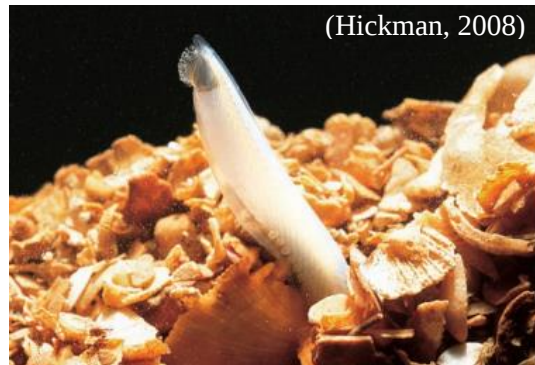


I. CHORDATA: AWAL VERTEBRATA

Pada bab ini dibahas tentang karakteristik hewan filum Chordata, 4 tanda utama yang dimiliki oleh hewan Chordata, Evolusi hewan Chordata, Klasifikasi hewan Chordata, serat biologi kehidupan hewan Chordata awal.

Pengetahuan ini sangat penting bagi mahasiswa sebagai calon guru biologi dalam rangka memahami kehidupan hewan vertebrata secara komprehensif. Bagi anda mahasiswa sebaiknya mengembangkan diri lagi dengan cara membaca buku-buku dan hasil penelitian lain yang berkenaan dengan topik vertebrata. Bab ini terutama membahas tentang hipotesis dan teori asal-usul hewan vertebrata. Semua kehidupan hewan vertebrata yang sesungguhnya merupakan keseluruhan topik yang akan dibahas dalam bab ini yang akan terbagi ke dalam beberapa bab.



1. Phylum Chordata: Asal-Usul Vertebrata

Hewan yang paling familiar dengan manusia adalah yang termasuk pada filum Chordata. Berdasarkan adanya notochord, manusia dimasukkan ke dalam filum ini. Struktur notochord dimiliki oleh semua anggota filum ini pada stadium larva atau dalam sepanjang hidupnya. Secara ekologis, Chordata merupakan hewan yang paling bisa menyesuaikan diri dengan lingkungan dan dapat hidup pada berbagai macam habitat. Dari sudut pandang biologi, Chordata sangat menarik karena hewan ini menggambarkan secara luas prinsip-prinsip evolusi, perkembangan, dan hubungan. Chordata mewakili asal-usul manusia. Chordata memiliki 3 subfilum utama yaitu Urochordata, Cephalochordata, dan Vertebrata.

1) Karakteristik utama Chordata

Karakteristik utama hewan filum Chordata yaitu:

- Simetri bilateral; tubuhnya bersegmen, mempunyai 3 lapisan germinal, coelom yang berkembang.
- Mempunyai notochord (silinder tulang) pada fase kehidupannya.
- Mempunyai satu benang saraf di bagian dorsal, ujung anterior biasanya membesar membentuk otak.
- Celah pharyngeal insang ada sepanjang hidupnya bisa berfungsi atau tidak.
- Ekor postanal biasanya memanjang dari dekat anus, mungkin ada atau tidak.
- Otot bersegmen pada badan yang tidak bersegmen
- Jantung ventral, dengan ventral dan dorsal pembuluh darah; system pembuluh darah tertutup.
- Sistem pencernaan makanan lengkap.
- Tulang rawan atau endoskeleton ada pada semua anggota (Vertebrata).

2) Empat Tanda-tanda Utama hewan Chordata

Empat karakteristik yang membedakan Chordata dengan filum lainnya adalah:

- a. Notochord. Struktur seperti silinder padat yang memanjang, fleksibel, memanjang sepanjang tubuh merupakan bagian pertama dari endoskeleton yang muncul pada embrio (lihat Gambar 1). Embrio merupakan sumbu untuk menempelnya otot, oleh karena itu, bisa membengkok tanpa tubuh menjadi pendek. Gerak ini memungkinkan terjadinya gerakan undulatori pada tubuh. Pada semua vertebrata yang mempunyai rahang, sederet tulang kartilago atau rangka tulang rawan vertebrata terbentuk dari lapisan jaringan penghubung sekitar notochord dan menggantikan notochord sebagai sumbu mekanik utama tubuh.



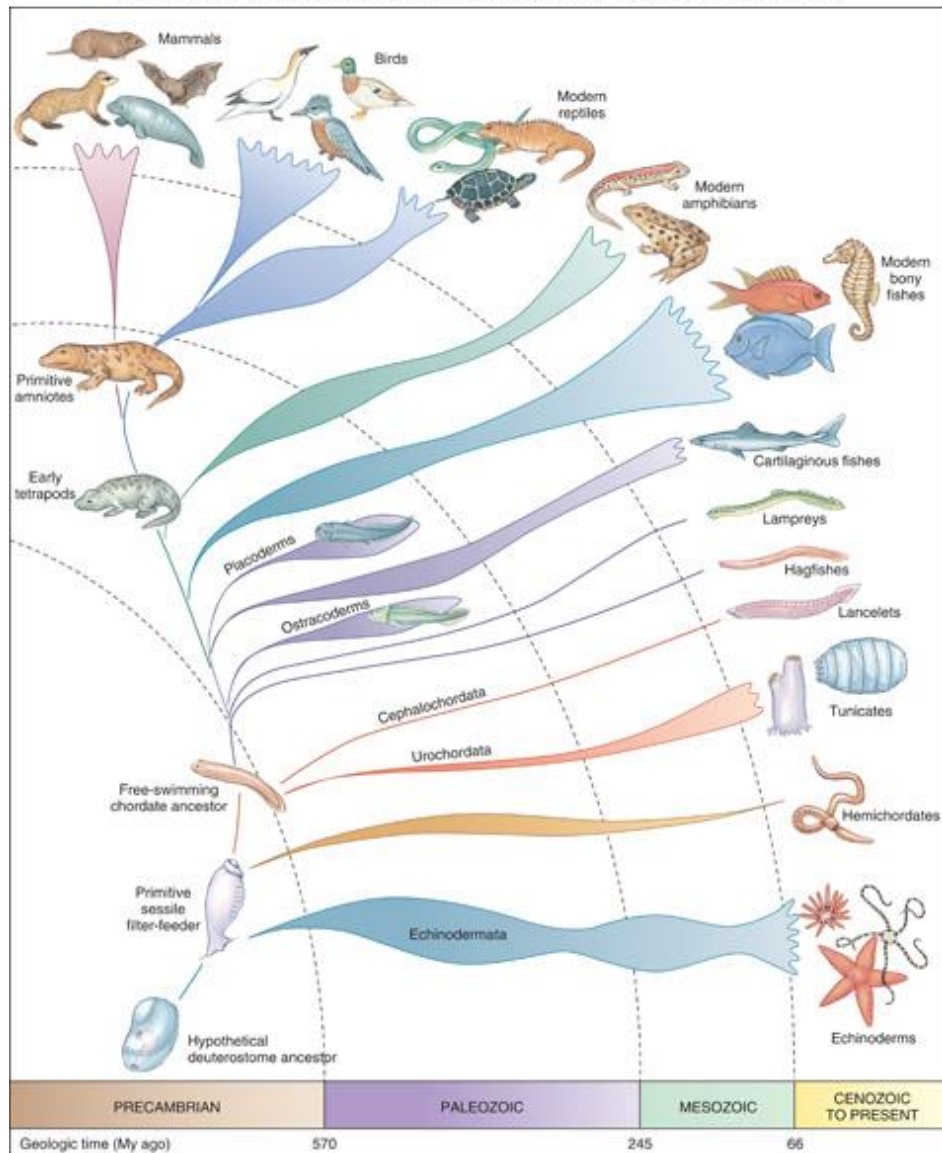
Gambar 1.1 Notochord dan dorsal nerve cord (Hickman, 2008).

- b. Tali saraf dorsal. Pada beberapa hewan invertebrata biasanya serabut sarafnya dibagian ventral, dan strukturnya padat, tetapi pada hewan vertebrata saraf tersebut di bagian dorsal notochord dan bentuknya seperti tabung yang berongga ditengahnya. Pada vertebrata, serabut saraf tersebut membesar, membentuk otak. Rongga pada chorda terbentuk pada waktu embrio melalui pelipatan lapisan sel ectodermal pada bagian dorsal tubuh diatas notochord (lihat Gambar 1.1).
- c. Celah insang-faring (pharyngeal gill slits). Celah insang-faring adalah lubang seperti celah yang dilubangi-lubangi yang berasal dari rongga faring menuju ke luar. Lubang tersebut terbentuk dari invaginasi ectoderm luar dan evaginasi endodermal yang membantasi faring.



Gambar 1.2. Celah faring dan ekor postanal (Hickman, 2008).

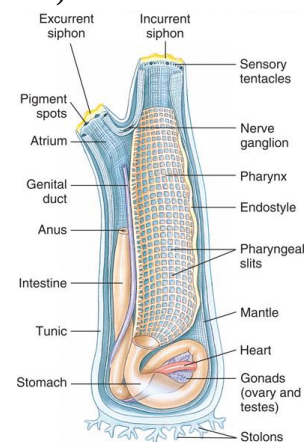
- d. Ekor Postanal. Ekor post anal bersama-sama dengan otot tubuh dan notochord yang bisa kaku, membuat gerakan larva tunicata dan amphioxus bisa bebas berenang. Sebagai suatu struktur yang ditambahkan setelah anus, dalah sangat jelas bahwa hal ini merupakan hasil evolusi khususnya untuk meluncur di air. Efisiensinya pada ikan bertambah dengan adanya sirip pada ikan. Pada manusia ekor hanya merupakan suatu bukti evolusi, yang berupa organ vestige (Coxi, serangkaian vertebrata kecil pada ujung columna spinalis), tetapi pada hampir semua Mammalia mempunyai ekor pada hewan dewasanya.



Gambar 1.3. Pohon filogeni vertebrata (Hickman, 2008).

2. Subphylum Urochordata (Tunicata)

Urochordata (ekor-chordate) lebih umum disebut Tunicata, sebanyak 1500 sp. Hewan ini ditemukan pada semua lautan dari bagian yang dangkal hingga ke bagian yang sangat dalam. Kebanyakan hewan ini sessile pada dewasanya., tapi adanya juga yang hidup bebas. Nama tunicate di dasarkan pada struktur yang kuat, tunic mati, yang mengelilingi hewan dan mengandung selulosa. Sebagai hewan dewasa, tunicata merupakan chordate yang terspesialisasi tingkat tinggi, dimana kebanyakan spesies hanya berbentuk larva, yang mirip berudu kecil (mikroskopik), yang merupakan salah satu tanda dari chordate. Selama metamorfosa menuju dewasa, notochord (pada larva hanya terbatas pada ekor) dan ekor menghilang bersamaan, sementara saraf dorsal



Gambar 1.4. Anatomi Tunicata, *Ciona sp* (Hickman,

mereduksi menjadi ganglion tunggal. Urochordata terbagi menjadi 3 kelas: Ascidiacea, Larvaceae, dan Thaliaceae. Dari ketiga kelas ini, Ascidiaceae merupakan yang paling dikenal, contohnya “sea squirt”.

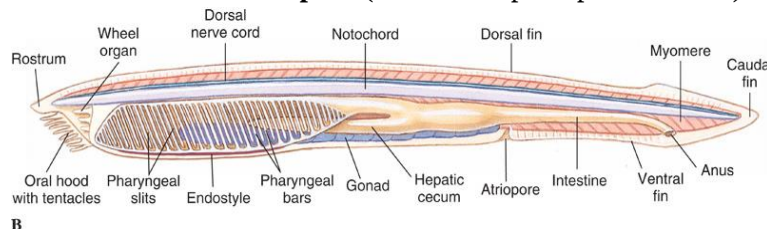
Lapisan terluar tubuh hewan pada Gambar 4 disebut **tunic**, lapisan berikutnya setelah tunic adalah lapisan mantel (membran dalam), pada bagian luar mantel terdapat 2 tonjolan: siphon **incurrent dan excurrent**. Air masuk melalui *incurrent* siphon dan melewati sacus branchial (pharynx) melalui mulut. Pada bagian tengah sacus ini terdapat lekukan (groove) disebut endostyle yang bersilia dan mensekresikan mucus. Pada waktu lapisan mucus dibawa oleh cilia melewati membrane dalam pharynx menuju dorsal, partikel makanan kecil dari air tersaring melalui celah pada dinding sacus branchial. Kemudian mucus bersama partikel makanan yang terjebak bergerak ke posterior menuju oesophagus. Air, yang sudah bersih dari partikel makanan, diarahkan oleh cilia ke rongga atrium dan akhirnya keluar melalui siphon excurrent. Intestin menuju anus dekat siphon excurrent.

Sistem peredaran darah (sirkulasi) terdiri **Jantung ventral** dekat lambung dan dua pembuluh besar, satu pada sisi lain jantung. Mekanisme kreja jantung agak “aneh” yaitu mengarahkan darah pertama kali dalam satu arah untuk periode tertentu, kemudian arahnya membalik. Pembalikan arah sirkulasi darah ini tidak ditemukan pada chordate yang lainnya. Sistem ekskresi dengan nephridium dekat intestine. Sistem saraf terbatas hanya pada sebuah ganglion saraf dan beberapa saraf yang terletak di atas dorsal pharynx. **Notochord tidak ada**. Hewan ini (Gambar 4) merupakan hermaphrodit. Sel germinal dibawa keluar tubuh melalui siphon excurrent, kemudian terjadi fertilisasi silang.

3. Subphylum Cephalochordata

Cephalochordata merupakan hewan berbentuk lancet: lunak, translucent, gepeng (lihat Gambar 1.5). Habitatnya di pantai, pada dasar pantai berpasir. Dikenal dengan nama *Amphioxus*. Hewan ini mempunyai 4 karakteristik chordate dalam bentuk sederhana, dan dianggap merupakan cetak biru dari awal hewan chordate.

Air masuk melalui mulut, diarahkan oleh cilia dalam rangka mulut, kemudian melewati banyak celah insang pada pharynx dimana makanan terperangkap oleh mucus, yang kemudian digerakan oleh cilia ke intestine. Disini partikel makanan terkecil dipisahkan dari mucus dan masuk ke **mid gut caecum (diverticulum)** yang kemudian dipagocytose dan dicerna secara interseluler. Seperti pada tunicate, air yang sudah tersaring pertama kali masuk ke atrium, kemudian keluar dari tubuh melalui **antipore** (excurrent siphon pada tunicate).



Gambar 1.5. Anatomi *Amphioxus* (Hickman, 2008)

Sistem peredaran darahnya tertutup dan agak kompleks untuk chordate yang sederhana. Pola aliran sama dengan ikan primitive, meskipun **tidak punya jantung**. Darah dipompa ke arah depan dalam aorta ventral oleh kontraksi seperti peristaltic dari dinding pembuluh darah, kemudian mengalir ke arah atas melalui **arteri branchialis (arcus aorta)** dalam lempengan insang ke aorta dorsalis. Dari sini darah didistribusikan ke jaringan tubuh oleh plexus kapiler dan

kemudian dikumpulkan oleh vena yang mengembalikannya ke aorta ventralis.. Darah tidak berwarna, **tidak mempunyai erythrocyte dan hemoglobin.**

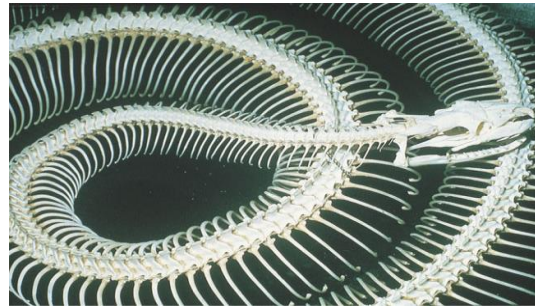
Sistem saraf terpusat mengelilingi benang saraf berongga yang terletak diatas notochord. Akar dari pasangan saraf spinal muncul pada setiap segment **myomeric** organ indera nya sederhana, reseptor bipolar yang tidak berpasangan terletak pada di beberapa tempat. “Otak” berupa kantung sederhana pada ujung anterior benang saraf. Jenis kelamin terpisah pada amphioxus. Sel-sel kelamin terdapat secara bebas dalam atrium, kemudian keluar melalui aperture dimana terjadi eksternal fertilisasi.

4. Soal Latihan

- 1) Apakah yang dimaksud dengan hewan chordata?
- 2) Jelaskan karakteristik hewan chordata.
- 3) Apakah perbedaan antara cephalochordata dengan urochordata?
- 4) Apakah hubungan filogeni antara chordata dengan vertebrata?

II. SUBFILUM VERTEBRATA

Subphylum yang ketiga dari Chordata merupakan hewan vertebrata yang sangat beragam dan sukses secara evolusi dan merupakan subjek dari buku ini. Subphylum vertebrata mempunyai ciri karakteristik yang sama dengan ke dua subphylum lainnya, tetapi ada tambahan yaitu ada beberapa sifat yang tidak dipunyai oleh kedua subphylum lainnya. Karakteristik yang memberikan nama pada anggota ini “Vertebrata” atau “Craniata” adalah columna spinalis dari vertebrae, yang membentuk sumbu utama rangka dari tubuh, cranium.



Gambar 2.1. Rangka ular (Campbell,

1. Karakteristik Hewan Vertebrata

Karakteristik hewan Vertebrata adalah sebagai berikut:

- 1) Sifat utama Chordata: notochord, bumbung saraf, celah pharynx insang dan ekor post anal, semuanya ada pada beberapa fase hidupnya.
- 2) Integument pada dasarnya terbagi atas 2 bagian yaitu **epidermis** yang merupakan bagian terluar dari epithelium berlapis dari ectoderm, dan dermis yaitu bagian dalam dari jaringan penghubung yang berasal dari mesoderm, banyak modifikasi dari kulit diantara beberapa kelas, seperti kelenjar, sisik, bulu, cakar, tanduk, dan rambut.
- 3) Pada vertebrata yang berahang, notochord diganti menjadi columna vertebra yang tersusun atas tulang rawan (cartilage) atau tulang keras atau keduanya; endoskeleton sudah terdiri atas columna vertebra dengan cranium, arcus visceral, anggota badan.
- 4) Otot-ototnya menempel pada rangka yang berfungsi untuk pergerakan.
- 5) Sistem pencernaan sudah lengkap dari ventral sampai columna spinalis dengan kelenjar pencernaan yang besar, hati dan pancreas.
- 6) Sistem sirkulasi terdiri atas jantung ventral dengan 4 ruang; sistem peredaran darah yang tertutup dalam arteri, kapiler dan vena. Darah mengandung sel darah merah dengan hemoglobin dan sel darah putih. Sepasang arcus aorta yang menghubungkan ventral dan dorsal aorta dan bercabang ke insang pada hewan vertebrata air. Pada hewan yang hidup di darat terdapat modifikasi pola arcus aorta pada pulmonari dan sistem systemic.
- 7) Coelom besar telah berkembang dengan baik yang berisi cairan sistem visceral.
- 8) Sistem ekskresi terdiri atas satu pasang ginjal (mesonephros atau metanephros pada yang dewasa) yang mempunyai saluran untuk menyalurkan buangan ke cloaca atau daerah anus.
- 9) Otak biasanya terbagi menjadi 5 bagian (vesicular).
- 10) 10 atau 12 pasang saraf pusat (cranial) biasanya dengan fungsi sensor dan motor; satu pasang saraf spinalis menuju setiap myotom primitif (blok bersegmen atau otot lurik); sebuah sistem saraf otonom yang mengontrol fungsi involuntir organ-organ dalam.
- 11) Sistem endokrin dari kelenjar buntu tersebar di seluruh badan.
- 12) Hampir semua jenis kelaminnya sudah terpisah; setiap jenis kelamin mempunyai sepasang gonad dengan saluran yang menyalurkan produknya ke cloaca maupun ke lubang khusus dekat anus.

- 13) Tubuh tersusun atas kepala, badan, dan ekor postanal. Leher ada pada beberapa hewan, khususnya vertebrata darat; 2 pasang organ tambahan biasanya ada, meskipun kadang ada yang tidak ada, hewan mammalian mempunyai rongga dada.

2. Adaptasi - Evolusi pada Vertebrata

Dari mulai jenis ikan purba sampai mammalian yang sudah berkembang, evolusi vertebrata telah didasarkan pada beberapa petunjuk spesialisasi dasar adaptasi dari endoskeleton, efisiensi respirasi, perkembangan sistem saraf, dan sepasang anggota badan.

1) Endoskeleton

Endoskeleton vertebrata seperti pada echinodermata, merupakan struktur penunjang bagian dalam dan pemberi bentuk bagi tubuh. Hal ini merupakan bentuk permulaan (baru) karena biasanya pada invertebrata, rangka berasal dari pelipatan tubuh. Exoskeleton dan endoskeleton mempunyai keuntungan dan keunikannya dan keterbatasan sehubungan dengan ukurannya, endoskeleton yang tidak hidup seperti pada arthropoda; tumbuh bersama sama tubuhnya. Dengan endoskeleton ukuran tubuh tidak terbatas. Endoskeleton membentuk hubungan yang sangat bagus dan tempat menempel yang baik untuk otot, dan otot juga melindungi rangka dan dari pengaruh kerusakan.

Harus dicatat, bahwa vertebrata bukan tidak mempunyai organ penutup untuk perlindungan seluruh tubuh. Tengkorak dan tulang iga fungsinya adalah untuk melindungi organ-organ dalam yang penting. Kebanyakan vertebrata dilindungi oleh kulit yang keras, ada yang bersisik, berambut, dan bulu yang berfungsi sebagai insulasi (pengahangat).

2) Pharynx dan efisiensi respirasi

Penggantian organ bersilia penyaring makanan dari protochordata dengan suatu pompa otot pada rongga mulut dan insang dalam menyediakan alat-alat respirasi yang efektif bagi vertebrata. Beberapa insang ikan dapat men ekstrak sebanyak 85% oxygen dari air pada waktu permukaan insang tersebut dilewati air, hal ini melebihi efisiensi yang terdapat pada insang invertebrata sekalipun. Peningkatan efisiensi respirasi ini sangat esensial untuk menunjang metabolisme vertebrata predator yang aktif.

3) Perkembangan sistem saraf

Tidak ada satupun sistem dalam tubuh yang lebih kuat hubungannya dengan fungsi dan struktur perkembangannya dibandingkan dengan sistem saraf. Sistem saraf protochordata terdiri atas ganglion saraf dan organ indera yang rudimenter, yang lebih berfungsi sebagai chemosensory (indera kimiawi). Pada waktu protovertebrata berganti gaya hidup menjadi predator, indra baru, motor, dan control integrasi sangat penting untuk mengetahui tempat dan menangkap mangsa. Dalam waktu pendek, protovertebrata berkembang sebuah bentuk kepala baru, lengkap dengan otak dan pasangan organ indra eksternal yang dirancang untuk penerimaan rangsang jarak jauh. Dalam hal ini termasuk sepasang mata dengan lensa dan retina, reseptor tekanan seperti sepasang telinga yang didesain untuk kesetimbangan, dan kemudian direndesain untuk menerima rangsang suara, dan reseptor kimia termasuk reseptor perasa dan organ penciuman yang sangat sensitive.

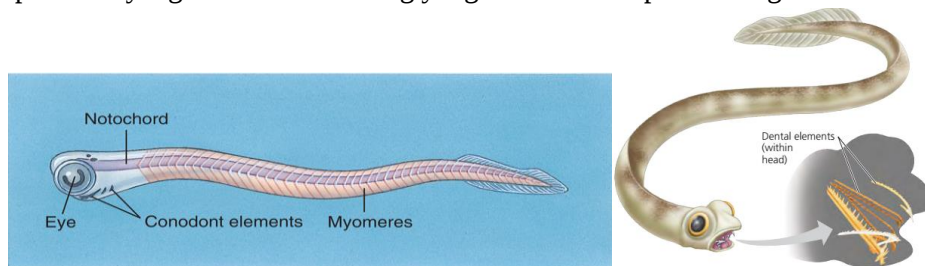
4) Sepasang anggota badan

Terdapat tambahan organ pada pelvic dan dada pada hampir semua vertebrata dalam bentuk pasangan sirip atau kaki. Organ tersebut berasal sebagai penstabil pada waktu berenang, yang kemudian berkembang menjadi kaki untuk berjalan di tanah. Sendi-sendi anggota tubuh sangat baik untuk gerakan pada di atas substrat (tanah).

3. Nenek moyang dan Evolusi Vertebrata

Hewan apakah yang merupakan asal-muasal vertebrata? Mari kita lihat pada hewan-hewan berikut ini. Sudah ada perjanjian mengenai evolusi, bahwa vertebrata muncul berangsur-angsur dari hewan penyaring makanan protochordata. Tak usah ditanya lagi, perkembangan yang paling penting dalam transisi untuk menjadi vertebrata bergerak sebagai predator adalah munculnya kepala. Struktur baru ini nampaknya muncul sebagai tambahan pada tubuh hewan protochordata. Bersamaan dengan itu muncul juga 3 struktur tingkat lanjut yang semuanya krusial dalam menunjang kesuksesan vertebrata yaitu:

- Sistem saraf yang berkembang dengan pasangan organ indera yang kompleks untuk mendeteksi mangsa dan meningkatkan kewaspadaan terhadap lingkungan.
- Rangka kepala (tengkorak) yang telah berkembang dengan baik, dan kemudian juga berkembang rahang untuk menangkap mangsa dan
- Pompa mulut yang berotot dan insang yang efektif untuk pertukaran gas.



Gambar 2.2. Conodont. Hewan vertebrata awal yang hidup pada zaman Cambria sampai Triassic (Hickman, 2008 dan Campbell, 2012).

4. Hypotesis Gastang tentang evolusi larva Chordata

Perhatian para zoologis diarahkan ke hewan Tunicata, setelah Amphioxus. Hewan dewasa Tunicata nampaknya lebih seperti hewan Porifera (Sponge) daripada Vertebrata. Bahkan hewan ini tidak mempunyai tanda anatomi yang khusus yang dapat membuktikan bahwa hewan ini adalah chordate. Namun yang membuat penasaran adalah larva berudunya mempunyai semua tanda utama sebagai anggota hewan leluhur vertebrata (Prevertebrata) yaitu : notochord, bumbung neural dorsalis, celah insang, ekor postanal, otak dan organ indera (organ kesetimbangan dan lensa mata). Larva ini bisa bergerak bebas selama beberapa jam, mampu mencari habitat baru sebelum diam untuk bemetamorfosa menjadi hewan dewasa yang menempel di tanah. Dengan demikian larva atau hewan tersebut dapat menyebar jauh.

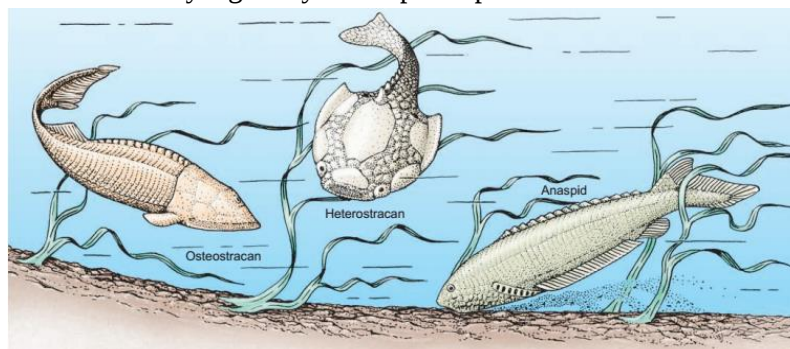
Gastang (1928) berpendapat bahwa pada zaman dahulu leluhur larva Tunicata telah “lupa” untuk bemetamorfosis menjadi hewan dewasa dan matang secara seksual sebelum mencapai dewasa. Fenomena ini disebut **neoteny** (perkembangan dipercepat pada sistem reproduksinya). Kemudian dengan evolusi larva yang berlanjut, kemudian hidup sebagai organisme planktonik yang sempurna. Hewan yang seperti ini mungkin yang menjadi leluhur Vertebrata.

Pendapat Gastang berdasarkan pemikiran sebelumnya yaitu bahwa evolusi dapat terjadi pada fase larva. Zoologist kurang dapat menerima pendapat ini karena mereka tahu bahwa fase-

fase perkembangan hewan terlindungi dengan baik dari proses perubahan evolusi. Namun demikian peristiwa neoteny terjadi pada beberapa kelompok hewan termasuk beberapa kelompok dari protochordata modern. Oleh karena itu banyak zoologist percaya bahwa transisi antara protochordata dan vertebrata awal terjadi melalui neoteny pada larva protochordata primitive seperti yang diwakili oleh hewan Ascidia atau Amphioxus. Untuk meyakinkan pendapat ini kita akan melihat fosil chordate awal dan juga hewan-hewan vertebrata itu sendiri.

5. Asal-Usul Vertebrata : Ostracoderms tak berahang

Vertebrata kemungkinan muncul pertama kali pada akhir zaman Kambrium. Fosil vertebrata tertua adalah hewan tak berahang, anggota dari Superkelas Agnatha (Campbell, 2012). Fosil vertebrata awal adalah fragmen tulang cangkang yang ditemukan pada batuan Ordovician di Rusia dan Amerika. Hewan yang ini kecil, tidak berahang dan disebut dengan **Ostracoderm** (ostrakon, cangkang + derm = kulit), yang termasuk pada kelompok Agnatha dalam vertebrata. Ostracoderm awal disebut **Heterostracan**, hewan yang tidak mempunyai sirip lateral yang diperlukan untuk stabilisasi pada waktu berenang. Dengan demikian gerakan berenangnya kaku, walaupun cukup untuk meluncur di sepanjang dasar laut dimana mereka mencari makan. Mungkin hewan ini merupakan hewan penyaring makanan (filter-feeder) walaupun otaknya sudah terdiferensiasi sangat tinggi dan mempunyai organ indera yang sudah berkembang, hal ini menunjukkan bahwa hewan ini mungkin/ diduga merupakan hewan predator yang bergerak aktif (mobile) yang makan hewan-hewan betubuh lunak. Selama pertengahan era Palaeozoic hewan Heterostracan mengalami radiasi, tetapi akhirnya tersisihkan oleh kelompok Ostracoderm yang lain yaitu Cephalaspid.



Gambar 2.3. Tiga hewan Ostracoderms pada zaman Silurian dan Devon (Hickman, 2008).

Hewan Cephalaspid hidup sebagai hewan bentos yang efisien melalui evolusi sepasang siripnya. Sirip-sirip ini, terdapat tepat di belakang kepala berfungsi untuk mengontrol teritori dan gerakan menyamping. Cephalaspid merupakan ikan kecil yang ditutupi oleh cangkang : pada kepala cangkang yang padat, sedangkan badan oleh tulang pipih. Namun demikian hewan ini tidak mempunyai sumbu rangka dan vertebrae, untuk penunjang sumbu tubuh masih tergantung pada notochord. Hewan ini juga tidak mempunyai rahang dan gigi.

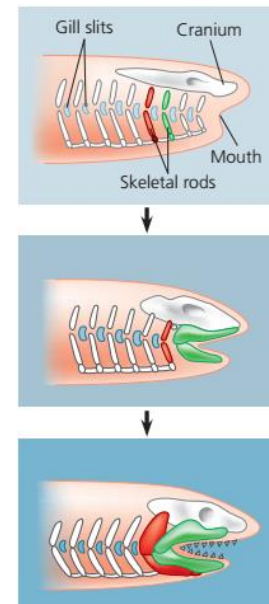
Kelompok ketiga dari Ostracoderm adalah **Anaspid** (Gambar 2.3). Hewan ini lebih kecil dari Cephalaspid, lebih ramping dan mendekati ikan yang tidak berahang modern (contohnya Lamprey) dibanding hewan ostracoderm lainnya. Sebagai sebuah kelompok, Ostracoderm pada dasarnya cocok sebagai hewan yang mencari makan di dasar laut. Tetapi dengan keterbatasan anatominya, hewan ini menikmati radiasi pada periode Devon dan Silurian. Kontribusi keseluruhannya banyak karena hewan ini merupakan cetak-biru untuk evolusi

vertebrata. Tetapi mereka kalah dalam berkompetisi dengan ikan yang berahang yang mulai mendominasi pada masa Devon, dan akhirnya hewan ini menghilang.

6. Awal vertebrata berahang

Semua hewan vertebrata berahang, apakah sudah punah maupun yang masih hidup, semuanya disebut **Gnathostoma (mulut berahang)** lawan dari hewan yang tidak mempunyai rahang; **Agnatha (tanpa rahang)** yang juga biasa disebut dengan Cyclostomata (**mulut melingkar**). Hewan vertebrata berahang yang pertama muncul berdasarkan catatan fosil adalah Placoderm. Keuntungan dari rahang sangat nyata: dapat memangsa makanan yang besar dan aktif (hidup). Hewan yang berahang lebih untung dibandingkan dengan hewan yang tidak berahang, yang terbatas hanya pada hewan seperti cacing yang hidup dengan menyaring sisa-sisa organik dan organisme kecil dalam lumpur.

Rahang tumbuh melalui modifikasi dari urutan ke satu dan dua rangkaian arcus insang kartilago. Awal dari kecenderungan ini dapat terlihat pada beberapa ostracoderm yang tidak berahang dimana mulut dibatasi oleh keeping kulit yang keras/kuat yang dapat dimanipulasi seperti rahang dengan otot arcus insangnya. Arcus yang lebih anterior sedikit-demi sedikit bermodifikasi untuk memakan secara efisien, dan kulit di sekitar mulut bermodifikasi menjadi gigi. Akhirnya arcus insang anterior melengkung dan membentuk posisi rahang vertebrata, seperti yang terlihat pada placoderm. Placoderm mengalami evolusi berbagai macam bentuk, dan penampilan. Hewan ini menjadi ikan yang tertutupi oleh sisik berbentuk belah ketupat atau dengan keping tulang yang lebar. Pada bab-bab berikutnya akan dibahas lebih dalam mengenai Gnathostomata.



Gambar 2.6. Evolusi rahang vertebrata (Campbell, 2012)

7. Evolusi ikan modern dan Tetrapoda

Rekonstruksi asal-usul macam-macam struktur vertebrata modern, seperti yang telah kita lihat, dalam garis besarnya didasarkan pada fakta-fakta fosil. Sayangnya fosil hewan vertebrata awal ini sering tidak komplit dan menyatakan kepada kita kurang lebih dibandingkan apa yang ingin kita ketahui tentang rangkaian arah evolusi. Afinitas menjadi lebih mudah dibuat bila catatan fosil telah bertambah. Sebagai contoh, keturunan burung dan mammalia dari leluhur reptilian telah ditemukan secara meyakinkan berasal dari tersedianya fosil yang sangat banyak. Sebaliknya, leluhur ikan modern masih belum pasti.

Meskipun mengalami kesusahan dalam menentukan garis keturunan awal untuk vertebrata, mereka secara jelas merupakan alami, kelompok monophyletic, dibedakan oleh sejumlah karakteristik umum. Mereka hampir yakin merupakan keturunan dari leluhur yang sama, seperti yang telah didiskusikan. Sangat awal dalam evolusinya, vertebrata dibagi menjadi 2 cabang utama, Agnatha dan Gnathostoma. Kedua kelompok ini berbeda satu sama lain dalam beberapa hal mendasar, selain tidak ada rahang pada agnatha dan adanya rahang pada Gnathostomata. Keduanya sangat tua dan berada pada perkiraan waktu yang sama. Pada kondisi ini kita tidak dapat mengatakan bahwa Agnatha lebih primitive dari Gnathostoma, walaupun yang terakhir melanjutkan evolusi secara besar-besaran yang akhirnya menghasilkan ikan modern, semua hewan tetrapoda dan pembaca buku ini. Meskipun Agnatha hanya diwakili oleh ikan Hagfish dan Lamprey saat ini, nampaknya kedua hewan ini pun sukses bertahan hidup.

8. Ringkasan

Nama Phylum chordata didasarkan pada adanya pengerasan bumbung notochord pada beberapa fase daur hidup setiap chordate. Semua chordate mempunyai 4 tanda utama yang membedakan hewan tersebut dari ordo lainnya, yaitu : notochord, bumbung neural dorsal, celah insang-faring, dan ekor postanal. Dua dari tiga subphyla chordate adalah invertebrate dan tidak mempunyai kepala yang berkembang. Hewan tersebut adalah Urochordata (Tunicata), kebanyakan dewasanya merupakan hewan sesil, tetapi semuanya mempunyai fase larva yang bisa berenang bebas; dan Cephalochordata (Lancelets) seperti bentuk ikan termasuk ke dalam kelompok ini adalah Amphioxus.

Chordata dipercaya merupakan keturunan dari leluhur mirip Echinodermata, mungkin pada waktu periode Precambrian, tetapi asal-usul yang sebenarnya dari chordate belum diketahui pasti. Secara keseluruhan, Chordata mempunyai kesatuan dasar dari sistem organ dan tipe tubuh yang lebih banyak dibandingkan dengan kebanyakan dari phylum invertebrate.

Subphylum Vertebrata, merupakan anggota dari hewan yang bertulang belakang, dikelompokkan sebagai kelompok hewan yang mempunyai kepala yang telah berkembang, dengan ukuran yang besar, tingkat motilitas yang tinggi, dan tipe potongan tubuh yang nyata, yang merupakan beberapa sifat yang berbeda yang mengarah pada kelompok yang dikenal telah sukses berevolusi. Hal yang paling penting dari ini adalah *living-endoskeleton* yang tumbuh berangsur-angsur mengikuti ukuran tubuh dan menyediakan pegangan yang kuat untuk efisiensi penempelan otot dan gerakan tubuh (aksi); pharynx yang berlubang dengan celah insang (hilang atau bermodifikasi pada vertebrata tingkat tinggi) dengan kenaikan efisiensi pada respirasi, sistem saraf yang telah berkembang dengan pemisahan yang jelas antara otak dan benang saraf spinalis; dan sepasang anggota badan. Vertebrata dipercaya telah berevolusi pada neoteny dari leluhur larva protochordata seperti larva berudu ascidian atau larva amphioxus.

9. Soal Latihan

- 1) Jelaskan 4 karakteristik utama hewan phylum Chordata.
- 2) Jelaskan 3 perbedaan utama yang dimiliki oleh hewan invertebrate pada Chordata.
- 3) Jelaskan mengapa diperlukan pengetahuan sejarah hidup Urochordata untuk memahami apakah hewan ini termasuk ke dalam phylum Chordata.
- 4) Jelaskan mengapa tipe tubuh amphioxus dianggap mewakili tubuh hewan vertebrata awal?
- 5) Jelaskan perbedaan antara hewan Placoderm dengan Ostracoderm.
- 6) Jelaskan asal-usul evolusi rahang vertebrata.

III. IKAN: KELAS Chondrichthyes DAN Osteichthyes

Kehidupan ikan dibatasi oleh bentuk tubuhnya. Penguasaannya pada sungai, danau, dan laut diungkapkan dalam beberapa cara yang menunjukkan bahwa rancangan kehidupannya harmonis dengan sifat-sifat fisik dari lingkungan sekitarnya. Berada dalam medium yang 8 ratus kali lebih rapat dibandingkan dengan udara, ikan trout dapat diam terapung tak bergerak tanpa menggunakan energi, berbeda pengapungannya melalui penambahan atau pengurangan udara dari gelembung renang.



Atau dapat juga meluncur/menukik, dengan menggunakan siripnya sebagai “rem”. Dengan organ yang luar biasa untuk pertukaran garam dan air, ikan bertulang keras dapat menyesuaikan komposisi cairan tubuhnya dalam lingkungan air laut atau air tawar yang dipilihnya. Insang ikan merupakan alat pernafasan yang paling efektif dalam kerajaan hewan untuk mengekstraksi oxygen dari medium yang mengandung kurang dari 1/20 oxygen daripada udara. Ikan mempunyai indera penglihatan dan penciuman yang bagus dan mempunyai system gurat sisi yang unik, yang dengan sensitivitasnya pada arus air dan getaran/gelombang, menyediakan “sentuhan jarak jauh” dalam air. Sehingga dalam menuntaskan problem fisiknya, bentuk dasar tubuh ikan telah berevolusi dan menyusun strategi fisiologis kedua bentuk dan constrain evolusi kelompok vertebrata yang diturunkan dari ikan.

1. Nenek Moyang dan Keluarga Utama Ikan

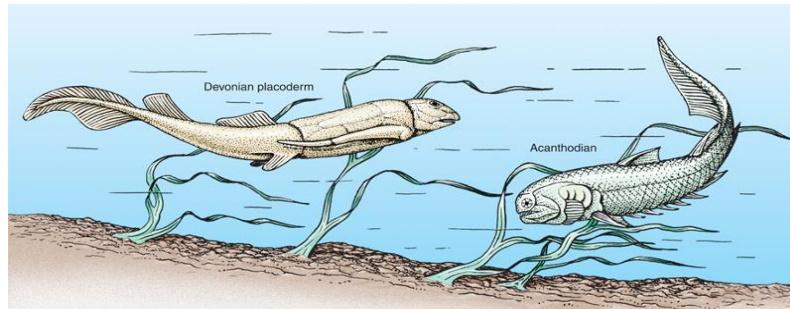
Ikan merupakan nenek moyang yang sangat kuno, yang merupakan keturunan dari nenek moyang yang tidak diketahui asalnya yang muncul dari larva tunicata yang berenang bebas. Apapun asalnya, selama periode Cambrian, bahkan mungkin pada zaman precambrian lebih dari 600 juta tahun yang lalu, vertebrata paling awal yang menyerupai ikan bercabang dan memunculkan Agnatha yang tidak berahang dan Ganthostoma yang mempunyai rahang. Semua vertebrata diturunkan dari salah satu dari kedua cabang nenek moyang.

Kelompok Agnatha termasuk Ostracoderm yang telah punah, ikan lamprey dan hagfish yang masih hidup. Nenek moyang ikan lamprey dan hagfish tidak diketahui dengan pasti. Walaupun keduanya nampaknya serupa, sebetulnya sangat berbeda satu sama lain dalam bentuk dan fungsi sehingga keduanya digolongkan dalam kelas yang berbeda oleh para “Ichthyologist”. Semua ikan yang sekarang ada, mempunyai rahang (Gnathostoma). Semuanya merupakan keturunan dari satu atau lebih nenek moyang ikan yang berahang, kemungkinan dari ikan placoderm dan digolongkan dalam 2 kelompok utama yaitu ikan bertulang rawan (kelas Chondrichthyes) dan ikan bertulang keras (Osteichthyes).

Ikan bertulang rawan seperti: ikan hiu, ikan pari, ikan cucut, merupakan subkelas dari ikan Chondrichthyes. Hewan-hewan ini telah kehilangan sisik placodermnya dan mengadopsi tulang rawan bukan tulang keras sebagai penyusun rangkanya, sebuah kebiasaan pemangsa yang aktif, dan bentuk tubuh seperti ikan hiu yang telah mengalami sedikit perubahan selama ratusan tahun. Banyak jenis ikan yang masih keluarga jauh dengan ikan hiu, ikan pari dan ikan cucut, berupa hewan yang aneh, atau seperti cimera, yang merupakan anggota dari subkelas dalam kelas Chondrichthyes. Ikan hiu dan keluarganya, dan cimera, pertama kali muncul pada zaman Devon, 400 juta tahun yang lalu.

Ikan Osteichthyes mendominasi pada zaman sekarang. Kita dapat mengenal 3 cabang utama keturunannya yaitu: pertama, ikan bersirip tulang, yang merupakan jenis ikan yang

mendominasi lingkungan perairan bumi saat ini. Kedua, ikan bersirip lobus, yang merupakan nenek moyang amfibi; dan ketiga adalah ikan berparu-paru. Kedua jenis terakhir ini merupakan kelompok sisa-sisa peninggalan. Hanya 7 jenis yang bertahan hidup (6 spesies ikan berparu-paru dan satu spesies ikan bersirip lobus: coelacanth), fakta dari jenis yang ada yang hidup mendominasi pada zaman Devon. Ketujuh jenis ikan ini tidak mengalami perubahan sejak 400 juta tahun yang lalu.



Gambar 3.1. Ikan hiu periode Devon, 400 juta tahun yang lalu.

2. Klasifikasi Kelompok Ikan

Klasifikasi berikut ini tersusun atas skema yang disusun oleh Nelson (1984). Tidak ada skema yang diterima secara pasti oleh para pakar ikan. Kita akan mengetahui betapa sulitnya untuk membuat skema hubungan kekeluargaan diantara 23,3000 spesies yang ada dan sejumlah jenis ikan yang telah punah dan menjadi fosil dari zaman yang berbeda, oleh karena itu pengklasifikasian jenis ikan masih terus akan berubah.

Subfilum Vertebrata

Superkelas Agnatha (A = tidak, gnathos = rahang) (Cyclotostomata) Ciri : tidak ada rahang; rangka tulang rawan, tidak ada sirip ventral, satu atau dua pasang semicircular kanal, notochord ada.

Kelas Myxini (Myxa = lendir) ikan hagfish. Mulut Terminal dengan empat pasang tentakel; saku nasales dengan saluran ke farings; 5 sampai 15 pasang insang; hermaphrodit.

Kelas Cephalaspidomorphi (khepale = kepala, aspidos = tameng, moephe = bentuk) contoh ikan lamprey. Mulut penghisap dengan gigi dari kulit tanduk; saku nasales tidak berhubungan dengan mulut; ada 7 pasang insang.

Superkelas Gnathostomata (Gnathos = rahang, stoma = mulut). Ada rahang, biasanya mempunyai sepasang anggota tubuh; 3 pasang semicircular canal, ada notochord atau digantikan dengan vertebrae.

Kelas Chondrichthyes (chondros = cartilage, ichthyes = ikan) contoh ikan hiu, ikan pari, ikan cuat, cimera. Badan “stream line” dengan ekor jenis heterocercal, rangka dari tulang rawan, 5 sampai 7 insang dengan bukaan yang terpisah, tidak ada operculum, tidak ada gelembung renang, usus dengan katup spiral.

Subkelas Elasmobranchii (elamos = pelat logam, branchia = insang) contoh ikan hiu, ikan pari. Sisik tipe placoid atau tidak bersisik, 5 -7 lengkung insang dan insang dalam celah yang masing-masing terpisah sepanjang farings.

Subkelas Holocephali (Holos = seluruh, kheplae = kelapala) contoh chimera, atau ratfish (ikan tikus). Celah insang ditutupi oleh operculum, rahang dengan plat

gigi, satu bukaan nasal, tidak ada sisik, pada jantan terdapat organ asesori "Clasping". Gurat sisi, celah sempit celah sempit memanjang.

Kelas Osteichthyes (osteon = tulang keras, ichthyes = ikan) (teleostomi): ikan bertulang keras. Tubuh berbentuk persatuan (fusiform) tetapi bermacam-macam bentuk (modifikasi), rangka hampir semuanya tersusun atas tulang keras, satu lubang insang pada setiap sisi yang ditutup oleh operculum, biasanya terdapat gelembung renang atau paru-paru.

Subkelas Crossoperygii (Krossi = jari-jari, pteryx = sirip, sayap). Ikan bersirip lobus. Ciri-ciri; sepasang sirip berlobus, dengan rangka dasar hewan tetrapoda, ekor diphycercal berlobus tiga, rangka secara umum tersusun atas tulang rawan, sisa-sisa organ gelembung udara, intestin mempunyai katup spiral, terdapat spirakel.

Subkelas Dipneusti (di = dua, pneustikos = bernafas) contoh ikan berparu-paru. Semua sirip median (tengah) bergabung membentuk ekor diphycercal, sirip berlobus atau berfilament, gigi untuk menggerus, gelembung udara dengan satu atau sepasang lobus dan khusus untuk bernafas, intestin mempunyai katup spiral, tidak ada spirakel.

Subkelas Actinopterygii (Aktis = berkas sinar, pteryx = sirip, sayap) contoh ikan bersirip seperti berkas sinar. Pasangan sirip ditunjang oleh berkas kulit dan tidak ada bagian lobus basal, sakus nasal hanya terbuka ke arah luar.

3. Superkelas Agnatha: Ikan yang tidak berahang

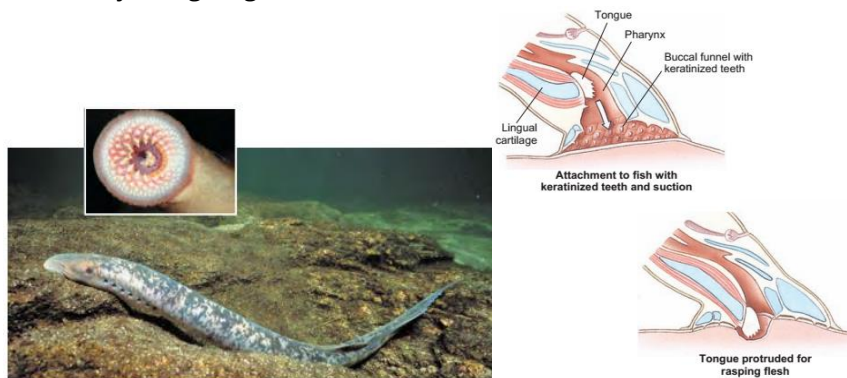
Anggota ikan Agnatha yang masih hidup diwakili oleh 70 spesies terdiri atas 2 kelas yaitu: Myxini (hagfis) dan Cephalaspidomorphi (lamprey). Anggota dari kedua kelompok tersebut tidak mempunyai rahang, tulang keras internal, sisik, sepasang sirip, dan keduanya mempunyai lubang insang seperti pori-pori dan badan seperti ikan belut. Karakteristik Agnatha sebagai berikut:

- 1) Badan lunak seperti belut.
- 2) Ada sirip tengah tapi tidak ada sirip tambahan
- 3) Rangka tulang rawan dan fiber (serat), ada notochord
- 4) Mulut penggigit dengan 2 baris gigi yang bercelah pada hagfis; cakram oral seperti penghisap yang mempunyai gigi pada lamprey.
- 5) Jantung dengan satu atrium dan satu ventrikel; hagfish dengan 3 jantung asesori; arcus aorta dalam tempat insang.
- 6) 5-16 pasang insang dan sepasang insang tambahan pada hagfish, pada lamprey ada 7 pasang insang.
- 7) Ginjal pronephros terletak anterior dan ginjal mesonephros terletak posterior pada hagfish, ginjal tipe mesonephros hanya pada lampreys.
- 8) Tali saraf dorsal dengan otak yang berdiferensiasi; 8-10 pasang saraf otak.
- 9) Sistem pencernaan tanpa lambung, intestis mempunyai katup spiral dan Brasilia pada Lamprey, pada intestin hagfish tidak ditemukan kedua sifat tersebut.
- 10) Organ indera perasa, penciuman, pendengaran, dan mata tidak berkembang dengan baik pada hagfish, tetapi agak berkembang pada lampreys; satu pasang semicircular canal (hagfish) atau dua pasang pada Lampreys.
- 11) Fertilisasi eksternal; ovarium dan testes keduanya ada dalam satu individu, tetapi hanya satu jenis gonad yang fungsional dan tidak ada stadium larva pada hagfish; kelamin

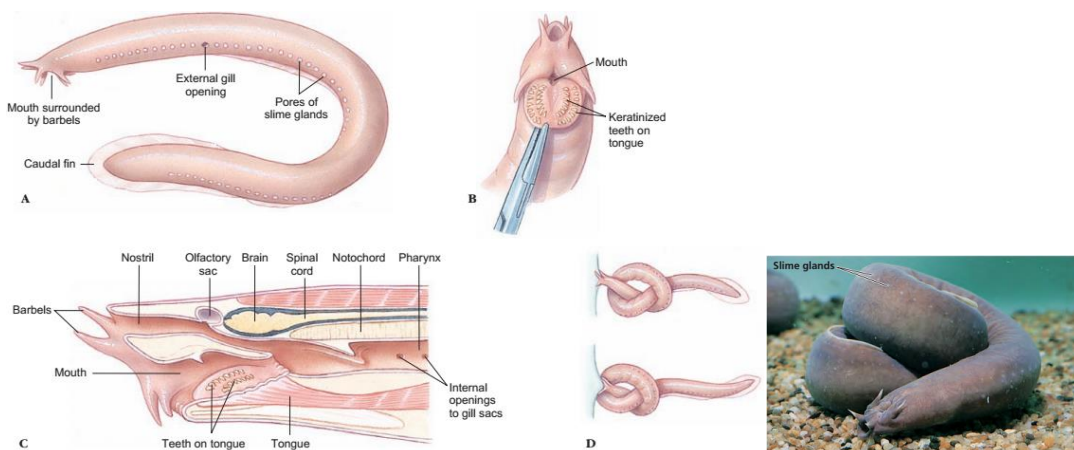
terpisah dan pada lamprey terdapat stadium larva yang panjang dengan metamorfosa yang radikal.

Kelas Myxini (Hagfish)

Hagfish adalah kelompok ikan laut yang memakan bangkai ikan, cacing annelid, molluska, dan crustacea. Jadi hewan ini bukan parasit seperti lamprey tapi juga bukan predator, biasanya disebut scavenger (ikan pemakan bangkai ikan). Hanya ada 32 spesies hagfish, yang paling terkenal adalah *Myxine glutinosa* dan *Epatretus stouti*. Telah lama hagfish menarik perhatian para ahli fisiologi, karena hanya vertebrata ini yang mempunyai tekanan osmotik (isoosmotic) yang sama dengan air laut jadi seperti tubuh hewan invertebrata laut. Hewan ini pula yang merupakan jenis vertebrata yang mempunyai tipe ginjal pronepros dan mesonepros pada hewan dewasanya, dan untuk memompa aliran darah, hanya dilakukan oleh 4 set jantung yang posisinya pada titik strategis dalam sistem peredaran darah bertekanan rendah. Hagfish dikenal karena kemampuannya untuk mengeluarkan banyak lendir dari kelenjar lendir khusus dalam hitungan menit. Lendir yang dihasilkan sangat penting untuk pertahanan dan pada waktu makan, tetapi menjadi masalah bagi pemancing. Reproduksi masih misteri. Walaupun ada 2 jenis gonad dalam satu individu, tapi hanya satu jenis yang fungsional. Hewan betina memproduksi sedikit yolk yang berukuran besar (diameter 3 cm). Tidak ada stadium larva dan pertumbuhannya langsung.



Gambar 3.2. Lamprey (Campbell, 2012 dan Hickman, 2008)



Gambar 3.3. Hagfish (Campbell, 2012 dan Hickman, 2008)

Lamprey (Gambar 3.2) dan hagfish (Gambar 3.3) adalah hewan agnatha yang masih hidup saat ini. Sekitar 60 spesies vertebrata tak berahang masih hidup sampai saat ini dalam kelas Myxini (hagfish) dan kelas Cephalaspidomorphi (lamprey). Lamprey dan hagfish tidak memiliki anggota badan yang berpasangan dan tidak memiliki lempeng pelindung eksternal. Lamprey laut berbentuk belut mengambil makanan dengan cara mengaitkan mulut bundarnya ke badan ikan yang hidup, kemudian menggunakan lidah yang menusuk untuk menembus kulit mangsanya, menghisap dan menelan darah mangsanya. Hagfish sangat menyerupai lamprey tetapi mereka adalah hewan pemakan bangkai dan bukan penghisap darah. Hagfish memakan ikan yang sakit atau yang mati (Campbell, 2012).

Kelas Cephalaspidomorphi (Lampreys)

Kira-kira 40 spesies Lamprey tersebar di seluruh dunia, yang paling dikenal adalah *Petromyzon marinus* (petros = batu, myzon = menghisap), dinamai demikian karena hewan ini suka menempel di batu-batu supaya tidak terbawa arus air. Ada 20 spesies lamprey di Amerika utara, setengahnya hidup secara parasit. Sisanya adalah spesies yang setelah menetas akan mati segera setelah dewasa tanpa pernah makan.

Di Amerika utara semua ikan Lamprey air tawar maupun air laut, menetas pada musim semi di kerikil dan pasir pada aliran air tawar yang dangkal. Hewan jantan mulai membuat sarang, kemudian yang betina bergabung. Dengan menggunakan cakram mulut untuk mengangkat kerikil dan menggunakan getaran tubuhnya untuk membersihkan sisa-sisa yang menempel. Pada waktu bertelur, hewan betina menempel pada batuan sehingga tubuhnya berada di atas sarang, sedangkan hewan jantan menempel pada bagian dorsal kepala yang betina. Telur-telur yang lengket menempel pada batuan/kerikil dalam sarang dan segera dibungkus oleh pasir. Hewan dewasa mati segera setelah bertelur. Telur kemudian berkembang menjadi larva (amphicoetes) dan menjadi dewasa setelah berumur 3-7 tahun.

4. Superkelas Gnathostomata-Kelas Chondrichthyes (Ikan Bertulang Rawan)

Ada sekitar 800 spesies ikan bertulang rawan yang hidup. Meskipun lebih kecil dan kurang bervariasi dibandingkan dengan ikan bertulang keras, kombinasi yang mengesankan dari perkembangan indera, rahang yang kuat, otot-otot renang, dan tingkah laku predatornya meyakinkan bahwa mereka merupakan penghuni akhir komunitas air. Salah satu sifat utamanya adalah rangka tulang rawannya (cartilago). Meskipun terjadi proses terbentuknya CaCO_3 (calcification) namun tidak terdapat tulang keras, hal ini merupakan teka-teki evolusi yang menarik, karena Chondrichthyes berasal dari nenek moyang yang bertulang keras.

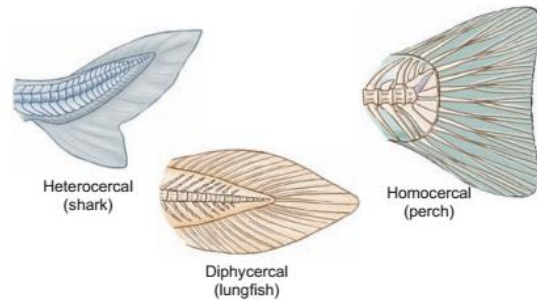
Subkelas Elasmobranchii: Ikan hiu, ikan pari

Ikan hiu dan keluarganya merupakan hewan vertebrata hidup yang paling besar yang hidup di air, ada sekitar 937 spesiesnya. Karakteristik utamanya yaitu:

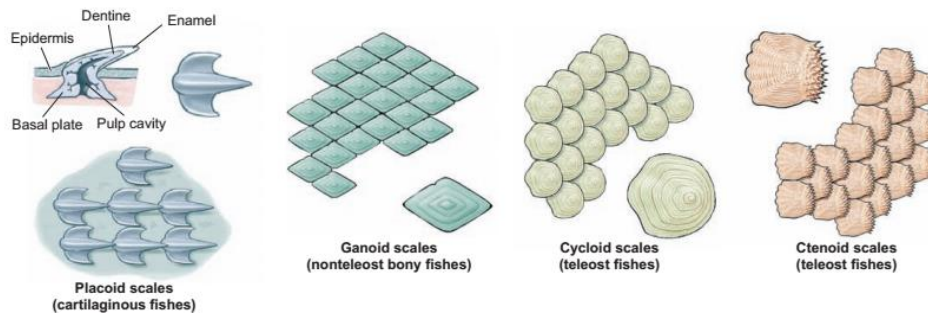
- 1) Tubuhnya berbentuk fusiform kecuali pada ikan pari yang mempunyai sirip belakang heterocercal
- 2) Mulut berada di bagian ventral anterior, mempunyai dua scus olfactorius yang tidak berhubungan dengan rongga mulut, mempunyai rahang.
- 3) Kulit terdiri atas sisik tipe placoid dan mengandung kelenjar mucosa, gigi merupakan modifikasi dari sisik placoid.
- 4) Endoskeleton seluruhnya terdiri dari cartilago (tulang rawan).
- 5) Sistem pencernaan dengan perut berbentuk- J dan intestin dengan katup spiral.

- 6) Sistem peredaran darah terdiri atas beberapa lengkung aorta; jantung mempunyai 2 ruang.
- 7) Pernafasan dilakukan oleh 5-7 pasang insang yang terpisah dan celah insang yang terekspose; tidak ada operkulum.
- 8) Tidak mempunyai gelembung renang atau paru-paru.
- 9) Otak terdiri atas 2 lobus olfaktorius, 2 cerebral hemispher (velan otak) 2 lobus opticus, sebuah cerebellum, dan sebuah medulla oblongata, 10 pasang saraf cranial.
- 10) Jenis kelamin terpisah, ovipar, ovovivipar, atau vivipar, perkembangan langsung, fertilisasi internal.

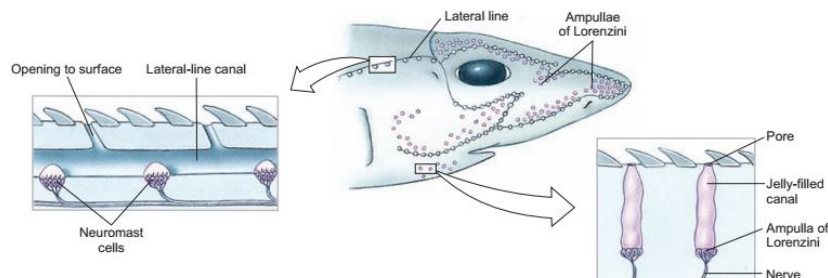
Meskipun ikan hiu mempunyai reputasi yang menakutkan bagi sebagian orang, namun para ahli berpendapat bahwa hewan ini mempunyai bentuk tubuh streamline yang sempurna dibandingkan semua ikan. Hewan ini lebih berat dibandingkan dengan air, dan harus terus berenang agar tidak tenggelam. Ekor heterocercal (lihat Gambar 3.4) yang tidak simetris membantu daya angkat tubuhnya pada waktu mengibaskan ekor dalam air, dan kepala yang melebar dan sirip pectoral (dada) yang rata, dibuat untuk membantu mengangkat kepalanya. Ikan hiu dilengkapi dengan perangkat untuk hidup sebagai predator. Anda dapat mengamati tipe ekor ikan pada saat melaksanakan praktikum 1-3. Kulit yang kuat ditutupi dengan sisik berbentuk pisau (placoid) (lihat Gambar 3.5). Anda dapat mengamati jenis sisik ikan pada saat melaksanakan praktikum 1-3. Sisik ini pada bagian anterior bermodifikasi menjadi gigi pada rahang. Sisik placoid sesungguhnya terdiri atas **dentin** yang ditutupi oleh substansi seperti enamel, dan giginya sudah seperti gigi vertebrata.



Gambar 3.4. Tipe ekor ikan (Hickman, 2008)

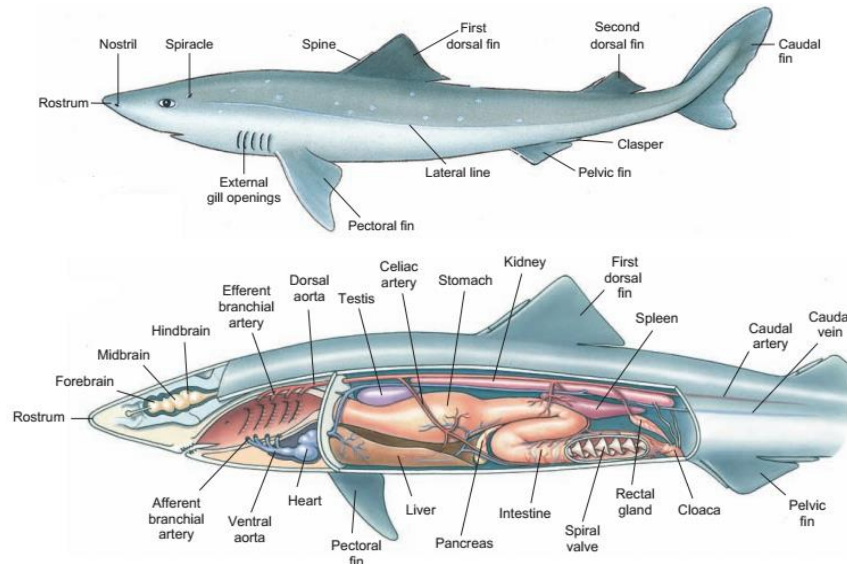


Gambar 3.5. Tipe Sisik ikan (Hickman, 2008)



Gambar 3.6. Sensori kanal dan reseptor pada hiu (Hickman, 2008).

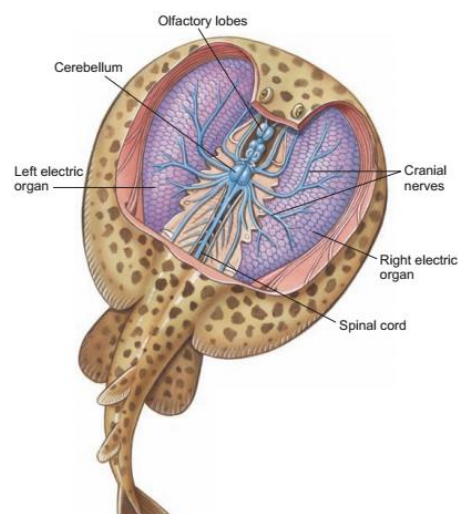
Ikan hiu mempunyai indera penciuman (organ olfaktori) yang sangat baik yang digunakan untuk membawanya mendekati makanan/mangsanya. Penglihatannya kurang baik dibandingkan dengan ikan betulang keras, tetapi gurat sisinya sangat berkembang dengan baik yang berperan sebagai “sentuhan jarak jauh” dalam air untuk mendeteksi dan mengetahui lokasi mangsa dan gerakan hewan (predator, mangsa, kawan).



Gambar 3.7. Hiu jantan dogfish *Squalus acanthias* (Hickman, 2008).

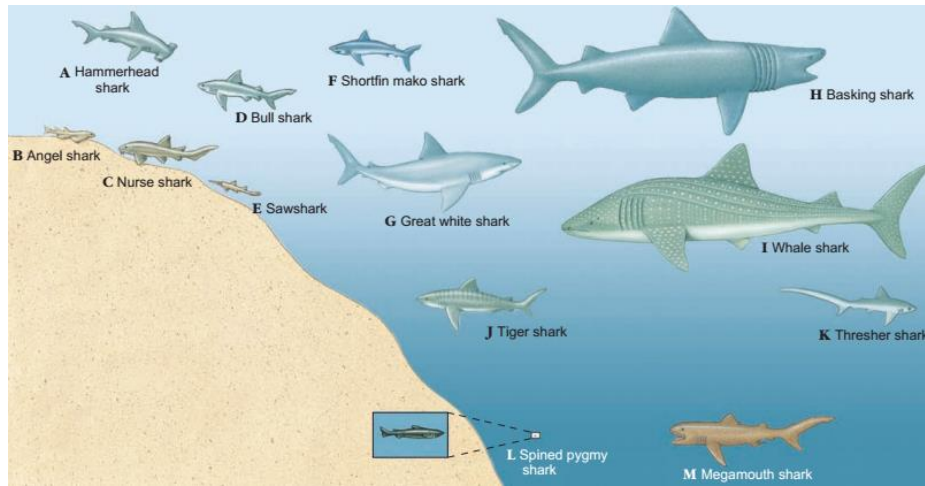
Gurat sisi (Gambar 3.6) atau *lateral-line system* merupakan struktur sistem saluran yang meluas sepanjang badannya dan di bagian kepalanya. Saluran tersebut terbuka ke permukaan pada beberapa tempat (interval). Di bagian dalam dari saluran tersebut terdapat organ reseptor (neuromast) yang sangat sensitif terhadap getaran dan aliran/arus air. Ikan hiu juga dapat mendeteksi dan menyerang mangsanya secara akurat dengan penginderaan medan bioelektrik yang terdapat di sekeliling hewan. Elektreseptor tersebut dinamakan ampula Lorenzini (Gambar 3.6) yang terletak di kepala hiu.

Ikan pari (skate), dan ikan Eagle ray (pari elang) berbeda ordonya dengan ikan hiu. Ikan pari dapat dibedakan karena bentuk tubuhnya yang melebar (dorsoventrally) dan sirip dadanya yang melebar seperti sayap pada waktu berenang. Bukaan-bukaan insang terdapat di bagian bawah kepala, dan spirakel (pada bagian atas kepala) besar (padahal biasanya kecil). Air pernafasan masuk melalui spirakel ini untuk mencegah penyumbatan pada insang, karena mulutnya sering dikubur dalam pasir. Giginya beradaptasi untuk memakan mangsanya terutama hewan moluska, crustaceae, dan ikan kecil. Pada ikan pari (wing ray dan pari elang, sirip ekor dan sirip punggungnya menghilang, dan ekornya lunak dan seperti cambuk. Pada ekor ikan pari (stingray) terdapat satu atau lebih duri seperti gigi gergaji yang dapat menyebabkan luka yang berbahaya. Ikan pari listrik, mempunyai otot dorsal tertentu yang bermodifikasi menjadi



Gambar 3.7. Ikan pari *Torpedo* (Hickman, 2008)

organ listrik yang bisa menyengat/menyetrum mangsanya. Informasi elektrosensori ini diproses di cerebellum, ketika sel-sel terstimulasi, arus listrik akan mengalir di sekelilingnya dan mengenai mangsa atau predator.



Gambar 3.8. Keragaman hiu pada subkelas Elasmobranchii (Hickman, 2008).

5. Kelas Osteichthyes: Ikan bertulang keras

Hanya sedikit hewan lain yang dapat beradaptasi dengan baik terhadap radiasi dibandingkan dengan ikan bertulang keras. Adaptasi hewan tersebut sangat cocok untuk setiap habitat air kecuali tempat yang betul-betul tidak dapat ditempati. Bentuk tubuhnya sendiri sudah menunjukkan adanya keberagaman. Beberapa jenis ikan mempunyai bentuk fusiform (stream line/lancet), sementara yang lain beradaptasi untuk mengurangi gesekan. Ikan yang hidup di laut bebas bersifat predator, bentuk tubuh yang memanjang, dan sirip ekor yang kuat dan keuntungan mekanik lainnya untuk bergerak lincah. Ikan yang makanannya didasar laut, bentuk tubuhnya rata untuk bergerak dan menyamar (berdiam tidak kelihatan) di dasar laut. Bentuk tubuh belut yang memanjang sangat cocok untuk merayap di lumpur dan membuat lubang. Beberapa seperti ikan pipa sangat lunak sehingga susah dibedakan karena mirip dengan alga. Beberapa bentuk tubuh aneh lainnya merupakan adaptasi **mimetic dan cryptic** untuk menyamar sehingga terhindar dari predator atau tidak dapat dikenali oleh calon mangsa (sebagai predator).

Ikan bertulang keras bervariasi ukurannya. Ada yang berukuran kurang 2 cm ada juga yang 3 m. Kelas Osteichthyes dibagi menjadi 3 kelompok yang berbeda: ikan bersirip lobus, ikan berparu-paru dan ikan bersirip. Karakteristik utamanya yaitu:

- 1) Rangka bertulang keras, beberapa vertebra, ekor tipe homocercal.
- 2) Kulit dengan kelenjar mukosa dan sisik dermal yang tertanam dalam kulit. Tipe sisik : ganoid, cycloid atau ctenoid, beberapa ikan tanpa sisik, tidak mempunyai sisik plakoid.
- 3) Kedua pasang sirip terdiri atas tulang rawan atau tulang keras.
- 4) Mulut terminal, dengan gigi tipe homodont (beberapa tidak mempunyai gigi), ada rahang, sakus olfaktorius sepasang yang terbuka atau tidak ke dalam mulut.
- 5) Pernafasan melalui insang yang ditunjang oleh lengkung insang dan dibungkus oleh operculum.
- 6) Gelembung renang ada yang tersambung ke prarynx ada juga yang tidak.

- 7) Peredaran darah terdiri atas 2 ruang jantung, sistem arteri dan vena, dan 4 pasang lengkung aorta.
- 8) Sistem saraf terdiri atas otak dengan lobus olfaktorik yang kecil dan cerebrum, dan lobus optikus besar dan cerebellum; ada 10 pasang saraf otak.
- 9) Jenis kelamin sudah terpisah, gonad sepasang, biasanya fertilisasi eksternal, bentuk larva mungkin sangat berbeda dengan dewasa.

Klasifikasi Kelas Osteichthyes: ikan bertulang keras (Burhanudin, 2008).

Subkelas Actinopterygii, ciri-ciri: Rangka diperkuat oleh tulang sejati, tetapi ada yang terdiri dari tulang rawan yang diperkuat oleh pelat tulang sejati. Tipe sisik cycloid, ctenoid dan beberapa spesies ganoid. Jari-jari sirip dubur dan sirip punggung biasanya berjumlah banyak. Sirip ekor biasanya homocercal.

Superordo Paleonisci (paleoniscoids) Ciri-ciri: Ikan bersisik dengan tubuh seperti hiu; ekor biasanya heterocercal; ada satu sirip dorsal.

Superordo Polypteri (ikan bersisik ganoid) Ciri-ciri : Ukuran sedang mencapai 1 m, primitif, memanjang, sirip caudal simetris, sirip dorsal terbagi kedalam sejumlah sirip terpisah; kantung udara berfungsi seperti paru-paru dan terhubung ke sisi ventral dari perut.

Ordo Polypteriformes (bichirs)

Superordo Chondrostei (ikan ganoid bertulang rawan). Ciri-ciri : Ukuran sedang besarnya hingga 9 m, primitif, ikan bersisik dengan tubuh seperti hiu dan ekor heterocercal; mulut subterminal; banyak tulang rawan; kantung udara perut di dalam dan muncul dari sisi dorsal perut; ada katup spiral di usus.

Ordo Acipenseriformes (sturgeon dan paddlefish)

Superordo Holostei (ikan ganoid bertulang keras). Ciri-ciri: Ukuran sedang hingga besar (0,7- 3 m), ikan bersisik pendek; ekor heterocercal; sisik ganoid atau sikloid; kantung udara berfungsi sebagai tambahan organ respirasi, terdapat sejumlah lipatan pada bagian dalam permukaan, dan tersambung ke sisi dorsal dari perut, terdapat katup spiral di usus.

Ordo Amiiformes (ikan bowfin) Ciri-ciri: Holostean kecil dengan rahang tidak menonjol keluar dan garis melintang disekitar kepala; sirip dorsal panjang dan berduri; kepala dilapisi dengan lempengan tulang; sisik sikloid; hanya ada satu spesies yaitu *Amia calva*.

Ordo Lepisosteiformes (ikan gars) Ciri-ciri: Ukuran tubuh sedang hingga besar dengan moncong memanjang; sirip dorsal belakang pada tempatnya; sisik ganoid berbentuk belah ketupat; memiliki satu genus yaitu *Lepigosteus*.

Superordo Teleostei (ikan bertulang keras tingkat tinggi) Ciri-ciri: Ukuran tubuh sangat kecil hingga besar; sisik ganoid kurang sempurna pada beberapa spesies, biasanya sikloid atau ktenoid; ekor biasanya homocercal.

Ordo Clupeiformes (ikan salmon dan sebangsanya) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga cukup besar (0,035 – 2,4 m); jaringan tulang masih primitive dengan sirip lunak; gelembung renang biasanya tersambung.

Ordo Scopeliformes (ikan iniomous) Ciri-ciri: Ukuran tubuh relative kecil (0,025 – 1 m); bersisik lunak, banyak yang memiliki organ penghasil cahaya.

Ordo : Saccopharyngiformes (belut gulper laut dalam) Ciri-ciri : Ukuran tubuh memanjang hingga mencapai 2 m; sirip pelvic, iga, sisik dan gelembung renang tidak ada; memiliki photophores ditubuhnya; memiliki dua atau tiga family.

Ordo Galaxiiformes (ikan galaxiid) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil sampai 0,6 m; tidak bersisik dengan bagian belakang memiliki sirip dorsal dan sirip anal; memiliki satu family.

Ordo Esociformes (ikan pike) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga sedang (tidak kurang dari 0,05 hingga 1,5 m); gelembung renang terhubung dengan usus; sisik sikloid.

Ordo Mormyridae (ikan mormirid) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga sedang mencapai 1,5 m; sering bermoncong memanjang; memiliki satu atau dua family.

Ordo Cypriniformes (ikan cyprinus, karper) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga sedang; gelembung renang biasanya terhubung dengan usus; sirip pelvic biasanya dibalik sirip pectoral.

Ordo Anguilliformes (belut) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga sedang dapat mencapai 2 m; ikan bertubuh memanjang; sirip dorsal dan sirip anal menyatu dengan sirip ekor; sirip pelvic belum sempurna; sisik kecil atau belum sempurna.

Ordo Cyprinodontiformes (ikan cyprinodontid, minno) Ciri-ciri: Ukuran tubuh biasanya kurang dari 0,3 m; memiliki satu sirip dorsal, kira-kira memiliki 7 famili.

Ordo Belontiiformes (ikan terbang) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga sedang dapat mencapai 1,2 m; tubuh memanjang dengan garis lateral yang sangat lemah pada tubuhnya; sisik sikloid berukuran kecil hingga sedang; gelembung renang tidak terhubung dengan usus; memiliki 4 famili.

Ordo Gadiformes (codfishes dan hakes) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga besar (0,1 – 2 m); ikan memiliki sirip pelvic depan hingga sirip pectoral; sisik sikloid; gelembung renang tidak terhubung dengan usus pada dewasa; memiliki 4 famili.

Ordo Macruriformes (deep-sea rattails) Ciri-ciri: Ukuran tubuh sedang hingga 1 m; berhubungan dekat dengan Gadiformes tetapi dengan sirip caudal menyatu dengan sirip dorsal dan sirip anal; sebuah duri ada kalanya berhubungan dengan sirip dorsal yang pertama; sisik sikloid atau ktenoid; memiliki 1 famili.

Ordo : Percopsiformes (troutperch dan pirateperch) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil (0,075 – 0,15 m); ikan dengan ciri-ciri peralihan antara primitif; sirip pelvic belakang sirip pectoral; sirip dorsal, sirip pelvic dan sirip anal dengan satu atau lebih duri mendahului ruas sirip lunak; memiliki 1 famili dengan 3 spesies.

Ordo : Beryciformes (ikan squirrel) Ciri-ciri : Ukuran tubuh kecil (0,075 – 0,6 m); masih berhubungan dengan perciformes tapi mempertahankan beberapa ciri primitif; sirip pelvic di bawah atau sedikit di belakang sirip pectoral; sirip dorsal didahului oleh serangkaian duri; duri berada di sirip pectoral; sisik ktenoid; memiliki 15 atau 16 famili.

Ordo : Perciformes (ikan perchlike) Ciri-ciri: Ukuran tubuh sangat kecil hingga sangat besar (0,01 – 5 m); sirip pelvic salah satunya berada di bawah atau di depan sirip pectoral; biasanya memiliki dua sirip dorsal; sisik biasanya ktenoid; memiliki 20 subordo dan 125 famili.

Ordo Echeiroidae (ikan remora) Ciri-ciri: Ukuran tubuh sedang hingga 1 m; memiliki ruas pada sirip punggung bagian depan yang termodifikasi membentuk sebuah seri pada sepasang lipatan melintang disebuah cakram penghisap di kepala bagian atas; tidak memiliki gelembung renang; memiliki 1 famili dengan 6 spesies.

Ordo Zeiroidae (ikan John Dorys dan sejenisnya) Ciri-ciri: Ukuran tubuh sedang hingga 1 m; memiliki ruas duri pada sirip punggung; satu hingga 4 duri di bagian dan sirip anus; memiliki 3 famili.

Ordo Pleuronectiformes (ikan pipih) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga besar (0,15 – 3 m); ikan berbentuk asimetri dengan tubuh mengecil kesamping dan kedua mata pada sisi yang sama dari kepala; satu sisi tubuh tidak berpigmen dan berguna untuk berhenti di substrat; sirip punggung dan sirip anus menyatu sepanjang panjang tubuh; biasanya tidak memiliki gelembung renang; memiliki 2 subordo dan 5 famili.

Ordo Gasterosteiformes (ikan sticklebacks dan tubenose) Ciri-ciri: Ukuran tubuh sangat kecil (0,04 – 0,15 m); ikan berduri dengan 3-15 duri bebas di depan ke sirip punggung; satu duri besar di ujung depan dari sirip panggul lain.

Ordo Syngnathiformes (ikan mulut pipa) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil biasanya (0,03 – 0,7 m); ikan berbentuk memanjang, seperti pipa bermoncong; sirip punggung depan nampak memiliki ruas berduri; gelembung renang tidak terhubung dengan usus ketika dewasa memiliki 2 subordo dan 7 famili.

Ordo Ophiocephaliformes (ikan kepala ular) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga sedang (0,15 – 1 m); peciform – seperti ikan dan memiliki sirip panggul belakang dan sirip dada; sirip tidak sepasang dengan duri tidak sempurna; gelembung renang tidak terhubung dengan usus pada dewasa; memiliki 1 famili.

Ordo Muligiformes (ikan barakuda, mullet dan silverside) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga sedang (0,13 – 2 m); ikan berduri dengan sirip pelvik terletak dibagian belakang abdomen punggung depan berduri dan terpisah dari punggung belakang yang memiliki sirip lunak; sirip pelvic tersusun dari lima ruas yang di dahului oleh sebuah duri; memiliki 2 subordo dan 3 famili.

Ordo Phallostethiformes (ikan phallostethi) Ciri-ciri: Ukuran tubuh sangat kecil biasanya kurang dari 0,04 m. ikan dengan sirip pelvik kurang sempurna; terdapat dua sirip dorsal; gelembung renang tidak terhubung dengan usus pada dewasa; memiliki 1 famili.

Ordo Lophiiformes (ikan nona) Ciri-ciri: Ukuran tubuh kecil hingga sedang (0,05 – 1,3 m); memiliki sirip pektoral yang termodifikasi untuk berjalan; sirip pelvic terletak di kerongkongan; gelembung renang tidak terhubung dengan usus pada dewasa; memiliki 2 subordo dan 5 famili.

Ordo Tetraodontiformes (ikan trigger, puffer dan ocean sunfishes) Ciri-ciri: Ukuran kecil hingga sangat besar mencapai 3,7 m; ikan memiliki mulut relative kecil dan insang membuka; tubuh sering tertutup duri; memiliki 4 subordo dan 8 famili.

Subkelas Sarcopterygii (fleshy-finned fishes) ciri-ciri: mempunyai sirip yang berpasangan berbentuk menonjol (*lobate*) yang berdaging. Sisik mempunyai basis tulang endoskeletal yang kuat. Biasanya rongga hidung berhubungan dengan rongga mulut pada ikan paru (*lungfishes*), kecuali pada ikan lobefins (*Latimeria*).

Ordo Crossopterygii (lobe-finned fishes) Ciri-ciri: Ikan memiliki sebuah cuping memanjang hingga bagian bawah sirip; biasanya mempunyai dua sirip dorsal; memiliki dua kelompok yaitu Osteolepiformes dan Coelacanthiformes.

Ordo Dipnoi (ikan paru-paru) Ciri-ciri: Ikan memiliki sirip memanjang bertipe archipterygeal; gigi berbentuk dua lempeng; gelembung renang tersambung ke sisi ventral perut dan fungsional, setidaknya sebagai organ respirasi; terbagi kedalam dua subordo yaitu Ceratoidei, meliputi genus *Neoceratodus* Australia dan *Lepidosirenoidei* yang mencakup *Lepidosiren* di Amerika Selatan dan *Protopterus* di Afrika.

Subkelas Sarcopterygii (Ikan bersirip lobus)

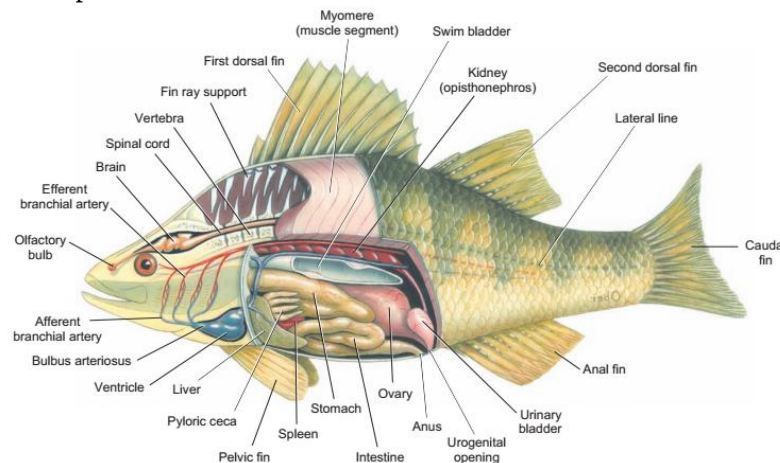
Hanya tinggal satu spesies yang ada yaitu *Coelacanth* yang terdapat di laut Sulawesi Indonesia dan daerah madagaskar Afrika Selatan. Ikan ini menduduki posisi yang penting dalam evolusi vertebrata karena dipercaya bahwa amphibia (vertebrata berkaki empat) berasal dari hewan ini. Ikan bersirip lobus mempunyai paru-paru sebaik insang yang sangat cocok untuk bertahan selama masa Devonian, dimana terjadi perubahan dari kekeringan menjadi banjir. Ikan ini menggunakan sirip lobus yang keras sebagai 4 kakinya untuk keluar dari rawa yang mengering menuju rawa lainnya yang masih berair.

Ikan berparu-paru (subkelas Dipneusti)

Ikan berparu-paru adalah kelompok ikan lain yang bersejarah. Ikan ini merupakan kelompok yang dapat bertahan pada masa Devon. Ada 3 genus, yang pertama adalah *Neoceratodus* yang hidup di Australia, ikan ini dapat hidup dalam air yang kadar oksigennya rendah, stagnan, dengan cara berenang ke permukaan dan menelan udara ke dalam paru-paru, tetapi tidak dapat meninggalkan air. Ikan *Lepidosiren* (ikan duyung) dan *Protopterus*, dapat hidup di luar air untuk waktu yang lama. Pada waktu musim panas, ikan ini hidup di lumpur dan mensekresikan lendir yang dicampur dengan lumpur untuk membentuk cocon untuk tempat melakukan dormansi sampai turun hujan.

Subkelas Actinopterygii (Ikan bersirip jari)

Ikan bersirip jari merupakan ikan bertulang keras yang banyak ditemui, ada sekitar 27000 spesies. Ikan ini muncul danau air tawar dan sungai pada masa Devon. Nenek moyangnya berukuran kecil, bertulang keras, mempunyai paru-paru yang berfungsi seperti insang. Kelompok ikan yang paling banyak yaitu teleost (G, teleost: sempurna, osteon: tulang), ikan modern. Ukuran ikan dewasa mulai dari 7 mm sampai 17 m dan 900 kg, ikan blue marlin mencapai 4,5 m.



Bagian tubuh ikan:

Caput (kepala):

- Rima oris (celah mulut)
- Fovea nasalis (cekung hidung)
- Organum visus (alat penglihatan)
- Apparatus opercularis (tutup insang)

Truncus (badan):

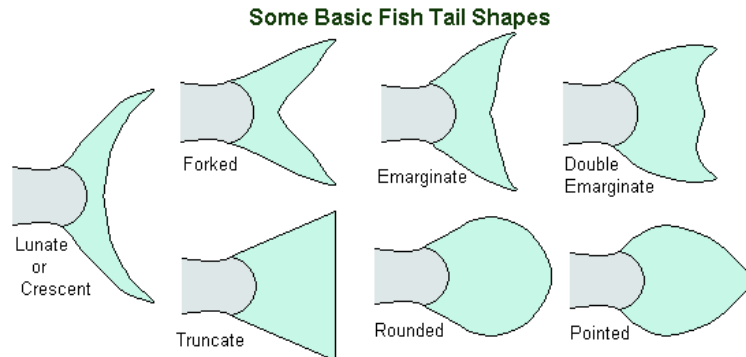
- Squama (sisik)
- Linea lateralis (garis literal)
- Anus (porus urogenitalis)
- Pinnae (sirip): caudalis (ekor), analis (dubur), ventralis (perut), dorsalis (punggung), pectoralis (dada)

Cauda (ekor):

Gambar 3.9. Ikan perch kuning *Perca flavescens* (Hickman, 2008)

Sifat ikan bertulang keras. Sisik seperti senjata pada ikan primitif, digantikan dengan sisik ctenoid atau sicloid (Gambar 3.5) yang tipis, ringan dan fleksibel. Sisik-sisik ini kelihatannya sama, kecuali sisik ctenoid yang mempunyai rigi-rigi seperti sisir pada tepinya, hal ini merupakan adaptasi untuk mengefisienkan berenang dengan cara mengurangi gesekan untuk bergerak di air. Beberapa ikan bertulang keras, seperti ikan lele, sculpin tidak mempunyai sisik. Hampir semua ikan bertulang keras mempunyai ekor tipe homocercal (Gambar 3.4 dan Gambar 3.10). Paru-paru pada ikan primitif, telah digantikan menjadi gelembung renang yang berfungsi

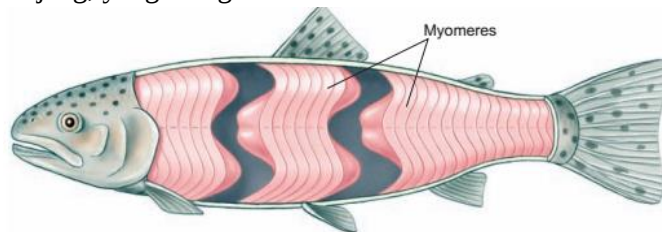
untuk mengapung. Ikan bertulang keras mempunyai sirip yang dapat manuver dengan baik untuk mengontrol gerakan tubuh. Pada ikan bertulang keras yang kecil, sirip sering dilengkapi dengan patil, duri tajam, sebagai pertahanan dari predator. Melalui adaptasi ini, ikan bertulang keras menjadi ikan yang paling berhasil dalam berevolusi.



Gambar 3.10. Tipe ekor ikan.

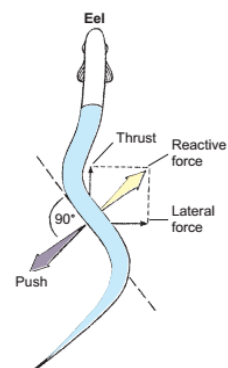
6. Pergerakan Ikan dalam Air

Semakin besar ikan maka semakin cepat pula berenang. Mekanisme meluncur pada ikan dikarenakan kerja dari otot-otot ekor dan badan (truncus). Otot-otot pergerakan terdiri atas otot berbentuk zigzag (myotomes) yang pada permukaan atas terlihat seperti huruf W (Gambar 3.11) di bagian dalam pita-pita otot bergerak bolak-balik (ke arah depan dan belakang) dalam gerakan yang kompleks sehingga terbentuk gerakan yang efisien. Otot diikat oleh lembaran yang lebar dari jaringan penunjang, yang mengikat columna vertebrae.



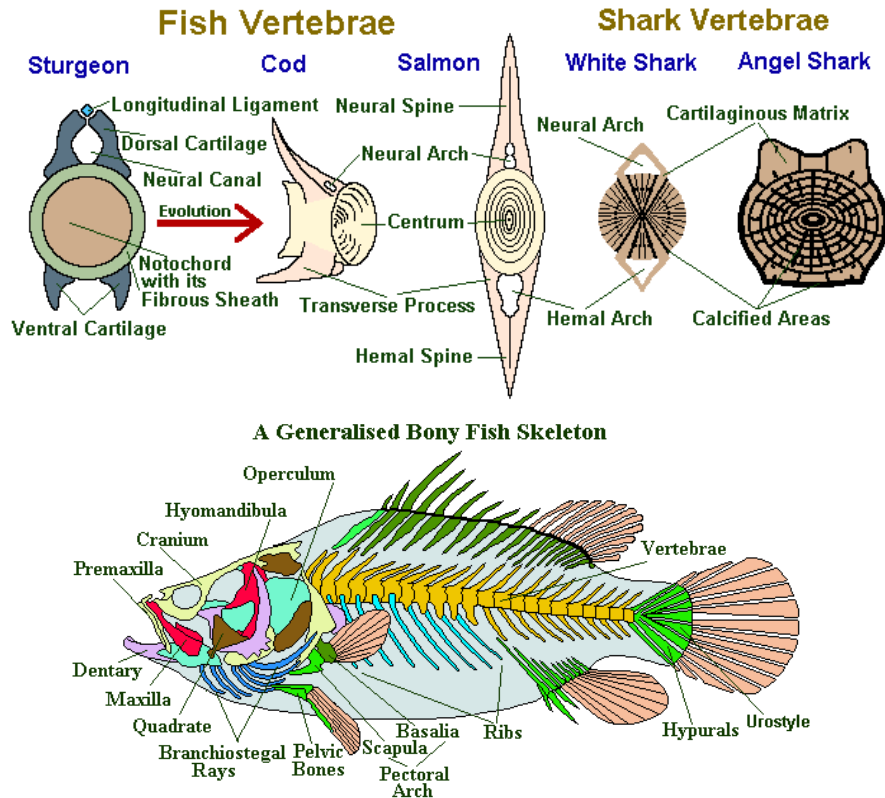
Gambar 3.11. Otot pada ikan teleost (Hickman, 2008).

Pergerakan dalam air. Gerakan ikan tidak seperti gerakan ular, gelombang kontraksi bergerak ke belakang sepanjang tubuhnya dengan mengubah kontraksi miotom di sisi tubuh yang berlawanan. Pada bagian ujung anterior tubuh, sedikit melengkung dibandingkan dengan bagian ujung posteriornya, sehingga setiap undulasi meningkatkan amplitudo yang bergerak pada sepanjang tubuhnya. Sementara gerakan undulasi bergerak ke belakang, lengkungan tubuhnya menekan air ke samping, menghasilkan gaya reaktif langsung ke arah depan, tetapi membentuk sudut. Sudut ini apabila diurai menjadi gaya tegak lurus (thrust) dan gaya samping (lateral force). Gaya thrust digunakan untuk mengatasi hambatan dan ikan sehingga tidak berputar ke depan, dan gaya samping, menyebabkan kepala ikan cenderung berubah (bergeser) searah dengan ekor. Gerakan kepala samping-menyamping ini sangat nyata pada ikan belut atau ikan hiu, tetapi banyak ikan mempunyai kepala yang besar dan kaku sehingga mempunyai pertahanan permukaan yang lebar untuk meminimalkan pergeseran.



Gambar 3.12. Gerakan ikan belut (Hickman, 2008)

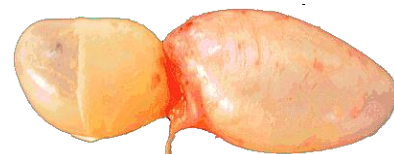
Gerakan ikan belut efisien pada kecepatan yang rendah, tetapi bentuk tubuhnya mengalami terlalu banyak gesekan untuk gerakan yang cepat. Ikan-ikan yang berenang dengan cepat seperti ikan gurame agak kurang fleksibel dan membatasi gerakan undulasi tubuh terutama pada bagian caudal. Gaya otot yang dihasilkan dalam massa otot anterior ditransfer melalui tendon ke ekor dan peduncle bagian ekor yang tidak berotot disini gaya thrust dihasilkan. Perkembangan tertinggi pada gerakan berenang ini terdapat pada tunas yang tubuhnya tidak lentur sama sekali. Secara maya gaya thrust dihasilkan dari pukulan yang kuat dari sirip ekor.



Gambar 3.13. Vertebra pada ikan Osteichthyes dan ikan hiu.

Berenang merupakan bentuk yang paling ekonomis dari gerakan hewan, karena hewan air ditunjang oleh medianya dan mengeluarkan energi lebih sedikit untuk menatasi gaya gravitasi. Bila kita bandingkan biaya energi per kg berat tubuh pada waktu bepergian pada jarak 1 km, dengan berbagai bentuk lokomotion, berenang hanya menghabiskan 0,39 kcal, terbang 1,45 kcal, dan 5,43 kcal kalau berjalan. Pertanyaan yang masih tersisa adalah, mengapa air tidak keruh pada waktu ikan berenang? Rahasiannya terletak pada cara tubuh dan siripnya pada waktu berenang dan sifat mengurangi gesekan pada permukaan tubuhnya.

Gelembung renang. Ikan lebih berat dibandingkan dengan air, karena rangkanya dan jaringan lainnya mengandung elemen yang berat yang hanya ada dalam jumlah sedikit dalam air alami. Supaya tidak tenggelam, ikan hiu harus selalu bergerak dalam air. Ekor heterocercal menyediakan ekor yang terangkat untuk mengibaskan air dan kepala yang besar dengan sirip dada yang gepeng berlaku sebagai sudut agar bisa mengangkat.



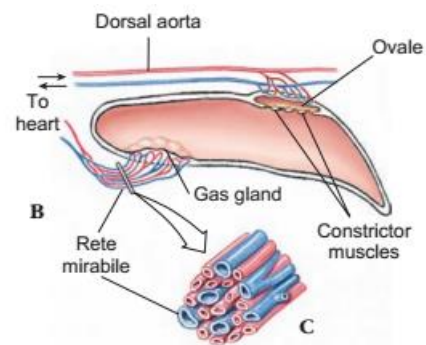
Gambar 3.14. Gelembung renang ikan.

Agar dapat mengapung Ikan hiu juga ditolong oleh hati yang berukuran besar yang mengandung squalene (hidrokabon berlemak yang khusus) yang mempunyai kerapatan hanya 0,86. Jadi fungsi hati sebagai kantong yang besar mengandung minyak untuk mengapungkan tubuh ikan yang berat.

Namun demikian alat pengapung yang paling efisien adalah gelembung renang (Gambar 3.14) yang terdapat pada ikan bertulang keras pada masa Devon. Paru-paru mungkin sebuah struktur yang dikembangkan sehubungan adanya perubahan iklim dari iklim basah menjadi iklim kering, sehingga ikan ini bisa tetap hidup. Gelembung renang tidak ditemukan pada ikan yang menghuni dasar laut. Dengan menyesuaikan volume gas dalam gelembung renang, seekor ikan dapat mengapung pada kedalaman laut tanpa ada kerja dari otot. Namun sistem ini memiliki masalah-masalah teknik. Bila ikan berenang lebih dalam, gelembung renangnya mengempis, sehingga ikan lebih berat dan cenderung untuk tenggelam. Gas harus ditambahkan ke dalam gelembung untuk mencapai kesetimbangan mengapung. Bila ikan berenang ke atas, gas dalam gelembung akan mengembang, menyebabkan berat ikan mengecil. Hanya jika ikan dapat mengeluarkan gas, maka ikan tersebut akan terlempar ke atas (bila tidak terkontrol).

Ikan menyesuaikan volume gas dalam gelembung renang dengan dua cara. Ada ikan yang mempunyai ductus pneumaticus yang menghubungkan antara gelembung renang dengan esophagus. Struktur ini yang mengharuskan ikan tersebut ke permukaan dan menelan udara untuk mengisi kembali gelembung renang dan terbatas hanya pada daerah yang dangkal. Ikan bertulang keras banyak yang tidak mempunyai duktus pneumaticus. Pada jenis ikan ini gas berasal dari darah dan disekresikan ke dalam gelembung renang. Pertukaran gas tergantung pada dua area khusus: **kelenjar gas** yang mensekresikan gas ke dalam gelembung renang, dan **area resorptif atau oval**, yang dapat menghilangkan gas dari gelembung renang. Kelenjar gas disuplai oleh gas melalui jaringan kapiler darah yang disebut **rete mirabile** (jaringan) (lihat Gambar 3.15) yang berfungsi sebagai sistem pertukaran bolak-balik untuk menangkap gas khususnya oksigen dan mencegah tidak masuk kembali ke dalam peredaran darah.

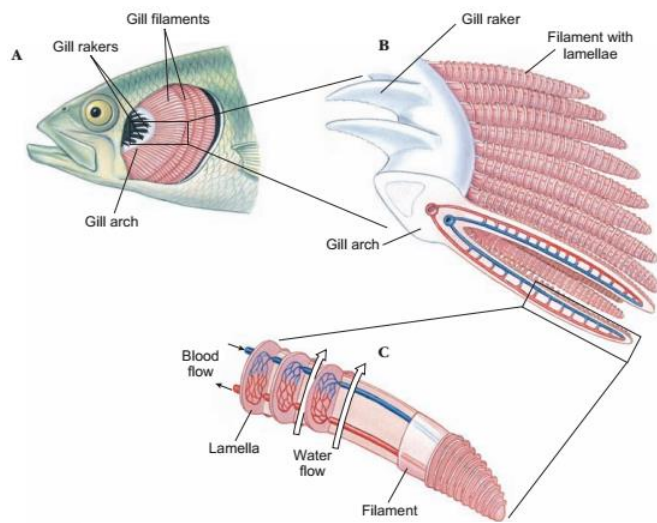
Keefektifan organ ini terlihat dari ikan-ikan yang hidup pada kedalaman 2400 m. Untuk menjaga agar gelembung renang tidak meletus pada kedalaman tersebut, tekanan gas di dalam (paling banyak oksigen argon, nitrogen, CO₂ dan CO), harus melebihi 240 atm, lebih besar dibandingkan dengan tekanan silinder gas dari baja. Tetapi tekanan oksigen di dalam darah ikan tidak bisa melebihi 0,2 atm, sama dengan tekanan oksigen di permukaan laut. Ahli fisiologi, awalnya heran dengan mekanisme ini, sekarang memahami bagaimana hal itu bekerja. Secara jelasnya, kelenjar gas mensekresikan asam laktat yang masuk ke dalam darah, hal ini menyebabkan keasaman yang tinggi dalam rete mirabile dan memaksa hemoglobin untuk melepaskan O₂ nya. Kapiler dalam rete mirabile tersusun sedemikian rupa sehingga oksigen yang terlepas berakumulasi dalam rete mirabile, akhirnya mencapai tekanan yang tinggi sehingga oksigen bisa masuk (berdifusi) ke dalam gelembung renang. Tekanan gas yang dicapai akhir dalam gelembung renang tergantung dari panjangnya kapiler dalam rete mirabile yang relatif pendek pada ikan yang hidup di permukaan dan relatif panjang pada ikan yang hidup di tempat dalam.



Gambar 3.15. Gelembung renang dan rete mirabile (Hickman, 2008).

7. Sistem Respirasi dan Peredaran Darah

Struktur insang ikan tipis (Gambar 3.16), filamennya bercabang yang ditutupi dengan membran epidermis tipis yang melipat-lipat membentuk lamella. Insang ini sangat kaya dengan jaringan pembuluh darah. Insang ini terletak di dalam rongga pharyngeal dan ditutupi oleh operculum. Operculum menjaga filamen lunak, tubuh yang streamline, dan membentuk sistem pompa air yang masuk melalui mulut melewati insang, dan keluar dari bawah tutup insang. Pada ikan elasmobranchii tidak ada membran tutup insang tapi mempunyai celah insang. Aliran air bertolak belakang dengan arah aliran darah, hal ini merupakan susunan yang paling baik untuk mengekstraksi oksigen sebanyak mungkin dari air (hampir 85%).



Gambar 3.15. Insang ikan dan peredaran darah (Hickman, 2008).

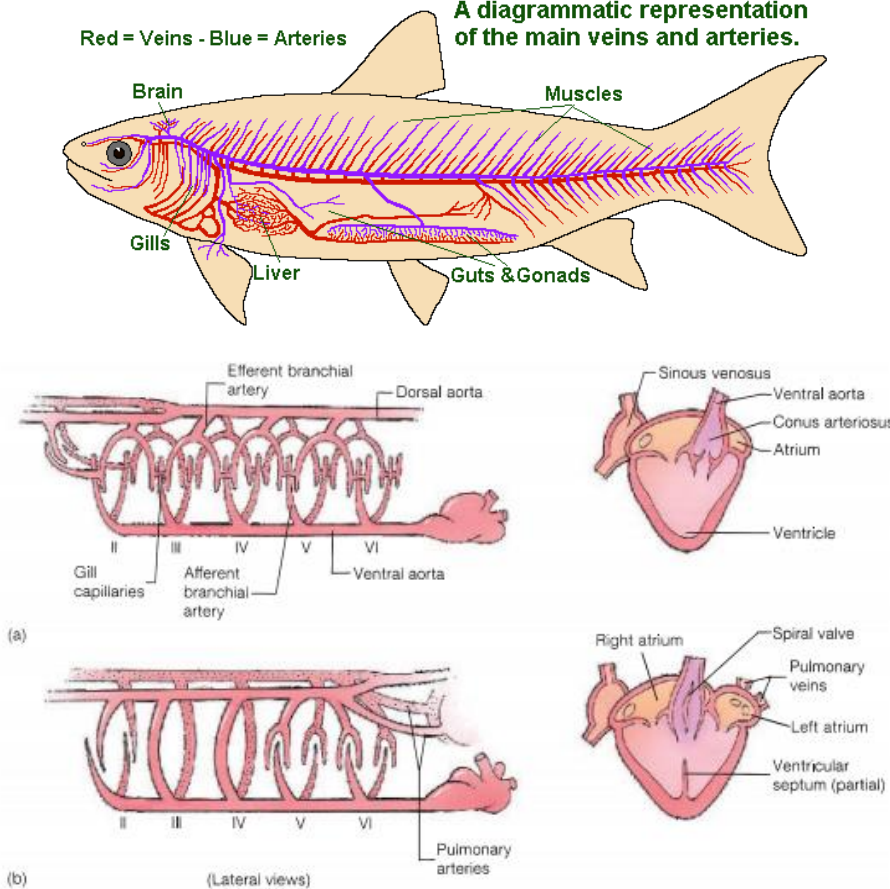
Sistem peredaran darah pada ikan merupakan sistem peredaran darah tunggal dan tertutup, artinya darah mengalir ke satu arah dengan melewati berbagai organ. Organ-organ yang terlibat dalam sistem ini adalah Jantung dan pembuluh darah arteri dan pembuluh darah vena. Ikan bernafas menggunakan insang (branchia), tempat terjadinya difusi O_2 dari luar dan CO_2 dari dalam tubuh ikan. O_2 berasal dari aliran darah yang masuk bersama dengan air ketika ikan memasukkan air melewati mulutnya (proses inhalasi). Sedangkan CO_2 dikeluarkan pada waktu air keluar melewati operculum dan selaput branchiostegi pada operculum (proses ekshalasi).

Pada insang, O_2 masuk ke dalam arteri efferent yang kemudian akan mengalirkan darahnya ke dua arah yaitu kepala melalui arteri karotis dan ke arah posterior melalui arteri dorsalis. Dari arteri dorsalis terdapat cabang-cabang menuju ke berbagai organ seperti hati (hepar), Ginjal (ren), dan organ lainnya. Cabang arteri yang menuju ke hepar disebut arteri hepatica, sedangkan yang menuju ke ginjal disebut arteri renalis. Penamaan suatu pembuluh arteri sesuai dengan nama organ yang dituju. Jadi **arteri hepatica adalah pembuluh darah yang membawa darahnya dari jantung** (lihat Gambar 3.16) menuju organ hati (hepar). Setelah O_2 -nya digunakan oleh organ, kemudian CO_2 yang merupakan limbah dari sel (organ) akan dibawa oleh pembuluh darah **vena ke jantung**. Organ jantung (Gambar 3.16) pada ikan teleostei terdiri atas 2 ruang yaitu 1 atrium dan 1 ventrikel, tapi ada ruangan sinus venosus yang terletak tepat sebelum ventrikel. Ruangan sinus venosus menampung darah dari seluruh organ sebelum mengalirkannya ke jantung (ventrikel).

The Vascular System of a Fish

Red = Veins - Blue = Arteries

A diagrammatic representation of the main veins and arteries.



Gambar 3.16. Jantung ikan dan sistem peredaran darah (Miller-Harley, 2001).

8. Pertumbuhan dan Reproduksi

Dalam sebuah kelompok yang beragam seperti ikan, hal yang tidak mengherankan bila banyak sekali variasi dalam hal reproduksi. Kebanyakan ikan bersifat dioecious (lihat anatomi pada Gambar 3.9) dengan fertilisasi secara eksternal dan perkembangan eksternal dari telur dan embrio. Cara reproduksi seperti ini disebut oviparus. Namun ikan jenis lain ada yang ovovivipar. Bahkan ada beberapa ikan hiu yang mengandung anaknya (ada placenta) dan melahirkan anaknya (vivipar).

Umumnya reproduksi ikan bersifat ovipar. Sekumpulan ikan laut, mengeluarkan sel-sel gonadnya ke air laut, tanpa kopulasi. telur ikan bertulang keras yang hidup di laut lepas berukuran kecil, terapung, transparan, sedangkan ikan yang hidup agak di tepi laut, ukuran sel telurnya lebih besar, mengandung banyak yolk, tidak mengapung dan menempel pada substrat. Secara keseluruhan, tingkat penyebaran telurnya lebih konservatif. Beberapa ikan mengubur telurnya, ada juga yang menempelkan telurnya pada tanaman, ada juga yang menyimpannya dalam sarang, bahkan ada juga yang menginkubasi dalam mulut induknya. Banyak spesies ikan yang hidup di pantai menjaga telur-telurnya, sementara yang jantan menjaganya.

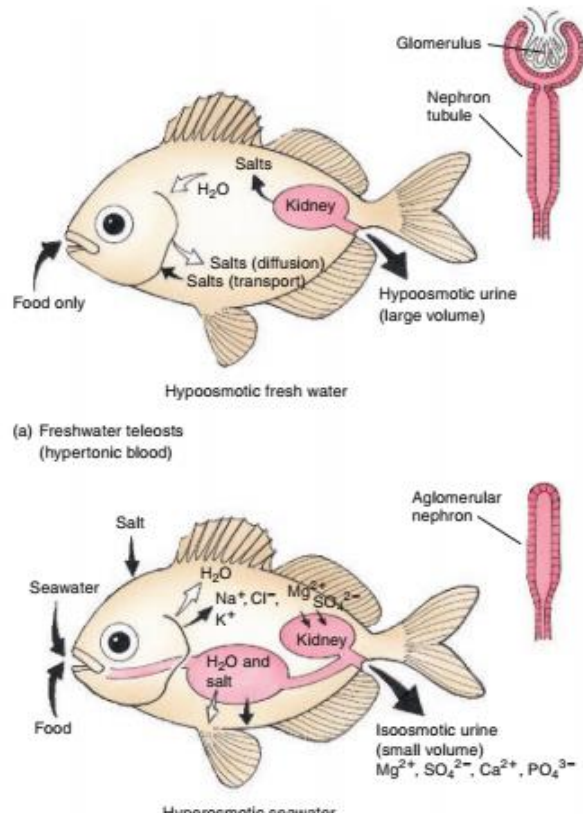
Ikan air tawar menghasilkan telur yang tidak terapung, seperti ikan gurame, yang tidak mempunyai perilaku memelihara anaknya, secara sederhana hanya meletakkan telurnya diantara algae didasar kolam. Segera setelah telur dibuahi dan diletakkan, telur tersebut menyerap air dan telur tersebut mengeras. Pada perkembangan embrionik selanjutnya, menetas membawa yolk yang semitransparan yang besar. Setelah semua yolk diserap dan mulut dan saluran pencernaan dibuat, larva baru mencari makan sendiri. Kemudian larva tersebut mengalami metamorfosis. Perkembangan embrio sangat bergantung pada temperatur. Ikan yang hidup pada daerah sub tropis misalnya akan cepat berkembang pada musim panas sedangkan pada musim dingin terhenti pertumbuhan. Pertumbuhan sisik ikan menunjukkan adanya pengaruh temperatur terhadap pergiliran pertumbuhan tersebut.

9. Sistem Osmoregulasi pada ikan

Ikan hidup di air, namun ada yang hidup di air laut, air tawar dan air payau. Akibat dari perbedaan konsentrasi garam pada air di lingkungannya, maka tubuh ikan mempunyai mekanisme pengaturannya sehingga ikan tersebut bisa hidup (cara beradaptasi). Sistem osmoregulasi adalah sistem pengaturan keseimbangan tekanan osmotik cairan tubuh dengan tekanan osmotik habitat (perairan).

Ikan air tawar (lihat Gambar 3.17) akan cenderung menyerap air dari lingkungannya dengan cara osmosis karena kadar garam dalam tubuh ikan lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungannya. Insang ikan air tawar secara aktif memasukkan garam dari lingkungan ke dalam tubuh. Ginjal memompa keluar kelebihan air sebagai urin. Ikan air tawar harus selalu menjaga dirinya agar garam tidak melarut dan keluar ke habitat. Ginjal mempunyai glomeruli dalam jumlah banyak dengan diameter besar. Ini dimaksudkan untuk lebih dapat menahan garam-garam tubuh agar tidak keluar dan sekaligus memompa urin sebanyak-banyaknya. Ketika cairan dari badan malpighi memasuki tubuli ginjal, glukosa akan diserap kembali pada tubuli proximalis dan garam-garam diserap kembali pada tubuli distal. Dinding tubuli ginjal bersifat impermeable (kedap air, tidak dapat ditembus) terhadap air. Ikan mempertahankan keseimbangannya dengan tidak banyak minum air, kulitnya diliputi mucus, melakukan osmosis lewat insang, produksi urinnya encer, dan memompa garam melalui sel-sel khusus pada insang. Secara umum kulit ikan merupakan lapisan kedap, sehingga garam di dalam tubuhnya tidak mudah bocor ke dalam air. Satu-satunya bagian ikan yang berinteraksi dengan air adalah insang.

Urine yang dihasilkan mengandung konsentrasi air yang tinggi. Ikan air laut memiliki konsentrasi garam yang tinggi di dalam darahnya. Ikan air laut cenderung untuk kehilangan air di dalam sel-sel tubuhnya karena proses osmosis melalui kulit. Untuk itu, insang ikan air laut



Gambar 3.17. Osmoregulasi ikan air tawar dan ikan air laut (Miller-Harley, 2001).

aktif mengeluarkan garam dari tubuhnya. Untuk mengatasi kehilangan air, ikan ‘minum’ air laut sebanyak-banyaknya. Dengan demikian berarti pula kandungan garam akan meningkat dalam cairan tubuh. Organ dalam tubuh ikan menyerap ion-ion garam seperti Na^+ , K^+ dan Cl^- , serta air masuk ke dalam darah dan selanjutnya disirkulasi. Kemudian insang ikan akan mengeluarkan kembali ion-ion tersebut dari darah ke lingkungan luar. Karena ikan laut dipaksa oleh kondisi osmotik untuk mempertahankan air, volume air seni lebih sedikit dibandingkan dengan ikan air tawar. Tubuli ginjal mampu berfungsi sebagai penahan air. Jumlah glomeruli ikan laut cenderung lebih sedikit dan bentuknya lebih kecil daripada ikan air tawar.

Alat ekskresi yang utama pada ikan adalah ginjal (ren). Pada ikan berkembang dua tipe ginjal, yakni :

- 1) Pronefros, merupakan tipe ginjal yang paling primitif. Ginjal ini terdapat pada perkembangan embrional sebagian besar ikan, tetapi saat berkembang menjadi ikan dewasa, ginjal ini menjadi tidak fungsional dan fungsinya digantikan mesonefros.
- 2) Mesonefros, memiliki fungsi seperti opisthonefros yang terdapat pada embrio amniota. Ginjal ikan terdiri atas dua bagian, yaitu ginjal dan saluran-salurannya:
 - a. Ginjal (ren), yang merupakan tipe ginjal mesonefros. Berjumlah sepasang, memiliki bentuk yang tidak begitu jelas. Ginjal terletak di luar ruang peritoneum, menempel di bawah tulang punggung dan memanjang dari dekat anus menuju ke arah depan hingga mencapai ujung rongga perut.
 - b. Saluran-saluran ginjal, sebagai berikut:
 - Ureter (ductus mesonephridicus = saluran Wolffian), merupakan saluran yang mengalirkan urin yang berasal dari ginjal, terletak di bagian pinggir dorsal rongga tubuh dan menuju ke belakang. Pada ikan jantan, kedua saluran ini tampak berupa tabung (tubulus) yang pendek, terentang dari ujung belakang ginjal sampai kantong urin, sedangkan pada ikan betina, saluran ini menuju ke sinus urogenitalia.
 - Vesica urinaria, atau disebut juga dengan kantong urin yang merupakan lanjutan dari ureter kiri dan kanan, terletak di dekat anus dan berbentuk seperti kantong kecil. Kantong urin ini berfungsi sebagai tempat penampungan urin sebelum dikeluarkan.
 - Urethra, berupa saluran pendek yang berasal dari vesica urinaria dan menuju ke porus urogenitalia. Urethra berfungsi sebagai saluran keluarnya urin dari dalam tubuh.
 - Ginjal ikan berjumlah sepasang yang memanjang sepanjang dinding dorsal abdomen, kanan dan kiri linea mediana. Tubulus ginjal pada ikan jantan telah mengalami modifikasi menjadi duktus eferen yang menghubungkan testis dengan duktus mesonefridikus. Kemudian, duktus mesonefridikus ini menjadi duktus deferens yang berfungsi untuk mengangkut sperma dan urin yang bermuara di kloaka. Ginjal mesonefros pada ikan terdiri atas sekumpulan tubulus.

- Memiliki susunan yang bersegmen dan di akhir perkembangannya tidak lagi bersegmen. Setiap tubulus, baik proksimal maupun distal berupa susunan yang menggulung dan mengumpul arah longitudinal yang disebut dengan duktus arkinofridikus. Setelah keluar melewati kantung penampungan sisa hasil sistem pencernaan atau sistem urogenital, bagian proksimal yang berupa beberapa tubulus mengumpul di kapsul hemisfer sebagai kapsula Bowman
- Glomerulus yang kemudian kapsula dan glomerulus akan membentuk kapsula renalis. Proses pengeluaran air, garam, dan sisa hasil metabolisme yaitu mengikuti aliran darah masuk ke dalam kapsula dan mengalir ke dalam tubulus kemudian ke duktus arkinofridikus dan berakhir ke luar tubuh di bagian kloaka. Sistem ini tidak terjadi pada semua ikan, ada yang mengalami perubahan sesuai kebutuhan hidup ikan, contohnya pada ikan hiu dimana fungsi duktus gonad dan ginjal telah berkembang yang dilengkapi dengan duktus urinari (Ambeng, 2012).

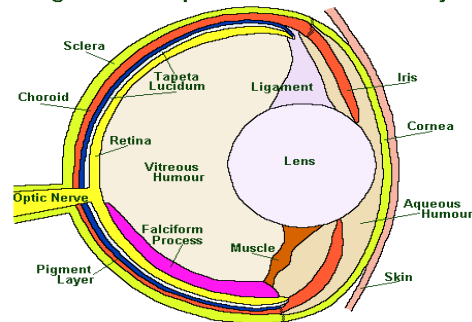
Hewan bertulang belakang membuang beberapa sisa hasil metabolisme melalui saluran pencernaan dan kulitnya, tetapi sebagian besar dibuang melalui ginjal. Ginjal berjumlah sepasang, berbentuk ramping, dan memanjang dengan warna merah tua terletak di bagian atas rongga perut di bawah tulang punggung. Hasil buangan berupa urin yang dihasilkan oleh ginjal dialirkan melalui sepasang ureter (duktus mesonephridikus) yang berjalan dipinggiran rongga badan sebelah dorsal menuju ke belakang. Ureter kiri dan kanan bertemu di belakang menjadi kantong urin atau vesica urinaria dan dari organ ini urin dikeluarkan melalui uretra yang pendek dan bermuara pada porus urogenital (Campbell, 2012).

10. Indera Ikan

Indra pada ikan yang berkembang dengan baik adalah indra penglihatan, pembau, dan pendengaran. Indra penglihatan ikan terletak di kedua sisi kepalanya. Bola mata ikan (Gambar 3.18) tidak dilindungi oleh kelopak, namun dilindungi oleh sel selaput tipis yang tembus cahaya. Ikan dapat melihat dengan jelas di dalam air karena baik air maupun kornea ikan membiasakan cahaya pada sudut yang sama. Sel-sel saraf penglihatan pada ikan terdiri atas sel-sel batang dan sel-sel kerucut.

Adanya sel-sel batang menyebabkan ikan dapat melihat dengan jelas pada tempat yang kurang cahayanya. Ikan juga dapat melihat warna walaupun hanya sampai tahap tertentu. Warna merah dan kuning mudah dilihat ikan, tetapi warna hijau, biru, dan hitam lebih sulit dibedakan. Mata ikan dapat berakomodasi dengan cara mengubah kedudukan lensa mata ke belakang (mundur) dan ke depan (maju). Gerakan ini dilakukan oleh otot kecil yang disebut retraktor lentis. Pada saat melihat benda dekat, otot retraktor lentis berelaksasi (mengendur) sehingga lensa bergerak ke depan.

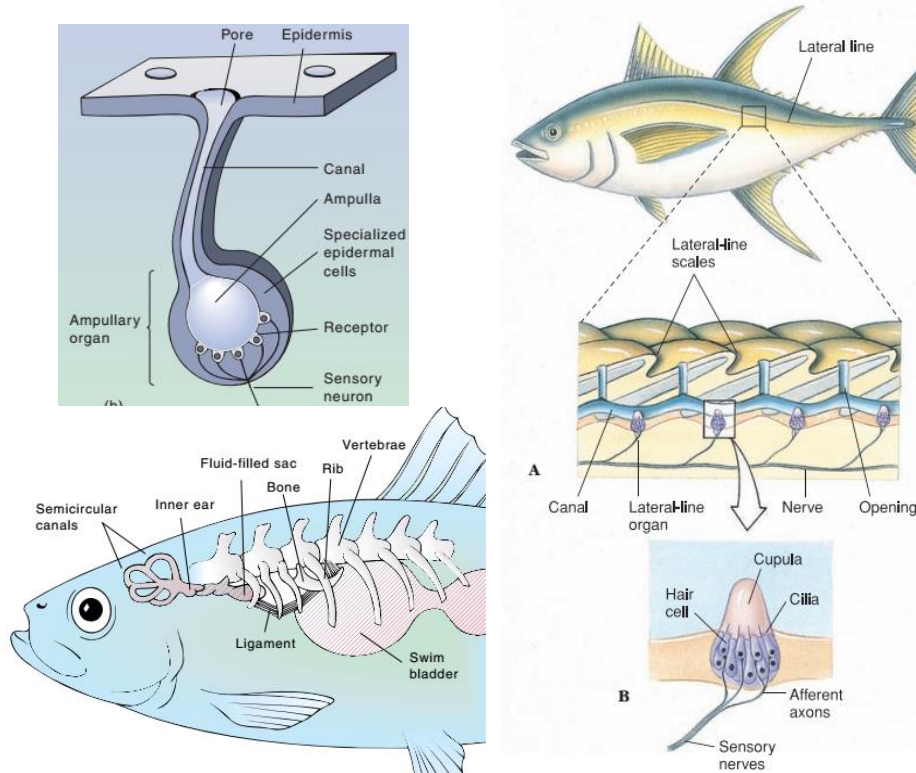
A Diagrammatic Representation of a Teleost Eye



Gambar 3.18. Anatomi mata ikan

Sebaliknya, pada saat melihat benda jauh, retraktor lentis berkontraksi (mengerut) sehingga lensa tertarik ke belakang.

Indra pembau pada ikan juga berkembang dengan baik. Indra pembau tersebut terletak di ruang kecil tepat di depan mata. Dengan indra itulah ikan mencari makanan, menghindari musuh, dan menemukan pasangan untuk kawin. Indra pendengar pada ikan mirip dengan telinga dalam (Gambar 3.19) manusia, dan tidak terlihat dari keluar karena terletak di dalam tengkorak. Telinga ikan membantu mendeteksi bunyi, menjaga keseimbangan tubuh ikan, dan membantu ikan merasakan perubahan kecepatan dan arah sewaktu berenang.



Gambar 3.19. Ampula Lorenzini (elektroreseptor) , telinga dalam ikan, dan gurat sisi ikan (Hickman, 2008 dan Miller & Harley, 2001).

Ikan mempunyai indra tambahan yang disebut gurat sisi. Gurat sisi juga disebut indra keenam. Fungsi gurat sisi adalah untuk mengetahui tekanan air. Selain itu, alat ini dapat mendeteksi gangguan sekecil apapun di air sekitarnya. Gurat sisi dengan tepat menentukan arah gangguan itu dan memberi kalau ikan hampir menabrak karang atau benda lain. Gurat sisi merupakan saluran di bawah kulit yang mempunyai saluran keluar tubuhnya. Sistem tersebut mengandung mekanoreseptor yang mendeteksi gelombang berfrekuensi rendah. Air dari sekeliling hewan memasuki gurat sisi melalui banyak pori dan mengalir sepanjang saluran melewati mekanoreseptor. Reseptor terbentuk dari segugus sel-sel rambut yang rambut-rambutnya tertanam dalam tudung yang bergelatin, kupula. Gerakan air menekuk kupula, mendepolarisasi sel-sel rambut dan menyebabkan potensial aksi yang di pancarkan sepanjang akson neuron sensoris ke

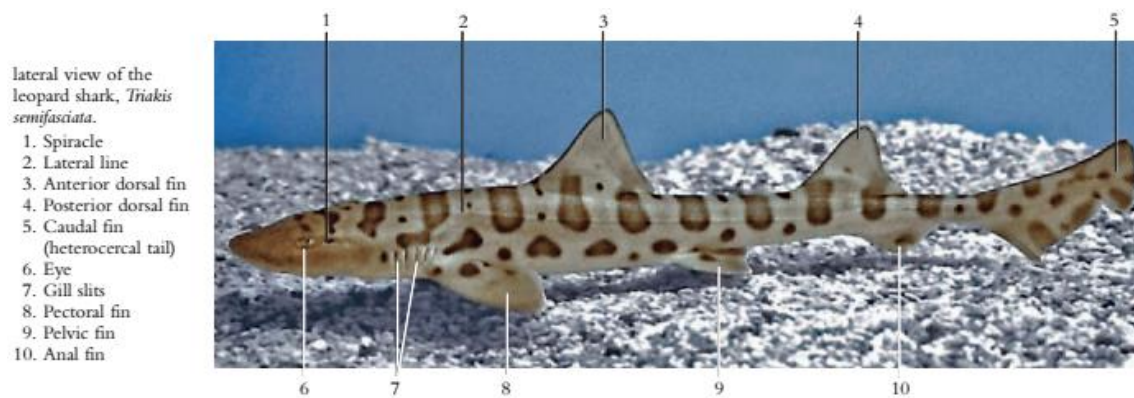
otak. Dengan cara ini ikan mempersepsi gerakannya melalui air atau arah dan kecepatan arus air yang mengalir diseluruh tubuhnya (Booolootian, 1979).

Pada ikan terdapat organ pendengaran yang berhubungan dengan gelembung renang, organ tersebut disebut Aparatus Weber. Mekanismenya adalah jika gurat sisi menerima getaran suara maka getaran tersebut akan diteruskan ke gelembung renang dan oleh gelembung renang, gelombang tersebut diteruskan ke telinga dalam. Telinga tidak membuka ke luar tubuh dan tidak memiliki gendang telinga atau koklea. Getaran air yang disebabkan oleh gelombang suara dihantarkan melalui tulang tengkorak ke sepasang telinga bagian dalam, menggerakkan otolit-otolit dan merangsang sel-sel rambut. Gelembung renang ikan yang terisi oleh udara juga bergetar sebagai respons terhadap suara. Indra penglihat ikan terletak di kedua sisi kepalanya.

11. Sistem Pencernaan

Alat-alat pencernaan makanan secara berturut-turut dari awal makanan masuk kemulut dapat dikemukakan sebagai berikut: **mulut dan rongga mulut, faring, esophagus, lambung, pylorus, usus, dan anus** (Gambar 3.9). Dalam beberapa hal terdapat adaptasi alat-alat tersebut terhadap makanan dan kebiasaan makanannya. Organ pencernaan ini dilengkapi dan dibantu oleh hati dan pancreas (Burhanuddin, 2008). **Organ mulut** merupakan bagian depan dari saluran pencernaan, berfungsi untuk mengambil makanan yang biasanya ditelan bulat-bulat tanpa ada perubahan. Lendir yang dihasilkan oleh sel-sel kelenjar dari epitel. Mulut ikan yang dapat memberikan petunjuk terhadap kebiasaan makan. Rongga mulut *Amphioxus* menyimpang jauh dari kepunyaan *Craniota*. Pada hewan ini pinggiran lubang mulut mempunyai 12-20 pasang tentakel yang dilengkapi dengan rambut getar dan indera. Pada mulut bagian belakang terdapat sekat melintang yang disebut *velum*, ditembus dengan lubang yang berhubungan dengan farings, yang mempunyai beberapa kantung insang. Menelan makanan pada ikan merupakan gerakan rangka visceral karena kerja dari otot visceral.

Selain letak yang berbeda-beda, bentuk mulut pun bermacam-macam. Bentuk dan letak mulut ini sangat erat kaitannya dengan jenis makanan yang menjadi kesukaan ikan. Mulut tipe superior mendapatkan makanan dari permukaan atau menunggu pada dasar perairan untuk menangkap mangsa yang lewat di atasnya. Ukuran mulut ikan dapat memberi petunjuk terhadap kebiasaan makan, terutama bila dikaitkan dengan mulut yang lebar dan gigi yang tajam, yang menandakan mereka termasuk golongan predator terhadap mangsa yang berukuran agak besar yang mungkin bisa ditelan seutuhnya. Beberapa ikan cucut mempunyai pengaturan geligi yang menjadikan mereka dapat mengigit gempalan besar binatang yang terlalu besar untuk ditelan begitu saja. Demikian pula dengan ikan Baraccuda (*Sphyræna*) dan piranha (*Serrasalmus*) (Burhanuddin, 2008).



Gambar 3.20. Morfologi hiu leopard (Adam & Crawley, 2013).

12. Soal Latihan

- 1) Buatlah bagan/mindmap pembagian/klasifikasi ikan.
- 2) Jelaskan perbedaan ikan bertulang keras dengan ikan hiu dan pari pada sistem berikut : rangka, bentuk ekor, sisik, respirasi, reproduksi, daya apung.
- 3) Jelaskan fungsi gelembung renang pada ikan bertulang keras. Bagaimana volume gas disesuaikan dalam gelembung renang?
- 4) Apa yang dimaksud dengan aliran bulak-balik pada insang ikan?
- 5) Osmoregulasi ikan laut dengan ikan tawar sangat berbeda. Jelaskan perbedaannya.

PRAKTIKUM 1

IKAN Chondrichthyes

Vertebrata kelas Chondrichthyes, hiu dan kerabatnya, disebut ikan bertulang rawan karena mereka memiliki endoskeleton yang relatif lentur yang terbuat dari tulang rawan dan bukan dari tulang keras. Namun demikian, pada sebagian besar spesies, beberapa bagian kerangka diperkuat oleh butiran berkalsium. Rahang dan sirip-berpasangan berkembang dengan baik pada ikan bertulang rawan. Subkelas yang paling besar dan paling beranekaragam terdiri dari hiu dan ikan pari. Ciri-ciri dari Chondrichthyes yaitu Rangka tulang rawan; Kerangka bertulang rawan pada ikan-ikan kelas ini adalah karakteristik yang diperoleh, bukan karakteristik primitif., ada yg bersisik dan ada pula yang tidak, celah insang ada satu pasang, lima pasang dan tujuh pasang, letak celah insang lateral dan ventral, mulut terletak pada sisi ventral, ada yang mempunyai spirakulum dan ada yang tidak, sirip berpasangan, tidak memiliki gelembung udara, lubang hidung sepasang; Lubang hidung pada kelas chondrichthyes hanya berfungsi untuk penciuman, dan untuk bernafas.

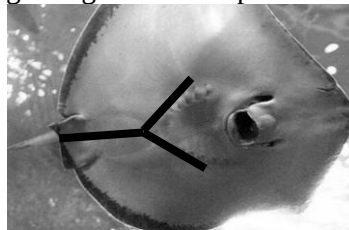
Tujuan: untuk mempelajari dan memahami anatomi dan morfologi ikan bertulang lunak.

Alat dan bahan:

- Ikan hiu (*Selachimorpha* sp.), ikan pari (*Dasyatidae* sp.)
- Papan bedah
- Lup/kaca pembesar
- Alat bedah (*dissecting set*)
- Mikroskop
- Jarum pentul

Cara kerja:

1. Letakkan ikan pada bak bedah
2. Lakukan pembedahan mulai dari bagian anus ikan ke arah thoracal sampai ke tulang rusuk dengan menggunakan gunting bedah atau pisau bedah.



3. Potong tulang rusuk ke arah lateral agar anatomi lebih terlihat, jika diperlukan.
4. Buka bagian yang telah dibedah untuk diamati.
5. Lakukan pengamatan anatomi meliputi: sistem pencernaan, respirasi, peredaran darah, ekskresi, reproduksi, indera, sistem gerak dan rangka.
6. Foto pengamatan Anda.
7. Diskusikan dengan kelompok Anda mengenai hasil pengamatan.
8. Buatlah laporan praktikum sesuai format.

PRAKTIKUM 2

Osteichthyes – IKAN AIR TAWAR

Ikan air tawar adalah ikan yang menghabiskan sebagian atau seluruh hidupnya di air tawar, seperti sungai dan danau, dengan salinitas kurang dari 0,05%. Lingkungan air tawar berbeda dengan lingkungan perairan laut dan yang paling membedakan adalah tingkat salinitasnya. Adaptasi pada bagian sisik ikan juga memainkan peran penting; ikan air tawar yang kehilangan banyak sisik akan mendapatkan kelebihan air yang berdifusi ke dalam kulit, dan dapat menyebabkan kematian pada ikan. Karakteristik lainnya terkait ikan air tawar adalah ginjalnya yang berkembang dengan baik. Ginjal ikan air tawar berukuran besar karena banyak air yang melewatinya. Ikan air tawar cenderung untuk menyerap air dari lingkungannya dengan cara osmosis, terjadi sebagai akibat dari kadar garam dalam tubuh ikan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungannya. Kulitnya diliputi mucus, melakukan osmosis lewat insang, produksi urinnya encer, dan memompa garam melalui sel-sel khusus pada insang.

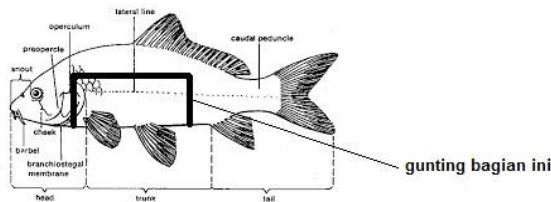
Tujuan: Untuk mempelajari dan memahami anatomi dan morfologi ikan air tawar.

Alat dan bahan:

- Ikan mas (*Cyprinus carpio*) dan lele (*Clarias* sp.)
- Papan bedah
- Lup/kaca pembesar
- Alat bedah (*dissecting set*)
- Mikroskop
- Jarum pentul

Cara kerja:

1. Letakkan ikan pada bak bedah, amati morfologi ikan (tentukan jenis ekor dan jenis sisik, lihat Gambar 3.4. dan Gambar 3.5). Foto pengamatan Anda.
2. Bedah ikan dimulai dari bagian anus ikan ke arah dorsal sampai ke tulang belakang (vertebra) dengan menggunakan gunting bedah atau pisau bedah.



3. Lanjutkan pembedahan ke arah kepala (caput) sampai ke dekat operkulum, rusuk ikan yang terdapat di sepanjang arah pembedahan ikut dipotong.
4. Setelah sampai ke dekat operkulum kemudian lanjutkan pembedahan ke arah ventral sampai ke sirip dada (pinnae thoracalis).
5. Buka bagian yang telah dibedah untuk diamati.
6. Lakukan pengamatan anatomi meliputi: sistem pencernaan, respirasi, peredaran darah, ekskresi, reproduksi, indera, sistem gerak dan rangka.
7. Foto pengamatan Anda.
8. Diskusikan dengan kelompok Anda mengenai hasil pengamatan.
9. Buatlah laporan praktikum sesuai format.

PRAKTIKUM 3

OSTEICHTHYES – IKAN AIR LAUT

Ikan air laut memiliki konsentrasi garam yang tinggi di dalam darahnya. Ikan air laut cenderung untuk kehilangan air di dalam sel-sel tubuhnya karena proses osmosis melalui kulit. Untuk itu, insang ikan air laut aktif mengeluarkan garam dari tubuhnya. Untuk mengatasi kehilangan air, ikan 'minum' air laut sebanyak-banyaknya. Dengan demikian berarti pula kandungan garam akan meningkat dalam cairan tubuh. Volume air seni ikan air laut lebih sedikit dibandingkan dengan ikan air tawar karena kondisi osmotik untuk mempertahankan air. Tubuli ginjal mampu berfungsi sebagai penahan air. Jumlah glomeruli ikan laut cenderung lebih sedikit dan bentuknya lebih kecil daripada ikan air tawar.

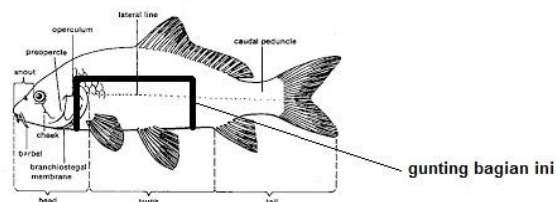
Tujuan: untuk mempelajari dan memahami anatomi dan morfologi ikan air laut.

Alat dan bahan:

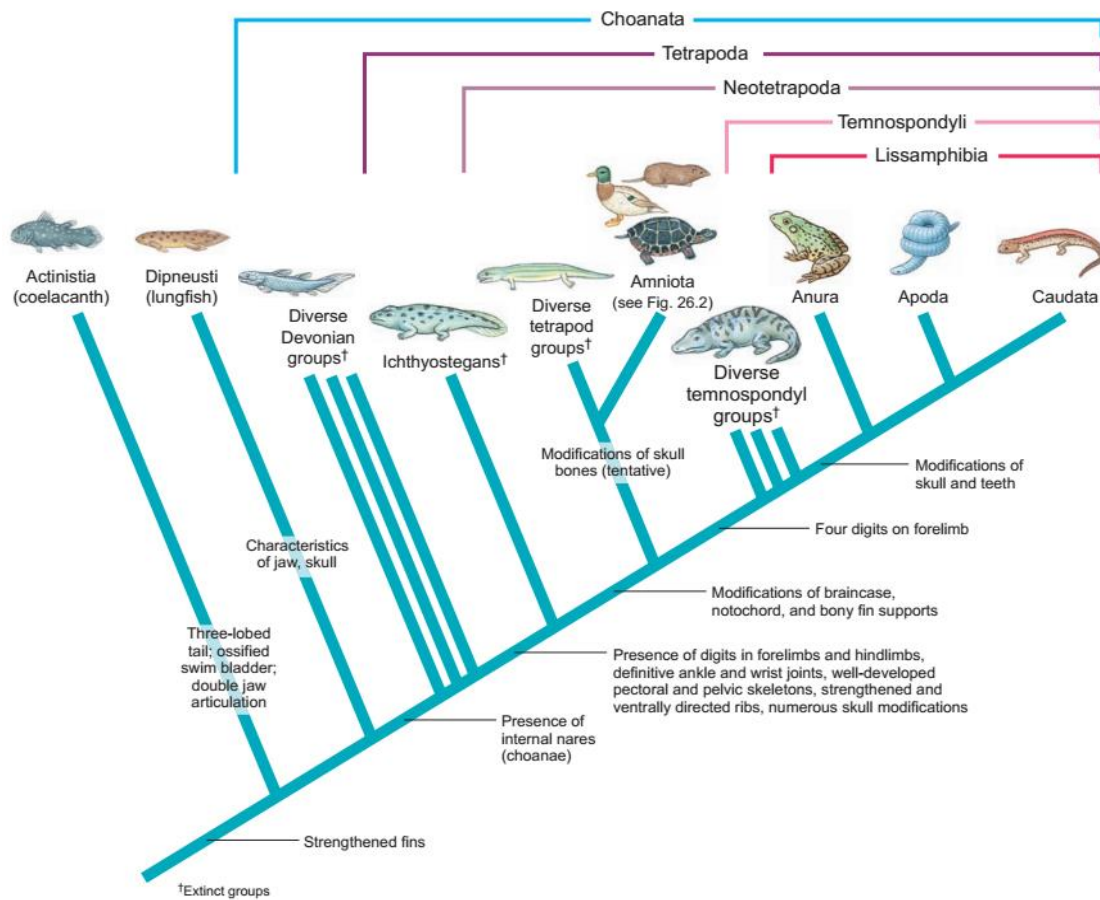
- Ikan sebelah (*Psettodes erumei*) dan ikan ekor kuning (*Caesio cuning*)
- Papan bedah
- Lup/kaca pembesar
- Alat bedah (*dissecting set*)
- Mikroskop
- Jarum pentul

Cara kerja:

1. Letakkan ikan pada bak bedah, amati morfologi ikan (tentukan jenis ekor dan jenis sisik, lihat Gambar 3.4. dan Gambar 3.5). Foto pengamatan Anda.
2. Bedah ikan dimulai dari bagian anus ikan ke arah dorsal sampai ke tulang belakang (vertebra) dengan menggunakan gunting bedah atau pisau bedah.



3. Lanjutkan pembedahan ke arah kepala (caput) sampai ke dekat operkulum, rusuk ikan yang terdapat di sepanjang arah pembedahan ikut dipotong.
4. Setelah sampai ke dekat operkulum kemudian lanjutkan pembedahan ke arah ventral sampai ke sirip dada (pinnae thoracalis).
5. Buka bagian yang telah dibedah untuk diamati.
6. Lakukan pengamatan anatomi meliputi: sistem pencernaan, respirasi, peredaran darah, ekskresi, reproduksi, indera, sistem gerak dan rangka.
7. Foto pengamatan Anda.
8. Diskusikan dengan kelompok Anda mengenai hasil pengamatan.
9. Buatlah laporan praktikum sesuai format.



Gambar 4.1. Kladogram tetrapod (Hickman, 2008).