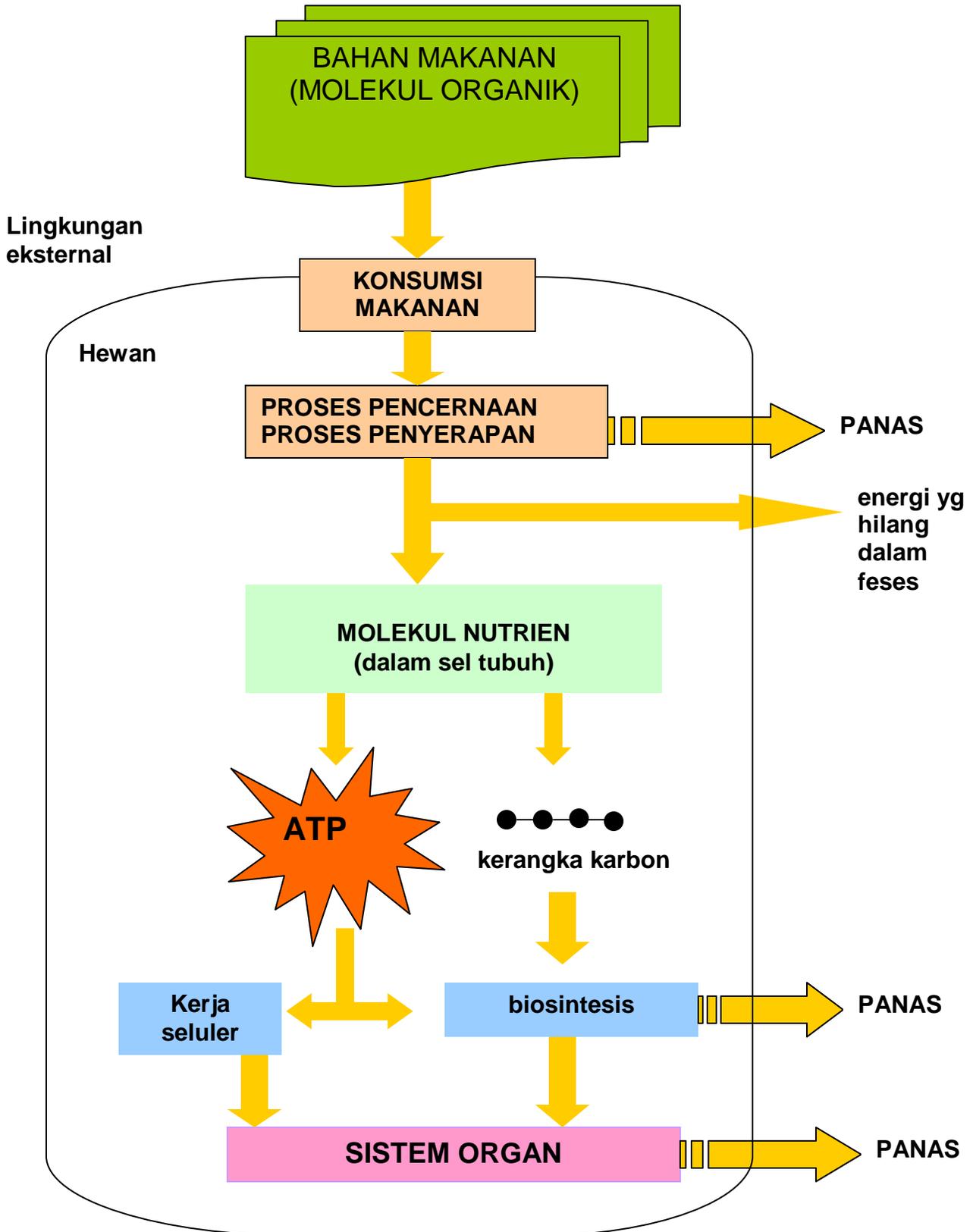


# PRINSIP BIOENERGETIKA PADA HEWAN



## SISTEM ORGAN

SISTEM ORGAN	KOMPONEN UTAMA	FUNGSI UTAMA
Pencernaan	Mulut, farings, esophagus, lambung, usus, hati, pankreas, anus	Pengolahan makanan
Sirkulasi	Jantung, pembuluh darah, darah	Distribusi internal
Respirasi	Paru-paru, trakea, pipa pernafasan lain	Pertukaran gas
Kekebalan dan limfatik	Sumsum tulang, nodus limfa, timus, limpa, sel darah putih	Pertahanan tubuh (perlawanan terhadap infeksi dan kanker)
Ekskresi	Ginjal ureter, kandung kemih, uretra	Pembuangan sisa metabolisme. Pengaturan keseimbangan osmotik darah.
Endokrin	Hipofisis, tiroid, pancreas, kelenjar hormon lainnya	Koordinasi aktivitas tubuh (pencernaan, metabolisme dll.)
Reproduksi	Ovarium, testes, dan organ terkait	Reproduksi
Saraf	Otak, sumsum tulang belakang, saraf, organ sensoris	Koordinasi aktivitas tubuh
Integumen	Kulit dan asesorisnya	Perlindungan terhadap cedera mekanis, infeksi dan kekeringan
Kerangka	Tulang sejati, tendon, ligament, tulang rawan	Penyokong tubuh, perlindungan organ internal
Otot	Otot rangka	Pergerakan

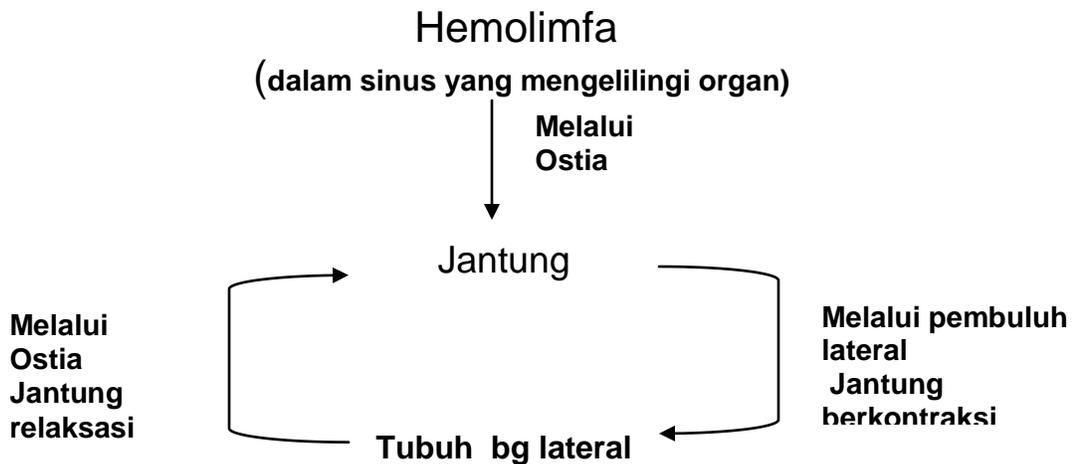
# SISTEM SIRKULASI

## A. Sistem sirkulasi pada invertebrata

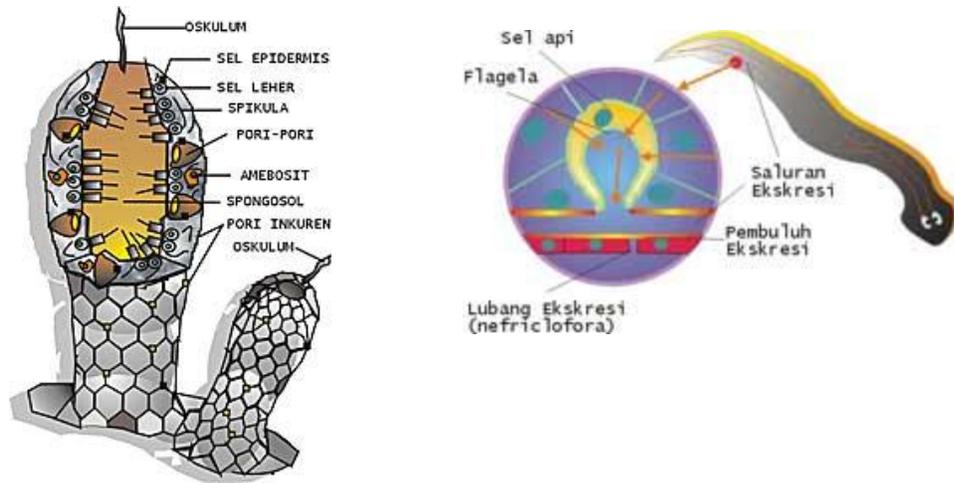
Fungsi : menghubungkan organ pertukaran gas dengan sel tubuh.

Mekanisme :

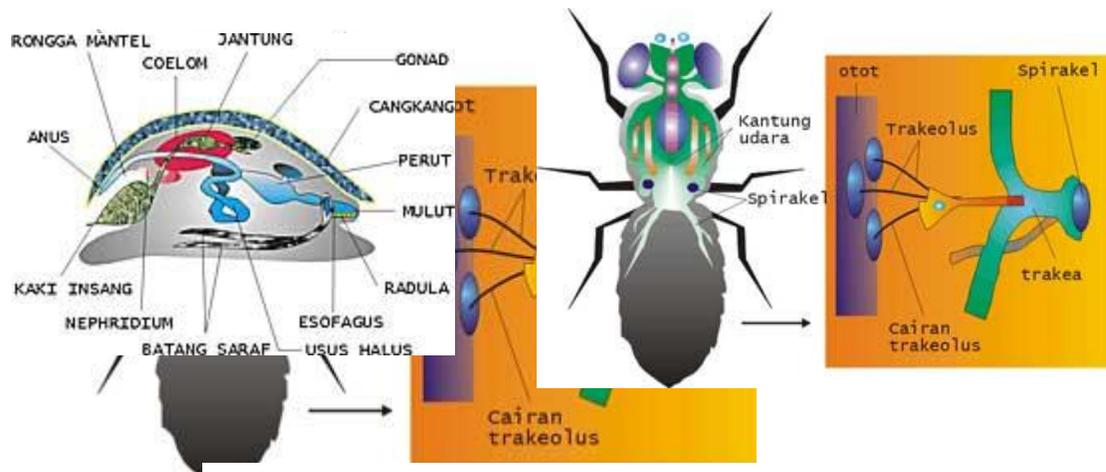
1. Secara difusi: Pada hewan bersel satu
2. Rongga gastrovaskuler
  - Pada Hydra dan Cnidaria: berfungsi ganda yaitu untuk pencernaan dan transport zat-zat. Cairan dalam rongga terhubung dengan air di luar tubuh melalui pembukaan tunggal. Pencernaan juga dimulai dalam rongga tersebut.
  - Planaria: rongga gastrovaskuler bercabang-cabang ke seluruh tubuh
3. Sistem sirkulasi terbuka: tidak ada perbedaan antara darah dan cairan interstitial → cairan hemolimfa. Pertukaran zat kimiawi terjadi antara hemolimfa dan sel-sel tubuh.



Contoh : pada phylum arthropoda (serangga, dan sebagian besar moluska)

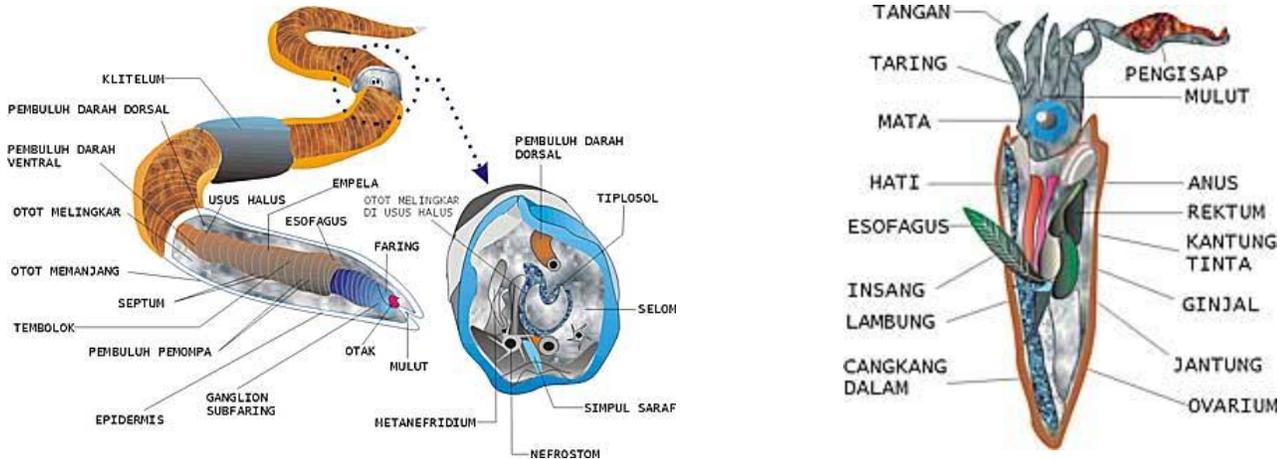


**Gambar 1. Rongga gastrovaskuler**



**Gambar 2. Sistem sirkulasi terbuka**

4. Sistem sirkulasi tertutup: Darah hanya terdapat di dalam pembuluh dan terpisah dari cairan interstisial. Jantung memompa darah ke dalam pembuluh besar yang bercabang menjadi pembuluh-pembuluh kecil yang mengalir melalui organ-organ. Dalam system ini, bahan-bahan dipertukarkan antara darah dan cairan interstisial yang menggenangi sel-sel  
 Contoh : cacing tanah, cumi-cumi, gurita dan vertebrata



**Gambar 3. Sistem Sirkulasi tertutup pada vertebrata**

## B. Sistem Sirkulasi pada Vertebrata

Meliputi komponen sistem kardiovaskuler

Jantung terdiri atas:

1. Atrium (atria): menerima darah kembali ke jantung
2. ventrikel: memompa darah keluar dari jantung
3. arteri – arteriola
4. vena – venula

Sistem kardiovaskuler pada vertebrata bervariasi. Adaptasinya tergantung pada habitat (akuatik atau terrestrial)

### 1. Ikan

Jantung beruang dua (1 atrium dan 1 ventrikel)

Darah dipompa dari ventrikel → kapiler insang (pengambilan oksigen dan pembebasan karbondioksida melalui kapiler)

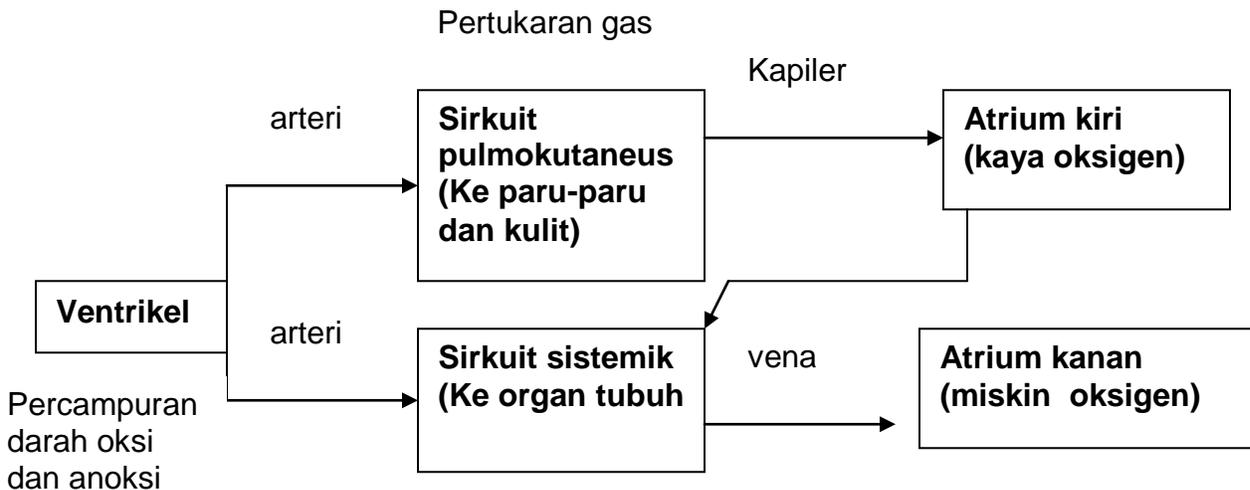
→ Kapiler-kapiler sistemik → vena → bulbus arteriosus

→ Atrium

## 2. Amphibia

Jantung beruang tiga (dua atria dan satu ventrikel)

Sirkulasi ganda



## 3. Reptilia

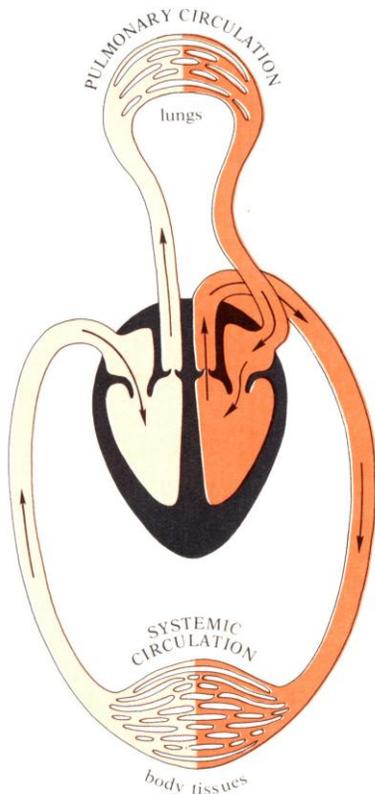


Pada reptilia percampuran darah oksigen dan anoksigen sudah berkurang. Meskipun jantung reptilia beruang tiga, namun ventrikel tunggal masih terbagi secara parsial dan mempunyai sistem sirkulasi ganda yaitu sirkuit sistemik dan sirkuit pulmoner yang mengalirkan darah dari jantung ke jaringan pertukaran gas di dalam paru-paru dan kembali ke jantung .

Pada crocodilia ventrikel telah terbagi secara sempurna menjadi bilik kiri dan bilik kanan, namun menyisakan satu lubang yaitu '*foramen pannizae*'

#### 4. Burung dan mamalia

- Jantung beruang 4: t.a. 2 atrium dan 2 ventrikel, dinding ventrikel lebih tebal dp dinding atrium
- Terdapat sirkuit pulmoner dan sirkuit sistemik
- Tidak ada percampuran darah oksidasi dan anoksida
- Merupakan hewan endotermik : menggunakan panas yang dibebaskan dari metabolisme untuk menghangatkan tubuh.
- Burung dan mamalia diturunkan dari reptil dan jantung beruang empat berkembang secara bebas dan merupakan contoh evolusi konvergen



Gb 4. Jantung dan pembuluh darah pada manusia

#### Pemeliharaan denyut irama jantung

Sel otot jantung pada vertebrata bekerja secara taksadar, artinya dapat berkontraksi tanpa sinyal dari sistem saraf

Nodus sinoatrium (nodus SA) yang berada di daerah jantung mempertahankan irama pemompaan jantung dengan cara menentukan laju kontraksi semua otot jantung. Nodus SA terletak pada dinding atrium kanan dekat titik di mana vena cava superior memasuki jantung.

Nodus SA disebut pula "pacu jantung"

Nodus SA membangkitkan impuls listrik



Impuls menyebar melalui dinding atria lalu sel otot jantung berkontraksi serentak



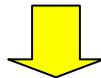
Impuls diteruskan ke jaringan otot khusus yang disebut Nodus atrioventrikular (nodus AV) yang terdapat Pada dinding atrium kanan dan ventrikel kanan (simpul relay)



Impuls ditunda 0,1 detik  
Atrium berkontraksi terlebih dulu



Serabut otot khusus akan menghantarkan sinyal ke seluruh dinding ventrikel



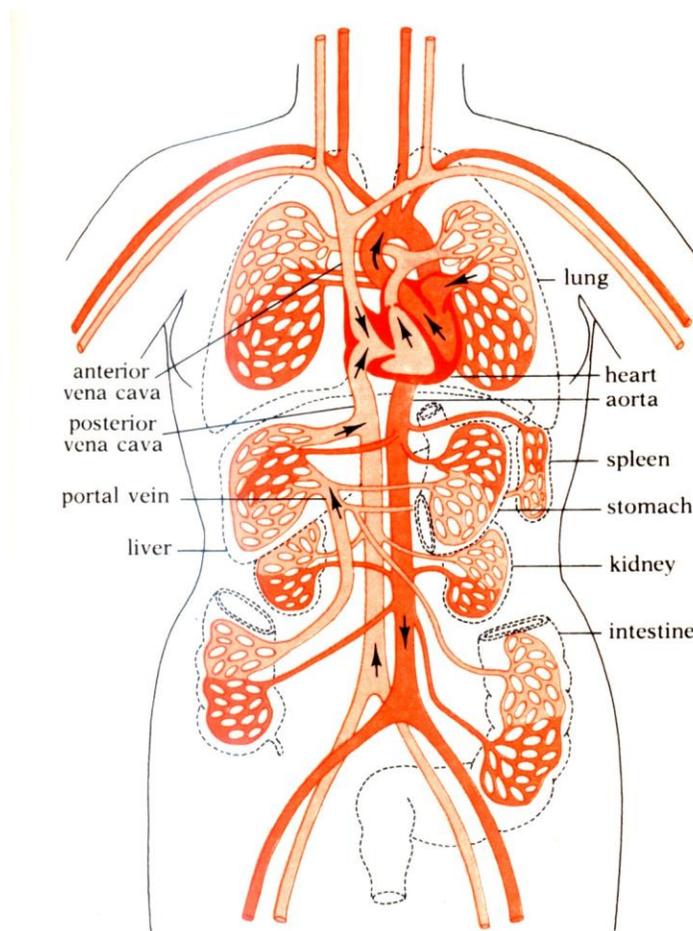
Ventrikel berkontraksi  
(peristiwa ini dapat direkam sebagai electrocardiogram/ECG)

## BAGAIMANA NODUS SA (PACU JANTUNG) BEKERJA?

Nodus SA menentukan tempo untuk keseluruhan denyut jantung. Kerja nodus SA dipengaruhi oleh:

1. Dua kelompok syaraf yaitu kelompok syaraf yang mempercepat pacu jantung dan kelompok yang memperlambat kerjanya.
2. Kerja Hormon misalnya hormon epinefrin dari kelenjar adrenal yang disebut hormon "*fight or flight*", yang meningkatkan denyut jantung

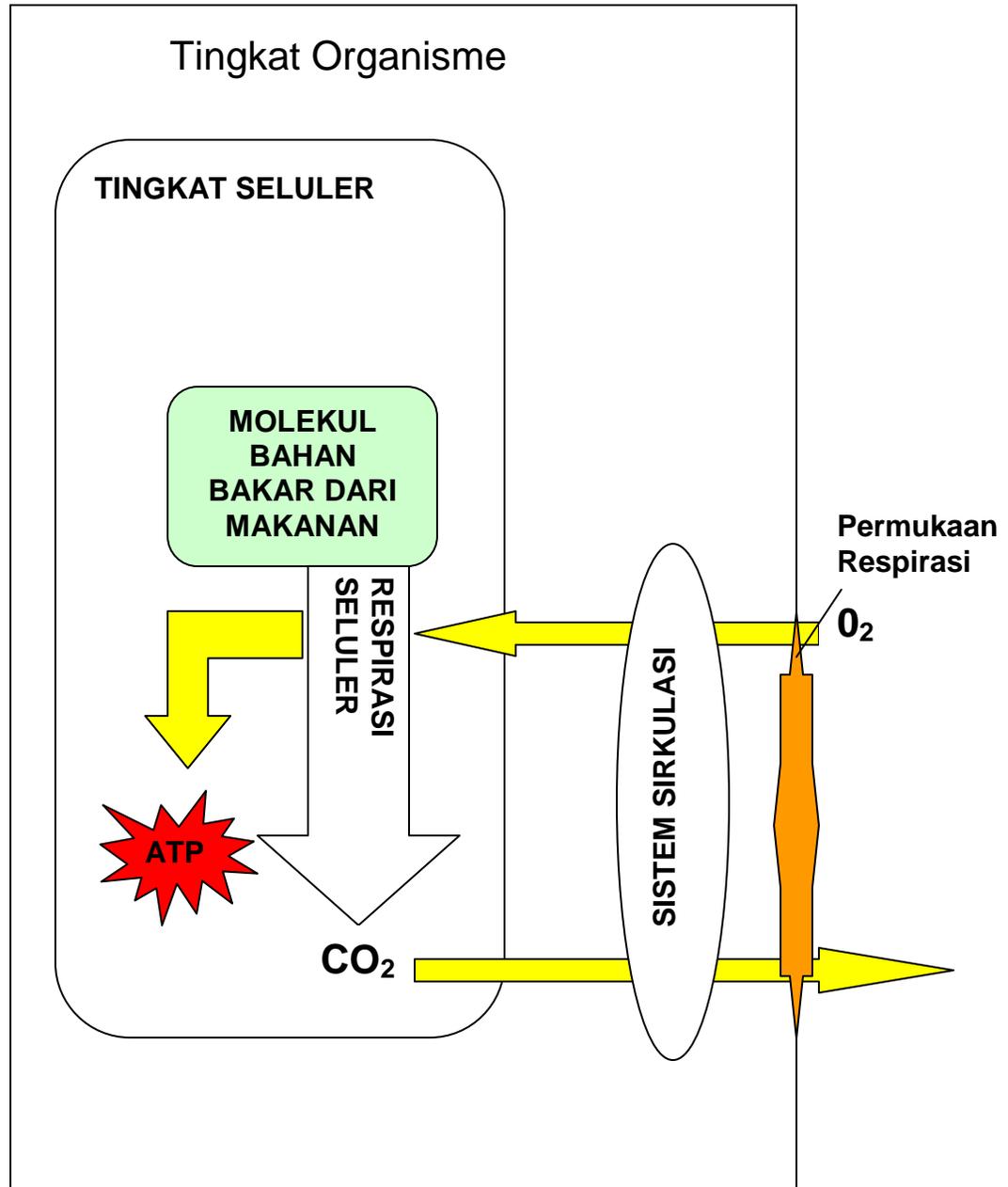
3. Suhu tubuh. Setiap kenaikan suhu  $1^{\circ}\text{C}$  akan meningkatkan denyut jantung sekitar 10 denyut per menit. Denyut jantung akan meningkat dalam keadaan demam
4. Aktivitas fisik, misalnya olahraga. Peningkatan ini merupakan suatu cara adaptasi yang membuat sistem sirkulasi darah dapat menyediakan tambahan oksigen untuk memenuhi kebutuhan tubuh pada waktu olahraga atau bekerja keras.



Gambar 5. Sistem peredaran darah pada manusia

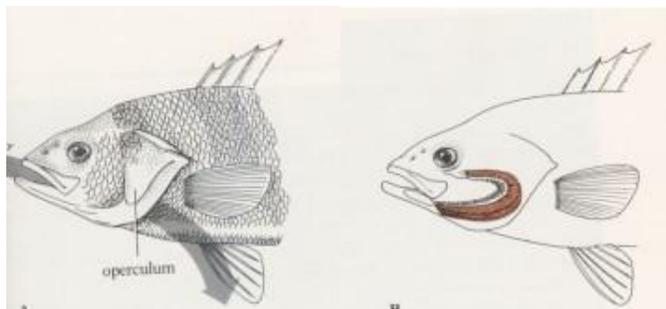
# PERTUKARAN GAS PADA HEWAN DALAM BIOENERGETIKA

Medium Respirasi (udara atau air)



## INSANG (adaptasi terhadap kehidupan di air)

- ❖ Insang merupakan bentuk pelipatan ke arah luar permukaan tubuh. Total luas permukaannya seringkali lebih besar daripada besar tubuhnya.
- ❖ Konsentrasi  $O_2$  di air jauh lebih rendah dari pada di udara. Semakin hangat dan semakin asin air maka semakin sedikit oksigen terlarut. Oleh karena itu diperlukan 'ventilasi' untuk meningkatkan aliran medium respirasi
- ❖ Udang dan lobster mempunyai anggota tubuh mirip dayung untuk mendorong arus aliran air di atas insang.
- ❖ Ikan bertulang sejati diventilasi secara kontinyu melalui air yang masuk melalui mulut. Pengaturan posisi kapiler dalam insang juga dapat meningkatkan pertukaran gas. Darah mengalir berlawanan arah dengan aliran air yang mengalir di atas insang, sehingga memungkinkan oksigen diangkut dengan proses yang efisien yang disebut proses pertukaran lawan arus. Ketika darah mengalir melalui kapiler, maka darah terisi oksigen. Secara bersamaan pula ia menghadapi air dengan konsentrasi oksigen yang lebih tinggi karena air baru saja mengalir di atas insang. Berarti di sepanjang kapiler darah terdapat suatu gradien difusi yang mendorong perpindahan oksigen dari air ke darah. Mekanisme ini sangat efisien sehingga insang dapat mengeluarkan 80% oksigen yang terlarut dalam air yang lewat di atas permukaan respirasi.

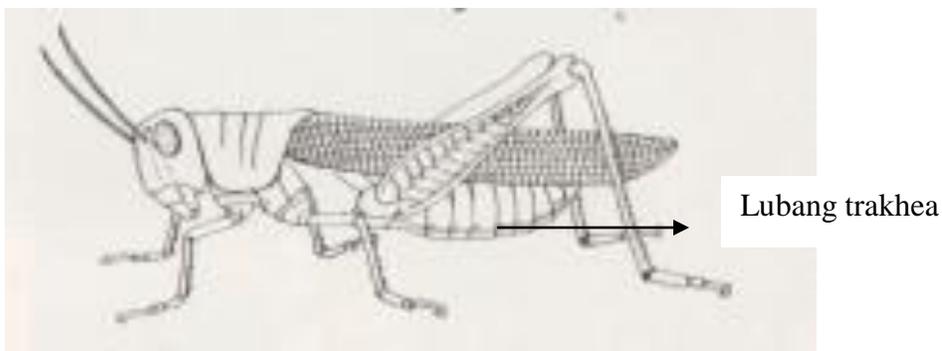


Gb.6. insang pada ikan Teleostei

## SISTEM TRAKHEA

(adaptasi respirasi pada kehidupan darat)

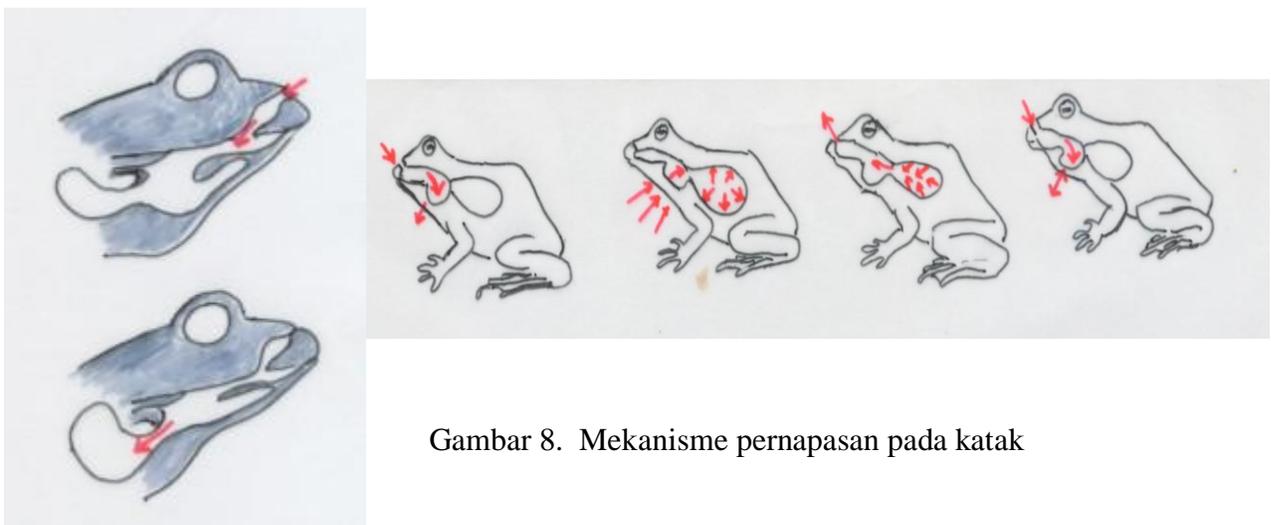
- ✿ Sistem trakhea pada serangga terdiri atas pipa udara yang bercabang di seluruh tubuh. Pipa terbesar (trakhea) membuka ke arah luar, sementara cabang yang paling halus menjulur dan memanjang ke permukaan ke hampir semua sel.
- ✿ Pertukaran gas terjadi secara difusi melewati epitelium lembab yang melapisi ujung terminal sistem trakhea.
- ✿ Pada serangga kecil, proses difusi dapat membawa cukup  $O_2$  dari udara ke dalam sistem trakhea dan membuang cukup  $CO_2$  untuk mendukung respirasi seluler.
- ✿ Serangga besar memventilasi sistem trakheanya dengan gerakan tubuh yang berirama (ritmik) yang memampatkan dan mengembungkan pipa udara seperti pompa.
- ✿ Serangga yang sedang terbang memerlukan oksigen 10-100 kali lebih banyak dibandingkan saat beristirahat.
- ✿ Laju metabolisme yang tinggi saat terbang disebabkan oleh sel-sel otot terbang yang dibungkus oleh mitokondria dan pipa trakhea menyuplai cukup oksigen bagi tiap-tiap organel yang membangkitkan ATP.



Gambar 7. sistem trakhea pada serangga

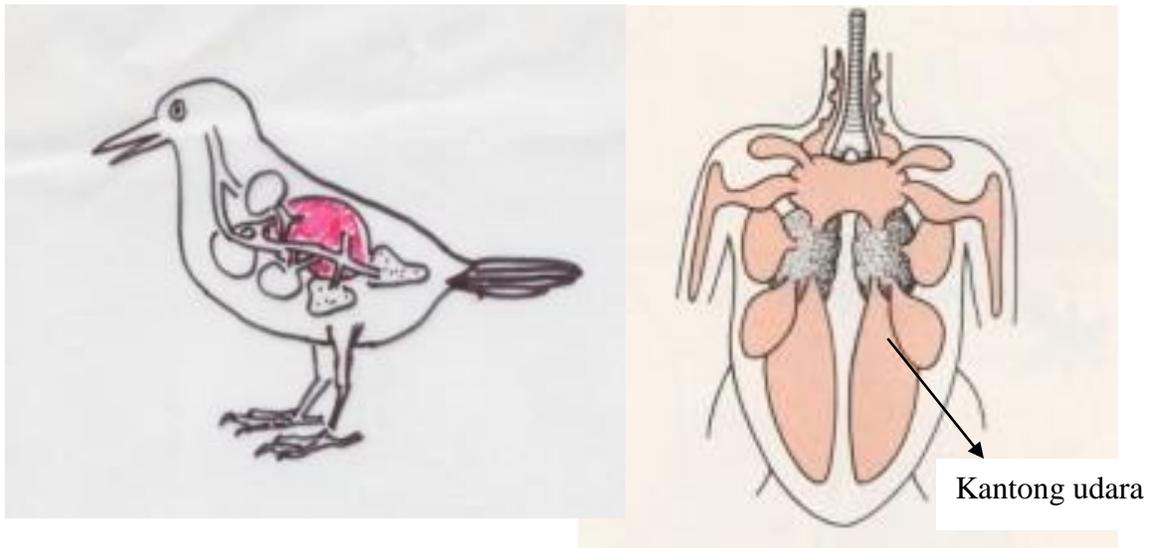
## PARU-PARU

- ❖ Permukaan respirasi paru-paru tidak berhubungan langsung dengan semua bagian tubuh lainnya. Letaknya terbatas pada lokasi tertentu, kesenjangan ini harus dijematani oleh sistem sirkulasi.
- ❖ Paru-paru mempunyai jaringan kapiler yang sangat padat yang berfungsi sebagai permukaan respirasi
- ❖ Paru-paru telah mengalami evolusi mulai pada laba-laba, bekicot, dan vertebrata
- ❖ Paru-paru terkecil terdapat pada amphibia, oleh karena itu sangat bergantung pada difusi gas melewati permukaan tubuh yang lain yaitu kulit. Kulit katak lembab dan licin untuk membantu pertukaran gas di dalam paru-paru.
- ❖ Reptilia, burung dan mamalia hanya mengandalkan paru-paru untuk pertukaran gas.
- ❖ Kura-kura merupakan pengecualian, karena karapaks dan plastron yang kaku membatasi gerakan pernafasan. Oleh karena itu dibantu oleh permukaan epitelium yang lembab di daerah mulut dan kloaka,



Gambar 8. Mekanisme pernapasan pada katak

- ❖ Burung mempunyai kantong udara untuk membantu paru-parunya. Kontraksi dan relaksasi kantong udara akan memventilasi paru-paru, sehingga udara mengalir dalam satu arah melalui pipa paralel kecil di dalam paru-paru yang disebut "parabronki"
- ❖ Pertukaran gas terjadi melalui dinding parabronki. Ketika inhalasi, kedua kumpulan kantong udara akan mengembang. Kantong posterior akan terisi udara segar dari bagian luar, sementara kantong anterior akan terisi udara lama dari paru-paru.
- ❖ Ketika ekshalasi, kedua kumpulan kantong udara mengempis sehingga memaksa udara dari kantong posterior masuk ke dalam paru-paru, dan udara dari kantong anterior keluar dari sistem itu melalui trakhea



Gambar 9. Paru-paru dan kantong udara pada Aves

