

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

### ASAL USUL KEHIDUPAN

#### A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat:

1. Menjelaskan teori-teori asal usul Makhhluk hidup.
2. Menjelaskan prinsip-prinsip teori evolusi menurut para ahli.
3. Membedakan prinsip evolusi sehingga terjadi spesiasi menurut Darwin dan Lamarck.

#### B. Uraian Materi

##### 1) Asal Usul Kehidupan

###### a. Teori Abiogenesis /*Generatio Spontanea*

Teori Abiogenesis adalah teori yang menyatakan bahwa Makhhluk hidup terjadi begitu saja secara spontan atau makhluk hidup berasal dari benda tidak hidup.

Teori ini dikemukakan oleh Aristoteles, dan didukung oleh:

- **Antonie van Leeuwenhoek**, dengan pendapatnya bahwa mikroorganisme (benda hidup) berasal dari air (benda mati). Percobaannya: pada abad ke-17 dengan penemuannya terhadap mikroskop, ia melihat adanya mikroorganisme (makhhluk hidup sangat kecil) dalam sampel air hujan dan air rendaman jerami.
- **Needham**, berpendapat bahwa mikroorganisme (benda hidup) terjadi dari air kaldu (benda mati). Hal ini sesuai dengan percobaannya yaitu dengan merebus daging, kemudian air kaldu disimpan dalam keadaan terbuka. Setelah beberapa hari terlihat air kaldu menjadi keruh karena adanya mikroorganisme.

###### b. Teori Biogenesis

Makhhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya.

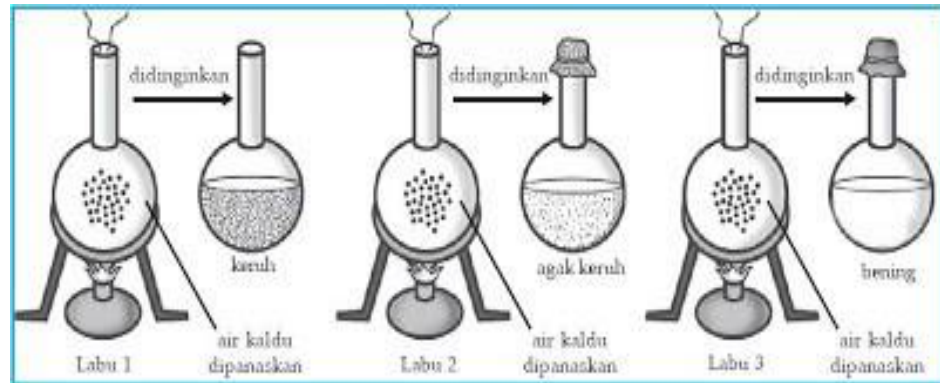
Teori ini merupakan kesimpulan dari percobaan

- 1) **Francesco Redi**, dengan percobaannya tentang munculnya ulat yang dapat muncul dalam daging yang disimpan dalam stoples terbuka tetapi tidak muncul dalam stoples tertutup. Larva (suatu kehidupan) bukan berasal dari daging (benda mati) tetapi berasal dari telur lalat yang masuk dan bertelur pada daging.



Gambar 1. Percobaan Fransisco Redi  
sumber: www.biologi

- 2) **Lazaro Spallazani**, dengan percobaannya mendidihkan kaldu dalam labu kemudian ditutup rapat-rapat. Kaldu tetap bening dan steril. Adanya mikroorganisme pada tabung terbuka berasal dari udara, bukan berasal dari air kaldu (benda mati). Tidak adanya mikroorganisme pada tabung tertutup menunjukkan bahwa mikroorganisme bukan berasal dari kaldu (benda mati).



Gambar 2. Percobaan Lazzaro spalanzani (sumber: abisjatuhbangunlagi.wordpress.com)

- 3) **Louis Pasteur**, percobaannya mendidihkan kaldu pada labu, kemudian labu ditutup dengan pipa seperti huruf S sehingga mulut labu tetap terbuka. Kondisi tersebut memungkinkan zat hidup tetap dapat masuk, namun kondisi kaldu tetap jernih (bening) dan steril. Dari percobaan ini timbullah anggapan bahwa: *Omne Vivum ex Ovo Omne Ovum ex Vivo* yang berarti kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari makhluk hidup.



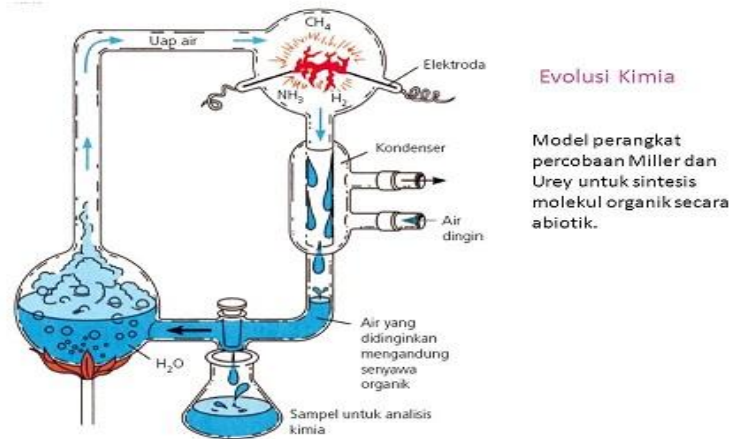
Gambar 3. Percobaan Louis Pateur <https://blog.ruangguru.com/>

c. **Teori Evolusi Kimia:**

Menurut teori evolusi kimia, asal mula kehidupan berasal dari reaksi antara  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $H_2$ , dan  $H_2O$  di atmosfer dengan sinar kosmis dan halilintar yang menghasilkan senyawa organik serupa asam amino.

Ilmuwan yang mengemukakan teori evolusi kimia adalah **Harold Urey**, menyatakan bahwa asal-usul kehidupan diawali dengan adanya senyawa anorganik di atmosfer yang berupa gas-gas seperti metana ( $CH_4$ ), hidrogen ( $H_2$ ), uap air ( $H_2O$ ) dan amino ( $NH_3$ ) yang bereaksi dengan bantuan energi dari sinar kosmis dan kilatan listrik halilintar sehingga terbentuk asam amino yang merupakan bahan dasar pembangun kehidupan. Percobaan **Stanley Miller**

berhasil membuktikan teori Urey dengan percobaannya di laboratorium dengan menggunakan alat yang diberi nama pesawat uratmosfera. Kesimpulan yang diperolehnya bahwa senyawa anorganik dapat diubah menjadi asam amino (organik) dengan pesawat uratmosfera. Jadi, satuan-satuan kompleks di dalam sistem kehidupan, seperti lipida, gula, asam amino, dan nukleotida, dapat terbentuk dari kondisi abiotik.



Gambar 4. Percobaan Stanley Miller  
sumber: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

Menurut **Alexander L. Oparin** dalam teori evolusi biologi, asal usul kehidupan berasal dari reaksi antara gas-gas metana ( $\text{CH}_4$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ), uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dan amonia ( $\text{NH}_3$ ) yang mudah menguap ke atmosfer yang berada di cekungan air laut dengan energi radiasi benda-benda angkasa yang menghasilkan senyawa organik serupa alkohol dan asam amino. Hasil reaksi berupa asam amino berada pada cekungan laut membentuk sup purba (primordial sup).

Teori-teori yang telah diterangkan di atas belum dapat menjawab darimana dan bagaimana kehidupan pertama kali ada di bumi. Berikut ini beberapa teori tentang perkembangan sel:

- 1) Dari prokariotik ke eukarioti, Sel eukariotik terjadi karena simbiosis erat antara dua organisme, salah satunya menjadi inang dan lainnya masuk ke tubuh inang (endosimbuosis). Dalam kasus ini, bakteri purba ditelan oleh sel prokariotik sebagai inang. Bakteri ini berfungsi melakukan segala reaksi kimia. Hal inilah yang dianggap sebagai cikal bakal mitokondria.
- 2) Dari laut ke darat, Sel-sel diduga pertama kali berasal dari laut, dan berkembang menjadi organisme yang hidup di dalam air. Beberapa organisme ada yang mencoba untuk beralih hidup dari lingkungan air ke lingkungan darat karena telah terjadi kompetisi di dalam lingkungan air. Fakta yang mendukung teori ini adalah siklus hidup amfibi sebagian di air. Dari fertilisasi sampai berudu amfibi hidup di air, dan kemudian mengalami metamorfosis untuk hidup di darat.

## 2. Petunjuk Evolusi dan Mekanisme Evolusi

Evolusi adalah perubahan genotip pada satu populasi yang berlangsung secara perlahan-lahan dan dalam waktu yang sangat lama.

Beberapa teori yang menjadi dasar lahirnya teori evolusi adalah:

### a) Teori Kreasionisme

- Penciptaan makhluk hidup terjadi dalam sekali saja secara lengkap, tidak ada evolusi atau perubahan lagi terhadap makhluk hidup.
  - Tokoh yang mendukung teori ini adalah Aristoteles.
  - Tidak valid karena terdapat beberapa makhluk hidup pada zaman yang berbeda.
- b) Teori Katatropisme**
- Terjadi bencana alam (katastrofi) yang tiba-tiba yang menyebabkan tumbuhan dan hewan di tempat itu mati.
  - Masuk bentuk kehidupan baru dari daerah lain.
  - Akibatnya, terjadi perubahan spesies yang tiba-tiba.
  - Tokoh: George Cuvier, ia menemukan lapisan batuan fosil yang mewakili tiap zaman yang berbeda yang menjadi petunjuk dari teori ini.
- c) Teori Gradualisme**
- Evolusi: Perubahan geologis berlangsung pelan-pelan tapi pasti
  - Tokoh: James Hutton
- d) Teori Uniformitarianisme**
- Evolusi merupakan proses geologis, pola seragam, kecepatan dan pengaruh perubahan selalu seimbang dalam kurun waktu
  - Contoh: terbentuknya gunung serta erosi gunung yang terjadi membuktikan keseimbangan
  - Tidak menjelaskan terbentuknya spesies.
  - Tokoh: Charles Lyell
- e) Teori Evolusi Jean Lamarck**
- Pokok-pokok pikiran teori evolusi Lamarck
    - 1) Makhluk hidup sederhana adalah nenek moyang dari makhluk hidup yang sempurna.
    - 2) Makhluk hidup akan senantiasa beradaptasi dan menyesuaikan diri dengan lingkungannya.
    - 3) Organ yang mengalami perubahan karena terus-menerus dipakai dan berkembang makin sempurna. Sedangkan organ yang tidak diperlukan lagi perkembangannya akan menurun, dan akhirnya rudiment (*teori use and disuse*).
    - 4) Evolusi organik terjadi karena perubahan-perubahan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan dapat diturunkan.

Contoh evolusi lamarck pada jerapah.



Gambar 5. Evolusi Jerapah menurut Lamarck  
<https://pak.pandani.web.id>

**f) Teori Evolusi Charles Darwin**

**Charles Robert Darwin (1809-1882)** yang dikenal sebagai Bapak Teori Evolusi lahir di daerah Inggris bagian barat. Teori Evolusi Darwin tidak

muncul begitu saja, namun berdasarkan hasil perjalanannya dengan kapal Beagle ke kepulauan Galapagos dan studi terhadap berbagai disiplin ilmu.

### **1) Pelayaran Darwin ke Kepulauan Galapagos**

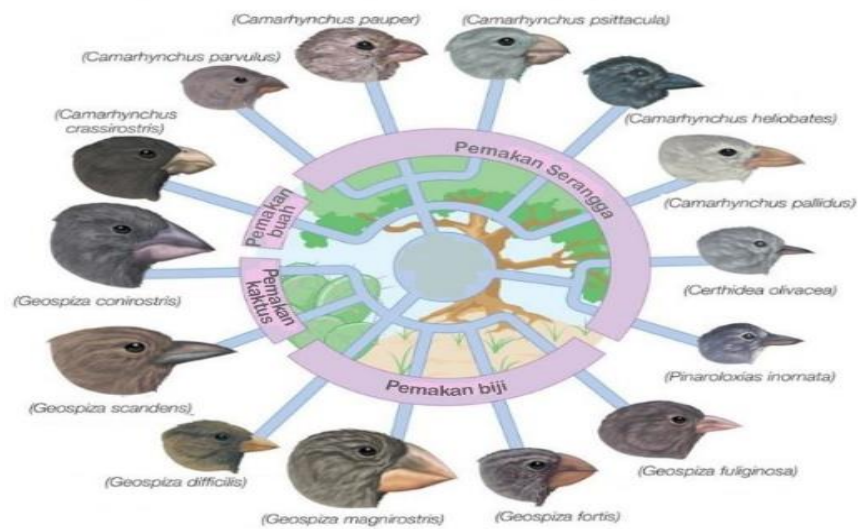
Saat berlayar dari Inggris menggunakan kapal HMS Beagle, Darwin berusia 22 tahun (bulan Desember 1831). Tujuan utama pelayaran tersebut adalah untuk memetakan pesisir pantai Amerika Selatan yang masih belum jelas. Pada saat awak kapal sibuk memetakan pesisir pantai, Darwin turun ke pantai, mengamati, dan mengoleksi ratusan spesimen fauna dan flora Amerika Selatan yang beraneka ragam dan endemik.

Selain itu, saat kapal mengelilingi benua Amerika, Darwin mengamati berbagai adaptasi tumbuhan dan hewan yang menempati hutan Brazil, bentangan padang rumput di Argentina, daratan terpencil Tierra del Fuego dekat Argentina dan pegunungan Andes.

Setelah mencatat flora dan fauna di berbagai wilayah Amerika Selatan, Darwin menyimpulkan bahwa flora dan fauna di Amerika Selatan mempunyai karakteristik khusus yang sangat berbeda dengan flora dan fauna di Eropa. Darwin juga mengatakan bahwa flora dan fauna di daerah beriklim sedang mempunyai hubungan yang lebih dekat dengan spesies yang hidup di wilayah tropis benua tersebut, dibandingkan spesies di daerah beriklim sedang di Eropa.

Fauna yang paling membingungkan Darwin ditemukan di *Kepulauan Galapagos*, yaitu kepulauan yang berada di sebelah barat pesisir Amerika Selatan. Pada umumnya, spesies fauna di Galapagos tidak ditemukan hidup di tempat lain, meskipun ada kesamaan dengan hewan di Amerika Selatan. Darwin menemukan jenis-jenis burung finch yang berbeda bentuk praruhnya. Perbedaan bentuk dan ukuran paruhnya yang merupakan adaptasi terhadap makanan tertentu. Kelompok pertama burung Finch yang hidup di tanah (*Geospiza magnirostris*) mempunyai paruh yang besar yang teradaptasi untuk memecahkan biji, kelompok kedua finch (*Camarhynchus pallidus*) yang menggunakan suatu duri kaktus atau ranting kecil sebagai alat untuk mengorek semut atau serangga lainnya, dan kelompok ketiga adalah kelompok kecil finch (*Camarhynchus parvulus*) yang menggunakan paruhnya untuk menangkap serangga.





Gambar 6. Variasi burung Finch  
<https://www.utakatikotak.com>

Charles Darwin mengemukakan teori evolusinya secara lengkap dalam buku yang berjudul *On The Origin of Species by Means of Natural Selection* (Asal mula spesies yang terjadi melalui seleksi alam) yang diterbitkan pada 24 November 1859.

## 2) Pokok-pokok teori Darwin

Pengalaman Darwin di kepulauan Galapagos memunculkan ide tentang evolusi yang pokok pikirannya adalah:

- Spesies yang hidup sekarang berasal dari spesies-spesies yang hidup di masa silam.
- Evolusi terjadi melalui seleksi alam.

Dua pokok pikiran atau teori utama Darwin merupakan hasil pengalaman dari pengamatan:

- *Pengamatan ke-1*, setiap spesies mempunyai potensial fertilisasi yang besar sehingga ukuran populasinya akan meningkat secara eksponensial bila setiap individu yang dilahirkan berhasil melakukan percobaan.
- *Pengamatan ke-2*, ukuran populasi cenderung menjadi stabil kecuali fluktuasi musiman.
- *Pengamatan ke-3*, sumber daya alam terbatas.
- *Pengamatan ke-4*, individu-individu populasi sangat bervariasi dalam hal ciri-ciri tubuh, namun tidak ada dua individu yang benar-benar sama.
- *Pengamatan ke-5*, kebanyakan variasi diwariskan pada keturunannya.

Setelah Darwin menyelesaikan perjalanannya dan kembali ke Inggris, ia banyak mempelajari geologi, terutama tentang fosil. Buku yang berpengaruh besar terhadap Darwin adalah *Principles of Geology* (Prinsip-Prinsip Geologi) karangan Charles Lyell.

### Teori evolusi Jerapah menurut Darwin



Gambar 7. Evolusi Jerapah menurut Darwin  
<https://pak.pandani.web.id/>

### C. Rangkuman

1. Kehidupan yang ada di bumi saat ini merupakan kelanjutan yang berkesinambungan dari makhluk hidup pertama di bumi.
2. Perkembangan teori asal-usul kehidupan yaitu teori abiogenesis klasik, teori biogenesis, dan teori abiogenesis modern. Teori abiogenesis klasik menerangkan bahwa asal mula makhluk hidup dari benda mati. Teori biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup. Teori abiogenesis modern menyatakan bahwa atmosfer bumi pada zaman purba berkecenderungan menyintesis senyawa organik dari molekul anorganik purba.
3. Evolusi biologi menyatakan bahwa makhluk hidup pertama merupakan hasil evolusi molekul anorganik. Evolusi biologi membahas asal-usul sel prokariotik dan eukariotik. Sel prokariotik muncul sebelum sel eukariotik dan sel prokariotik merupakan prekursor bagi munculnya sel eukariotik.
4. Teori evolusi Darwin dikenal dengan teori seleksi alam. Teori seleksi alam mengandung dua pemahaman, yaitu bahwa spesies sekarang berasal dari spesies dahulu dan terbentuknya spesies karena seleksi alam.
5. Teori evolusi sintesis menyatakan bahwa evolusi biologi bukan semata-mata didasari teori Darwin, tetapi juga teori evolusi pasca Darwin.

### D. Penugasan

Setelah mempelajari Bab Evolusi, Anda telah mengetahui bahwa evolusi pada makhluk hidup berlangsung sangat lama, hal ini menyebabkan evolusi sulit dibuktikan. Namun, sejak teori evolusi dikemukakan Darwin, para ilmuwan mulai sadar akan adanya seleksi alam dan mencatat kejadian-kejadian yang terkait. Meski perubahan yang terjadi akibat seleksi alam yang tercatat tergolong kecil, namun hal tersebut dapat menjadi bukti dan indikasi evolusi yang mengakibatkan perubahan besar. Sekarang, tugas Anda adalah **mencari bukti teori evolusi, seperti perubahan-perubahan evolusi pada virus, resistensi hama, dan kasus seleksi alam lain yang tercatat**. Carilah referensi dari buku, majalah, koran, dan internet. **Buatlah dalam sebuah karya tulis**. Kumpulkan untuk selanjutnya diadakan diskusi kelas

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

### PETUNJUK DAN MEKANISME EVOLUSI

#### A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat:

1. Menjelaskan petunjuk-petunjuk adanya evolusi.
2. Menjelaskan mekanisme terjadinya evolusi makhluk hidup.
3. Mendeskripsikan terjadinya variasi makhluk hidup sebagai dasar terjadinya proses evolusi.

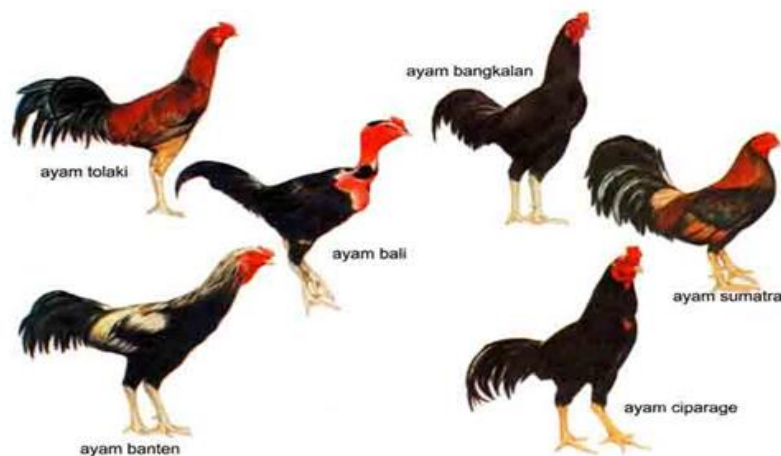
#### B. Uraian Materi

##### 1. Petunjuk evolusi

Beberapa bukti yang dianggap memberikan petunjuk adanya evolusi antara lain:

###### a. Variasi makhluk hidup

Variasi adalah perbedaan yang ditemukan pada individu-individu dalam satu spesies. Jika varian tersebut hidup pada lingkungan yang berbeda, maka akan menghasilkan keturunan yang berbeda pula. Jadi, adanya variasi merupakan petunjuk adanya evolusi yang menuju ke arah terbentuknya spesies baru.

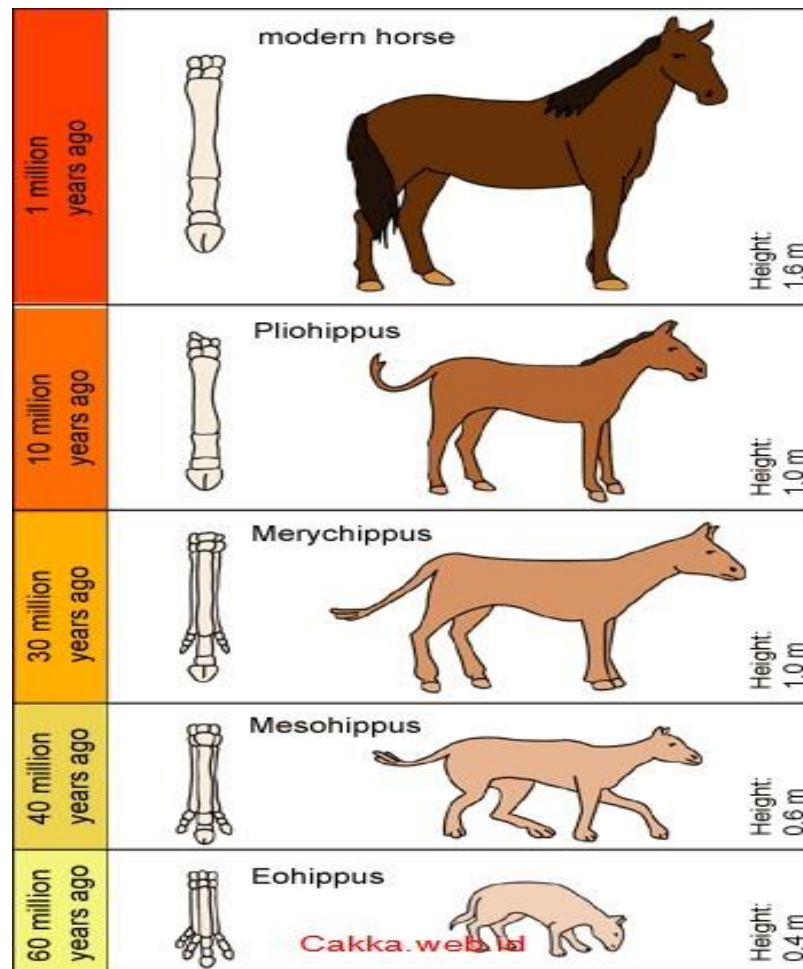


Gambar 8. Variasi Genetik Pada Ayam  
Sumber: ratnandroet.blogspot.com

###### b. Fosil

Fosil-fosil yang ditemukan dalam lapisan bumi dari lapisan tua sampai muda menunjukkan adanya perubahan secara berangsur-angsur. Dengan membandingkan fosil-fosil yang ditemukan di berbagai lapisan bumi dapat diketahui adanya proses evolusi. Sejarah perkembangan kuda merupakan satu contoh yang paling dikenal untuk menerangkan adanya perubahan-perubahan bentuk dari masa ke masa.



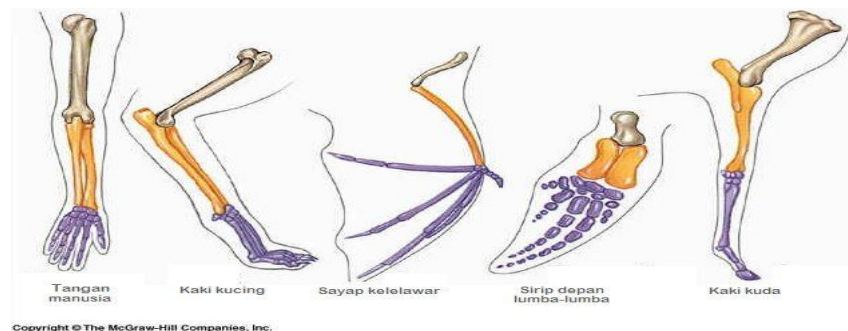


Gambar 9. Perbandingan fosil kuda  
Sumber:biologiclara.blogspot.com

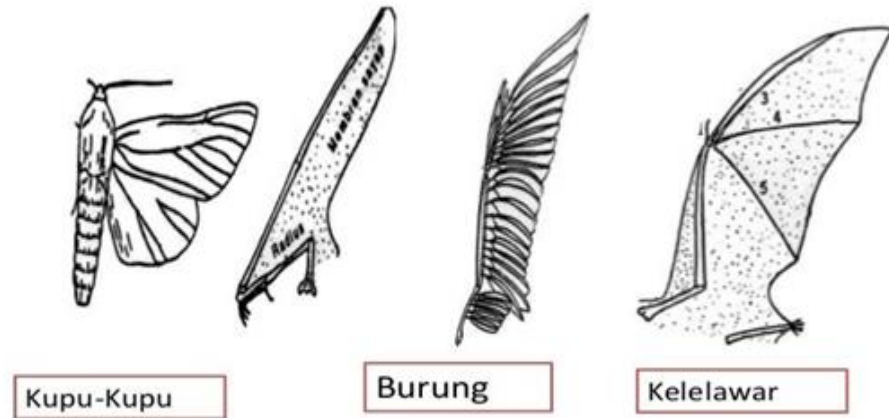
**c. Homologi dan analogi organ tubuh**

Homologi adalah organ-organ makhluk hidup yang mempunyai bentuk asal (dasar) yang sama, kemudian berubah strukturnya sehingga fungsinya berbeda. Misalnya, sayap burung homolog dengan tangan manusia. Kaki depan kuda homolog dengan sirip dada ikan paus.

Analogi adalah organ-organ tubuh yang mempunyai fungsi sama tetapi bentuk asalnya berbeda. Contoh: sayap serangga dengan sayap burung.



Gambar 10. Homologi perbandingan  
sumber: piterest.com

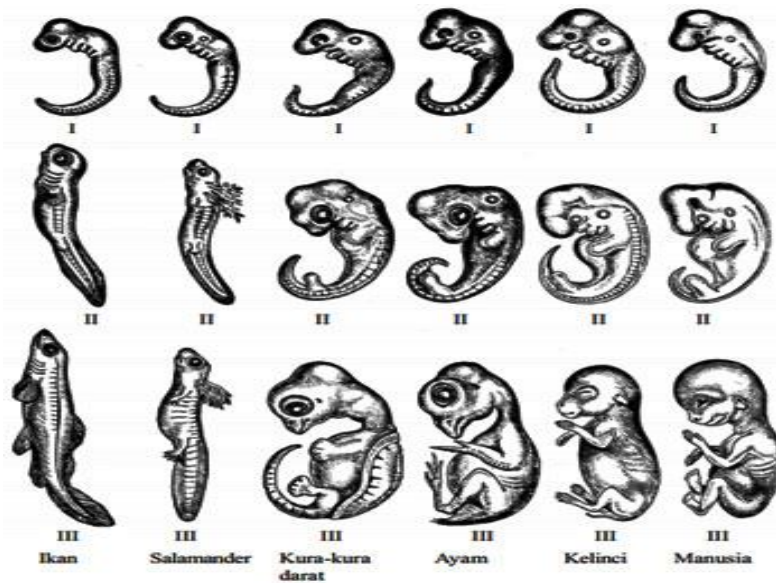


Gambar 11. Analogi perbandingan  
 Sumber:biologyclara.blogspot.com

**d. Embriologi perbandingan**

Beberapa kelas vertebrata, seperti: ikan, reptil, burung dan mamalia, walaupun tubuh individu dewasanya berbeda jenis satu sama lainnya, namun fase awal dari perkembangan embrionya sangat mirip. Makin mirip, makin dekat kekerabatannya.

Ontogeni adalah perkembangan individu dari satu sel menjadi individu dewasa. Filogeni adalah sejarah perkembangan makhluk hidup dari makhluk yang hidup sebelumnya. Para ahli berpendapat bahwa ontogeni (perkembangan individu) adalah ulangan dari revolusi filogeni (perkembangan hubungan kekerabatan organisme). Kaidah ini dianggap terlalu berlebihan karena tidak benar bahwa vertebrata berevolusi dari bentuk ikan menjadi bentuk reptil, kemudian menjadi bentuk berkaki empat.



Gambar 12. Kemiripan embriologi  
 Sumber: biologisites.blogspot

**e. Petunjuk secara Biokimia**

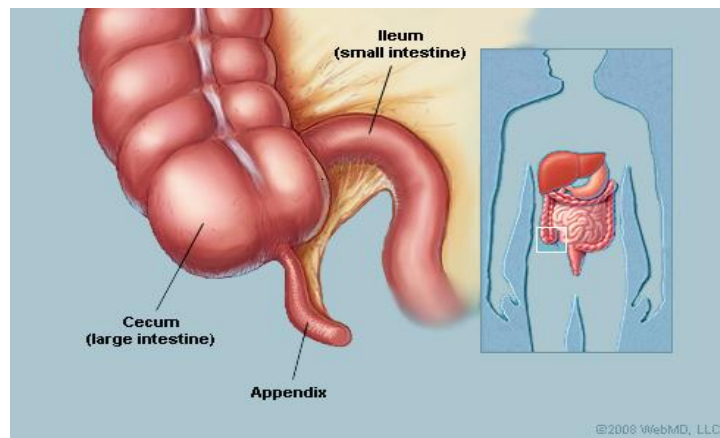
Jauh dekatnya hubungan kekerabatan antara organisme satu dengan lainnya dapat ditunjukkan dengan uji secara biokimia yang disebut uji presipitin. Uji presipitin adalah uji adanya reaksi antara antigen-antibodi. Banyak sedikitnya endapan yang terbentuk akibat reaksi tersebut dapat digunakan untuk menentukan jauh dekatnya hubungan kekerabatan antara suatu organisme dengan organisme lainnya.

**f. Perbandingan fisiologi**

Organisme Organisme mempunyai ciri-ciri fisiologi yang sama, seperti respirasi, ekskresi, dan sebagainya. Meskipun ciri morfologi dan jumlah sel yang membentuk setiap organisme berbeda-beda, terdapat kemiripan-kemiripan dalam fisiologinya.

**g. Petunjuk alat tubuh yang tersisa**

Pada manusia dan beberapa jenis hewan dapat dijumpai berbagai alat tubuh yang tidak berfungsi. Alat tubuh manusia yang tersisa antara lain umbai cacing (apendiks) dan tulang ekor. Pada burung kiwi, burung yang tidak dapat terbang, terdapat alat tubuh yang tersisa sebagai akibat penyusutan sayap.



Gambar 13. Apendiks  
Sumber: brilio.net

**2. Mekanisme Evolusi**

Proses evolusi dapat terjadi karena adanya seleksi alam dan variasi genetik sehingga akan memunculkan sifat-sifat baru yang akan diwariskan pada keturunannya. Adanya seleksi alam mengharuskan semua makhluk hidup berjuang untuk bertahap hidup. Dalam upaya agar dapat lolos seleksi alam, setiap makhluk hidup dapat mengalami perubahan baik secara morfologis, fisiologis, dan tingkah laku. Berikut faktor-faktor yang berperan dalam mekanisme evolusi, meliputi:

**a. Mutasi**

Mutasi merupakan peristiwa yang menyebabkan terjadinya perubahan pada frekuensi gen, sehingga mempengaruhi fenotipe dan genotipe. Mutasi ini bisa menguntungkan atau bahkan merugikan. Menguntungkan apabila:

- Berpotensi menghasilkan sifat baru yang lebih menguntungkan.
- Menghasilkan spesies yang dapat beradaptasi.
- Memiliki kemampuan bereproduksi dengan bibit unggul.

Jika sifat yang dihasilkan berkebalikan dengan sifat seperti tersebut di atas, maka mutasi yang terjadi merugikan.

**b. Genetic Drift**

Genetic Drift merupakan perubahan acak pada frekuensi gen pada populasi gen yang disebabkan oleh kematian, migrasi, ataupun isolasi. Genetic drift dapat disebabkan oleh dua kondisi, (1) the bottleneck effect, merupakan bencana alam seperti kebaran, gempa bumi sehingga populasi yang tinggal sangat sedikit, (2) the founder effect, ketika sejumlah kecil dari organisme berpindah ke suatu tempat lain.

**c. Aliran gen**

Aliran gen terjadi ketika terjadinya migrasi dan kawin pada individu di antara populasi-populasi. Aliran gen ini sangat bergantung pada jumlah individu yang datang dan seberapa banyak perbedaan genetik individu-individu yang datang bergabung.

**d. Rekombinasi seksual**

Adanya kemampuan reproduksi secara seksual pada setiap individu akan menghasilkan keturunan yang dapat berbeda dengan induknya. Hal ini dipengaruhi oleh penggabungan kromosom yang terjadi secara acak antara dua sel gamet pada tahap meiosis. Sehingga memberi peluang dihasilkannya keturunan yang viabilitasnya tinggi dan berpengaruh terhadap evolusi populasi. Perkawinan yang tidak acak akan mengakibatkan terbentuknya gen resesif pada keturunan karena alel yang cenderung disukai akan mendominasi dalam populasi.

**e. Seleksi Alam dan Adaptasi**

Suatu adaptasi pada individu akan selalu diikuti oleh proses seleksi alam. Individu yang adaptatif, cenderung dapat lolos dari seleksi alam dengan perubahan sifat tertentu sehingga dapat bertahap hidup dan mewariskan sifat tersebut pada keturunannya.

Jadi, dapat disimpulkan bahwasanya evolusi merupakan peristiwa yang sifatnya fleksibel dan terus terjadi mengikuti perkembangan zaman. Setiap makhluk hidup harus mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungannya sehingga dapat lolos dari seleksi alam dan mampu bertahan hidup sehingga dapat melakukan rekombinasi seksual untuk melestarikan keturunannya meskipun sifatnya tidak identik.

**3. Hukum Hardy Weinberg**

Pada proses evolusi terjadi perubahan frekuensi gen. Bila perbandingan antara genotip-genotip dalam satu populasi tidak berubah dari satu generasi ke generasi, maka frekuensi gen dalam populasi tersebut ada dalam keadaan seimbang, artinya tidak terjadi evolusi.

Frekuensi gen berada dalam keseimbangan apabila:

- tidak terjadi migrasi;
- tidak ada mutasi, atau harus ada keseimbangan mutasi di mana perubahan genetik ke satu arah diimbangi oleh sejumlah mutasi yang sama dalam arah berlawanan;
- tidak terjadi seleksi;
- reproduksi harus berlangsung acak;
- populasi harus besar.

Bila frekuensi gen dalam satu populasi ada dalam keadaan seimbang berlaku Hukum Hardy Weinberg.

Apabila frekuensi gen yang satu dinyatakan dengan simbol p, dan alelnya dengan simbol q, maka:  $(p+q) = 1$

Bila frekuensi gen A = p dan frekuensi gen a = q, maka frekuensi genotip AA : Aa : aa =  $p^2 : 2pq : q^2$ .

**Cara mencari frekuensi gen**

Jika dalam suatu populasi diketahui frekuensi genotipnya, maka frekuensi gennya dapat dicari. Contohnya, frekuensi genotip aa dalam suatu populasi 0,25. Tentukan frekuensi gen A : a serta frekuensi genotip AA, Aa, dan aa.

**Jawab:**

$$\text{Frekuensi gen a} = \sqrt{aa} = 0,25 = 0,5$$

$$\text{Jumlah frekuensi gen A + a} = 1$$

$$\text{Jadi, frekuensi gen A} = 1 - 0,5 = 0,5$$

$$\text{Frekuensi genotip AA : Aa : aa} = (0,5 A + 0,5a) (0,5$$

$$A + 0,5 a) = 0,25 AA : 0,50 Aa : 0,25 aa.$$

Penerapan hukum Hardy-Weinberg untuk menghitung frekuensi gen dalam populasi sebagai berikut:

- a) Dalam suatu populasi terdapat kelompok perasa pahit kertas PTC (*phenil thiocarbamide*) sebesar 64%, sedangkan yang lainnya bukan perasa PTC. Bukan perasa PTC dikendalikan oleh gen t dan perasa PTC dikendalikan oleh gen T. Tentukan frekuensi gen dan genotip populasi orang PTC dan non PTC.

**Jawab:**

$$\text{Jumlah PTC dan non-PTC} = 100\% \text{ orang PTC (genotip TT atau Tt)} = 64\%$$

$$\text{Frekuensi orang tidak perasa PTC (bergenotip tt} = q^2) =$$

$$100\% - 64\% = 36\% \quad q^2 = 36\% = 0,36$$

$$\text{maka frekuensi gen t} = q = 0,36 = 0,6$$

$$T + t = 1, \text{ maka frekuensi T} = 1 - 0,6 = 0,4$$

$$\text{frekuensi T : t} = 0,4 : 0,6 \text{ frekuensi genotip TT}$$

$$: Tt : tt = (T + t) (T + t)$$

$$= (0,4 T + 0,6 t) (0,4 T + 0,6 t)$$

$$= 0,16 TT + 2(0,24 Tt) + 0,36 tt = 0,16 TT + 0,48 Tt +$$

$$0,36 tt$$

$$\text{Jadi, frekuensi genotip TT : Tt : tt} = 16 : 48 : 36 = 4 : 12 : 9$$

Untuk mencari frekuensi gen, coba kamu cari dahulu frekuensi individu yang bergenotip homozigot resesif, sebab genotif dominan bisa bergenotip TT atau Tt.

- b) Diketahui frekuensi orang albino pada suatu masyarakat adalah 25 di antara 10.000 orang. Berapa persentase orang pembawa sifat albino yang heterozigot?

**Jawab:**

$$\text{Orang albino aa (} q^2)$$

$$q^2 = \frac{25}{10.000} = 0,0025 \quad q =$$

$$0,05$$

$$= 0,05 \quad p + q = 1$$

$$p + 0,05 = 1 \rightarrow p = 1 - 0,05 = 0,95$$

$$\text{Orang pembawa sifat albino dinotasikan dengan } 2pq$$

$$= 2(0,95 \times 0,05)$$

$$= 0,095$$

$$= 0,095 \times 100\%$$

$$= 9,5\%$$



#### 4. Perubahan perbandingan frekuensi gen pada populasi

Saat ini, telah diketahui beberapa faktor penting yang menyebabkan perubahan keseimbangan genetik di dalam suatu populasi. Faktor-faktor tersebut, antara lain: mutasi, seleksi alam, emigrasi dan imigrasi, rekombinasi dan seleksi, dan *genetic drift*. Untuk lebih mengetahui, mari cermati uraian berikut ini.

##### a. Mutasi

Apabila ada satu atau beberapa gen yang bermutasi, maka akan terjadi perubahan keseimbangan gen-gen dalam suatu populasi.

##### Contoh:

Gen b yang mempengaruhi rambut tikus berwarna putih adalah normal. Kemudian, bermutasi menjadi gen B yang menyebabkan rambut tikus berwarna kuning. Gen ini menyebabkan letal apabila dalam keadaan homozigot BB, maka:

$$\begin{array}{rcccl}
 P : & Bb & \times & Bb & \\
 & \text{(kuning)} & & \text{( kuning )} & \\
 \\
 F : & \underline{BB} & & \underline{Bb} \underline{Bb} & \underline{bb} \\
 & 1 & & 1 \quad 1 & 1 \\
 \\
 & \boxed{?} & & 2 & \\
 & \text{Letal} & & \text{kuning} & \text{putih}
 \end{array}$$

Dengan demikian, rasio genotip yang dihasilkan Bb : bb = 2 : 1, karena BB letal.

##### b. Seleksi alam

Di danau buatan di Amerika Serikat pernah ditemukan jenis katak berkaki banyak dan jenis katak normal. Katak yang berkaki banyak fertilitasnya rendah atau mandul dan bersifat resesif. Sedangkan, katak berkaki normal mempunyai fertilitas normal dan bersifat dominan. Karena katak berkaki banyak bersifat mandul, maka katak ini dapat dihasilkan dari perkawinan antara katak berkaki normal heterozigot.

Jadi, apabila katak berkaki normal heterozigot ( Nn ) dikawinkan dengan yang berkaki normal Nn, maka akan dihasilkan rasio keturunannya, sebagai berikut:

$$\begin{array}{rcccl}
 P : & Nn & \times & Nn & \\
 F & \underbrace{NN} & : & \underbrace{(Nn + Nn)} & : \underbrace{nn} \\
 & 25\% & : & 50\% & : 25\%
 \end{array}$$

Katak yang bergenotif nn adalah mandul sehingga yang mampu menghasilkan keturunan yang bergenotif NN dan Nn, atau 75% dari seluruh populasi.

##### b. Spesiasi

Spesiasi atau pembentukan spesies pada dasarnya dapat digunakan sebagai saksi hidup mengenai apa yang terjadi di masa lalu, maka dari itu proses spesiasi dapat pula dianggap sebagai bukti bahwa proses evolusi memang berlangsung.

Syarat terjadinya spesiasi adalah :

1. Adanya perubahan lingkungan, Perubahan lingkungan dapat menyebabkan perubahan evolusi. Contohnya, bencana alam dapat menyebabkan timbulnya kepunahan massal di muka bumi.
2. Adanya relung (niche) yang kosong, Relung merupakan tempat hidup dan interaksi suatu organisme. Suatu spesies selalu menempati relung tertentu. Suatu relung umumnya hanya dapat ditempati oleh satu jenis

spesies saja. Kepunahan massal akan menimbulkan relung-relung kosong yang akan menyebabkan relung-relung baru terisi kembali dalam jangka waktu yang panjang. Apabila relung tersebut kosong (tidak ada organisme yang menempatinya), maka akan ada banyak organisme yang berusaha menempati relung tersebut.

3. Adanya keanekaragaman suatu kelompok organisme. Selalu akan ada sejumlah organisme yang mencoba mengisi relung yang kosong. Keberhasilan suatu organisme mengisi relung ditentukan oleh seberapa besar kecocokan organisme tersebut dibandingkan dengan persyaratan relung yang kosong.

### c. Isolasi Geografi

Isolasi geografi/batas alam. Apabila batas alam tidak dapat dilewati, suatu populasi tidak akan pernah bertemu dengan populasi lainnya maka dapat menyebabkan terjadinya spesiasi baik simpatri maupun tidak simpatri

- Proses spesiasi simpatri: proses spesiasi yang terjadi dalam area geografi yang sama dari suatu spesies yang paling berkerabat. Spesiasi terjadi karena aspek genetik, morfologi, tingkah laku, fisiologi, dan lain-lain. Contoh: populasi mencit di Eropa Barat memiliki sejumlah populasi kecil yang tidak interfertilisasi dengan populasi di sebelahnnya walaupun penyebarannya sangat luas di Eropa Barat.
- Spesiasi tidak simpatri: proses spesiasi yang terdapat dalam area geografi yang berbeda dibandingkan dengan area geografi suatu spesies yang paling berkerabat. Dibagi menjadi 3 yaitu:
  1. Spesiasi alopatri: proses spesiasi yang terjadi di daerah yang berjauhan atau berlainan dari suatu spesies yang paling dekat hubungan kekerabatannya. Sebagian dari populasi suatu spesies terpisah dan hidup di daerah yang berlainan. Karena adanya pemisahan, keanekaragaman yang terbawa dari populasi yang terpisah, berbeda dalam frekuensi alelnya. Oleh karena kedua daerah memiliki perbedaan dalam banyak hal, seleksi alam yang bekerja pada masing-masing area akan berbeda pula. Ketika kedua populasi tersebut bertemu di kemudian hari, tidak ada lagi interaksi social di antara kedua populasi tersebut. Contoh: *Macaca brunnescens* dianggap jenis berbeda dari *Macaca ochreata* karena terpisah secara geografi.
  2. Spesiasi parapatri: proses spesiasi yang terjadi di daerah yang bersebelahan dengan daerah dari suatu spesies yang paling dekat hubungan kekerabatannya. Daerah penyebaran meliputi lebih dari satu macam habitat dengan persyaratan yang berbeda. Dengan berjalannya waktu, terbentuklah suatu populasi yang tetap bersebelahan tetapi kemampuan interfertilnya secara gradual menurun, berbanding lurus dengan jarak antara dua populasi. Akhirnya pada suatu keadaan akan ada dua populasi yang sudah tidak mampu berinteraksi secara interfertil, sehingga harus dianggap sebagai spesies tersendiri.
  3. Spesiasi peripatri: proses spesiasi yang terjadi di daerah pinggir dari daerah suatu spesies yang paling dekat hubungan kekerabatannya. Suatu organisme memiliki kisaran toleransi tertentu, akibatnya jenis tersebut akan menempati daerah tertentu. Semakin jauh dari pusat penyebarannya, maka lingkungannya pun makin berbeda. Dengan demikian spesies yang menempati daerah tersebut akan semakin berbeda dengan spesies yang menempati pusat. Dengan demikian, interaksi antara populasi tersebut dengan populasi satu spesiesnya menjadi sangat terbatas.

**d. Isolasi Reproduksi**

Proses spesiasi yang ditinjau dari: keberhasilan terjadinya pembuahan (kemungkinan pertemuan antara dua jenis sel gamet proses pra-kawin) dan keberhasilan suatu perkawinan (proses pasca kawin).

## 1. Spesiasi pra kawin meliputi:

- Kromosomal: perbedaan jumlah, bentuk, urutan kromosom berpengaruh dalam perubahan.
- Musim: perbedaan musim kawin atau musim berbunga menyebabkan individu hanya dapat saling membuahi individu tertentu yang cocok.
- Parthenogenesis: individu identik dengan induk yang menghasilkannya.
- Morfologi atau struktural: perbedaan struktur tubuh (morfologi) menyebabkan pembuahan menjadi tidak mungkin.

## 2. Spesiasi pasca kawin meliputi:

- Letalitas: adanya embrio yang letal
- Sterilitas: individu yang dilahirkan tidak dapat memiliki keturunan.
- Semi-letal: individu yang dihasilkan, meskipun hidup normal dan dapat memiliki keturunan, memiliki vitalitas yang sangat rendah.

**C. Rangkuman**

1. Evolusi merupakan proses satu arah dalam waktu yang tidak terbalikkan. Proses evolusi hanya dapat dipelajari dari petunjuk-petunjuk yang ada yaitu adanya variasi makhluk hidup, fosil-fosil yang ditemukan, homologi dan analogi organ, embriologi perbandingan, petunjuk biokimia, perbandingan fisiologi, alat tubuh yang tersisa.
2. Mekanisme evolusi dapat terjadi melalui mutasi, genetik drif, aliran gen, rekombinasi seksual, seleksi alam, dan adaptasi.

**D. Latihan Soal**

Kerjakan semua soal di bawah ini di kertas, kemudian cocokkan dengan kunci jawaban yang tersedia untuk penyelesaiannya!

1. Salah satu petunjuk evolusi adalah homologi organ tubuh. Jelaskan yang dimaksud dengan Homolog!
2. Bagaimana teori Darwin dan Lamarck menjelaskan fenomena jerapah berleher panjang!
3. Sebutkan akibat dari terjadinya seleksi alam!
4. Sebutkan kelemahan teori evolusi Darwin menurut August Weismann!

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar, kemudian gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik