

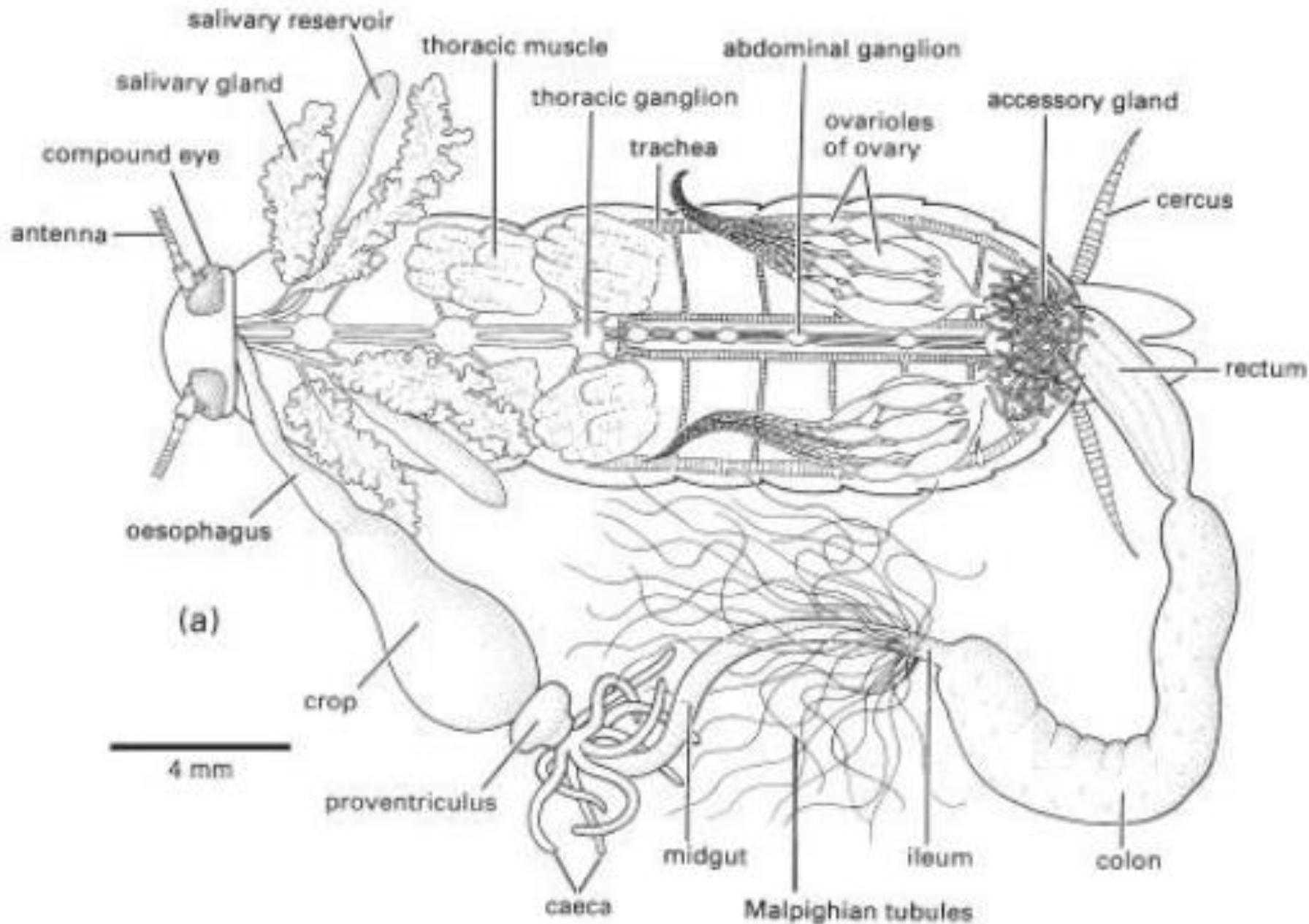


Anatomi Internal dan Fisiologi Serangga

Anatomi internal dan fisiologi serangga:

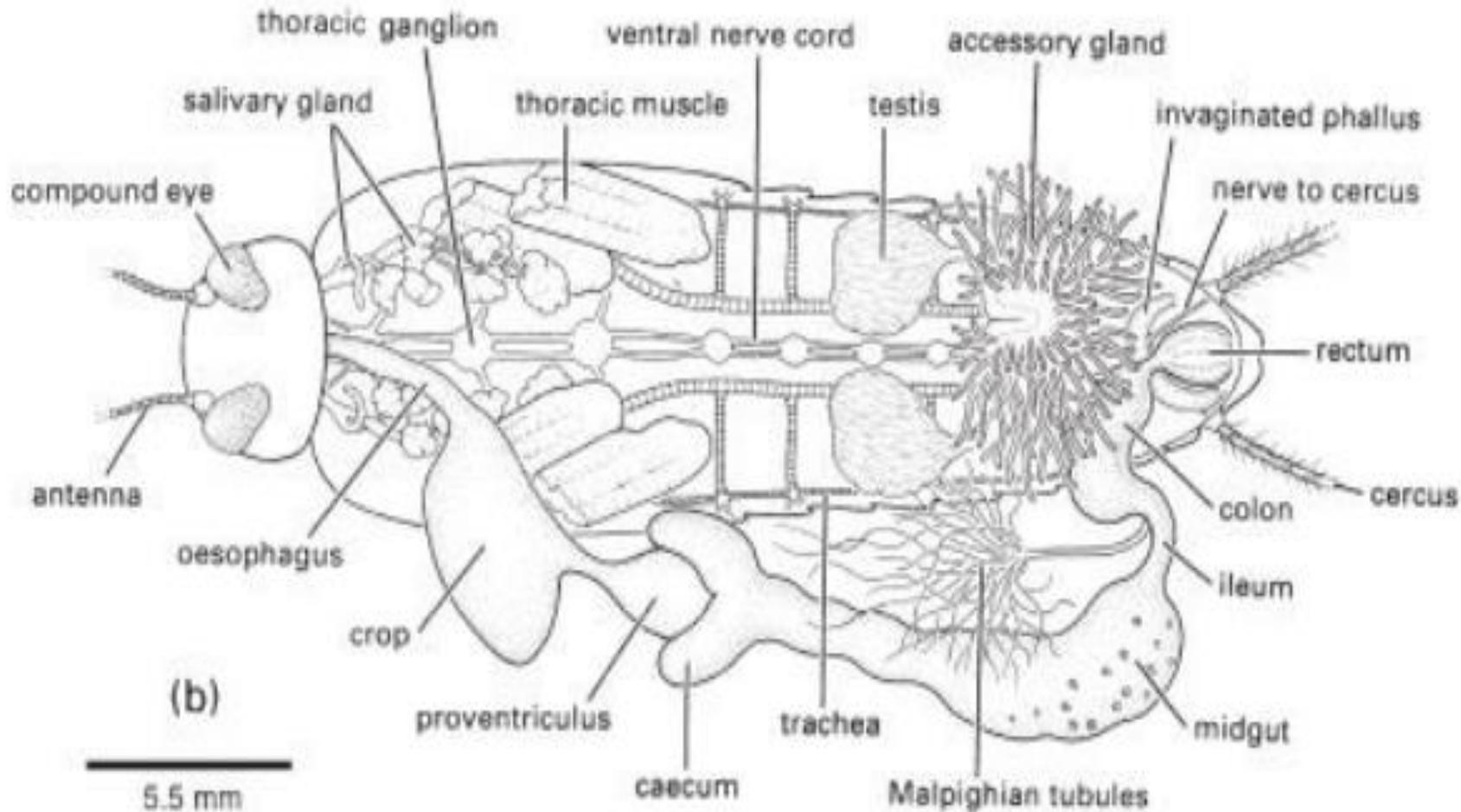
- Otot dan alat gerak
- Sistem saraf dan koordinasi
- Sistem peredaran darah
- Sistem pernapasan
- Sistem pencernaan
- Sistem ekskresi





Gambaran Umum

(a) Kecoa betina, *Periplaneta americana* (Blattodea: Blattidae)



Gambaran Umum

Keterangan: sebagian besar trakea telah dibuang; sebagian besar detail sistem saraf tidak ditampilkan

(b) Jangkrik jantan, *Teleogryllus komodus* (Orthoptera: Gryllidae)

- ❑ Gambar di atas menunjukkan "bagian dalam" dua serangga omnivora (kecoa dan jangkrik) yang memiliki sistem pencernaan dan reproduksi yang relatif tidak terspesialisasi.
- ❑ Sistem pencernaan
 - Meliputi kelenjar ludah serta usus yang memanjang, terdiri dari tiga bagian utama. Berfungsi dalam penyimpanan, penyerapan, metabolisme, dan ekskresi.
- ❑ Sistem reproduksi
 - Pada jantan didominasi oleh kelenjar aksesori, dikarenakan testis kebanyakan serangga dewasa ukurannya mengecil/tidak ada. Hal ini karena spermatozoa diproduksi pada tahap kepompong.
 - Pada serangga betina, rongga tubuh dapat terisi dengan telur. Demikian pula pada ulat tahap akhir, struktur internal (kecuali usus) mungkin tersembunyi di dalam jaringan lemak tubuh.
- ❑ Rongga tubuh serangga (haemocoel) berisi cairan haemolymph, dilapisi endoderm dan ektoderm. Ini bukan selom sejati, yang didefinisikan sebagai rongga berlapis mesoderm. Haemolymph menggabungkan peran darah dan getah bening) seperti untuk transportasi nutrisi, ekskresi sisa metabolisme, dan kekebalan tubuh.
- ❑ Pada serangga, sistem pertukaran udara dilakukan oleh sistem trakea, sebuah percabangan dari tabung berisi udara (trakea), yang memiliki cabang-cabang halus ke seluruh tubuh. Masuk dan keluarnya gas dari trakea dikendalikan oleh sfingter yang disebut spirakel yang terbuka melalui dinding tubuh. Sisa metabolisme disaring dari haemolymph oleh tubulus Malpighi kemudian dibuang melalui anus.
- ❑ Semua proses motorik, sensorik, dan fisiologis pada serangga dikendalikan oleh sistem saraf dalam hubungannya dengan hormon (pembawa pesan kimiawi).
- ❑ Otak dan kabel saraf ventral mudah terlihat pada serangga yang dibedah, tetapi sebagian besar pusat endokrin, serabut saraf, otot, dan jaringan lain tidak dapat dilihat dengan mata telanjang.

3.1 OTOT DAN ALAT GERAK

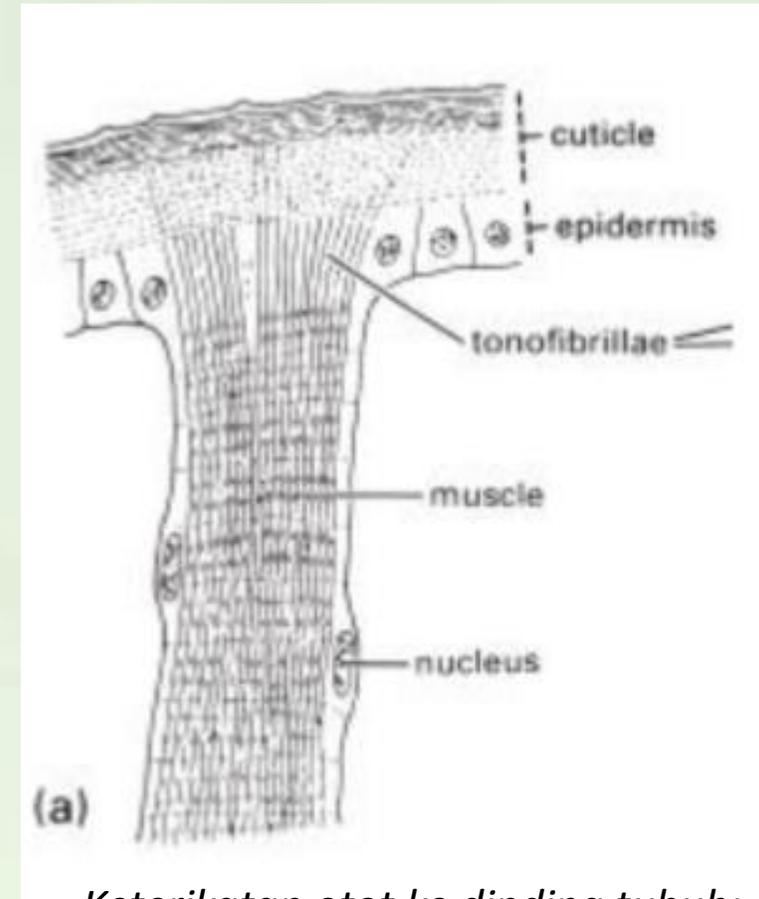
Berkaitan dengan kemampuan serangga untuk **merasakan, menafsirkan, dan bergerak** di sekitar lingkungannya. Tenaga untuk bergerak berasal dari otot yang bekerja melawan sistem kerangka, baik kerangka luar kutikula kaku atau, pada larva bertubuh lunak, kerangka hidrostatis.

3.1.1 Otot

- ❑ Vertebrata dan banyak invertebrata non-serangga memiliki otot lurik dan halus, tetapi **serangga hanya memiliki otot lurik**.
- ❑ Setiap serat otot lurik terdiri dari banyak sel dengan membran plasma dan sarcolemma. Trakeol/pemasok oksigen bersinggungan dengan serat otot. Myofibril kontraktile berjalan sepanjang serat, tersusun dalam lembaran atau silinder. Jika dilihat dengan pembesaran tinggi, myofibril terdiri dari filamen aktin tipis yang diapit di antara sepasang filamen miosin yang lebih tebal.
- ❑ Kontraksi otot melibatkan pergeseran filamen melewati satu sama lain, dirangsang oleh impuls saraf. Persarafan berasal dari satu hingga tiga akson motorik per bundel serat.

3.1.2 Keterikatan otot

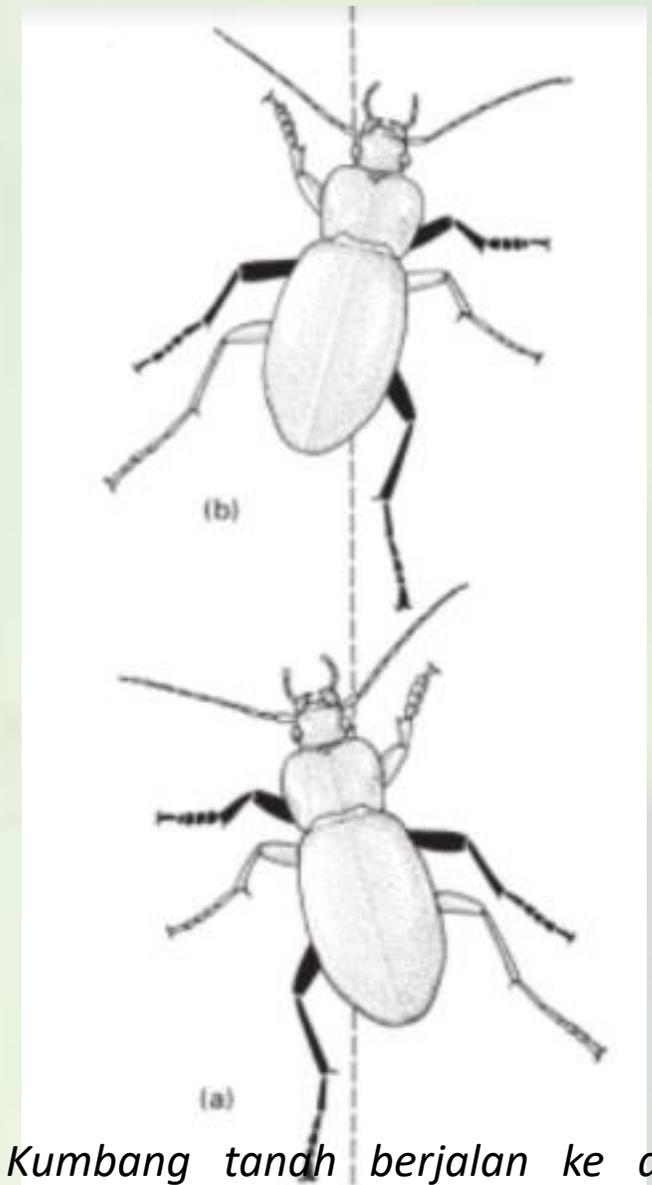
- ❑ Otot serangga menempel pada permukaan bagian dalam kerangka.



*Keterikatan otot ke dinding tubuh:
→ Tonofibrillae melintasi epidermis dari otot ke kutikula*

3.1.3 Merangkak, menggeliat, berenang, dan berjalan

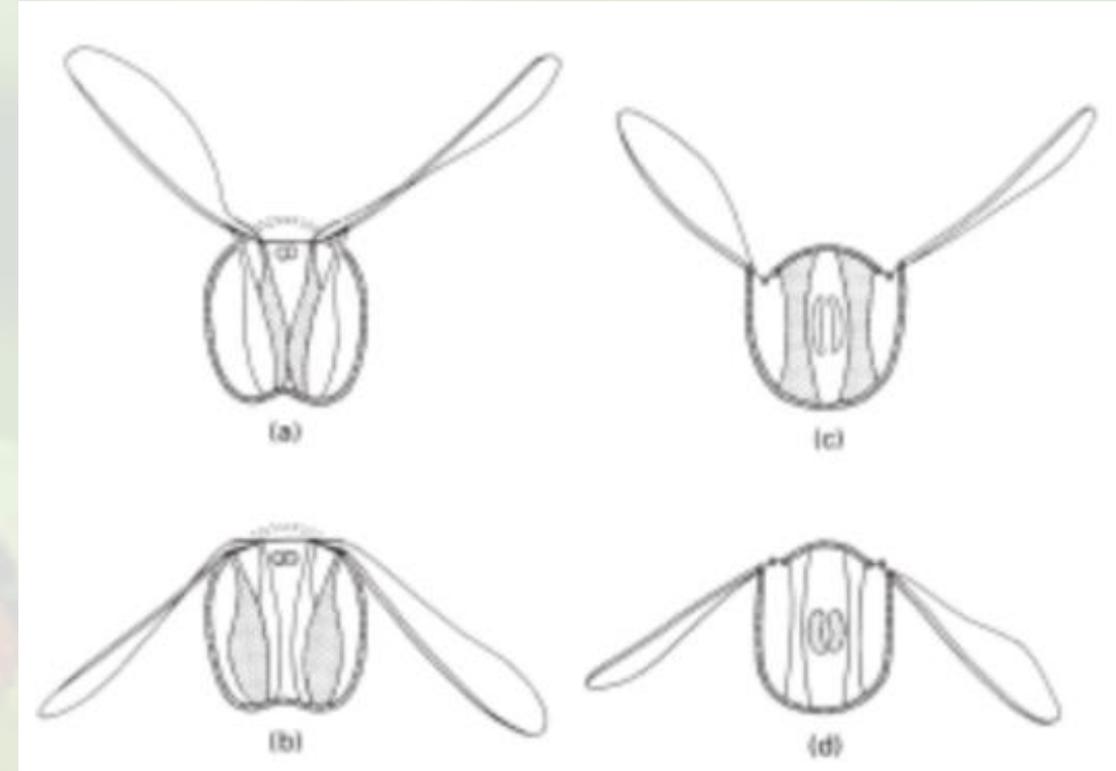
- ❑ Larva tubuhnya lunak dengan kerangka hidrostatis, bergerak dengan cara merangkak.
- ❑ Kontraksi otot di satu bagian tubuh memberikan perluasan yang setara di bagian rileks di bagian tubuh lain. Pada larva tidak berkaki (ex. belatung), gelombang kontraksi dan relaksasi mengalir dari kepala ke ekor.
- ❑ Di air, gelombang lateral kontraksi terhadap kerangka hidrostatis dapat memberikan gerakan berenang yang berliku-liku, seperti ular, dengan gelombang anterior-ke-posterior yang memberikan gerakan bergelombang. Serangga memiliki kutikula tahan air, bergerak dengan mendayung dengan kaki yang memiliki rambut.
- ❑ Larva dengan kaki dada dan kaki perut, seperti ulat, mengembangkan gelombang kontraksi otot turgor posterior-ke-anterior. Serangga dengan rangka luar yang keras dapat berkontraksi dan mengendurkan pasangan otot yang menempel pada kutikula. Dibandingkan dengan krustasea dan kelabang, serangga memiliki lebih sedikit (enam) kaki yang terletak lebih ventral dan berdekatan di dada, memungkinkan konsentrasi otot lokomotor (baik terbang maupun berjalan), dan memberikan kontrol yang lebih besar dan efisiensi yang lebih besar.
- ❑ Serangga yang berjalan melompat, menggunakan kaki belakang yang dimodifikasi. Misalnya pada kutu, tulang paha belakang membesar, otot-otot besar berkontraksi menghasilkan energi yang disimpan oleh sendi femoro-tibial/mirip pegas, kutu dapat mencapai inangnya dengan sedikit kendali atas lompatan.



Kumbang tanah berjalan ke arah garis putus-putus. Tiga kaki yang menghitam (yang bersentuhan dengan tanah) (a) diikuti oleh (b)

3.1.4 Terbang

- ❑ Terbang membuka banyak dunia baru bagi serangga untuk eksploitasi lingkungan. Habitat mikro tanaman seperti bunga dan dedaunan lebih mudah dijangkau oleh serangga bersayap daripada serangga yang tidak bisa terbang.
- ❑ Terdapat dua pasang sayap fungsional, sayap depan dan sayap belakang pada segmen toraks kedua dan atau ketiga.
- ❑ Dalam penerbangan, sayap-sayap direntangkan secara kaku. Serangga mencapai daya angkat dengan menyesuaikan sudut tepi depan sayap, saat sudut ini meningkat maka daya angkat meningkat



- *Mekanisme terbang langsung: dada selama*
 - (a) *gaya naik sayap*
 - (b) *gaya turun sayap*
- *Mekanisme terbang tidak langsung: dada selama*
 - (c) *gaya naik sayap*
 - (d) *gaya turun sayap*
- *Otot yang diarsir: otot yang berkontraksi*

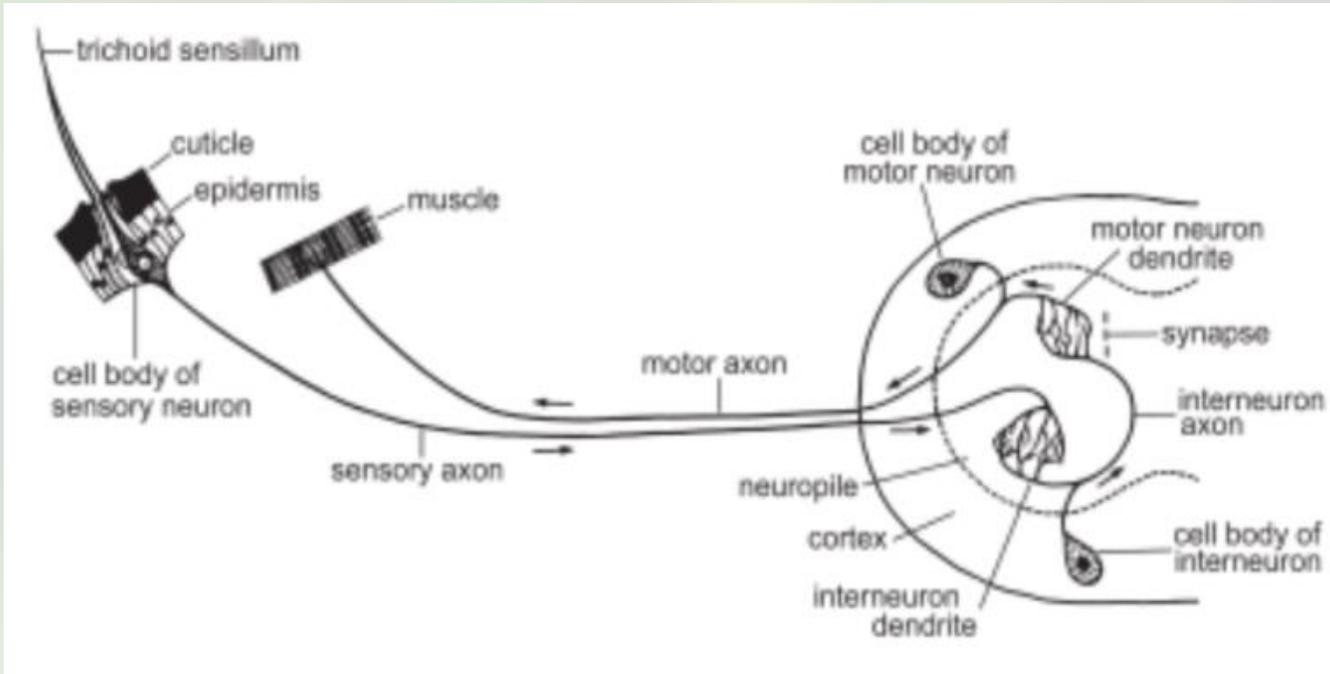
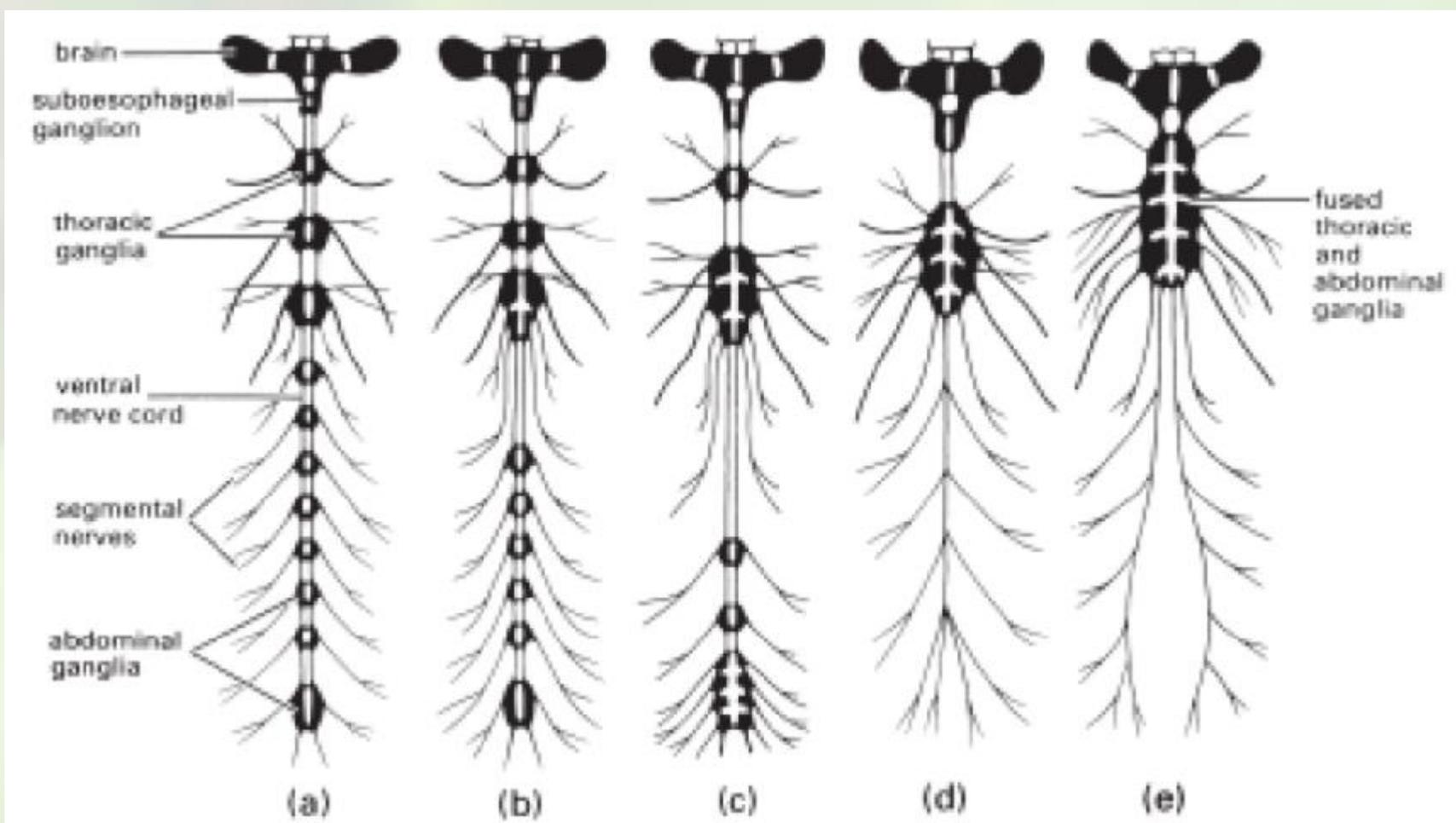


Diagram mekanisme refleksi sederhana dari seekor serangga → Tanda panah menunjukkan jalur impuls saraf di sepanjang serabut saraf (akson dan dendrit)

3.2 SISTEM SARAF DAN KOORDINASI

- ❑ Sistem saraf kompleks serangga mengintegrasikan beragam informasi sensorik eksternal dan fisiologis internal dan menghasilkan beberapa perilaku.
- ❑ Sel saraf/neuron terdiri dari badan sel dengan dua proyeksi: dendrit (menerima rangsangan) dan akson (mengirimkan informasi, baik ke neuron lain atau ke organ efektor seperti otot).
- ❑ Neuron serangga melepaskan berbagai bahan kimia di sinaps untuk merangsang atau menghambat neuron. Neurotransmitter yang sangat penting termasuk asetilkolin dan katekolamin seperti dopamin.
- ❑ Neuron, paling tidak terdiri dari empat jenis:
 1. Saraf sensorik : menerima rangsangan dari lingkungan serangga dan mengirimkannya ke sistem saraf pusat
 2. Interneuron/neuron asosiasi: menerima informasi dari dan mengirimkannya ke neuron lain
 3. Saraf motorik: menerima informasi dari interneuron dan mengirimkannya ke otot
 4. Sel neuroendokrin

- ❑ Badan sel interneuron dan neuron motorik dikumpulkan dengan serabut yang menghubungkan semua jenis sel saraf untuk membentuk pusat saraf yang disebut ganglia.
- ❑ Sistem saraf pusat (SSP) adalah divisi utama dari sistem saraf dan terdiri dari serangkaian ganglia bergabung dengan kabel saraf longitudinal berpasangan yang disebut penghubung.
- ❑ Terdapat sepasang ganglia per segmen tubuh.
- ❑ Biasanya dua ganglia dari setiap segmen toraks dan perut menyatu menjadi satu struktur.
- ❑ Ganglia dari semua segmen kepala bergabung membentuk dua pusat ganglion (otak dan ganglion suboesophageal)
- ❑ Rantai ganglia dada dan perut yang terdapat di dasar rongga tubuh disebut korda saraf ventral.
- ❑ Otak (pusat ganglion dorsal kepala), terdiri dari tiga pasang ganglia yang menyatu:
 1. Protocerebrum: berhubungan dengan mata dan dengan demikian membawa lobus optikus.
 2. Deutocerebrum: menginervasi antena
 3. Tritocerebrum: berkaitan dengan penanganan sinyal yang datang dari tubuh
- ❑ Ganglia yang menyatu dari tiga segmen bantalan bagian mulut membentuk ganglion suboesophageal, dengan saraf yang menginervasi bagian mulut.
- ❑ Sistem saraf visceral terdiri dari tiga subsistem: stomodeal; visceral ventral; dan visceral ekor. Subsistem ini mempersarafi usus, beberapa organ endokrin, organ reproduksi, dan sistem trakea.
- ❑ Sistem saraf tepi terdiri dari semua akson neuron motorik yang menjalar ke otot dari ganglia SSP dan sistem saraf stomodeal ditambah neuron sensorik dari struktur sensorik kutikuler (organ indera) penerima rangsang mekanis, kimiawi, termal, atau visual.

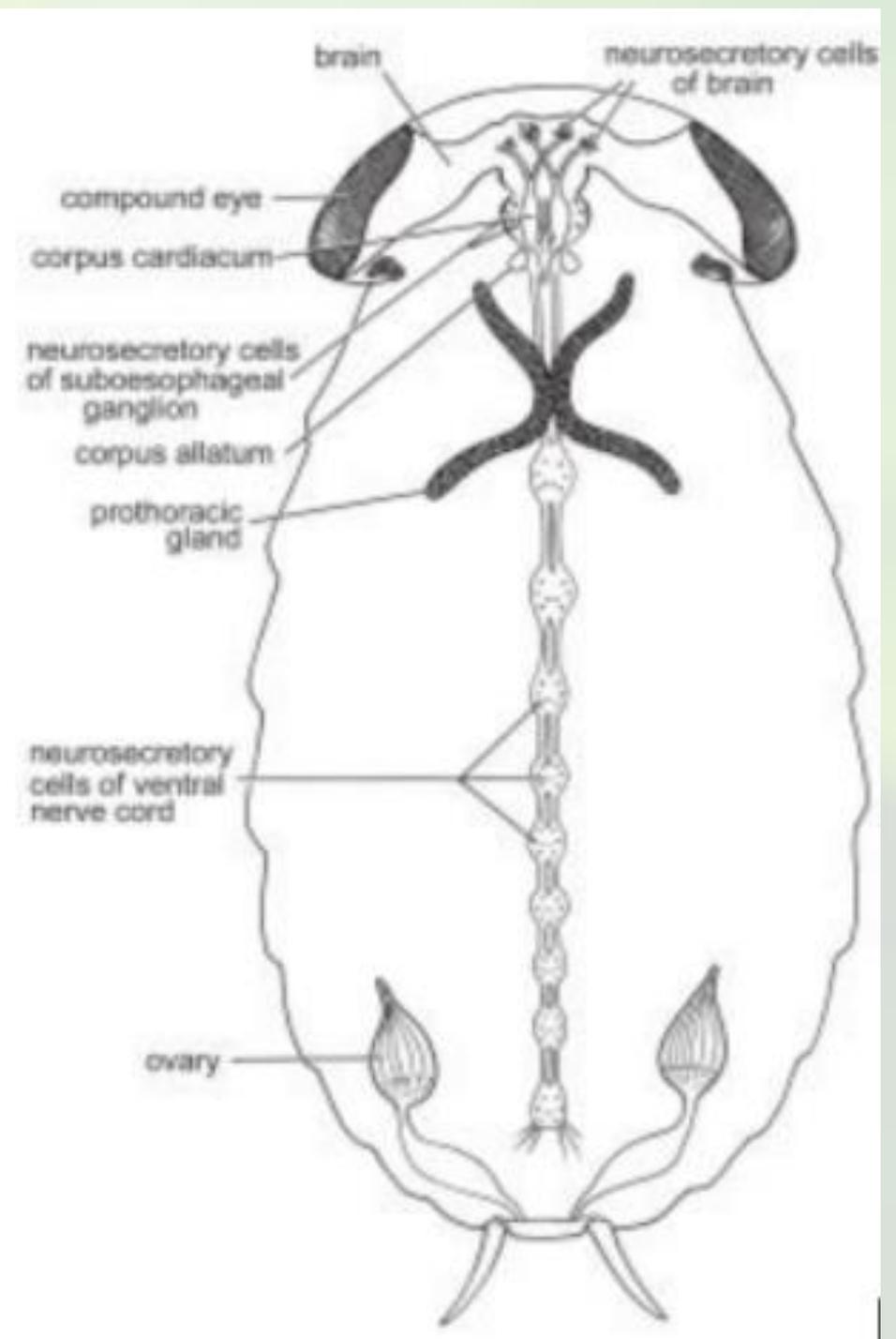


Sistem saraf pusat dari berbagai serangga menunjukkan keragaman susunan ganglia di korda saraf ventral

- Tiga toraks dan delapan abdomen terpisah ganglia, seperti pada *Dictyopterus* (Coleoptera: Lycidae) dan *Pulex* (Siphonaptera: Pulicidae)
- Tiga dada dan enam perut, seperti di *Blatta* (Blattodea: Blattidae) dan *Chironomus* (Diptera: Chironomidae)
- Dua fusi toraks dan abdomen cukup besar ganglia, seperti pada *Crabroand Eucera* (Hymenoptera: Crabronidae dan Anthophoridae)
- Sangat menyatu dengan satu toraks dan tidak ada ganglia perut, seperti di *Musca*, *Calliphora*, dan *Lucilia* (Diptera: Muscidae dan Calliphoridae)
- Fusi ekstrim tanpa pemisahan ganglion suboesophageal, seperti pada *Hydrometra* (Hemiptera: Hydrometridae) dan *Rhizotrogus* (Scarabaeidae)

3.3 SISTEM ENDOKRIN DAN FUNGSI HORMON

Secara historis, implikasi hormon dalam proses molting dan metamorphosis.



3.4 SISTEM SIRKULASI

Hemolymph

- ❑ Volumennya sekitar 20-40% dari berat badan pada larva bertubuh lunak, yang menggunakan cairan tubuh sebagai kerangka hidrostatis, tetapi kurang dari 20% berat badan pada kebanyakan nimfa dan dewasa.
- ❑ Hemolymph adalah cairan encer yang mengandung ion, molekul, dan sel. Seringkali bening dan tidak berwarna tetapi dapat berwarna kuning, hijau, atau biru dengan pigmen yang bervariasi, atau jarang, pada tahap dewasa dari beberapa lalat air dan endoparasit, merah karena adanya hemoglobin.
- ❑ Semua pertukaran kimiawi antara jaringan serangga melalui hemolymph (termasuk pengangkutan hormon, distribusi nutrisi dari usus, dan pembuangan limbah ke organ ekskresi). Hemolimf juga berfungsi sebagai cadangan air, lipid, gula, asam amino, asam organik, dan senyawa lainnya.
- ❑ Sel darah/hemosit, terdiri dari beberapa jenis (terutama plasmatis, granulosit, dan prohemosit) dan semuanya adalah nukleat. Fungsi hemosit:
 1. fagositosis - menelan partikel dan zat kecil seperti metabolit
 2. enkapsulasi parasit dan bahan asing besar lainnya
 3. koagulasi hemolymph
 4. penyimpanan dan distribusi nutrisi

3.4.2 Sirkulasi

- ❑ Sirkulasi pada serangga sebagian besar dipertahankan oleh sistem pompa otot yang menggerakkan hemolimf melalui kompartemen yang dipisahkan oleh septa atau membrane fibromuskular.
- ❑ Pompa utama adalah pembuluh dorsal berdenyut. Bagian anterior dapat disebut aorta dan bagian posterior dapat disebut jantung, tetapi kedua istilah tersebut diterapkan secara tidak konsisten. Pembuluh dorsal adalah tabung sederhana, umumnya terdiri dari satu lapisan sel miokard dan dengan bukaan tersegmentasi, atau ostia.
- ❑ Gelombang kontraksi, biasanya dimulai di ujung posterior tubuh memompa hemolimf ke depan di pembuluh dorsal dan keluar melalui aorta ke kepala. Lanjut, pelengkap kepala dan dada disuplai dengan hemolimf saat bersirkulasi posteroventral dan akhirnya kembali ke sinus perikardial dan pembuluh dorsal.

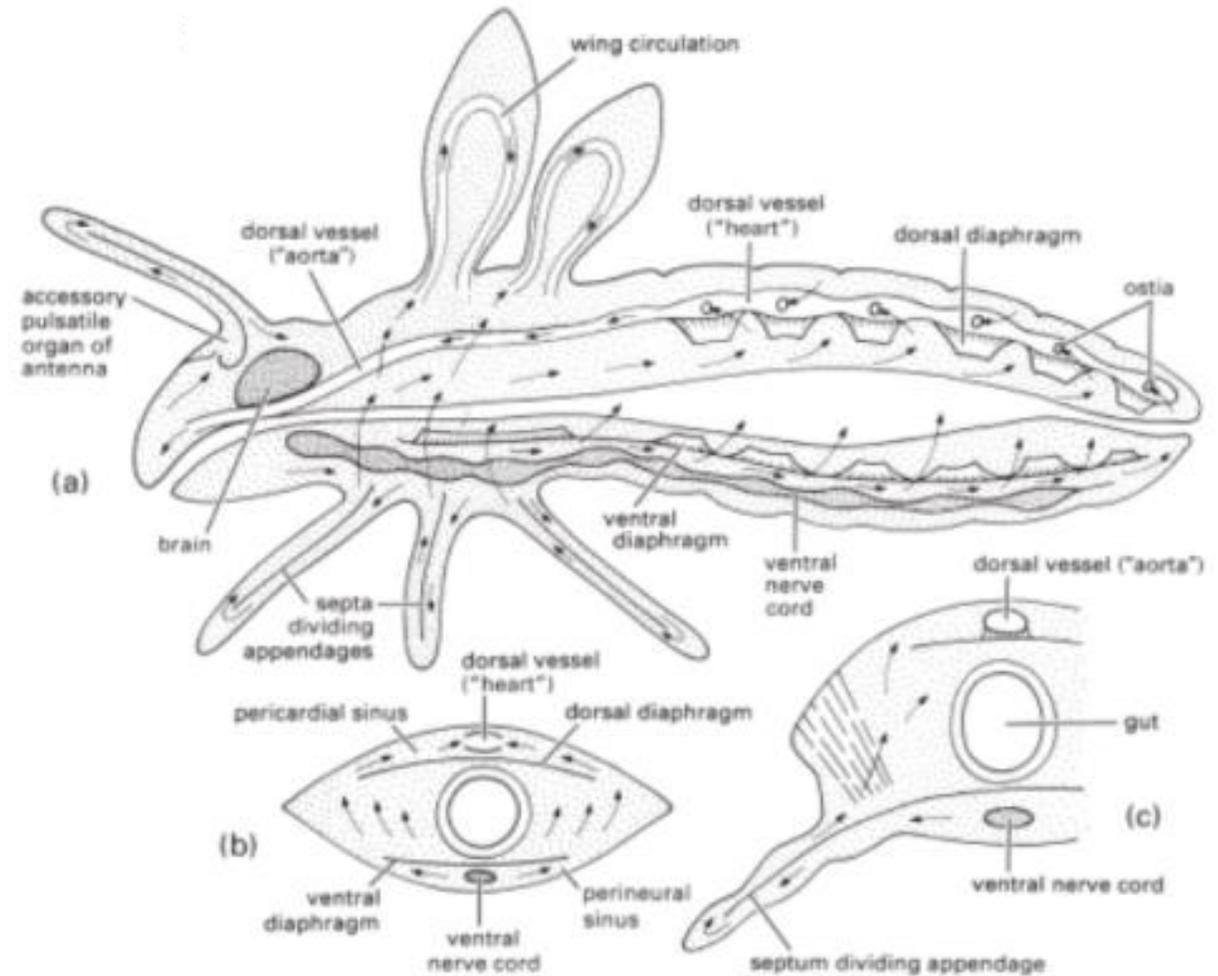


Diagram skematis dari sistem peredaran darah:

(a) penampang membujur melalui tubuh

(b) bagian perut melintang

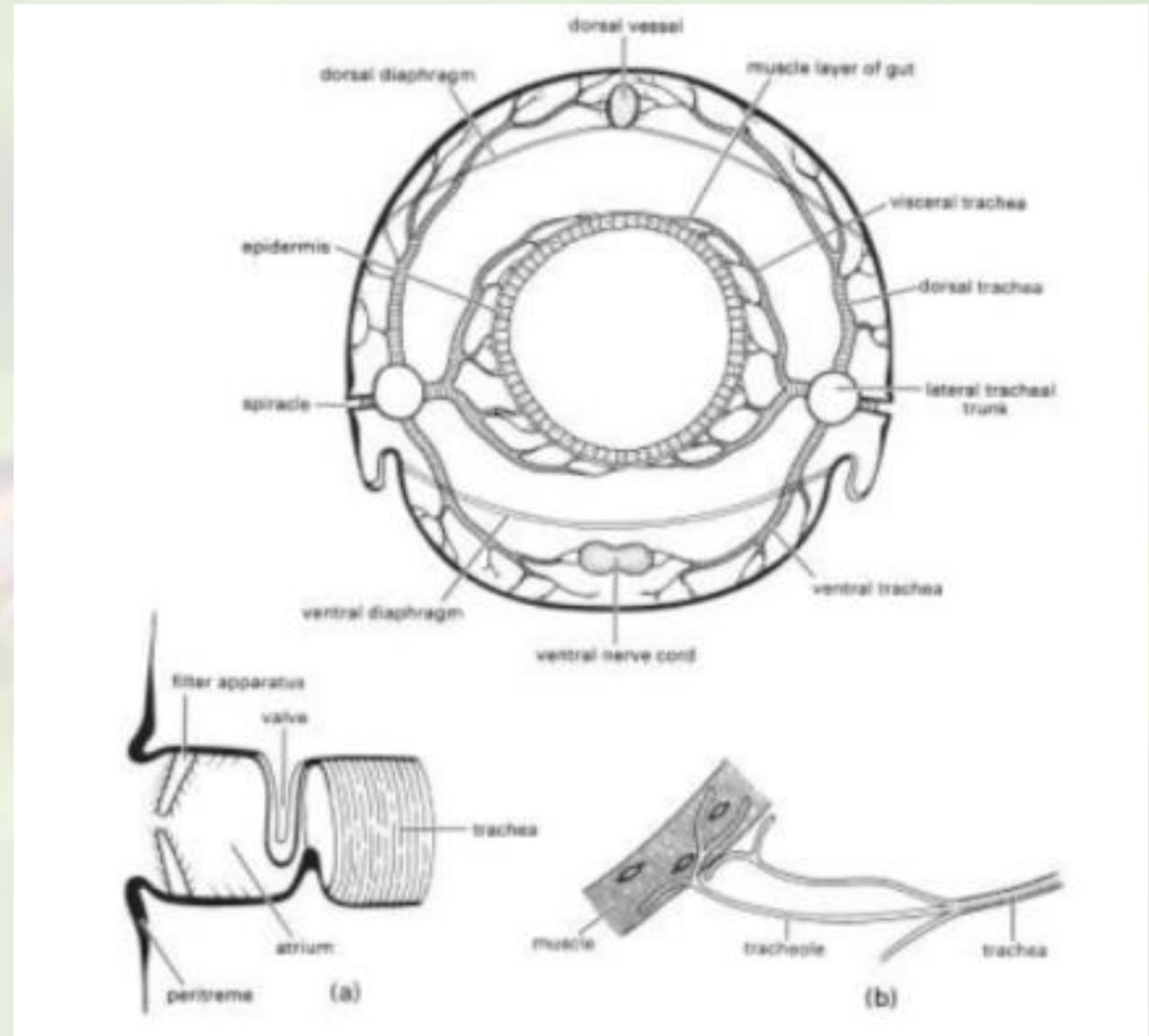
(c) bagian melintang dari dada

Keterangan: panah menunjukkan arah aliran hemolimf

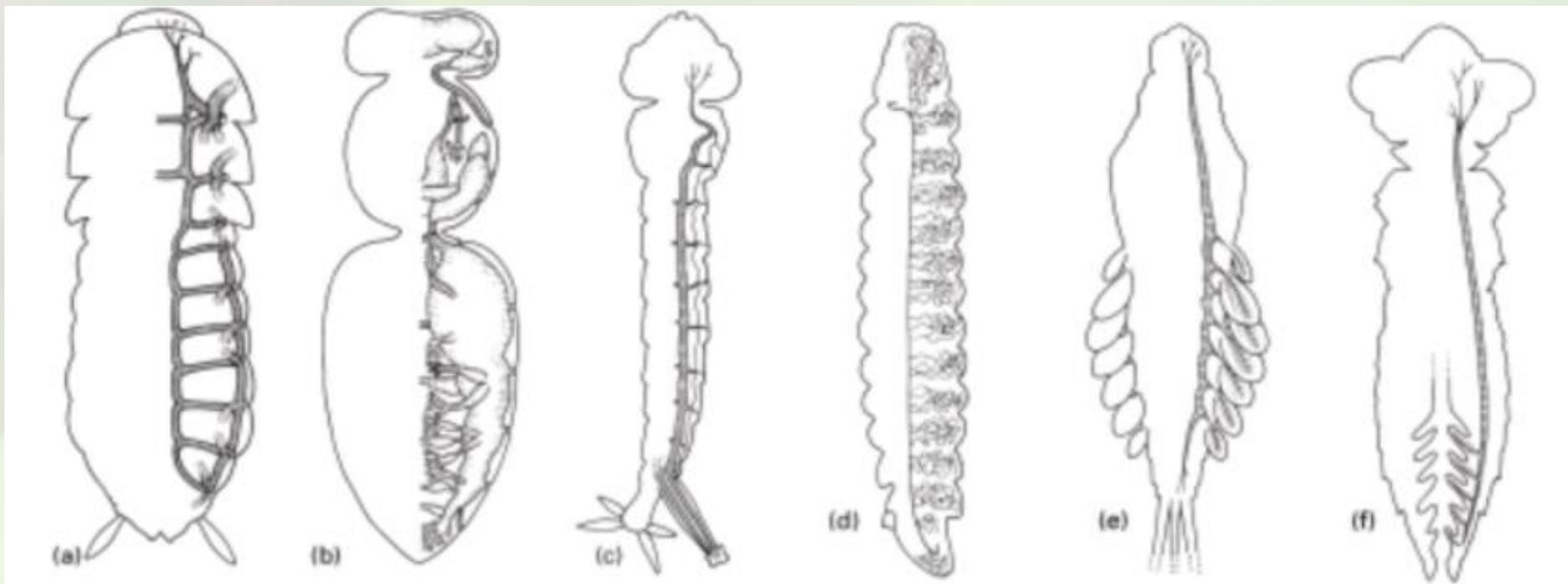
3.5 SISTEM PERNAPASAN

SISTEM TRAKEA DAN PERTUKARAN GAS

- ❑ Pada hampir semua serangga, pertukaran gas terjadi melalui trakea berisi udara internal.
- ❑ Tabung-tabung ini bercabang ke seluruh tubuh. Cabang menghubungkan semua organ dan jaringan internal
- ❑ Udara biasanya memasuki trakea melalui bukaan spiral
- ❑ Trakea adalah invaginasi epidermis, dengan demikian lapisannya bersambung dengan kutikula tubuh.
- ❑ Oksigen memasuki spirakel, melewati trakea ke trakeol menuju target sel.



*Sistem trakea bagian melintang tubuh (sepasang spirakel perut)
(a) spiral atriate dengan katup penutup di ujung dalam atrium
(b) tracheoles berjalan ke serat otot*



Beberapa variasi dasar pada sistem trakea serangga terbuka (a– c) dan tertutup (d – f).

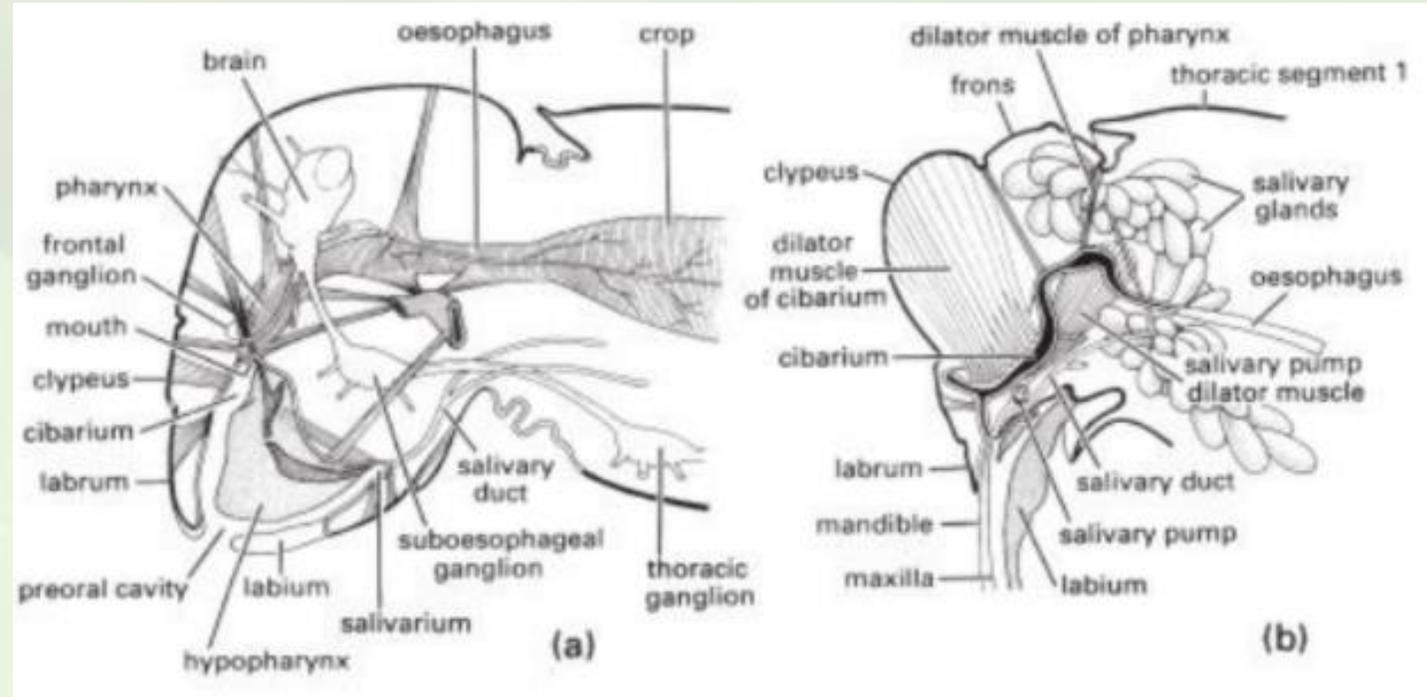
- a) Trakea sederhana dengan spirakel katup, ex. kecoak
- b) Trakea dengan kantung udara berventilasi mekanis, ex. lebah madu
- c) Sistem metapneustic dengan hanya terminalspirakel berfungsi, ex. jentik-jentik nyamuk
- d) Sistem trakea tertutup sepenuhnya dengan pertukaran gas kulit, ex. kebanyakan larva endoparasit
- e) Sistem trakea tertutup dengan insang trakea perut, ex. nimfa lalat capung
- f) Sistem trakea tertutup dengan insang trakea rektal, ex. nimfa capung

Keterangan:

Sistem trakea tertutup: Tidak ada spirakel dan trakea membelah secara perifer untuk membentuk jaringan, menutupi permukaan tubuh (memungkinkan pertukaran gas di kulit)

3.6 SISTEM PENCERNAAN

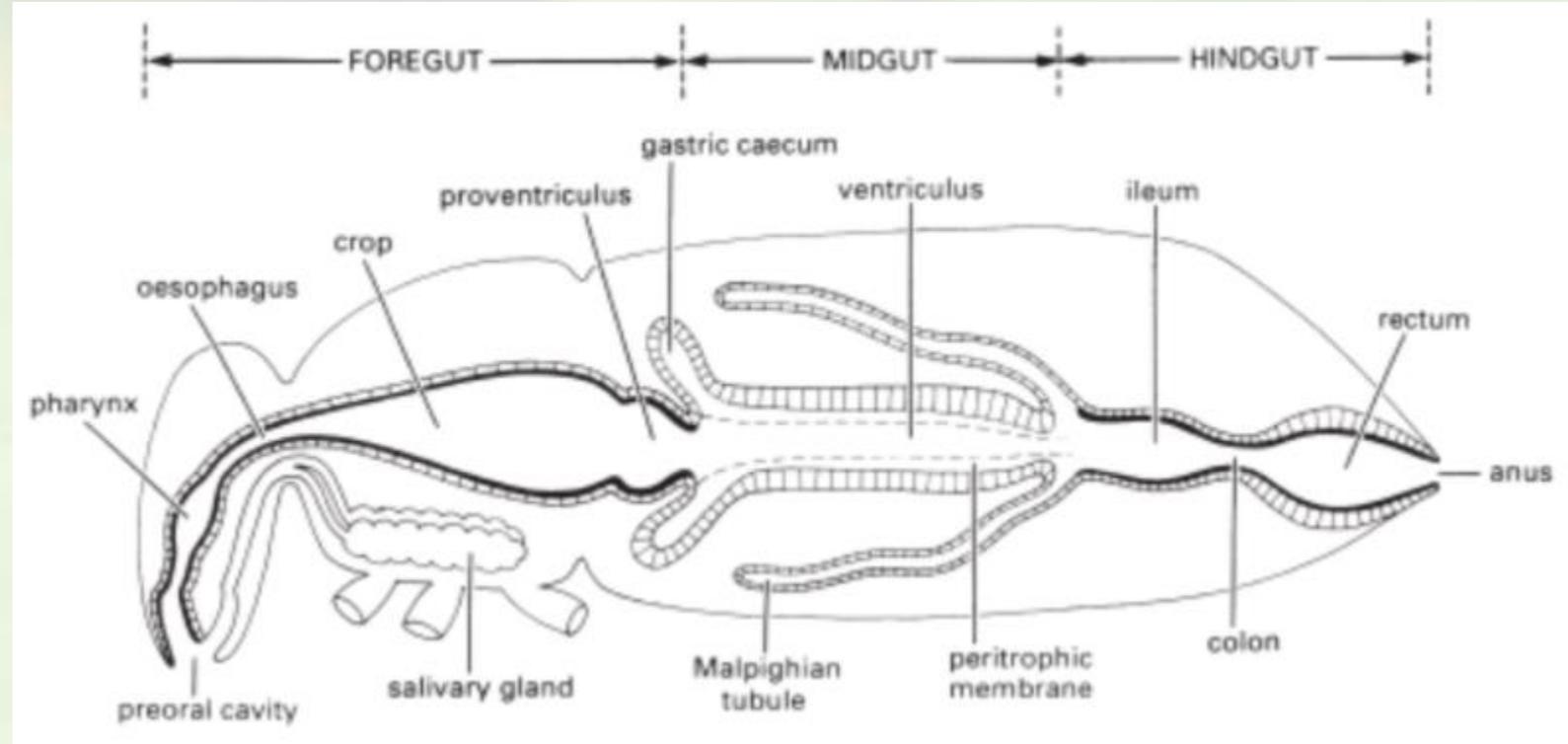
- ❑ Makanan serangga berbeda-beda, misalnya getah xilem (nimfa kutu dan jangkrik), darah vertebrata (kutu busuk dan nyamuk betina), kayu kering (beberapa rayap), bakteri dan alga (lalat), dan jaringan internal serangga lain (larva tawon endoparasit).
- ❑ Beragam jenis bagian mulut berkorelasi dengan makanan serangga yang berbeda-beda, tetapi struktur dan fungsi usus juga mencerminkan sifat mekanik dan nutrient yang dimakan.
- ❑ Spesialisasi makanan utama dapat diidentifikasi tergantung pada apakah makanan tersebut padat atau cair atau dari tumbuhan atau hewan.



*Morfologi foregut preoral dan anterior pada:
(a) serangga ortopteroid
(b) jangkrik pemakan xilem*

3.6.1 Struktur Usus

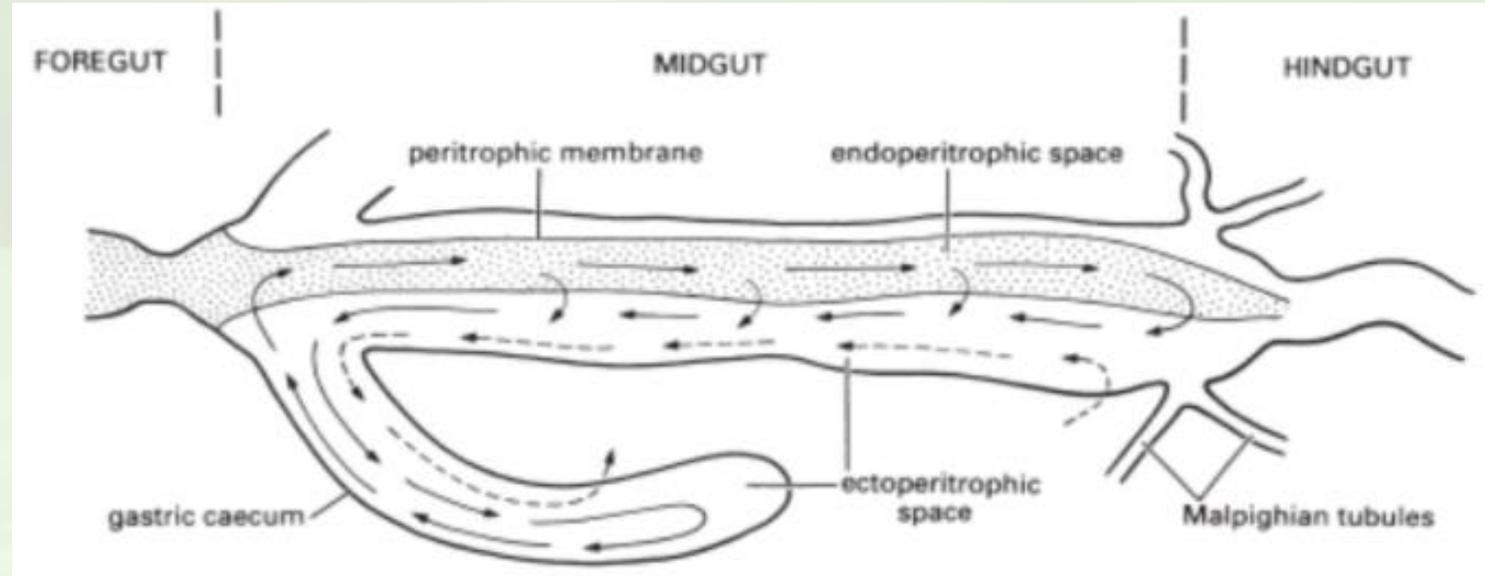
- ❑ Morfologi dan fisiologi usus berhubungan dengan perbedaan pola makan.
- ❑ Serangga yang memakan makanan padat biasanya memiliki usus yang lebar, lurus, pendek dengan otot yang kuat dan perlindungan yang jelas dari abrasi (terutama di bagian tengah usus, yang tidak memiliki lapisan kutikula).
- ❑ Sebaliknya, serangga yang memakan darah, getah, atau nektar biasanya memiliki usus yang panjang, sempit, dan berbelit-belit untuk memungkinkan kontak maksimal dengan makanan cair.



Saluran pencernaan serangga → Lapisan kutikuler pada foregut dan hindgut ditandai dengan garis hitam yang lebih tebal

Ada tiga wilayah utama usus serangga:

1. Bagian depan berkaitan dengan konsumsi, penyimpanan, penggilingan, dan pengangkutan makanan ke wilayah usus tengah (mesenteron).
2. Usus tengah, di sini enzim pencernaan diproduksi dan disekresikan dan penyerapan produk pencernaan terjadi. Bahan yang tersisa di lumen usus bersama dengan urin dari tubulus Malpighian kemudian masuk ke usus belakang (proctodeum).
3. Usus belakang, terjadi penyerapan air, garam, dan molekul berharga lainnya terjadi sebelum pembuangan feses melalui anus.

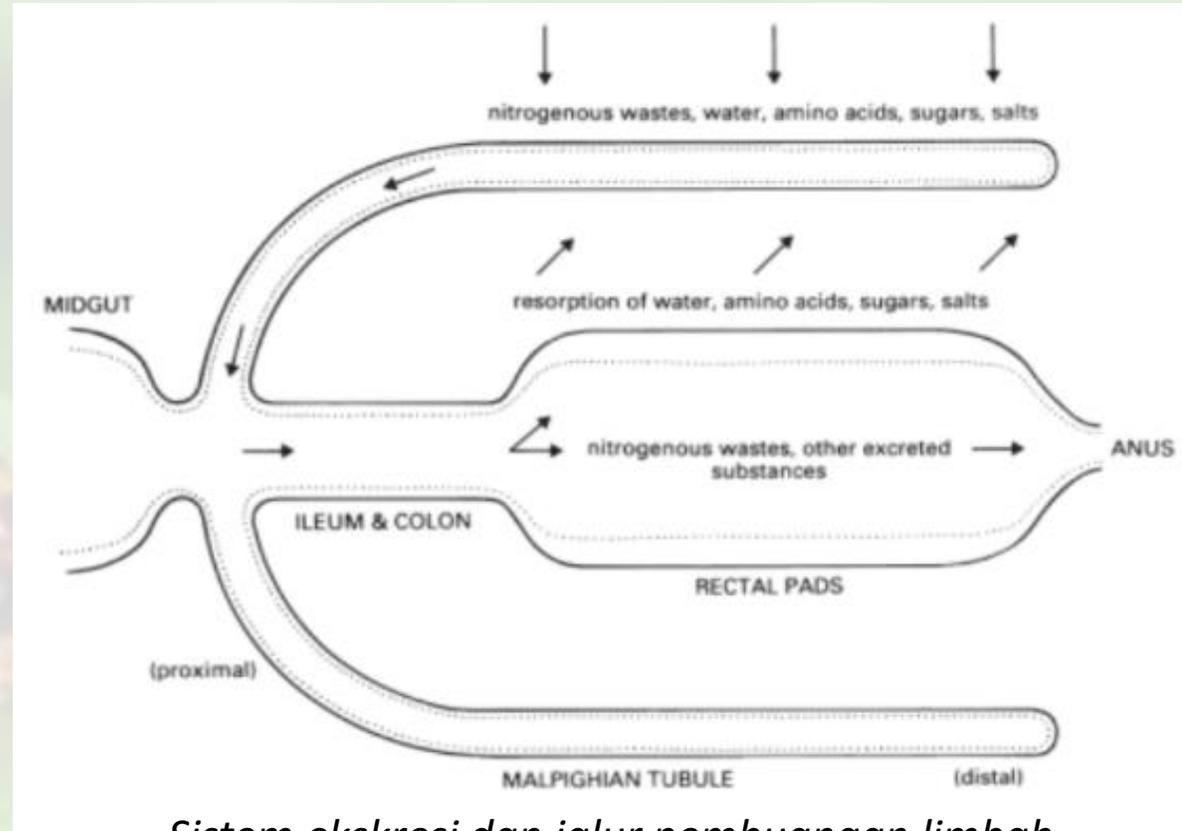


Usus tengah

Sebagian besar pencernaan terjadi di usus tengah, di mana sel-sel epitel memproduksi dan mengeluarkan enzim pencernaan dan juga menyerap mikronutrien hasil pemecahan makanan. Makanan serangga terutama terdiri dari polimer karbohidrat dan protein, yang dicerna dengan cara memecah molekul besar ini secara enzimatik menjadi monomer kecil. pH midgut biasanya adalah 6–7,5, meskipun nilai yang sangat basa (pH 9–12) terjadi pada banyak serangga pemakan tumbuhan pemakan hemiselulosa dari dinding sel tumbuhan. pH tinggi dapat mencegah atau mengurangi pengikatan tanin terhadap protein, sehingga meningkatkan daya cerna.

3.7 SISTEM EKSKRESI

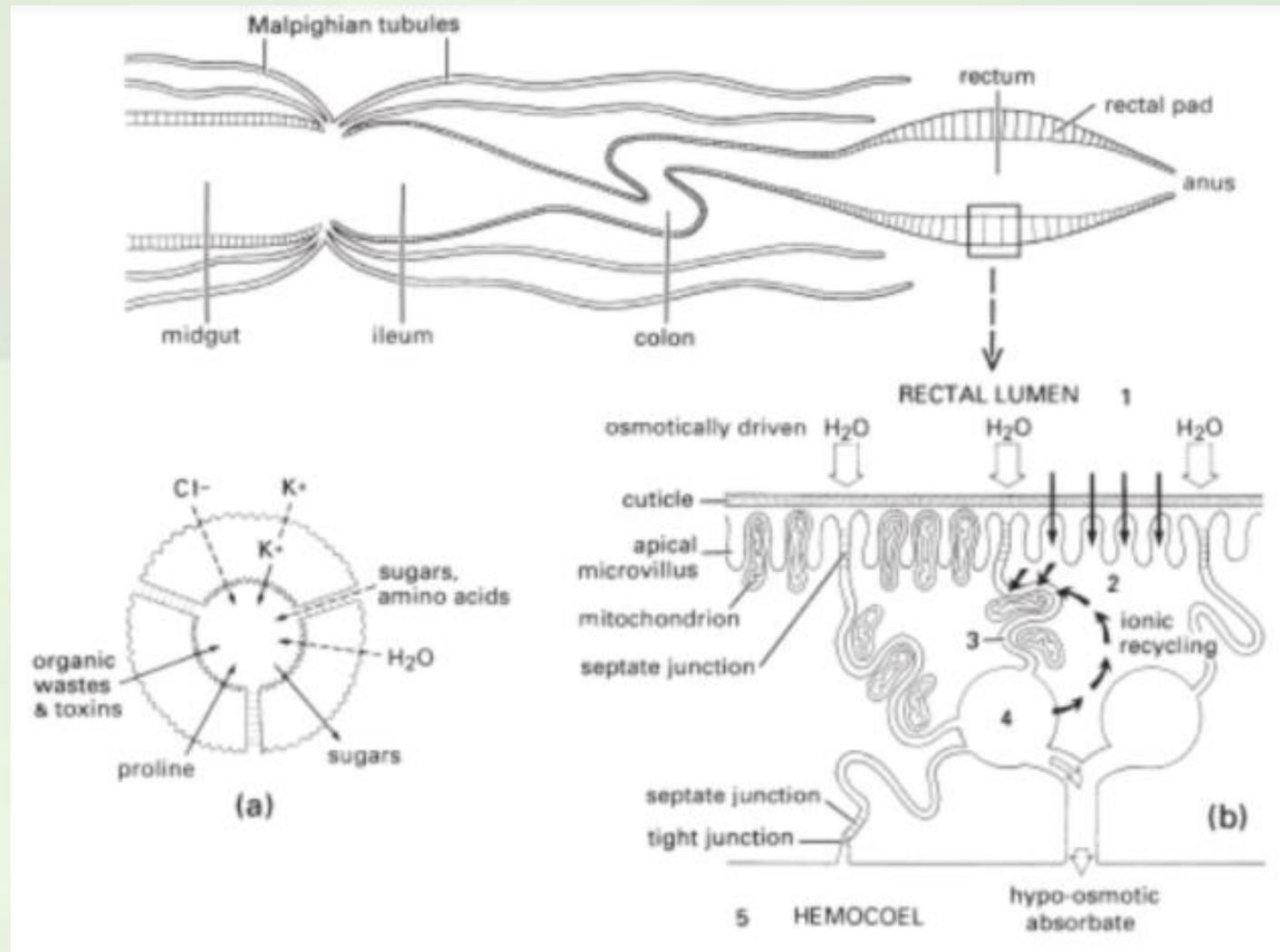
- ❑ Alat ekskresi pada serangga dinamakan pembuluh malpighi yang merupakan pembuluh-pembuluh halus berwarna putih kekuningan yang terletak diantara usus tengah dan usus belakang.
- ❑ Nitrogen merupakan zat sisa metabolisme yang Sebagian digunakan kembali dalam pembuatan zat kitin. Nitrogen yang sebagian lagi dibuang dalam bentuk asam urat.
- ❑ Sisa metabolisme: Asam urat
- ❑ Ekskresi → pembuangan produk limbah metabolisme dari tubuh terutama senyawa nitrogen, sangat penting. Serangga air mengeluarkan limbah encer dari anusya langsung ke dalam air. Serangga darat umumnya harus menghemat air sehingga membutuhkan pembuangan limbah yang efisien dalam bentuk terkonsentrasi atau bahkan kering untuk menghindari potensi efek racun dari nitrogen.



Sistem ekskresi dan jalur pembuangan limbah

□ Banyak serangga jenis pemangsa, pemakan darah, dan pemakan tumbuhan mengkonsumsi nitrogen melebihi kebutuhannya. Kebanyakan serangga mengeluarkan limbah metabolisme nitrogen pada beberapa atau semua tahap kehidupan mereka.

□ Banyak serangga air dan beberapa pemakan daging lalat mengeluarkan amonia, sedangkan serangga darat umumnya limbah sisa metabolisme nitrogen diubah menjadi asam urat. Amonia relatif beracun dan biasanya harus diekskresikan sebagai larutan encer, atau diuapkan dengan cepat dari kutikula atau kotoran (seperti pada kecoak).



Sistem ekskresi belalang

THANK YOU

Tugas :

- Tugas kelompok : kelompok 2 mempersiapkan diri dengan baik untuk presentasi sistem reproduksi serangga
- Tugas Proyek : Konsultasi 1 (rumusan masalah, topik/judul artikel ilmiah)