi segera, waktu-lama, dan waktu-singkat. Bagian otak yang dilibatkan dalam memori segera dan waktu-singkat yaitu :
- (1). Hipokampus

- (2). Korteks
  - (3). Serebelum
  - (4). Hipofisa
8. Serebrum (otak besar) dan bagian neokorteksnya mengatur beberapa fungsi otak, antara lain :
- (1). pernapasan
  - (2). refleks
  - (3). penelanan
  - (4). perilaku instingtif
9. Sistem limbik mencakup hipotalamus, talamus, amigdada, dan hipokampus.  
Fungsi sistem limbik, antara lain :
- (1). mengendalikan lapar dan haus
  - (2). mengendalikan nafsu seksual
  - (3). mengendalikan marah dan takut
  - (4). Mengendalikan pernapasan
10. Bagian mata keping yang paling penting adalah :
- (1). omatidia
  - (2). rodopsin
  - (3). rbdomer
  - (4). Sel batang

### **BALIKAN DAN TINDAK LANJUT**

Untuk mengetahui kebenaran jawaban Anda, bandingkan dengan kunci jawaban pada bagian akhir modul ini. Hitunglah jumlah jawaban yang benar,

selanjutnya hitung tingkat penguasaan Anda terhadap materi di atas dengan menggunakan rumus :

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{10} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai :

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

< 69% = kurang

Apabila Anda mencapai tingkat penguasaan 80% ke atas, Anda dapat meneruskan untuk mempelajari Kegiatan belajar 3. Bagus! Akan tetapi, bila tingkat penguasaan Anda masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi mempelajari materi di atas terutama bagian yang belum Anda kuasai.

## SISTEM ENDOKRIN

### PENGANTAR

Setiap vertebrata (hewan bertulang belakang) memiliki dua tipe kelenjar : pertama, **kelenjar eksokrin** : yang mengeluarkan senyawa ke dalam saluran dan berahir pada rongga tubuh atau pada permukaan tubuh, contohnya, kelenjar keringat, kelenjar susu dan kelenjar ludah; dan kedua **kelenjar endokrin** : tidak memiliki saluran dan sekresinya berupa bahan kimia yang disebut hormon, langsung masuk ke daerah jaringan berikutnya ke sel endokrin. Beberapa hormon tersebut selanjutnya berdifusi ke dalam pembuluh darah dan diedarkan ke seluruh tubuh.

Vertebrata juga memiliki **sel parakrin** yang mensekresikan hormonnya ke daerah sekitarnya, mempengaruhi sel target pada jaringan terdekat, dan tidak memasuki pembuluh darah, contohnya enzim yang dikeluarkan oleh sel-sel saluran intestinal/pencernaan. Yang terakhir adalah **sel autokrin**, sekresinya senyawa pengatur yang berperan untuk sel itu sendiri.

Gambar 8-15. Kelenjar endokrin pada pria dan wanita.

Hormon digolongkan menjadi tiga katagori bahan kimia :

- 1). **Hormon Protein**, dapat berupa rantai-pendek polipeptida maupun protein yang lebih kompleks. Contohnya hormon insulin dan oksitosin.
- 2). **Hormon Amin**, berupa turunan asam amino. Contohnya hormon epinefrin (adrenalin) yang dapat meningkatkan kecepatan denyut jantung dan mempengaruhi perubahan fisiologi lainnya ketika seseorang mengalami ketakutan dan marah.
- 3). **Hormon Steroid** : berupa molekul kompleks turunan dari kolesterol. Contohnya estradiol-17.β dan testosteron

#### **A. Aktifitas Hormon Berdasarkan Tipe**

Berdasarkan tipe hormon, terdapat beberapa prinsip yang digunakan pada seluruh aktifitas hormon , yaitu:

- 1). Hormon yang hanya mempengaruhi sel target. Sel target memberi tanggapan terhadap hormon karena sel tersebut memiliki molekul reseptor (penerima) berupa protein pada membran, sitoplasma dan nukleus, sebaik mesin transduksi yang mengaktifkan kompleks hormon-reseptor. Mesin tersebut kemudian membawa respon seluler. Sel yang tidak memiliki reseptor untuk hormon tertentu, tidak dapat memberi tanggapan terhadap hormon tersebut.
- 2). Setiap sel target dalam tubuh diatur hanya oleh sinyal hormon tertentu karena sel tersebut hanya membuat satu set molekul reseptor hormon, tetapi tidak yang lainnya.
- 3). Sel yang berbeda dapat melakukan respon (tanggapan) dengan cara yang berbeda terhadap hormon yang sama. Perbedaan pada respon jaringan-target tersebut memiliki kemungkinan karena mesin transduksi pada tipe sel target yang berbeda “membaca” sinyal hormon dengan cara yang berbeda. Oleh karena itu karakteristik sel target, terhadap hormon menetapkan spesifisitas aksi hormon.
- 4). Beberapa hormon, yang memelihara homeostasis (keseimbangan) cairan tubuh, terdapat setiap saat. Sedangkan yang lain ada jika dibutuhkan misalnya hormon epinefrin.

- 5). Sejumlah hormon bersirkulasi biasanya dihasilkan oleh *negative feedback control* (kontrol negatif berbalik); kadar hormon menurun pada darah menstimulasi penambahan sekresi, dan peningkatan kadar hormon menghambat sekresinya.
- 6). Sekali hormon berikatan dengan molekul reseptor, biasanya dapat terurai secara cepat. Jika tidak ada mekanisme perbaikan demikian, sel target menjadi tidak sensitif terhadap perubahan kadar hormon yang mengatur aktifitasnya..

## **B. Mekanisme Pengendalian Hormon**

Ketika molekul reseptor pada permukaan sel atau dalam nukleus sel target berikatan dengan hormon, maka sinyal kimia hormon diterjemahkan menjadi aktifitas baru atau aktifitas seluler yang berbeda melalui tiga mekanisme, yaitu :

- 1). Suatu hormon dapat menyebabkan substansi lain untuk memasuki atau meninggalkan sel target dengan cara lebih cepat.
- 2). Suatu hormon dapat menstimulasi sel target untuk mensintesis enzim, protein, atau substansi lain.
- 3). Suatu hormon dapat membantu sel target untuk mengaktifkan atau menekan enzim seluler yang ada.

Masing-masing mekanisme di atas dikerjakan melalui serangkaian reaksi kimia yang rumit, pada permukaan sel. Ketepatan tahapannya bergantung pada tipe hormon.

## **C. Kelenjar Endokrin, Hormon Dan Perannya**

Saat ini sudah diketahui bahwa jaringan dan sel penghasil hormon , dikendalikan dalam berbagai cara. Rangkaian sel saraf pada otak berhubungan langsung dengan beberapa kelenjar, termasuk tiroid, sedangkan fungsi kelenjar yang lain bebas dari saraf dan kelenjar pituitari. Tabel 8-2. berikut ini dapat

menjelaskan kelenjar dan hormon yang dihasilkannya serta perannya dalam tubuh manusia.

Tabel 8-2. Kelenjar, hormon dan peran hormon.

KELENJAR	HORMON	PERAN
Hypothalamus Di Otak	<p>a. <i>Thyrotropic Hormon (TH)-releasing Hormon (TRH)</i></p> <p>b. <i>Gonadotropin-releasing Hormon (GnRH)</i></p> <p>c. <i>Prolactin-release-Inhibiting Hormon (PRIH)</i></p> <p>d. <i>Growth Hormon-release-Inhibiting Hormon (GRIH)</i></p> <p>e. <i>Growth Hormon-releasing Hormon (GRH)</i></p> <p>f. <i>Corticotropic-releasing Hormon (CRH)</i></p> <p>g. <i>MSH-release-inhibiting Hormon (MRIH)</i></p>	<p>a. Menstimulasi pelepasan TH</p> <p>b. Menstimulasi pelepasan FSH dan LH</p> <p>c. Menghambat pelepasan prolaktin</p> <p>d. Menghambat pelepasan GH; mengganggu pelepasan TH.</p> <p>e. Menstimulasi pelepasan hormon pertumbuhan (GH)</p> <p>f. Menstimulasi pelepasan AdrenoCortico Tropic Hormon (ACTH)</p> <p>g. Menghambat pelepasan Melanophore Stimulating Hormon (MSH)</p>
Pulau Langerhans pada Pancreas		
a. Sel beta ( $\beta$ )	a. <i>Insulin Hormon</i>	- mengatur peningkatan kadar gula darah (glukosa); membantu masuknya glukosa ke dalam sel; menstimulasi sintesis glikogen pd otot dan meningkatkan penyimpanan jaringan lemak; menurunkan kadar gula darah
b. Sel alfa ( $\alpha$ )	b. <i>Glukagon Hormon</i>	- membantu perubahan glikogen menjadi glukosa di hati, ketika kadar glukosa turun sampai batas ambang tertentu. Glukagon bekerja berlawanan dg Insulin.
c. Sel delta ( $\delta$ )	c. <i>Somatostatin Hormon</i>	- Menghambat sekresi insulin, glukagon, dan absorpsi glukosa ke dinding usus. Somatostatin dilepaskan ketika meningkatnya kadar glukosa dan asam amino dalam darah.

Ginjal	<p><i>a. Erythropoietin hormon</i></p> <p><i>b. 1,25-dihydroxycholecalciferol</i></p> <p><i>c. Aldosteron Hormon</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menstimulasi produksi sel darah merah dalam sum-sum tulang</li> <li>- Membantu penyerapan Ca di usus halus</li> <li>- Membantu peningkatan Ca karena air didaur ulang dari sel tubulus distal ginjal sehingga kadar garam meningkat dalam darah. memicu ekskresi Kalium. Akibatnya edema, tekanan darah tinggi, kehilangan banyak Kalium.</li> </ul>
Kelenjar Adrenal (anak ginjal) bagian korteks	<p><i>Hormon Corticosteroid terdiri dari:</i></p> <p><i>a. Glucocorticoid</i></p> <p><i>b. Mineralocorticoid</i></p> <p><i>Hormon Epinephrin (adrenalin)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menstimulasi produksi glikosa dari protein dan karbohidrat (tanpa glucocorticoid/penyakit Addison's)</li> <li>- Menstimulasi ginjal untuk menyimpan ion Ca</li> <li>- Meningkatkan respirasi; pelebaran pupil; terbukanya pembuluh darah ke otak dan otot rangka; pemb.darah pd kulit dan ginjal menyempit → mempercepat denyut jantung.</li> <li>- Berperan sebagai neurotransmitter pada sinaps sistem saraf</li> </ul>
Kelenjar Adrenal (anak ginjal) bagian medulla (sel Chromaffin)	<p><i>Hormon Norepinphrin (noreadrenalin)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan respirasi; pelebaran pupil; terbukanya pembuluh darah ke otak dan otot rangka; pemb.darah pd kulit dan ginjal menyempit → mempercepat denyut jantung.</li> <li>- Berperan sebagai neurotransmitter pada sinaps sistem saraf</li> </ul>
Jantung (sel otot jantung pd dinding atrium)	<p><i>a. Atrionatriuretic Factor (ANF)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menyebabkan ginjal mensekresikan Ca dan air dengan bantuan ADH; meningkatkan dan menurunkan tekanan dan volume darah untuk memelihara cairan tubuh.</li> <li>- Pada otak membantu menambah cairan pada rongga sistem saraf pusat.</li> </ul>



Thyroid	<i>a. Triiodothyronin (tiga atom iodin/T3)</i>	- T3 dan T4 disekresikan untuk merespon hormon thyrotropin (TH), ketika sekresi thyroxine meningkat, TH berkurang dan menyebabkan efek balik T3 dan T4 menurun.
	<i>b. Thyroxine (T4)</i>	- membantu peningkatan konsumsi O <sub>2</sub> untuk sintesis ATP - Mempercepat penguraian karbohidrat kompleks dan sintesis protein, dan memperlambat pembakaran lemak. - Meningkatkan produksi panas tubuh dengan mengaktifkan enzim ATPase untuk memecah ATP pd permukaan sel sehingga melepaskan panas.
	<i>c. Calcitonin</i>	- Menurunkan kadar kalsium - Menghambat aktivitas sel tulang - Membantu sel tulang menyerap ion Ca membentuk garam tulang.
Parathyroid	<i>a. Parathyroid</i>	- Meningkatkan kadar Ca dalam darah, dengan mengurai garam tulang.

### 1. Mekanisme Kerja Hormon Steroid

Hormon steroid dapat masuk ke sel target untuk berperan, sifat hidrofobiknya menyebabkan molekul ini dapat berdifusi melalui membran plasma sel target. Sel uterus, mengandung reseptor (penerima) untuk hormon estradiol-17 $\beta$  salah satu dari kelompok hormon estrogen (tahap 1). Ketika estradiol memasuki sel, berdifusi ke nukleus dan membentuk kompleks hormon-reseptor (tahap 2), selanjutnya secara kimia diaktifkan (tahap 3). Kompleks hormon-reseptor selanjutnya menempel pada tempat penerima di kromosom (tahap 4), pengikatan kompleks kepada kromosom mengaktifkan gen spesifik untuk menterjemahkan pesan dari mRNA (tahap 5), selanjutnya mRNA ini diterjemahkan menjadi protein (tahap 6). Jadi respon sel target spesifik terhadap hormon steroid adalah menghasilkan protein spesifik, yang berperan dalam sel tersebut atau untuk diekskresikan (tahap 7-8).

## 2. Mekanisme Kerja Hormon Nonsteroid dan Pembawa Pesan Kedua

Salah satu hormon nonsteroid (misalnya tiroksin, dari kelenjar tiroid) bekerja dalam sel target seperti yang dilakukan hormon steroid.. Untuk sebagian besar hormon nonsteroid, sinyal diterima oleh sel target melalui senyawa kimia yang disebut *second messengers* (pembawa pesan kedua).

**a). AMP siklik (cAMP)** : contohnya, ketika hormon epinefrin berikatan kepada molekul reseptor yang tertanam pada membran plasma (tahap 1), reseptor berubah bentuk dan berikatan kepada protein-G (tahap 2), protein-G selanjutnya berikatan kepada nukleotida GTP (guanosin trifosfat; tahap 3), yang menyebabkan pembentukan kompleks Protein-G-GTP untuk mengaktifkan adenil siklase (enzim yang berhubungan dengan membran; tahap 4). Enzim ini (diperlukan hanya sedikit) selanjutnya mengkatalisis produksi AMPsiklik (*cyclic AMP*) dari ATP yang secara normal ditemukan dalam sel pada konsentrasi rendah (tahap 5). Sekali dihasilkan, cAMP berperan sebagai perantara atau pembawa pesan kedua, mengatur urutan interaksi reaksi kimia . Pertama cAMP bergabung dengan bentuk tidak-aktif protein kinase A, suatu enzim sitoplasma (tahap 6), cAMP dihasilkan pada otot dan protein kinase A yang diaktifkan akan menambah gugus fosfat (reaksi fosforilasi) pada enzim glikogen fosforilase (tahap 7), selanjutnya enzim ini mengurai glikogen menjadi glukosa (tahap 8), protein kinase juga menambah gugus fosfat pada enzim glikogen sintetase, menonaktifkan enzim ini dan mencegah sintesis glukosa menjadi glikogen (tahap 9).

**b). GMP siklik (cyclic guanosin monofosfat)** : pada sel jantung cGMP merupakan pembawa pesan kedua untuk neurotransmitter asetilkolin, yang memperlambat kontaksi sel otot dalam kerja yang berlawanan untuk mempercepat kontraksi yang disebabkan epinefrin dan cAMP. Hal ini menjelaskan peran antagonistik saraf simpatetik dan parasimpatetik pada kecepatan kontraksi jantung..

**c). Inositol trifosfat dan diasilgliserol (DG)** : pada membran plasma sel mengandung sejumlah kecil fosfolipid yang disebut fosfatidil inositol 4,5-

bifosfat (PIP<sub>2</sub>; tahap 1), contohnya ketika epinefrin berikatan kepada reseptor alfa pada membran plasma, (PIP<sub>2</sub>) segera dipecah menjadi (PIP<sub>3</sub>) dan diasilgliserol (DG; Tahap 2), kedua substansi tersebut berperan sebagai pembawa pesan kedua. (PIP<sub>3</sub>) dengan cepat memicu pelepasan Ca<sup>2+</sup> dari tempat penyimpanannya dalam sel (tahap 3) dan ion tersebut berperan sebagai pembawa pesan ketiga, menyebabkan respon singkat yang meliputi kontraksi sistem aktin dan miosin, polimerisasi makromolekul dan pengaktifan enzim, sementara itu DG mengaktifkan protein kinase C (tahap 4), yang memfosforilasi berbagai protein dan mengaktifkan rangkaian respon yang berbeda yang dibawa oleh cAMP dan protein kinase A (tahap 5). Protein kinase C diaktifkan oleh insulin (yang disekresikan oleh sel beta pada pankreas), aldosteron (disekresikan oleh korteks adrenal) dan epinefrin (disekresikan oleh medula adrenal).

Tabel 8-3. Kelenjar, hormon, sel target, dan peran hormon

<b>KELENJAR</b>	<b>HORMON</b>	<b>TARGET</b>	<b>PERAN</b>
Hipofisa ( <i>pituitary</i> ) bagian anterior di otak	<i>a. Thyrotropic Hormon (TH)</i>	a. Kel.Tiroid	- Meningkatkan pelepasan hormon tiroksin
	<i>b. Folicle Stimulating Hormon (FSH)</i>	b. Tubulus Seminiferus (Pria), Folikel ovarium (Wanita)	- Pd pria membantu produksi sperma, pd wanita menstimulasi pematangan folikel (telur) - Pd pria memicu sekresi hormon androgen, pd wanita memicu pematangan ahir folikel (telur), ovulasi dan pembentukan <i>corpus luteum</i> .
	<i>c. Lutenizing Hormon (LH)</i>	c. Sel interstitial ovarium atau testis	
	<i>d. Prolactin</i>	d. Kelenjar susu (mammary)	- Meningkatkan sintesis protein susu dan pertumbuhan kelenjar susu
	<i>e. Growth Hormon (pertumbuhan)</i>	e. Jaringan lemak, tulang, dan jar.lain	- Meningkatkan sintesis RNA dan protein, transport glukosa dan asam amino, lipolisis dan pembentukan antibodi.
	<i>f. Adreno Cortico Tropic Hormon (ACTH)</i>	f. Korteks Kelenjar Adrenal	- Meningkatkan sekresi steroid

	<i>g. Melanophore Stimulating Hormon (MSH)</i>	g. Melanofor dan melanosit	- Meningkatkan sintesis melanin, menyebabkan penghitaman kulit
	<i>h. Lipoprotein Hormon (LPH)</i>	h. Sel lemak dan sel lain	- Hidrolisis lemak
Hipofisa ( <i>pituitary</i> ) bagian posterior di otak	<i>a. Oxytocin Hormon</i>	a. kontraksi otot polos kelnjr susu; kontraksi otot polos uterus	- pengeluaran susu - selama orgasme
	<i>b. Antidiuretic Hormon (ADH)</i>	b. saluran pengumpul urin ginjal	- menurunkan produksi urin (tanpa ADH/penyakit Diabetes insipidus)

**Fungsi Hormon pada Invertebrata.** Pada invertebrata, hormon mengendalikan berbagai aspek pada pergantian kulit/bulu, reproduksi dan metamorfosis. Pada serangga tertentu mulai telur-larva-pupa- dan berkembang , berubah jadi kupu-kupu (metamorfosis) dikendalikan oleh hormon yang disekresikan oleh sel neurosekretori pada otak. Ketika ulat sutra sebagai contoh, mensekresikan hormon otak, hormon ini mengatur serangkaian perubahan kimia. Hormon otak berfungsi menstimulasi kelenjar protosaik untuk mensekresikan hormon alfa-ekdison (disusun oleh 20-hidroksiekdison) yang memicu perubahan seluler pada pelepasan kulit/bulu dan metamorfosis.

Pada *Corpora alata*, juvenile hormon (JH) yang memicu metamorfosis dihasilkan oleh sepasang kelenjar endokrin yang terletak disamping otak.

**Fungsi hormon Pada katak.** Hormon Tirotropik (TRH ; dari hipotalamus) memicu sekresi Tiroksin yang disekresikan kelenjar tiroid masuk dalam peredaran darah dan berikatan pada molekul reseptor pada jaringan dan berperan dalam metamorfosis , pelepasan struktur anatomi ekor kecebong, hati, kaki sebagai awal perkembangan seekor katak, dan secara bersamaan hormon penghambat -pelepasan-prolaktin (PRIH; dari hipofisa) bekerja berlawanan dengan tiroksin, memperlambat sekresi prolaktin.

### LATIHAN 3

1. Apa yang dimaksud dengan hormon! Sebutkan tiga kelompok utama sesuai susunan zat kimianya!.
2. Berdasarkan tipe hormon, jelaskan prinsip-prinsip yang digunakan oleh seluruh aktifitas kerja hormon!.
3. Apa yang dimaksud dengan ANF,?. Sebutkan fungsinya!

Untuk dapat menjawab latihan secara lengkap. Carilah buku-buku dan bahan bacaan lain yang memuat tentang sistem endokrin pada hewan, dan Anda dapat mengacu pada rambu-rambu pengerjaan latihan berikut :

3. Hormon merupakan pembawa pesan kimia yang disekresikan oleh sel dan kelenjar pada sistem endokrin ke dalam darah dan membantu aktifitas sel dalam jaringan target spesifik. Susunan kimia sebagian besar hormon adalah protein, steroid, dan amin.
4. 1). Hormon yang hanya mempengaruhi sel target; 2). Setiap sel target dalam tubuh diatur hanya oleh sinyal hormon tertentu, 3). Sel yang berbeda dapat melakukan respon (tanggapan) dengan cara yang berbeda terhadap hormon yang sama, 4). Beberapa hormon, yang memelihara homeostasis (keseimbangan) cairan tubuh, terdapat setiap saat, 5). Sejumlah hormon bersirkulasi biasanya dihasilkan oleh *negative feedback control* (kontrol negatif berbalik, dan Sekali hormon berikatan dengan molekul reseptor, biasanya dapat terurai secara cepat.
5. ANF (atrionatriuretik faktor) hormon yang disekresikan oleh sel jantung. Berfungsi memberi tanggapan terhadap peningkatan tekanan darah, menyebabkan vasodilatasi dan produksi urin, sehingga menurunkan tekanan darah.

## RANGKUMAN

Hormon merupakan pembawa pesan kimia yang disekresikan oleh sel dan kelenjar pada sistem endokrin ke dalam darah dan membantu aktifitas sel dalam jaringan target spesifik.

Hormon hanya mempengaruhi sel target tertentu. Sel yang berbeda mengembangkan mekanisme transduksi yang berbeda pula sehingga berbeda dalam merespon hormon yang sama.

Susunan kimia sebagian besar hormon adalah protein, steroid, dan amin. Hormon steroid berikatan pada molekul reseptor spesifik dalam nukleus sel target. Gabungan hormon-reseptor selanjutnya berikatan pada tempat penerima di kromosom dan menstimulasi gen spesifik untuk mensintesis mRNA (pembawa pesan), yang diterjemahkannya menjadi protein.

Sistem endokrin terdiri dari beberapa kelenjar yang menghasilkan berbagai macam hormon dengan fungsi dan target yang berbeda. Kelenjar-kelenjar tersebut adalah : hipotalamus, hipofisa anterior dan posterior, Pulau Langerhan's pada pankreas, ginjal, sel jantung, adrenal, tiroid, paratiroid, testis, ovarium, dan lain-lain.

AMPsiklik dan GMP siklik merupakan pembawa pesan kedua (second messenger) untuk berbagai hormon protein, polipeptida dan hormon amin.

Beberapa hormon protein, neurotransmitter dan faktor pertumbuhan dan sejumlah stimulasi elektrik berperan melalui inositol trifosfat dan diasilgliserol sebagai pembawa pesan kedua, yang mengaktifkan respon sel utama.

Dua hormon penting pada arthropoda JH, untuk mengatur tahap perkembangan; hormon ecdison berperan dalam pergantian kulit/bulu, metamorfosis yang proses lainnya.

TRH, PRIH, dan hormon tiroksin, berperan dalam proses metamorfosis atau perkembangan kecebong menjadi katak.

## TES FORMATIF 3

- Petunjuk : Pilihlah**
- A. Jika jawaban (1), (2), dan (3) benar
  - B. Jika jawaban (1), dan (3) benar
  - C. Jika jawaban (2), dan (4) benar
  - D. Jika jawaban (4) saja yang benar

1. Hormon merupakan pembawa pesan kimia yang disekresikan oleh sel dan kelenjar pada sistem endokrin ke dalam darah , senyawa kimia hormon dapat dibedakan, yaitu :

- (1). protein
  - (2). amin
  - (3). steroid
  - (4). karbohidrat
2. Molekul yang berperan sebagai pembawa pesan kedua (*second messenger*) untuk berbagai hormon protein, polipeptida dan hormon amin adalah :
- (1). cAMP
  - (2). cGTP
  - (3). cGMP
  - (4). cATP
3. Pada arthropoda hormon ecdison berperan dalam proses berikut :
- (1). Pergantian kulit
  - (2). Pergantian bulu
  - (3). metamorfosis
  - (4). pencernaan
4. Sel gama pada pulau Langerhan kelenjar pankreas menghasilkan suatu hormon yang berperan sebagai berikut :
- (1). Menghambat sekresi insulin dan glukagon
  - (2). Menghambat sekresi glikogen
  - (3). Absorpsi glukosa melintasi usus
  - (4). Meningkatkan sekresi insulin
5. Kelenjar adrenal (anak ginjal) menghasilkan hormon kortikosteroid dan seks steroid, yang termasuk kortikosteroid terdiri dari :
- (1). Estrogen
  - (2). Glukokortikoid
  - (3). Androgen
  - (4). mineralokortikoid
6. Ginjal mensekresikan eritropoietin yang berfungsi sebagai berikut ini :
- (1). Penyerapan kalsium dalam tulang
  - (2). Mengatur natrium dalam ginjal

- (3). Mengatur air dalam ginjal
  - (4). Menstimulasi pembentukan sel darah merah
7. Hormon yang berperan dalam metamorfosis atau perkembangan kecebong menjadi katak, adalah :
- (1). TRH
  - (2). PRIH
  - (3). Tiroksin
  - (4). ACTH
8. Hormon Juvenil (JH) pada arthropoda, berperan dalam proses berikut ini :
- (1). Pergantian kulit
  - (2). Pergantian bulu
  - (3). Menghasilkan telur
  - (4). Tahap perkembangan
9. Kelenjar yang paling banyak menghasilkan macam hormon atau ‘Master of Gland’ adalah :
- (1). Tiroid
  - (2). Hipotalamus
  - (3). Adrenal
  - (4). Hipofisa
10. Beberapa hormon protein, neurotransmitter dan faktor pertumbuhan, serta sejumlah stimulasi elektrik berperan melalui molekul yang mengaktifkan respon seluler utama, molekul tersebut adalah :
- (1). Inositol trifosfat 3
  - (2). cAMP
  - (3). Diasilgliserol
  - (4). cGTP



## BALIKAN DAN TINDAK LANJUT

Untuk mengetahui kebenaran jawaban Anda, bandingkan dengan kunci jawaban pada bagian akhir modul ini. Hitunglah jumlah jawaban yang benar, selanjutnya hitung tingkat penguasaan Anda terhadap materi di atas dengan menggunakan rumus :

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{10} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai :

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

< 69% = kurang

Apabila Anda mencapai tingkat penguasaan 80% ke atas, Anda dapat meneruskan untuk mempelajari Kegiatan belajar 4. Bagus! Akan tetapi, bila tingkat penguasaan Anda masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi mempelajari materi di atas terutama bagian yang belum Anda kuasai.

## ALAT GERAK (KERANGKA DAN OTOT)

### PENGANTAR

Tulang dan otot melakukan sebagian besar pekerjaan pada kehidupan hewan vertebrata. Bersama dengan kelenjar lain berperan sebagai efektor, organ yang menghasilkan pergerakan dan berbagai peran lain sehingga hewan dapat bernapas, makan, berjalan dan sebagainya. Sel sensori dan alat indera mengirim informasi ke sistem saraf pusat. Selanjutnya berdasarkan perintah dari sistem saraf pusat, organ efektor tubuh menghasilkan berbagai perilaku atau pengaturan proses fisiologis.

Kerangka hewan memiliki berbagai bentuk dan fungsi, tetapi pada dasarnya terdapat dua tipe : **hidroskeleton cair (kerangka lunak)** dan **kerangka keras**.

Hidroskeleton merupakan volume cairan yang terkandung dalam usus, ronggasemu, rongga perut, sistem pembuluh, atau air pada sistem pembuluh berbagai invertebrata. Cacing tanah mampu menggali lubang melalui tanah, karena gelombang kontraksi otot sirkuler (melingkar) dan longitudinal (memanjang) yang menekan cairan dalam rongga tubuh dan usus, menyebabkan tubuhnya memanjang, untuk menembus tanah, dan mendorongnya perlahan-lahan.

Kerangka keras bersifat kaku, bersambungan, pelindung di bagian luar yang disebut **eksoskeleton** atau dapat berupa ruas-ruas di bagian dalam yang disebut **endoskeleton**.

#### A. Eksoskeleton (Kerangka Luar)

Eksoskeleton tersedia sebagai cangkang pelindung yang mencakup cangkang kerang dan keong dan cangkang lobster, laba-laba dan kumbang. Disamping pendukung, cangkang ini seringkali untuk menjaga dan menambah kelembaban. Eksoskeleton cenderung tidak hidup, berupa endapan terkristalisasi garam

mineral, seperti kalsium karbonat atau campuran bahan organik dan anorganik, seperti pada kitin. Sedangkan cangkang kerang bertambah ukurannya karena pengendapan garam mineral secara terus-menerus pada bagian ujungnya, pada arthropoda yang tidak dapat berkembang, cangkang luar mencegah pertumbuhan, dan pada lobster, insekta dan arthropoda lain secara periodik harus melakukan pergantian cangkang untuk menambah ukuran.

Seluruh kerangka keras disusun oleh potongan-potongan yang bersambungan atau berupa engsel yang memungkinkan pergerakan. Pergerakan bagian tubuh disebabkan sambungan disusun oleh bahan-bahan yang fleksibel dan tipis, yang secara strategis ditempatkan pada titik yang relatif bergerak, seperti antena, cakar, sayap dan ekor dan karena otot melakukannya dalam eksoskeleton.

Dua rangkaian otot membantu pergerakan setiap bagian kerangka : flektor menekuk sambungan tungkai, dan ekstensor meluruskan sambungan. Gambar dua tipe susunan, dimana satu otot menaikkan sayap kupu-kupu dan yang lain menurunkan sayap. Pada kupu-kupu atau lebah, kontraksi sayap menaikkan otot itu sendiri memicu kontraksi otot menurunkan sayap tanpa sinyal dari saraf. Pengaktifan bidang otomatis ini, membantu menjelaskan mengapa kupu-kupu dapat mengepakkan sayapnya seratus kali perdetik.

Gambar 8-16. Gerakan eksoskeleton : sambungan dan perlekatan otot.

## **B. Endoskeleton (Kerangka Dalam)**

Pada hewan seperti ikan pari dan hiu, endoskeleton terdiri dari kartilago (rawan), sedangkan pada sebagian vertebrata terdiri dari rawan dan tulang keras. Kartilago terutama mengandung protein kolagen dan polisakarida. Sedangkan tulang keras, banyak mengandung kolagen bercampur dengan apatit (garam kalsium dan fosfat). Kebalikan dari kerangka luar hasil mineralisasi pada kerang, tulang dan kartilago mengandung sel hidup yang melakukan metabolisme.

Sebagian besar vertebrata memiliki dua kelompok tulang pada endoskeletonnya : pertama, yang berkembang secara langsung seperti tulang dalam kulit (**tulang membran dermal**; tulang tengkorak bagian terluar) dan kedua, yang awal perkembangannya sebagai kartilago, kemudian berubah menjadi tulang keras (**tulang endokondral**; tulang kaki, panggul). Kerangka sendiri dibedakan menjadi : **kerangka aksial** (sumbu) yang terdiri dari tengkorak, tulang belakang, dan iga pada hewan yang memilikinya; dan **kerangka apendikular** (tambahan) yang disusun oleh tulang tungkai depan yang melekat pada gelang bahu dan tungkai belakang yang melekat pada gelang panggul.

Beberapa struktur membuat endoskeleton mampu bergerak. Sambungan (tendon) seperti pada lutut manusia, daerah dimana tulang-tulang bertemu. Ligamen, merupakan pita lentur, dan kuat, terutama disusun oleh serabut kolagen.

## **C. Otot Pada Manusia**

### **1. Macam Otot**

Terdapat tiga macam otot pada vertebrata termasuk manusia, yaitu : a). **otot jantung** (otot lurik/berserat lintang), yang terdapat pada jantung, berkontraksi tidak disengaja atau tanpa sadar; b). **otot polos** terdapat pada organ tubuh bagian dalam, berkontraksi tidak disengaja atau tanpa sadar misalnya pada usus, pembuluh darah, dan organ lain; dan c). **otot rangka** (otot lurik/berserat lintang),

yang melekat pada rangka tubuh manusia, berkontraksi disengaja atau secara sadar.

#### **(a). Struktur Otot**

Satu contoh adalah otot bicep (lengan bagian depan) merupakan satu sarung jaringan ikat melingkupi berkas ratusan atau ribuan serabut otot silindris. Masing-masing serabut tersebut merupakan sel tunggal raksasa, gabungan dari ratusan bakal sel embrionik. Masing-masing sel memiliki diameter 5-100  $\mu\text{m}$  dan panjangnya mulai ukuran cm sampai meter dan mengandung beberapa ratus inti sel fungsional. Dalam setiap serabut otot terdapat beberapa miofibril (silinder kumpulan molekul), yang disusun oleh sarkomer-sarkomer. Setiap sarkomer dibatasi oleh garis Z yang dibangun oleh pita I (terlihat lebih terang); protein miosin (filamen tebal); dan aktin (filamen tipis) serta protein lain. Di antara filamen miosin dan aktin terdapat zona H yang disusun oleh garis-garis M, merupakan pusat sarkomer tersebut.

Gambar 8-17. Otot Lurik , sarkomer serta bagian-bagiannya.

#### **(b). Dasar Molekuler Kontraksi Otot**

Sel otot memiliki komponen khusus yang berhubungan dengan neuron; dapat dirangsang secara elektrik dan dapat mengalirkan potensial aksi (impuls).

Kontraksi otot dimulai ketika suatu neurotransmitter kimia yaitu **asetilkolin** dilepaskan ketika potensial aksi mencapai ujung sinaptik suatu saraf motorik. Ketika asetilkolin pada tingkat ambang tertentu dilepaskan pada daerah neuromuskuler (hubungan antara saraf motorik dengan membran sel otot), potensial aksi dimulai dan penjalaran impuls terjadi pada permukaan sel otot. Kecepatan penyebaran potensial segera memicu kejadian dalam sel otot yang memuncak pada kontraksi sarkomer.

Masing-masing sarkomer memiliki dua tipe filamen : filamen tipis (aktin) dan filamen (miosin) tebal. Selama berkontraksi ATP berikatan pada kepala miosin dan ATP tersebut dihidrolisis. Kepala miosin selanjutnya mengokang dan berikatan pada aktin terdekat. Selanjutnya ATP berubah menjadi ADP dan melepaskan fosfat anorganik ( $P_i$ ), ikatan kepala aktin menjadi kuat, digunakan kekuatan pukulan, dan terjadi pergerakan filamen aktin. Ketika ATP lain berikatan, aktin dilepaskan dan siklus di atas diulang kembali.

Gambar 8-18. Otot pada kerangka manusia

## 2. Tulang Dan Kerangka

### (a). Struktur Bagian Dalam Tulang

Tulang hidup merupakan jaringan dinamis. Tulang mamalia memiliki lapisan eksternal yang sangat keras atau tulang keras yang mengelilingi bagian tengah yang lembut berupa tulang berongga (*spongy*).

Tulang keras dibangun oleh ribuan **sistem Havers** yang silindris. Sistem Havers dibangun oleh beberapa lapisan tulang yang mengelilingi satu pembuluh darah. Pada lapisan-lapisan tersebut terdapat sel tulang hidup yang disebut **osteosit**, setiap osteosit dihubungkan oleh saluran ke pembuluh darah, tempat mengalirkan nutrisi, limbah, dan gas dari dan ke dalam sel tulang tersebut.

Gambar 8-19. a. Kerangka manusia dan b. Sistem Havers pada tulang.

Pada tulang berongga biasanya terdapat banyak pembuluh darah, yang disebut **sumsum tulang**, di dalamnya terdapat dua bentuk sel yang mengisi ruang antaranya yaitu sel-sel lemak (disebut sumsum putih) dan sel-sel yang berkembang (disebut sumsum merah, tempat pembentukan sel darah merah, limfosit dan makrofag).

Beberapa tulang, seperti tulang panjang bagian samping, mengalami pertumbuhan secara substansial, pertumbuhan ini terjadi dalam zona pertumbuhan kartilago (rawan) pada setiap ujung tulang dan kartilago yang ditempatkan pada tulang.

Dalam tulang hidup memiliki kadar hormon kalsitonin dan paratiroid bervariasi, yang berperan pada sel tulang tertentu dalam mengurai tulang untuk meningkatkan kadar kalsium dan fosfat dalam darah, atau menyimpan bahan baku tulang yang baru. Saat ini telah diidentifikasi suatu senyawa yang disebut **bone morphogenik proteins** (BMPs) yang digunakan untuk membantu mengatur pembentukan tulang dan rawan dan menstimulasi perbaikan pada patah tulang dan pecah tulang tengkorak.

Tulang manusia memiliki kerapatan dan masa sampai pada usia 35 tahun, selanjutnya cenderung menjadi rapuh dan lebih berongga. Osteoporosis (kehilangan banyak sel tulang), mengarah pada regas tulang, tulang lebih mudah patah, termasuk bungkuk pada masa tua. Penelitian terakhir menunjukkan bahwa penurunan hormon estrogen pada saat menopause, berperan dalam kehilangan sel tulang, selain itu merokok dan minuman keras, juga tanpa olah raga. Untuk mencegah osteoporosis, para dokter mengatasi para manula dengan pemberian kalsium pada makanan dan olah raga, pada wanita tua diterapi dengan hormon estrogen dan suplemen kalsium.

#### **(b). Hubungan Rangka-Otot**

Kecepatan dan kekuatan gerakan jari, tangan, atau bagian lain tubuh bergantung pada hubungan dan interaksi antara saraf, tulang dan otot. Contohnya



: ketika seekor monyet memasukkan pisang ke dalam mulutnya otot bicep berkontraksi, bicep merupakan agonis atau penggerak utama otot primer yang menggerakkan pisang. Sebagai alternatif, otot tricep (antagonis) bekerja berlawanan, yaitu berkontraksi jika otot bicep mengalami relaksasi. Hal ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Gambar 8-20. Antagonisme Otot pada seekor monyet.

Beberapa struktur yang ada, menyebabkan pergerakan endoskeleton. Sambungan (sendi), seperti yang terdapat pada lutut manusia, merupakan bagian dimana terdapat pertemuan tulang-tulang. Setiap otot memiliki dua tempat perlekatan pada tulang : pertama yaitu pangkal yang berperan sebagai sebuah jangkar, dan kedua yaitu sebuah *insersi*, yang ditempatkan dekat daerah

pergerakan. Insersi merupakan tempat digunakannya kekuatan otot pada tulang. Setiap otot melekat pada tulang atau otot lain melalui **tendon**, yaitu suatu berkas serabut kolagen. Sedangkan tulang dengan tulang dihubungkan oleh serabut kolagen yang kuat dan pita fleksibel yang disebut **ligamen**. Meskipun ligamen agak elastis, terlalu kuat terhadap tekanan, contohnya ketika bermain bola pukulan terhadap lutut, dapat meregangkan dan menghentakkan atau menarik ujung bebas tulangnya. Dalam sendi, tempat tulang bergesekan, kartilago berperan sebagai bantal internal, melembutkan gesekan sendi. Rongga sendi dikelilingi oleh membran sinovial, yang mengandung cairan sinovial penahan-goncangan yang berperan sebagai minyak pelumas.

Gambar 8-21. Sendi lutut manusia, Otot, Tendon, dan Ligamen

#### **LATIHAN 4**

1. Sebutkan bagian-bagian utama endoskeleton manusia! Jelaskan fungsi tendon dan ligamen!.
2. Sebutkan 3 tipe otot pada manusia, dimana tempatnya dan jelaskan fungsinya!
3. Bagaimana mekanismenya sehingga otot lurik dapat berkontraksi?

Untuk dapat menjawab latihan secara lengkap. Carilah buku-buku dan bahan bacaan lain yang memuat tentang kerangka dan otot pada hewan, dan Anda dapat mengacu pada rambu-rambu pengerjaan latihan berikut :

1. Kerangka aksial (sumbu) yang terdiri dari tengkorak, tulang belakang, dan iga pada hewan yang memilikinya; dan kerangka apendikular (tambahan) yang disusun oleh tulang tungkai depan yang melekat pada gelang bahu dan tungkai belakang yang melekat pada gelang panggul. Beberapa struktur membuat endoskeleton mampu bergerak. Setiap otot melekat pada tulang atau otot lain melalui **tendon**, yaitu suatu berkas serabut kolagen. Sedangkan tulang dengan tulang dihubungkan oleh serabut kolagen yang kuat dan pita fleksibel yang disebut **ligamen**.
2. Terdapat tiga macam otot pada vertebrata termasuk manusia, yaitu : a). **otot jantung** (otot lurik/berserat lintang), yang terdapat pada jantung, berkontraksi tidak disengaja atau tanpa sadar; b). **otot polos** terdapat pada organ tubuh bagian dalam, berkontraksi tidak disengaja atau tanpa sadar misalnya pada usus, pembuluh darah, dan organ lain; dan c). **otot rangka** (otot lurik/berserat lintang), yang melekat pada rangka tubuh manusia, berkontraksi disengaja atau secara sadar.
3. Impuls saraf motoris mencapai hubungan neuromuskuler (hubungan saraf-otot) memicu potensial aksi pada permukaan sel otot lurik. Potensial aksi menyebar ke saluran T dan retikulum sarkoplasma. Akibatnya ion kalsium dilepaskan kedalam sitoplasma untuk memulai kontraksi.

## RANGKUMAN

Eksoskeleton (kerangka luar), merupakan endapan tidak hidup dari garam mineral dan bahan lain, berperan sebagai cangkang pelindung dan pembatas permeabilitas dari lingkungan beberapa invertebrata. Otot dapat menggerakkan engsel eksoskeleton.

Endoskeleton (kerangka dalam) vertebrata disusun oleh kartilago dan/atau tulang. Dua bagian utama endoskeleton : axial skeleton (kerangka sumbu) dan appendicular skeleton (kerangka tambahan). Masing-masing

tulang berhubungan pada sendi, disatukan bersama oleh ligamen.

Tulang padat bersifat keras karena bagian permukaannya disusun oleh paket yang padat, gabungan dari sistem Havers. Tulang mirip-busa merupakan sistem kerja yang terbuka dan terdiri dari bagian pusat sumsum tulang.

Agonis, atau penggerak awal, merupakan otot yang bekerja berlawanan dengan antagonis. Otot berakhir pada tendon yang melekat pada tulang atau otot lain.

Terdapat tiga kelompok jaringan otot : otot kerangka (lurik, bekerja dengan sengaja), otot polos (bekerja tidak disengaja-tanpa sadar), dan otot jantung (lurik, bekerja tidak disengaja-tanpa sadar).

Otot lurik disusun oleh sel multinukleus raksasa yang disebut serabut otot, yang mengandung susunan molekul memanjang (miofibril). Miofibril dibangun oleh sarkomer.

Sarkomer memendek selama kontraksi karena filamen tipis aktin meluncur melewati filamen tebal miosin. Kepala miosin menghasilkan kekuatan yang menyetir mekanisme peluncuran tersebut.

Impuls saraf motoris mencapai hubungan neuromuskuler (hubungan saraf-otot) memicu potensial aksi pada permukaan sel otot lurik. Potensial aksi menyebar ke saluran T dan retikulum sarkoplasma. Akibatnya ion kalsium dilepaskan ke dalam sitoplasma untuk memulai kontraksi.

Otot polos tidak berserat lintang, hanya memiliki satu nukleus. Biasanya bekerja tidak disengaja-tanpa sadar, lambat, dan dapat menyokong periode yang lama tanpa kelelahan otot.

Sel otot jantung lurik, berkontraksi tidak disengaja/tanpa sadar, hanya memiliki satu nukleus dan tipe sarkomer dan berkaitan satu dengan lainnya melalui hubungan yang disebut diskus interkalaris. Otot jantung vertebrata memiliki detak kontraksi ritmik intrinsik (detak miogenik).

#### TES FORMATIF 4

- Petunjuk : Pilihlah**
- A. Jika jawaban (1), (2), dan (3) benar
  - B. Jika jawaban (1), dan (3) benar
  - C. Jika jawaban (2), dan (4) benar
  - D. Jika jawaban (4) saja yang benar

1. Eksoskeleton pada beberapa hewan invertebrata disusun oleh bahan-bahan berikut ini, yaitu :
  - (1). Kalsium karbonat
  - (2). Bahan organik
  - (3). Bahan anorganik

- (4). Kalsium sitrat
2. Endoskeleton vertebrata disusun oleh kartilago dan/atau tulang. Endoskeleton dibedakan menjadi :
  - (1). kerangka sumbu/aksial
  - (2). Tungkai depan dan belakang
  - (3). kerangka tambahan/apendikular
  - (4). Tulang belakang
3. Tulang bersifat keras karena bahan utamanya terdiri dari :
  - (1). Bahan anorganik
  - (2). Kalsium karbonat
  - (3). Kalsium sitrat
  - (4). Kalsium fosfat
4. Kerangka hewan memiliki berbagai bentuk dan fungsi, tetapi pada dasarnya terdapat dua tipe , yaitu :
  - (1). Hidroskeleton cair (kerangka lunak)
  - (2). Eksoskeleton
  - (3). Kerangka keras
  - (4). Endoskeleton
5. Protein utama yang menyusun otot lurik adalah :
  - (1). Aktin
  - (2). Kitin
  - (3). Miosin
  - (4). Kolagen
6. Otot polos tidak berserat lintang, hanya memiliki satu nukleus. Biasanya bekerja dengan ciri berikut ini :
  - (1). Tanpa sadar
  - (2). Lambat
  - (3). Periode yang lama tanpa kelelahan otot
  - (4). Sadar
7. Awal kontraksi otot lurik melibatkan berbagai faktor berikut ini :

- (1). Adanya impuls saraf
  - (2). Terjadi potensial aksi
  - (3). Aliran ion Ca
  - (4). Terhentinya aliran ion Ca
8. Otot jantung memiliki cirrikhas tersendiri, yaitu :
- (1). Lurik (berserat-lintang)
  - (2). Tidak terdapat percabangan
  - (3). Hanya memiliki satu nukleus
  - (4). Memiliki banyak nukleus
9. Ketika manusia lanjut usia, tulang cenderung mengalami osteoporosis ciri-cirinya adalah :
- (1). Kehilangan banyak sel tulang
  - (2). Tidak mengandung rawan
  - (3). Tulang lebih mudah patah
  - (4). Bungkuk
10. Bahan utama penyusun kartilago (rawan) adalah :
- (1). Bahan anorganik
  - (2). Kalsium karbonat
  - (3). Kalsium fosfat
  - (4). Protein kolagen

### **BALIKAN DAN TINDAK LANJUT**

Untuk mengetahui kebenaran jawaban Anda, bandingkan dengan kunci jawaban pada bagian akhir modul ini. Hitunglah jumlah jawaban yang benar, selanjutnya hitung tingkat penguasaan Anda terhadap materi di atas dengan menggunakan rumus :

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{10} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai :

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

< 69% = kurang

Apabila Anda mencapai tingkat penguasaan 80% ke atas, Anda telah menguasai Kegiatan Belajar 4. Bagus! Akan tetapi, bila tingkat penguasaan Anda masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi mempelajari materi di atas terutama bagian yang belum Anda kuasai.

#### **KUNCI JAWABAN TES FORMATIF**

No	Tes Formatif 1	Tes Formatif 2	Tes Formatif 3	Tes Formatif 4
1.	B	A	A	A
2.	C	A	B	B
3.	C	D	A	C
4.	A	B	A	B
5.	B	C	C	B
6.	A	C	D	A
7.	A	B	A	A
8.	B	C	D	B
9.	B	A	D	C
10.	A	B	B	D

## **GLOSARIUM**

**Akson** : bagian neuron yang menjalankan impuls saraf (potensial aksi)

**AMP siklik(cAMP)**: Adenosin monofosfat siklik, senyawa yang berhubungan dengan ATP berperan sebagai pembawa pesan kedua pada penjalaran sinyal dalam sel target

**Depolarisasi** : perubahan status elektrik sel kearah keadaan tidak terpolarisasi

**Dendrit** : percabangan pendek dari permukaan neuron , yang menerima impuls pada sel saraf.

**Diasilgliserol (DG)** : senyawa berperan sebagai pembawa pesan kedua pada penjalaran sinyal dalam sel target

**Diskus interkalaris** : suatu bagian membran sel otot-jantung yang bergabung dan tersedia sebagai tempat aliran ion dan arus listrik.

**Endometrium** :dinding rahim (uterus)

**Efektor (motor) neuron** : kelompok neuron yang menjalarkan impus (pesan) ke otot dan kelenjar

**Estrus** : pada wanita, periode waktu ketika siap kawin atau untuk aktifitas seksual

**Fosfat kreatin** : molekul organik dengan ikatan fosfat-berenergi tinggi, terdapat dalam jaringan otot vertebrata merah dan putih

**GMP siklik (cGMP)** : guanosin monofosfat siklik, berperan sebagai pembawa pesan kedua pada penjalaran sinyal dalam sel target

**Gustasi** : indera perasa

**Hiperpolarisasi** : peningkatan polarisasi suatu sel (misalnya dari  $-50$  ke  $-80\text{mV}$ )

**Interneuron** : kelompok neuron yang menerima dan memproses impuls dari reseptor, sensori, atau interneuron lain dan mengirim perintah ke interneuron atau neuron efektor.

**Iris** : jaringan cincin berpigmen pada mata vertebrata yang terbuka atau tertutup dalam menanggapi perubahan cahaya.

**Kolostrum** : cairan yang mengandung banyak protein dan antibodi yang disintesis dan disimpan dalam kelenjar susu wanita hamil, ketika bayi dilahirkan



dan menyusui dengan segera mendapat perlindungan dari serangan berbagai mikroba.

**Kornea** : bagian pada mata, bulat, tempat masuknya cahaya.

**Korpus luteum** : masa sel yang dibentuk dari folikel ovarium setelah telur dilepaskan, menghasilkan progesteron

**Laktasi** : produksi dan sekresi air susu oleh kelenjar susu

**Lenca** : struktur yang disusun oleh sel yang sangat khusus pada mata vertebrata, gurita dan hewan lain yang memfokuskan cahaya yang terlihat.

**Menopause** : akhir dari siklus menstruasi bulanan, pada wanita separuh-baya, ketika indung telur berhenti membuat progesteron dan estrogen.

**Menstruasi** : pelepasan dinding rahim yang mengawali siklus menstrual setiap bulan jika telur tidak dibuahi.

**Neuron reseptor (sensori)** : kelompok neuron yang sensitif terhadap tipe stimulus tertentu, seperti cahaya, tekanan, panas, dan bahan kimia tertentu.

**Neuron** : sel saraf

**Neurotransmitter** : bahan kimia pembawa pesan diantara sel saraf tempat yang banyak saluran  $\text{Na}^+$ .

**Nodus Ranvier** : bagian akson sel saraf, tanpa selubung mielin, tipis

**Omatidium** : unit optik yang membangun mata majemuk

**Oosit** : sel telur, besar, tidak bergerak

**Oogenesis** : proses pembentukan sel telur

**Opsin** : lipoprotein, merupakan salah satu bagian pigmen penglihatan rodopsin

**Ovarium** : organ seks wanita tempat dihasilkan sel telur

**Ovulasi** : pelepasan sel telur dari ovarium

**Ovum** : sel telur gamet betina yang dihasilkan ovarium

**Osteoporosis** : kehilangan banyak sel tulang, biasanya karena usia, mengarah pada regas tulang dan tulang mudah patah.

**Peptida neuroaktif** : protein yang berperan sebagai neurotransmitter atau yang meningkatkan aktifitas neuron

**Periode refraktori** : periode waktu dimana membran sel saraf tidak mampu bereaksi terhadap tambahan stimuli.

**Polarisasi** : dalam sel, terjadinya aliran ion suatu lingkungan internal yang memiliki jaringan muatan listrik negatif, berlawanan dengan jaringan muatan listrik positif di luar sel.

**Potensial aksi (impuls saraf)** : depolarisasi potensial sementara yang melintasi membran sel saraf atau sel otot kerangka.

**Potensial postsinaptik** : depolarisasi sementara pada sel saraf yang menerima transmisi sinap sinaptik

**Propagasi saltatori** : penyebaran potensial aksi sepanjang akson bermielin, melalui loncatan dari satu nodus Ranvier ke nodus Ranvier lainnya

**Prostaglandin** : kelompok hormon asam-lemak yang terdapat dalam semen dan dihasilkan oleh semua sel tubuh, berfungsi menstimulasi kontraksi otot polos

**Pulau Langerhans** : kelompok sel endokrin pada pankreas yang menghasilkan hormon glukagon dan insulin

**Pupil** : pusat pembukaan iris pada mata, melalukan cahaya ke lensa.

**Rabdomer** : mata majemuk artropoda , kelompok mikrovili sel pada molekul pigmen penglihatan

**Rodopsin** : pigmen penglihatan yang terdapat pada sel batang dan kerucut mata vertebrata, yang diaktifkan oleh energi cahaya mengawali rangkaian peristiwa yang menghasilkan penglihatan.

**Semen** : cairan yang mengandung sperma dihasilkan pada sistem reproduksi jantan

**Second messenger (pembawa pesan kedua)** : bahan kimia perantara yang memindahkan pesan dari hormon nonsteroid ke sel target

**Sinaps** : tempat komunikasi antara sel neuron dengan sel target, baik secara elektrik atau secara kimia.

**Sistem limbik** : tempat emosi dan memori jangka-pendek pada otak depan vertebrata

**Saluran gerbang-bervoltase** : saluran tempat masuknya ion ke sel saraf, yang dapat menanggapi perubahan pada potensial membran

**Saluran gerbang-kimia** :saluran transpor-ion pada membran sel saraf yang terbuka ketika terdapat bahan kimia tertentu.

**Siklus ovarian** :siklus selama pematangan telur dan terjadi ovulasi

**Sinaps eksitatori** :sinaps dimana transmisi sinaptik diantara neuron yang mendepolarisasi neuron penerima

**Sinaps inhibitori** : sinaps dimana transmisi sinaptik berperan mencegah fungsi sel penerima, seringkali melalui penghambatan depolarisasi

**Sistem Havers** : komponen dasar tulang padat, dimana lapisan silindris mengelilingi pembuluh darah tunggal.

**Sistem organ** : kumpulan organ yang dikoordinasikan untuk menghasilkan fungsi tertentu, misalnya pernapasan, ekskresi, pencernaan dan lain-lain

**Tabung T** :pada sel otot-kerangka, beberapa lekukan membran plasma tersedia sebagai penyalur potensial aksi yang memicu kontraksi otot.

**Taste bud** : kelompok sel reseptor pengecap rasa yang mampu mendeteksi substansi terlarut pada konsentrasi tinggi.

**Tetanus** : keadaan yang didukung kontraksi otot maksimum

**Testis** : organ seks jantan tempat pembentukan sperma

**Tonus** : keadaan otot tetap berkontraksi melebihi periode jangka lama

**Threshold** : tingkat voltase listrik (polarisasi) yang berperan sebelum dimulainya potensial aksi pada neuron

**Troponin** : kompleks protein yang mempengaruhi fungsi tropomiosin, jadi mengatur interaksi aktin dan miosin pada sel otot

**Tuba falopi (ovidak)**: salah satu saluran yang meluas dari indung telur yang mengatur pelepasan telur ke rahim

**Uterus** : rahim, organ reproduksi berotot pada mamalia betina, tempat embrio tertanam dan embrio berkembang serta dipelihara selama kehamilan

**Visual field** : rangkaian paku batang dan kerucut yang berikatan dengan masing-masing sel ganglion pada mata.

## DAFTAR PUSTAKA

Brock, T. D, M. T. Madigan, 1997. *Biology of Microorganisms*. Sixth Edition. New Jersey : Prentice-Hall Inc.

Hopson Janet L and Norman K. Wessells., 1990. *Essentials of Biology*. San Francisco : Mcgraw-Hill Publishing Company.

Kimball John W, 1989. *Biologi*. Edisi ke-5. Jakarta : Erlangga.

Storer Tracy I., Robert L. Usinger., Robert C. Stebbins., James W. Nybakken., 1978. *General Zoology*. New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company LTD.

