

Sumber: *Biology, Raven & Johnson*

Kapal H.M.S. Beagle (replika)



Manusia dikaruniai Tuhan akal dan pikiran. Tuhan berkehendak agar dengan akal dan pikirannya itu, manusia mau berpikir tentang makhluk ciptaan Tuhan, yaitu makhluk hidup dan alam semesta. Berbekal ilmu pengetahuan manusia ingin menyibak tabir misteri kehidupan tentang bagaimana alam semesta diciptakan.

Salah seorang yang mencoba menguak misteri kehidupan itu bernama Charles Robert Darwin. Berdasarkan pengamatannya, Darwin mengajukan teori Evolusi. Apakah yang mendasari teori Evolusi Darwin?

Pada bab ini, Anda akan mempelajari tentang teori Evolusi. Setelah itu, Anda diharapkan dapat menjelaskan tentang teori Evolusi serta implikasinya pada perkembangan sains.



### Kata Kunci

evolusi	?
seleksi alam	?
mutasi	?
fosil	?
Darwin	?
adaptasi	?
variasi	?
nene moyang	?
asal-usul kehidupan	?
perubahan	?

Akan tetapi sebelum Anda mempelajari Teori Evolusi, Anda perlu mengenal beberapa teori asal-usul kehidupan berikut.

## A. Teori Asal Usul Kehidupan

Pada bab ini kita akan runut lebih awal tentang asal usul kehidupan, yang sampai saat ini masih menjadi misteri.

### 1. Teori Abiogenesis

Menurut teori ini, makhluk hidup berasal dari benda tidak hidup atau dengan kata lain makhluk hidup ada dengan sendirinya. Oleh karena makhluk itu ada dengan sendirinya maka teori ini dikenal juga dengan teori *Generatio Spontanea*. **Aristoteles** merupakan salah satu pelopor teori ini, dengan percobaan yang dilakukannya pada tanah yang direndam air akan muncul cacing.

Pendukung lain teori Abiogenesis adalah **Nedham**, seorang ilmuwan dari Inggris. Nedham melakukan penelitian dengan merebus kaldu dalam wadah selama beberapa menit kemudian ditutup dengan gabus. Setelah beberapa hari, terdapat bakteri dalam kaldu tersebut. Nedham berpendapat bahwa bakteri berasal dari kaldu.

Setelah ditemukan mikroskop, Antonie van Leeuwenhoek melihat adanya mikroorganisme (*animalculus*) di dalam air rendaman jerami. Temuan ini seolah-olah menguatkan teori Abiogenesis. Para pendukung teori Abiogenesis menyatakan bahwa mikroorganisme itu berasal dari jerami yang membusuk. Akan tetapi, Leeuwenhoek menolak pernyataan itu dengan mengemukakan bahwa mikroorganisme itu berasal dari udara.

Para penganut abiogenesis tersebut di atas dalam menarik kesimpulan sebenarnya terdapat kelemahan, yaitu belum mampu melihat benda yang sangat kecil (bakteri, kista, ataupun telur cacing) yang terbawa dalam materi percobaan yang digunakan. Hal ini karena pada zaman Aristoteles belum ditemukan mikroskop. Walaupun ada kelemahan pada percobaan, tetapi cara berpikir dalam mencari jawaban mengenai asal usul kehidupan di bumi ini sudah mengacu pada pola metode ilmiah.

### 2. Teori Biogenesis

Teori Biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup. Tokoh pendukung teori ini antara lain **Francesco Redi**, **Lazzaro Spallanzani**, dan **Louis Pasteur**. Francesco Redi merupakan orang pertama yang melakukan penelitian untuk membantah teori Abiogenesis.

#### a. Percobaan Francesco Redi

Francesco Redi melakukan penelitian menggunakan 8 tabung yang dibagi menjadi 2 bagian. Empat tabung masing-masing diisi dengan daging ular, ikan, roti dicampur susu, dan daging. Keempat tabung dibiarkan terbuka. Empat tabung yang lain diperlakukan sama dengan 4 tabung pertama, tetapi tabung ditutup rapat. Setelah beberapa hari pada tabung yang terbuka terdapat larva yang akan menjadi lalat.



#### Eksperimen Plus

##### Menguji Penelitian Aristoteles dan Nedham

Coba lakukan percobaan seperti yang dilakukan Aristoteles dan Nedham.

###### Pertanyaan:

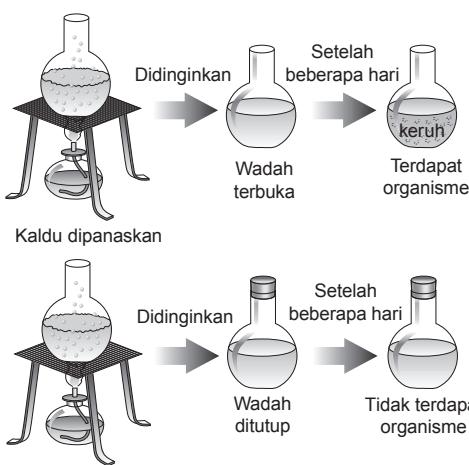
1. Apakah hasil percobaan Anda seperti yang diperoleh Aristoteles dan Nedham?
2. Menurut Anda, dari manakah asal cacing tanah atau bakteri pada percobaan di atas?
3. Bagaimana pendapat Anda tentang teori Abiogenesis?



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 7.1**

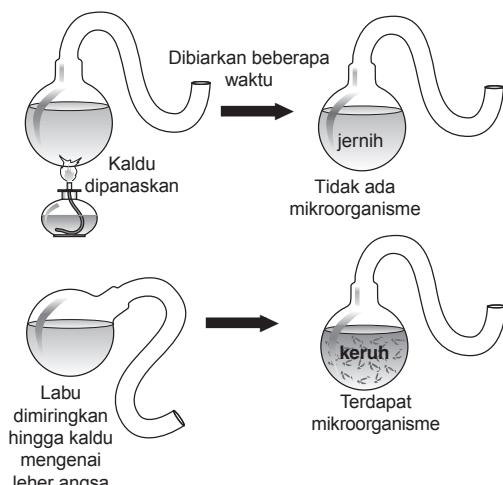
Bagan percobaan Francesco Redi



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 7.2**

Bagan percobaan L. Spallanzani



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 7.3**

Bagan percobaan Louis Pasteur

Berdasarkan hasil percobaannya, Redi menyimpulkan bahwa ulat bukan berasal dari daging, tetapi berasal dari telur lalat yang terdapat dalam daging dan menetas menjadi larva. Penelitian ini ditentang oleh penganut teori Abiogenesis karena pada tabung yang tertutup rapat, udara dan zat hidup tidak dapat masuk sehingga tidak memungkinkan untuk adanya suatu kehidupan. Bantahan itu mendapat tanggapan dari Redi. Redi melakukan percobaan yang sama, namun tutup diganti dengan kain kasa sehingga udara dapat masuk dan ternyata dalam daging tidak terdapat larva.

### b. Percobaan Lazzaro Spallanzani

Lazzaro Spallanzani pada tahun 1765 melakukan percobaan untuk menyanggah kesimpulan yang dikemukakan oleh Nedham. Lazzaro Spallanzani melakukan percobaan dengan memanaskan 2 tabung kaldu sehingga semua organisme yang ada di dalam kaldu terbunuh. Setelah didinginkan kaldu tersebut dibagi menjadi 2, satu tabung dibiarkan terbuka dan satu tabung yang lain ditutup. Ternyata pada tabung yang terbuka terdapat organisme, sedangkan pada tabung yang tertutup tidak terdapat organisme.

### c. Percobaan Louis Pasteur

Louis Pasteur melakukan percobaan menggunakan labu leher angsa. Pertama-tama kaldu direbus hingga mendidih, kemudian didiamkan. Setelah beberapa hari, air kaldu tetap jernih dan tidak mengandung mikroorganisme. Adanya leher angsa memungkinkan udara dapat masuk ke dalam tabung, tetapi mikroorganisme udara akan terhambat masuk karena adanya uap air pada pipa leher. Namun, apabila tabung dimiringkan hingga air kaldu sampai ke permukaan pipa, air kaldu tersebut akan terkontaminasi oleh mikroorganisme udara. Akibatnya setelah beberapa waktu, air kaldu akan keruh karena terdapat mikroorganisme.

Berdasarkan hasil percobaan para ilmuwan tersebut maka muncullah teori baru yaitu teori Biogenesis yang menyatakan bahwa:

- setiap makhluk hidup berasal dari telur = *omne vivum ex ovo*,
- setiap telur berasal dari makhluk hidup = *omne ovum ex vivo*,
- setiap makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya = *omne vivum ex vivo*.

Perhatikan ikhtisar percobaan yang dilakukan oleh Nedham, L. Spallanzani, dan L. Pasteur dalam Tabel 7.1 berikut.

**Tabel 7.1 Perbandingan Percobaan yang Dilakukan Nedham, L. Spallanzani, dan L. Pasteur**

Keterangan	Nedham	L. Spallanzani	L. Pasteur
Bahan Perlakuan	Kaldu Merebus kaldu beberapa menit, kemudian menutup botol dengan sumbat gabus	Kaldu Merebus kaldu cukup lama sehingga semua organisme mati kemudian botol ditutup dengan rapat	Kaldu Merebus kaldu hingga mendidih, memasukkan kaldu dalam botol leher angsa
Reaksi	Tumbuh bakteri	Tidak tumbuh bakteri	Tidak tumbuh bakteri

### 3. Teori Cosmozoic

Teori Cosmozoic atau teori Kosmozoan menyatakan bahwa asal mula makhluk hidup bumi berasal dari "spora kehidupan" yang berasal dari luar angkasa. Keadaan planet di luar angkasa diliputi kondisi kekeringan, suhu yang sangat dingin serta adanya radiasi yang mematikan sehingga tidak memungkinkan kehidupan dapat bertahan. Pada akhirnya spora kehidupan itu sampai ke bumi. Teori ini tidak dapat diterima oleh banyak ilmuwan.

### 4. Teori Penciptaan (*Special Creation*)

Teori ini berpandangan bahwa makhluk hidup diciptakan oleh Tuhan seperti apa adanya. Paham ini hanya membicarakan perkembangan materi sampai terbentuknya organisme tanpa menyinggung asal usul materi kehidupan. Penciptaan setiap jenis makhluk hidup terjadi secara terpisah. Teori ini tidak berdasarkan suatu eksperimen.

### 5. Teori Evolusi Biokimia

Teori ini mencoba menggali informasi asal usul makhluk hidup dari sisi biokimia. Menurut Oparin dalam bukunya yang berjudul *The Origin of Life* (1936) menyatakan bahwa asal mula kehidupan terjadi bersamaan dengan evolusi terbentuknya bumi beserta atmosfernya. **Alexander Oparin** adalah ahli evolusi molekular berkebangsaan Rusia. Lebih lanjut, Oparin menjelaskan bahwa pada mulanya atmosfer bumi purba terdiri atas metana ( $\text{CH}_4$ ), amonia ( $\text{NH}_3$ ), uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dan gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ). Oleh karena adanya pemanasan dan energi alam, berupa sinar kosmis dan halilintar, gas-gas tersebut mengalami perubahan menjadi molekul organik sederhana, sejenis substansi asam amino.

Selama berjuta-juta tahun, senyawa organik itu terakumulasi di cekungan perairan membentuk *primordial soup*, seperti semacam campuran materi-materi di lautan panas. Tahap selanjutnya, *primordial soup* ini membentuk monomer. Monomer bergabung membentuk polimer. Polimer membentuk agregasi berupa protobion. **Protobion** adalah bentuk awal sel hidup yang belum mampu bereproduksi, tetapi mampu memelihara lingkungan kimia dalam tubuhnya. Di samping itu, protobion juga telah memperlihatkan sifat yang berhubungan dengan makhluk hidup, seperti dapat melakukan metabolisme, kemampuan menerima rangsang, dan bereplikasi sendiri.

Terbentuknya polimer dari monomer-monomer telah dibuktikan oleh **Sydney W. Fox**. Dalam percobaannya, Fox memanaskan 18–20 macam asam amino pada titik leburnya dan didapatkan protein.

Pendapat Alexander Oparin mendapat dukungan dari ahli kimia Amerika Serikat, bernama **Harold Urey**. Urey menyatakan bahwa atmosfer bumi purba terdiri atas gas-gas metana ( $\text{CH}_4$ ), amonia ( $\text{NH}_3$ ), uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dan gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ). Dengan adanya energi alam (berupa halilintar dan sinar kosmis), campuran gas-gas tersebut membentuk asam amino.



Gambar 7.4

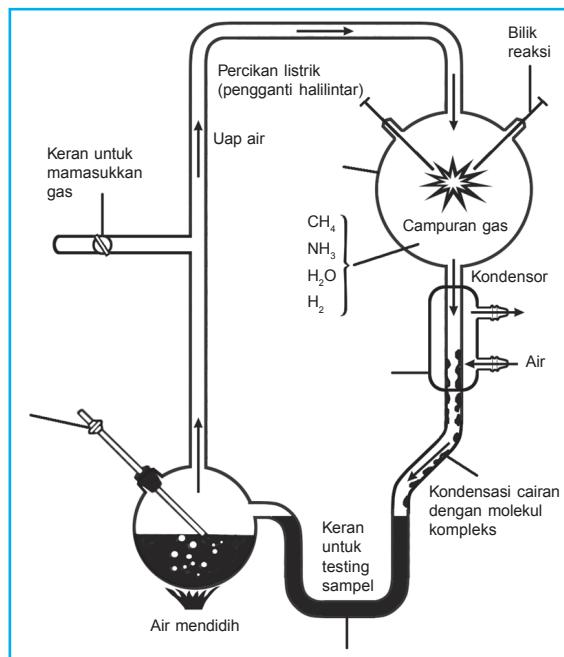
Beberapa meteor terdiri dari senyawa fosfor dan asam amino



Gambar 7.5

Alexander Oparin, salah satu pendukung teori evolusi biokimia

Pada tahun 1953, seorang mahasiswa Harold Urey, yaitu **Stanley Miller** (USA) mencoba melakukan eksperimen untuk membuktikan kebenaran teori yang dikemukakan Urey. Percobaannya itu juga dikenal dengan **eksperimen Miller-Urey**.



Sumber: *Biology*, Mader S.S.

**Gambar 7.6**

Alat percobaan Miller-Urey

Terdiri atas bagian yang berupa sebuah tabung tertutup yang dihubungkan dengan 2 ruangan. Ruangan atas berisi beberapa gas yang menggambarkan keadaan atmosfer bumi purba. Selanjutnya pada tempat ini diberi percikan listrik yang menggambarkan halilintar. Kondensor berfungsi untuk mendinginkan gas, menyebabkan terbentuknya tetesan-tetesan air dan berakhir pada ruangan pemanas kedua yang menggambarkan lautan. Beberapa molekul kompleks yang terbentuk di ruangan atmosfer, dilarutkan dalam tetesan-tetesan air ini dan dibawa ke ruangan lautan tempat sampel yang terbentuk diambil untuk dianalisis.

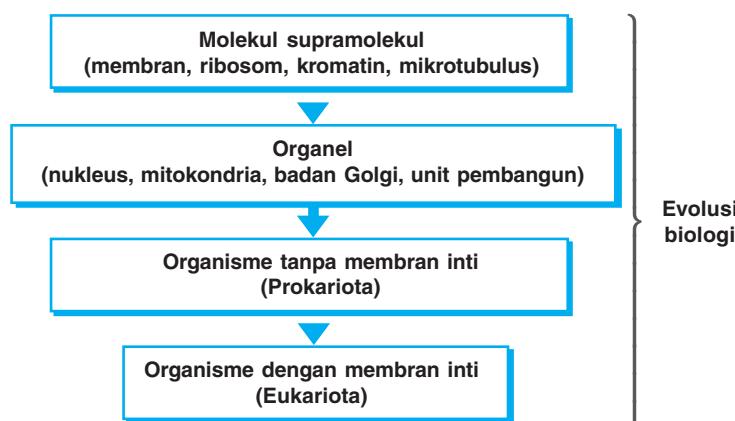
Miller menggunakan campuran gas yang diasumsikan terdapat di atmosfer bumi purba, yaitu amonia, metana, hidrogen, dan uap air dalam percobaannya. Oleh karena dalam kondisi alamiah gas-gas itu tidak mungkin bereaksi, Miller memberi stimulus energi listrik tegangan tinggi, sebagai pengganti energi alam (halilintar dan sinar kosmis).

Miller mendidihkan campuran gas tersebut pada suhu 100°C selama seminggu. Pada akhir percobaan, Miller menganalisis senyawa-senyawa kimia yang terbentuk di dasar gelas percobaan dan menemukan 3 jenis dari 20 jenis asam amino.

Keberhasilan percobaan Miller ini memunculkan hipotesis lanjutan tentang asal-usul kehidupan. Para evolusionis menyatakan bahwa asam-asam amino kemudian bergabung dalam urutan yang tepat secara kebetulan untuk membentuk protein. Sebagian protein-protein yang terbentuk secara kebetulan ini menempatkan diri mereka pada struktur seperti membran sel yang diikuti pembentukan sel primitif. Sel-sel ini kemudian bergabung membentuk organisme hidup. Mereka menyebutnya sebagai evolusi biologi. Bagaimana evolusi biologi terjadi?

## 6. Evolusi Biologi

Oparin dan Haldane serta teori Urey menyebutkan bahwa zat organik (asam amino) yang merupakan bahan dasar penyusun makhluk hidup, pada mulanya terakumulasi di lautan. Kenyataan saat ini menunjukkan bahwa dalam sel-sel tubuh makhluk hidup mengandung garam (NaCl). Hal ini mendasari kesimpulan bahwa makhluk hidup berasal dari laut.



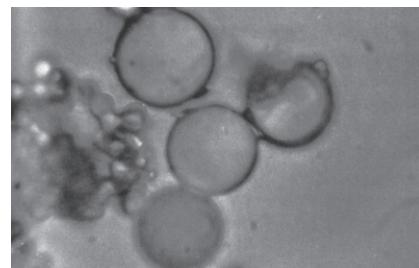
Evolusi biologi dimulai pada saat pembentukan sel. Asam amino yang terbentuk dari evolusi kimia akan bergabung membentuk makromolekul. Hal ini dibuktikan pada penelitian Sidney W. Fox. Larutan yang mengandung monomer-monomer organik diteteskan ke pasir, batu, atau tanah yang panas sehingga mengalami polimerisasi. Hasil polimerisasi ini dinamakan *proteinoid*. Apabila proteinoid dicampur dengan air dingin terbentuklah kumpulan proteinoid yang menyusun tetesan kecil yang disebut mikrosfer. Mikrosfer memiliki beberapa sifat hidup yang mempunyai membran selektif permeabel namun belum dapat dikatakan hidup.

Oparin menggunakan istilah koaservat untuk mikrosfer. Koaservat merupakan tetesan koloid yang terbentuk saat larutan protein, asam nukleat, dan polisakarida dikocok.

Substansi dalam koaservat dapat membentuk enzim yang berperan dalam pengambilan bahan dari lingkungan sebagai bahan pembentuk tubuh. Adanya deretan molekul-molekul lipid dan protein yang membatasi koaservat dengan lingkungan luar sekitarnya, telah dianggap sebagai selaput sel primitif. Selaput sel primitif ini menyebabkan stabilitas koaservat akan tetap terjaga. Selaput sel primitif ini diperkirakan berperan dalam pengaturan pertukaran substansi antara koaservat dan lingkungan sekitarnya. Koaservat dengan selaput lipid protein mungkin merupakan tipe sel primitif yang disebut protosel.

Protosel kemudian akan membentuk sel awal yang merupakan permulaan dari organisme uniselular. Oleh karena keadaan atmosfer saat itu tidak mengandung O<sub>2</sub>, organisme awal tersebut diperkirakan bersifat prokariotik, anaerob, dan heterotrof.

Bagaimana protosel dapat berkembang menjadi organisme uniselular, bahkan menjadi makhluk hidup multiselular seperti saat ini? Perkembangan protosel menjadi organisme uniselular maupun



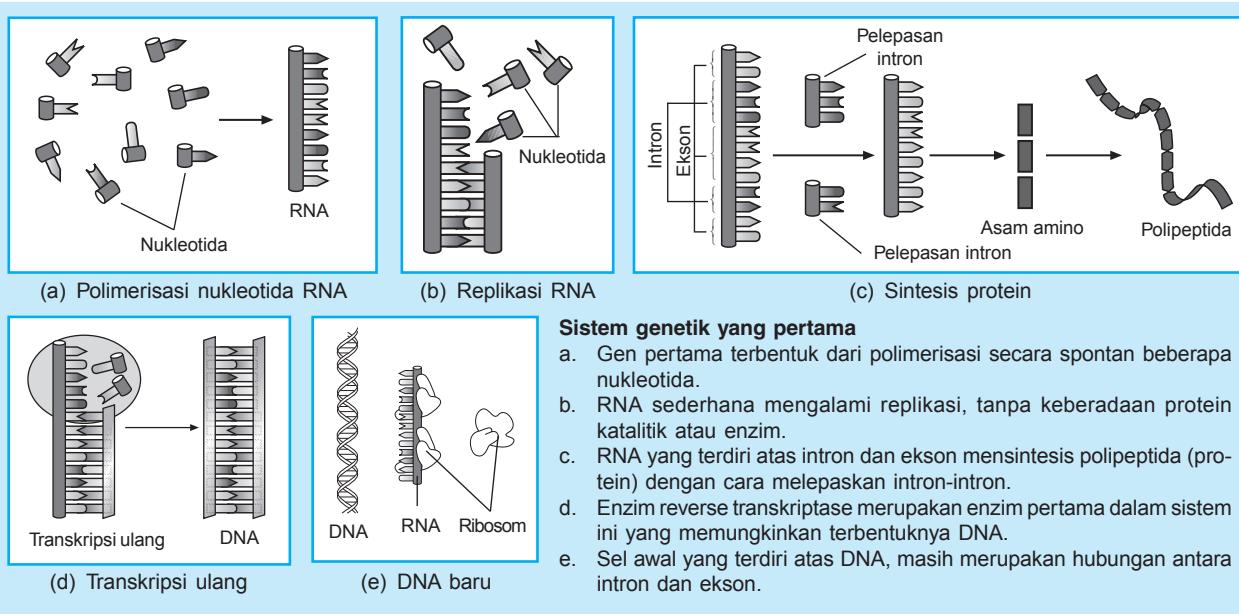
Sumber: Biology, Campbell

Gambar 7.7

Kumpulan proteinoid

Proteinoid merupakan polipeptida yang secara spontan berpolimerisasi dari penguapan kumpulan asam amino. Proteinoid dibentuk oleh aktivitas vulkanik yang tinggi.

multiselular tidak terlepas dari sistem genetik pada protosel itu sendiri. Sehubungan dengan hal itu, seorang ahli biokimia dari Havard yaitu **Walter Gilbert** pada tahun 1986 mengajukan **hipotesis dunia RNA**. Menurut hipotesis itu, miliaran tahun yang lalu sebuah molekul RNA yang dapat mereplikasi terbentuk secara kebetulan. Melalui pengaktifan oleh lingkungan, RNA ini dapat memproduksi protein. Selanjutnya, diperlukan molekul kedua untuk menyimpan informasi tersebut, maka dengan suatu cara tertentu terbentuklah DNA. Perhatikan Gambar 7.8 sistem genetik yang pertama agar Anda lebih jelas.



#### Sistem genetik yang pertama

- Gen pertama terbentuk dari polimerisasi secara spontan beberapa nukleotida.
- RNA sederhana mengalami replikasi, tanpa keberadaan protein katalitik atau enzim.
- RNA yang terdiri atas intron dan ekson mensintesis polipeptida (protein) dengan cara melepaskan intron-intron.
- Enzim reverse transkriptase merupakan enzim pertama dalam sistem ini yang memungkinkan terbentuknya DNA.
- Sel awal yang terdiri atas DNA, masih merupakan hubungan antara intron dan ekson.

#### Catatan:

- Intron dan ekson biasanya merupakan kelipatan kode triplet.
- Intron adalah penyusun RNA yang tidak dapat diekspresikan, sedangkan ekson merupakan penyusun RNA yang dapat diekspresikan.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

#### Gambar 7.8

Tahap-tahap pembentukan sistem genetik yang pertama

Segera setelah protosel memperoleh gen yang mampu mereplikasi menyebabkan protosel mampu bereproduksi, dan dimulailah proses evolusi biologi. Sejarah kehidupan pun telah dimulai. Selanjutnya organisme-organisme mengalami proses evolusi menurut jalur kehidupan yang berbeda-beda.

Anda telah mempelajari pendapat beberapa ilmuwan tentang asal usul kehidupan. Bagaimana pendapat Anda?

#### Tugas Mandiri

Carilah informasi dari berbagai sumber tentang asal usul kehidupan. Berdasarkan informasi tersebut, kemukakan pendapat Anda tentang asal usul kehidupan dalam bentuk artikel. Presentasikan artikel Anda di kelas, mintalah tanggapan dari teman-teman dan guru Anda.



## Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

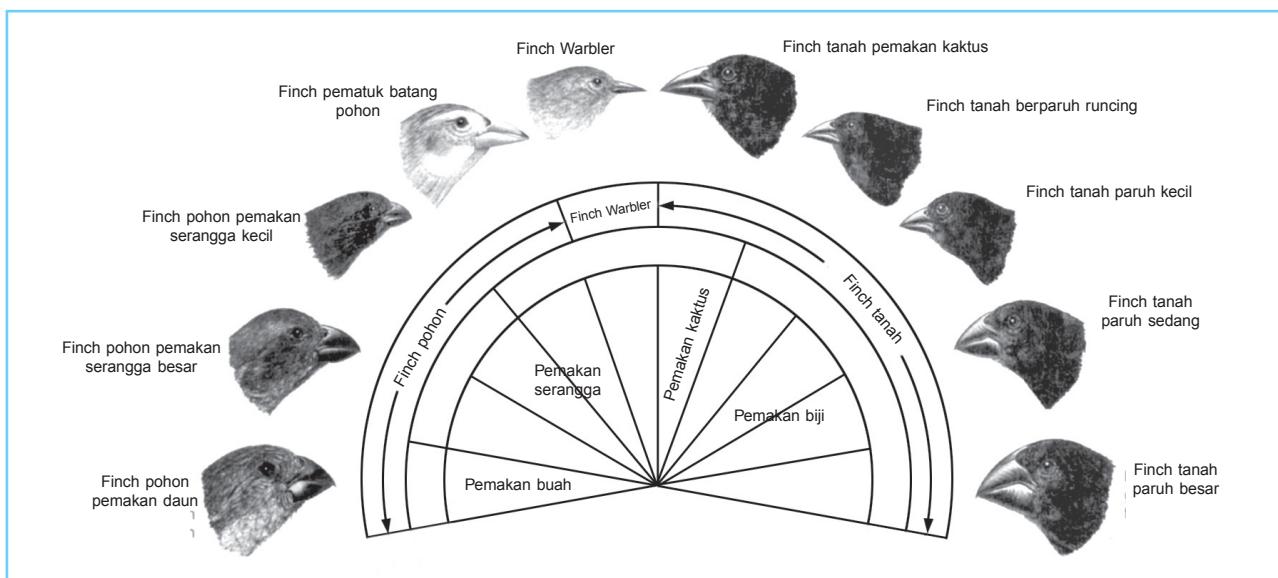
1. Mengapa Aristoteles meyakini bahwa makhluk hidup berasal dari benda tidak hidup?
2. Apa yang mendasari Francesco Redi menolak teori Abiogenesis?

3. Bagaimana usaha Miller untuk menguji kebenaran hipotesis Alexander Oparin dan Harold Urey? Jelaskan.
4. Jelaskan asal usul kehidupan menurut pemahaman Anda.

## B. Sejarah Munculnya Teori Evolusi

Pada dasarnya teori evolusi muncul sebagai salah satu jalan untuk mencari tahu asal mula makhluk hidup. Salah satu tokoh pencetus evolusi adalah Darwin. Berikut akan dibahas mengenai sejarah munculnya teori tersebut.

Selama lima tahun Darwin menjelajahi beberapa belahan dunia. Di dalam perjalanannya itu, Darwin sangat takjub dengan adanya beragam spesies burung finch dan kura-kura raksasa di Kepulauan Galapagos (suatu kepulauan terletak di sebelah barat daratan Amerika Selatan). Burung-burung itu memiliki kemiripan satu sama lain, hanya paruhnya yang berbeda (perhatikan Gambar 7.9). Menurut dugaan Darwin, variasi pada paruh burung-burung itu disebabkan oleh proses adaptasi habitat. Ketakjuhan terhadap burung-burung finch inilah yang mendasari Darwin mengemukakan teori Evolusi.



Sumber: Biology, Raven & Johnson

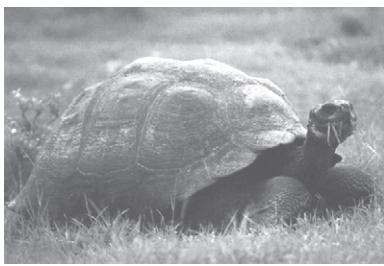
Gambar 7.9

Variasi paruh sepuluh burung finch (pipit) yang ditemukan Darwin di Pulau Santa Cruz (salah satu pulau di Kepulauan Galapagos)

Pada gambar di atas tampak bahwa terdapat berbagai jenis burung finch. Menurut Darwin, burung finch yang terdapat di Kepulauan Galapagos semula berasal dari satu spesies burung finch pemakan biji yang terdapat di daratan Amerika Selatan. Burung-burung itu bermigrasi karena faktor makanan. Selama bermigrasi burung-burung itu terdampar di tempat yang berbeda-beda. Burung-



Kura-kura cangkang "pelana"



Kura-kura cangkang "kubah"

Sumber: Biology, Raven & Johnson

#### Gambar 7.10

Dua jenis kura-kura yang hidup di Kepulauan Galapagos

burung itu harus mencari makanan, terutama biji-bijian seperti di daerah asalnya agar dapat bertahan hidup. Sementara itu, beberapa burung finch mencoba mencari jenis makanan lain, seperti serangga, madu, kaktus, dan buah. Akibat proses adaptasi terhadap variasi jenis makanan inilah burung-burung finch itu akhirnya mempunyai bentuk paruh yang bervariasi. Burung finch pemakan serangga mempunyai paruh tebal, lurus, dan berlidah pendek. Sementara burung finch pemakan kaktus mempunyai paruh lurus dan agak panjang. Selain burung-burung finch, Darwin juga mengamati kura-kura raksasa di Kepulauan Galapagos.

Darwin melihat adanya dua jenis kura-kura yang sangat berbeda pada kepulauan itu. Kura-kura Galapagos berukuran besar dengan tipe cangkang yang melengkung seperti kubah. Kura-kura ini ditemukan pada habitat basah. Sementara itu, di kepulauan lain yang habitatnya kering, ditemukan kura-kura berukuran kecil dengan cangkang berbentuk pelana (lihat Gambar 7.2). Menurut Darwin, penyebabnya adalah adanya perbedaan habitat. Dari sini, pemikiran Darwin mengenai variasi makhluk hidup mulai berkembang.

Fenomena burung finch dan kura-kura Galapagos tersebut menimbulkan gagasan Darwin dan menyatakan bahwa individu-individu yang beradaptasi pada habitat mereka dengan baik akan mewariskan sifat-sifat mereka yang unggul kepada generasi berikutnya. Lebih jauh Darwin menyatakan bahwa sifat-sifat unggul atau menguntungkan ini lama-lama terakumulasi dan mengubah populasi menjadi spesies yang sama sekali berbeda dengan nenek moyangnya. Berdasarkan hal ini pula Darwin menganggap manusia merupakan spesies paling maju. Melalui mekanisme ini pula spesies baru akan terbentuk. Oleh Darwin, mekanisme ini dinamakan **evolusi melalui seleksi alam** dan mempublikasikan pandangannya tersebut dalam bukunya yang berjudul *The Origin of Species, By Means of Natural Selection* pada tahun 1859.

Darwin banyak mempelajari buku-buku karya ilmuwan lain untuk memperkuat hipotesisnya. Buku-buku tersebut di antaranya buku *Principles of Geology* karya **Charles Lyell** (1797–1875) yang terbit pada tahun 1830 dan buku *The Principles of Population* karya **Thomas Malthus** yang terbit pada tahun 1798.

Berdasarkan tulisan Charles Lyell, Darwin mendapat masukan bahwa bumi mengalami perubahan terus-menerus, sehingga hal ini menyebabkan adanya variasi karena pengaruh alam. Sementara itu dalam tulisan Malthus, dikatakan bahwa populasi tumbuhan dan hewan (termasuk manusia) cenderung mengalami peningkatan secara geometri, sedangkan persediaan pangan cenderung meningkat secara aritmatik. Keadaan ini mengakibatkan pangan yang tersedia lebih sedikit daripada yang membutuhkan. Akibatnya, terjadilah perebutan makanan di antara makhluk hidup yang memiliki jenis makanan sama. Berdasarkan pandangan tersebut, Darwin menyimpulkan adanya seleksi alam berdasarkan ketersediaan pangan. Di samping itu, ada juga seleksi alam berdasarkan kondisi habitat, iklim, dan lain-lain. Makhluk hidup yang memenangkan persaingan dapat melangsungkan kehidupannya. Sebaliknya, yang kalah dalam persaingan akan mengalami kepunahan.

Menurut teori Evolusi Darwin: Manusia berasal dari makhluk paling sederhana yang telah mengalami perubahan-perubahan bentuk dan sifat selama berjuta-juta tahun.

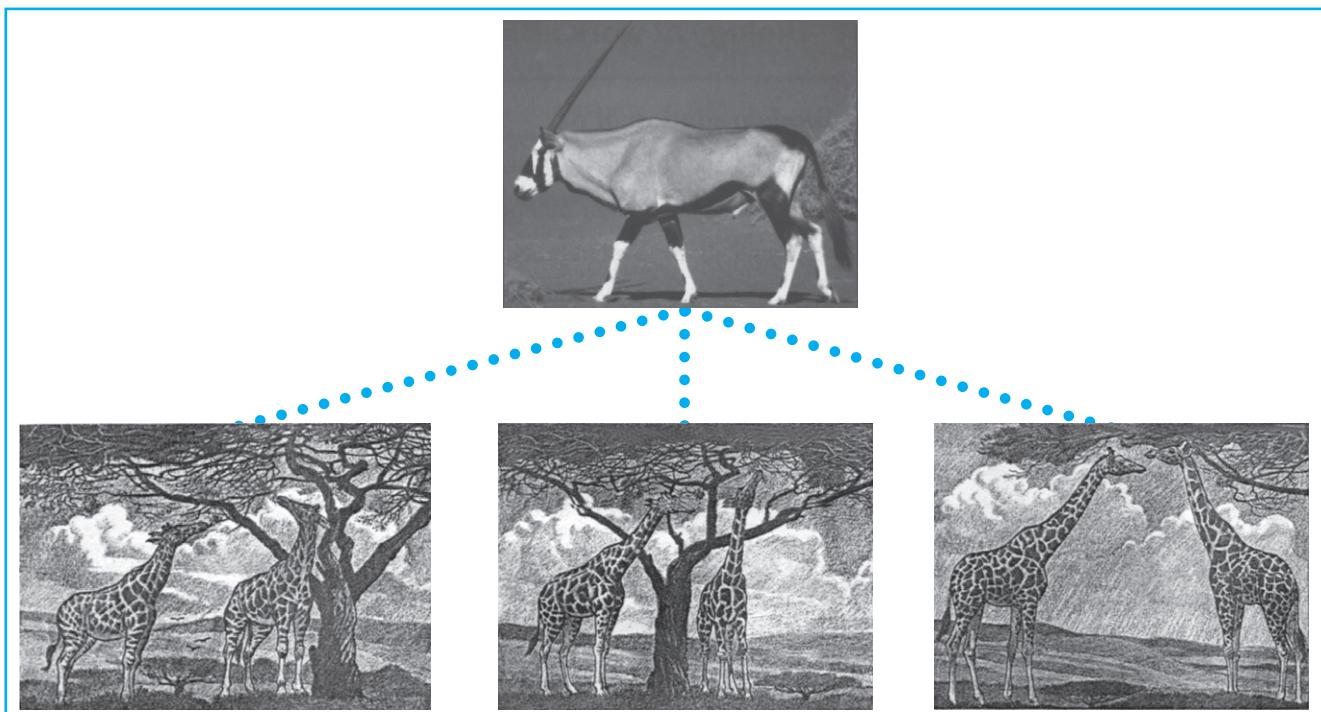


Sebelum mempublikasikan pendapatnya, Darwin mendapat dukungan pula dari ilmuwan Inggris yaitu **Alfred Russel Wallace** (1823–1913). Wallace mengirimkan makalahnya kepada Darwin dari Malaysia. Dalam makalahnya, Wallace juga membahas tentang evolusi oleh seleksi alam. Akan tetapi, teori Wallace ini berkembang tanpa terpengaruh oleh Darwin. Artinya, kedua ilmuwan itu mengemukakan pendapat yang sama, yaitu adanya evolusi oleh seleksi alam. Seperti halnya Darwin, teori Wallace ini dipengaruhi juga oleh makalah Malthus yang diterbitkan tahun 1798 (*The Principles of Population*).

Sebenarnya hipotesis Darwin tentang evolusi terilhami oleh pernyataan ahli biologi Prancis yaitu **J.B. de Lamarck** (1744–1829). Lamarck mengajukan teori Evolusi jauh sebelum Darwin mengemukakan tentang teori Evolusinya. Lamarck mengemukakan teorinya yang dikenal dengan paham "digunakan dan tidak digunakan", dalam bentuk postulat sebagai berikut.

1. Semua organisme mempunyai kemampuan menjadi organisme yang lebih kompleks.
2. Organisme dapat berubah sebagai respon terhadap lingkungan.
3. Organ tubuh makhluk hidup yang sering digunakan akan berkembang terus, sedangkan organ yang tidak sering digunakan akan mengalami atropi (penyusutan) dan bahkan mereduksi (hilang).

Selain itu, menurut Lamarck, makhluk hidup mewariskan sifat-sifat yang diperoleh selama hidupnya dari satu generasi ke generasi berikutnya sehingga terjadilah evolusi. Dalam bukunya yang berjudul *Philosophie Zoologique*, Lamarck menjelaskan tentang evolusi jerapah, seperti Gambar 7.11 berikut.



Sumber: *Biology, Campbell*

**Gambar 7.11**

Leher jerapah bertambah panjang karena digunakan untuk menjangkau dahan yang lebih tinggi

Menurut Lamarck, jerapah berevolusi dari binatang sejenis antelop. Perubahan mulai terjadi ketika binatang-binatang itu memanjangkan lehernya sedikit demi sedikit dan dari generasi ke generasi untuk meraih dadaun yang lebih tinggi sebagai makanannya. Akhirnya binatang itu memiliki leher panjang seperti yang kita lihat pada leher jerapah saat ini. Namun, teori Evolusi Lamarck ternyata tidak benar karena sifat yang diperoleh setelah lahir tidak dapat diwariskan kepada keturunannya. Darwin menggunakan hipotesis tentang “pewarisan sifat-sifat yang diperoleh” sebagai faktor yang menyebabkan makhluk hidup berevolusi. Secara ringkas teori Evolusi yang dikemukakan Darwin memuat dua hal pokok berikut.

1. Spesies yang berkembang sekarang berasal dari spesies-spesies yang hidup pada masa lampau.
2. Evolusi terjadi melalui seleksi alam.

Mengenai seleksi alam akan dibahas lebih rinci pada subbab D tentang Mekanisme Evolusi. Sebelum membahas subbab selanjutnya coba Anda kerjakan Uji Kompetensi B berikut.

### Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Apakah evolusi itu?
2. Fenomena apa yang ditemukan Darwin ketika melihat beragam jenis burung finch di Kepulauan Galapagos?
3. Jelaskan sumbangan pemikiran yang diperoleh Darwin setelah membaca buku *The Principles*

*of Population* karya Thomas Malthus terhadap teori Evolusi yang dikemukakannya.

4. Bagaimana terjadinya evolusi jerapah menurut Lamarck? Jelaskan dengan gambar.
5. Prinsip apakah yang dipetik Darwin setelah membaca buku *The Principles of Geology* karya Charles Lyell?

## C. Bukti-Bukti yang Mendukung Teori Evolusi

Masih ingatkah Anda tentang film *Jurassic Park* yang sempat menggemparkan dunia perfilman? Film tersebut menceritakan bahwa manusia berhasil “menghidupkan kembali” binatang purba macam *Tyrannosaurus* dan *Bronthosaurus*. Kedua binatang yang berukuran raksasa ini diyakini pernah hidup pada masa lampau. Benarkah kedua binatang itu pernah ada di muka bumi? Apakah ada hubungannya kedua binatang itu dengan proses evolusi makhluk hidup?

Menurut kaum evolusionis (penganut teori Evolusi) makhluk hidup mengalami evolusi. Menurut mereka, makhluk hidup yang ada sekarang merupakan hasil evolusi makhluk hidup yang hidup pada masa lampau. Proses evolusi itu memakan waktu jutaan tahun.

Beberapa faktor yang memperkuat dugaan adanya evolusi makhluk hidup, antara lain **rekaman fosil**, **embriologi perbandingan**, **homologi**, dan **organ vestigial**.

### 1. Rekaman Fosil

Teori Evolusi menyatakan bahwa setiap jenis makhluk hidup berasal dari satu nenek moyang yang sama. Berdasarkan hal ini dapat diartikan bahwa spesies yang ada sebelumnya lambat

lau mengalami perubahan menjadi spesies lain, dari spesies primitif menjadi maju. Di samping itu, **Leonardo da Vinci** (1452–1519) menyatakan bahwa fosil merupakan bukti adanya kehidupan pada masa lampau. Oleh karena itu, diharapkan dengan mempelajari fosil teori Evolusi dapat dibuktikan. Jika anggapan itu benar, maka akan terdapat sejumlah fosil yang mengarah terjadinya evolusi makhluk hidup. Adapun beberapa fosil yang telah ditemukan sebagai berikut.



Sumber: Dari berbagai sumber

**Gambar 7.12**

Penemuan fosil dan perkiraan usianya

Setelah mempelajari fosil-fosil yang ditemukan arkeolog, para ahli geologi membuat rekaman peristiwa pemunculan organisme. Coba cermati salah satu rekaman peristiwa dalam tabel 7.2 berikut.

**Tabel 7.2 Skala Waktu Geologi**

Zaman	Periode	Episode	Umur (Juta Tahun)	Peristiwa Penting dalam Sejarah Kehidupan
Senozoikum	Kuarter	Sekarang	0,01	Waktu bersejarah
		Pleistosen	1,8	Abad es, manusia muncul
	Tertier	Pleisen	5	Ditemukan manusia kera nenek moyang manusia
		Miosen	23	Penyebaran lanjutan Mammalia dan Angiospermae
		Oligosen	34	Mammalia modern, termasuk kera
		Eosen	57	Peningkatan dominansi Angiospermae dan peningkatan keanekaragaman Mammalia
		Paleosen	65	Penyebaran besar-besaran Mammalia, burung, dan serangga penyebuk
	Mesozoikum	Cretaseus	144	Pemunculan tumbuhan berbunga (Angiospermae); dinosaurus punah
		Jurassik	208	Tumbuhan didominasi oleh Gymnospermae; dominansi dinosaurus; burung pertama
		Triassik		Gymnospermae mendominasi bentang lahan; dinosaurus dan Mammalia pertama

Zaman	Periode	Episode	Umur (Juta Tahun)	Peristiwa Penting dalam Sejarah Kehidupan
Paleozoikum	Permian		245	
			286	Penyebaran Reptilia, munculnya Mammalia menyerupai <i>Reptilia</i> dan ordo serangga modern; punahnya Invertebrata laut primitif
	Carboniferous		360	Perluasan hutan tanaman berpembuluh; tumbuhan biji pertama, munculnya spesies Reptilia
Paleozoikum	Devonian		360	Diversifikasi ikan bertulang; Amphibia dan serangga pertama
	Silurian		408	Melimpahnya Vertebrata tak berahang; kolonisasi tanah oleh tumbuhan dan Arthropoda; asal usul tumbuhan berpembuluh
	Ordovician		438	Vertebrata pertama (hewan tak berahang); melimpahnya ganggang laut
	Cambrian		505	Asal mula sebagian besar filum Invertebrata
Precambrian			544	
			700	Asal mula hewan
			1500	Fosil eukariotik tertua
			2500	Terakumulasinya oksigen di atmosfer
			3500	Fosil prokariotik tertua
			4600	Perkiraan asal mula bumi

Sumber: *Biology, Campbell*

Melihat kenyataan adanya perbedaan fosil makhluk hidup pada setiap lapisan bumi, **George Cuvier** (1769–1832) mempunyai pendapat sendiri. George Cuvier adalah seorang ahli anatomi berkebangsaan Prancis. Menurutnya, perbedaan makhluk hidup itu disebabkan adanya penciptaan yang memang berbeda. Cuvier menyatakan bahwa makhluk hidup itu hadir sesaat, lenyap oleh malapetaka, kemudian tercipta lagi makhluk hidup lain. Teori ini dikenal dengan **katastropisme**. Teori ini jelas-jelas menentang adanya evolusi makhluk hidup.

Darwin menyikapi perbedaan fosil itu dengan pernyataan lain. Berdasarkan kajian fosil, Darwin berpendapat bahwa perubahan bentuk disesuaikan dengan lapisan bumi yang lebih muda. Oleh karena itu, fosil yang ditemukan pada lapisan bumi yang muda berbeda dengan fosil yang ditemukan pada lapisan bumi yang lebih tua. Berdasarkan kajian itu, diyakini pula bahwa makhluk hidup berkembang dari primitif (sederhana) menuju ke maju (kompleks).

Menurut teori Evolusi, spesies yang ada sebelumnya lambat laun berubah menjadi spesies lain, melalui proses perubahan sedikit demi sedikit dalam jangka waktu jutaan tahun. Dengan demikian, dapat diartikan bahwa Amphibia dapat berasal dari ikan. Selanjutnya, Amphibia akan berevolusi menjadi Reptilia dan Reptilia berevolusi menjadi burung. Berdasarkan anggapan ini seharusnya akan ditemukan hewan-hewan transisi atau makhluk transisi, seperti pada Gambar 7.13.

Sayangnya makhluk hidup peralihan ini belum pernah diketemukan fosilnya hingga saat ini. Beberapa fosil makhluk hidup yang telah ditemukan pun masih sulit diidentifikasi. Salah satu kendalanya karena pada umumnya fosil itu ditemukan tidak dalam keadaan utuh.

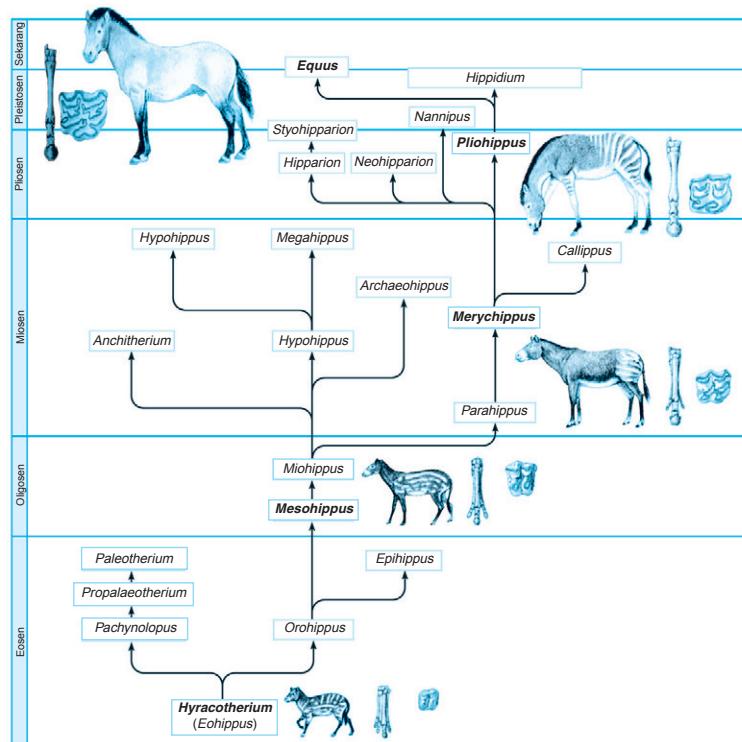


Sumber: *Keruntuhan Teori Evolusi*, Harun Yahya

### Gambar 7.13

Makhluk hidup transisi ikan setengah Reptilia (rekaan)

Berita menggembirakan datang dari dua orang ilmuwan Amerika, yaitu **Marsh** dan **Osborn**. Kedua ilmuwan itu berhasil menemukan fosil kuda dalam keadaan utuh dan berasal pada setiap zaman geologi. Dengan mempelajari fosil-fosil kuda itu, mereka mengambil kesimpulan bahwa kuda telah mengalami evolusi, dari nenek moyangnya *Eohippus* yang sebesar kucing. Bagaimanakah bentuk evolusi kuda itu? Marilah kita pelajari dalam gambar berikut.



Sumber: Biology, Campbell

**Gambar 7.14**  
Evolusi kuda

Berdasarkan Gambar 7.14 di atas dapat diamati adanya perubahan sebagai berikut.

- Ukuran tubuh semakin besar, dari yang semula sebesar kucing sekarang menjadi sebesar kuda.
- Kepala semakin besar dan jarak antara mulut dengan mata semakin jauh.
- Leher semakin panjang.
- Geraham depan dan belakang semakin besar, berlapis email, dan bentuknya makin sesuai untuk memakan rerumputan.
- Kaki depan dan belakang semakin panjang, gerakan semakin lincah, larinya semakin cepat, tetapi rotasi tubuh semakin berkurang.
- Jari kuku dari lima jari menjadi satu jari, bentuknya semakin panjang, jari kedua dan keempat mengalami kemunduran sehingga menjadi organ yang tidak berfungsi lagi (rudimenter).

Lakukan tugas mandiri berikut agar Anda lebih memahami tentang fosil.



### Tahukah Anda

#### *Coelacanth* Bukanlah Hewan Peralihan

Kaum evolusionis mengklaim bahwa fosil *Coelacanth* merupakan hewan transisi yang diperkirakan berumur 410 juta tahun. Menurut mereka, hewan purba ini memiliki paru-paru primitif dan otak yang belum berkembang. Anggapan ini tidak terbantahkan hingga sekitar tahun 1930-an.



Namun, pada tahun 1938 terjadi berita yang menggemparkan. Pada tanggal 22 Desember 1938, di Samudra Hindia ditemukan sejenis ikan yang sangat mirip *Coelacanth*. Bahkan pada tahun-tahun berikutnya ditemukan 200 ekor *Coelacanth* di seluruh penjuru dunia. Pada kenyataannya, hewan ini sejenis dengan ikan yang hidup di dasar samudra pada kedalaman lebih dari 180 m.

Berita ini tentu saja membantah hipotesis kaum evolusionis tentang adanya hewan transisi.

Sumber: Keruntuhan Teori Evolusi, Harun Yahya

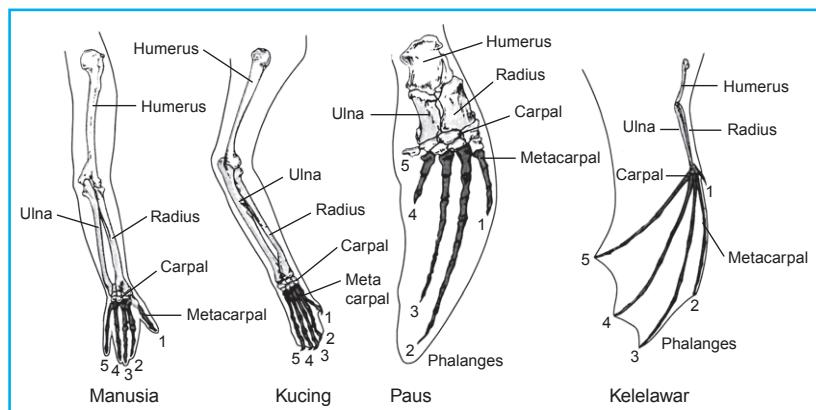


## Tugas Mandiri

Lakukan studi tentang fosil melalui studi pustaka atau kunjungan ke museum atau situs-situs purbakala. Tulislah hasil studi Anda dalam sebuah laporan. Presentasikan laporan studi Anda di kelas. Mintalah tanggapan dari teman dan guru Anda.

## 2. Homologi

Perhatikan kedua tangan Anda. Bandingkan kedua tangan Anda dengan kaki depan kuda. Apakah Anda melihat adanya suatu kesamaan? Dilihat dari fungsinya, tangan kita berbeda dengan kaki depan kuda. Tangan kita mempunyai banyak fungsi, di antaranya untuk bergerak (memanjat, merangkak), menulis, mengambil makanan dan minuman, serta masih banyak lagi kegiatan yang dapat dilakukan tangan. Sementara itu, kaki depan kuda merupakan alat gerak. Perbedaan fungsi itu sangat terkait dengan faktor adaptasi makhluk hidup tersebut terhadap lingkungannya. Namun demikian, secara struktural tangan manusia dengan kaki depan kuda sama. Kondisi organ yang demikian disebut **homolog**, sedangkan peristiwa ini dikenal dengan **homologi**. Contoh organ homolog lainnya adalah antara kaki depan anjing dengan sayap burung, kaki depan buaya dengan sirip dada ikan paus, dan sebagainya. Perhatikan homolog organ pada tangan manusia, kaki depan kucing (mamalia), sirip paus, dan sayap kelelawar pada Gambar 7.15 berikut.



Sumber: *Biology*, Solomon

**Gambar 7.15**

Homologi pada alat gerak beberapa Vertebrata

Homologi dipercaya sangat erat kaitannya dengan evolusi makhluk hidup. Menurut teori Evolusi setiap jenis makhluk hidup berasal dari nenek moyang sama yang kemudian mengalami evolusi menjadi spesies baru. Berdasarkan pernyataan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa makin banyak kemiripan organ (homolog) antarspesies, makin dekat pula hubungan kekerabatan di antara spesies tersebut.

Lawan dari homologi adalah analogi. **Analogi** adalah dua organ tubuh yang memiliki fungsi sama, tetapi asal usulnya berbeda. Misalnya antara sayap burung dengan sayap kupu-kupu. Menurut

kaum evolusionis, analogi menunjukkan bahwa makhluk hidup mengalami evolusi konvergen. Evolusi ini hanya menghasilkan variasi di antara makhluk hidup, tidak menyebabkan terbentuknya spesies baru.



### Tugas Mandiri

Carilah lima contoh organ homolog dan analog untuk lebih memahami perbedaan antara homologi dan analogi.

### 3. Embriologi Perbandingan

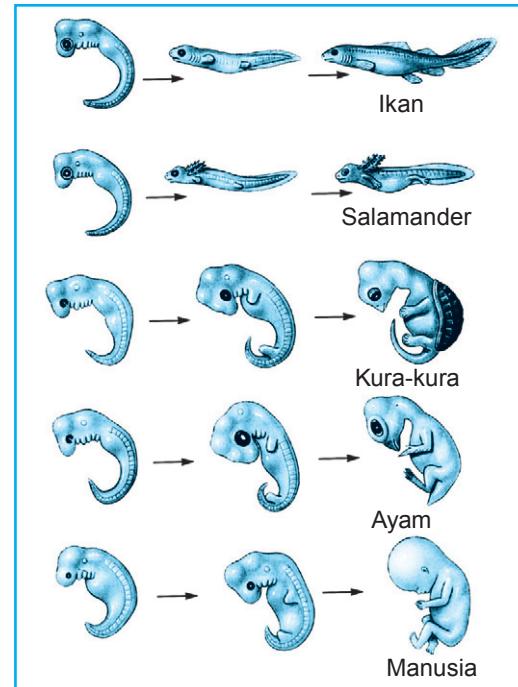
Penganut teori Evolusi mengadakan kajian embriologis pada beberapa makhluk hidup untuk merunut adanya hubungan kekerabatan antar spesies makhluk hidup. Jika teori Evolusi benar maka pada kajian embriologi akan terdapat tahap-tahap perkembangan embrio yang sama pada semua makhluk hidup.

Berkaitan dengan hal ini, pada akhir abad ke-19 seorang ahli biologi evolusionis, **Ernest Haeckel** mengemukakan **teori Rekapitulasi**. Teori ini menyatakan bahwa embrio-embrio mengulangi proses evolusi yang telah dialami nenek moyangnya. Menurut Haeckel selama masa perkembangan dalam rahim ibu, embrio manusia awalnya menunjukkan karakteristik ikan, kemudian karakteristik reptil, dan akhirnya karakteristik manusia seperti terlihat pada Gambar 7.16. Istilah rekapitulasi merupakan singkatan dari pernyataan *ontogeni merekapitulasi filogeni*. **Ontogeni** adalah tahap-tahap pertumbuhan dan perkembangan embrio, sedangkan **filogeni** adalah hubungan kekerabatan hewan menurut perjalanan evolusi (yang biasa digambarkan dalam bentuk diagram pohon beserta cabang-cabangnya).

### 4. Organ-Organ Peninggalan (Organ Vestigial)

Gagasan organ vestigial pertama kali dikemukakan seabad yang lalu. Pendapat itu menyatakan bahwa pada tubuh beberapa jenis makhluk hidup terdapat sejumlah organ-organ yang tidak fungsional. Organ-organ ini diwarisi dari nenek moyang mereka dan perlahan-lahan menjadi peninggalan karena tidak digunakan.

**R. Weidersheim**, seorang ahli anatomi berkebangsaan Jerman, pada tahun 1895 mencatat kira-kira ada 100 organ peninggalan pada tubuh makhluk hidup. Beberapa organ peninggalan yang dijumpai pada tubuh manusia misalnya otot penggerak telinga, usus buntu, dan tulang ekor.



Sumber: Biology, Raven & Johnson

Gambar 7.16

Perkembangan zigot beberapa kelas Vertebrata



### Tahukah Anda

#### Benarkah Usus Buntu Tidak Mempunyai Fungsi?

Banyak di antara kita yang belum mengetahui fungsi usus buntu. Perlu Anda ketahui bahwa sebenarnya usus buntu sangat penting fungsinya bagi tubuh kita.

Menurut laporan ilmiah bahwa organ-organ seperti kelenjar timus, hati, limpa, usus buntu, sumsum tulang, dan sejumlah jaringan limfatis seperti amandel dan lempeng Peyer pada usus kecil sangat penting bagi tubuh dalam memerangi infeksi.

Sumber: *The Merck Manual of Medical Information*, 1977



## Uji Kompetensi C

Jawablah soal-soal berikut.

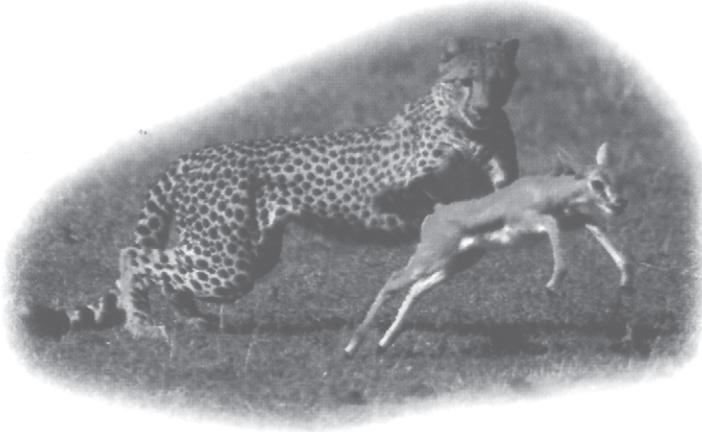
1. Bagaimana rekaman fosil dapat dijadikan petunjuk adanya evolusi?
2. Manakah yang lebih tua umurnya, fosil yang ditemukan pada lapisan muda atau lapisan tua? Mengapa demikian?
3. Apakah landasan berpikir Darwin tentang kemunculan hewan-hewan peralihan (transisi)?
4. Mengapa fosil kuda dianggap sebagai bukti evolusi paling baik? Jelaskan.
5. Bagaimana homologi organ dapat menjelaskan bahwa makhluk hidup mengalami evolusi?

## D. Mekanisme Evolusi

Anda tentu masih ingat kekaguman Darwin pada spesies burung finch di Kepulauan Galapagos. Pada saat itu, Darwin mengemukakan bahwa bervariasinya burung finch itu karena proses adaptasi. Spesies yang adaptif (berhasil melakukan adaptasi) akan tetap bertahan hidup dan akan mewariskan keunggulannya itu pada generasi berikutnya. Nah, dari sinilah muncul teori Evolusi. Bagaimanakah evolusi makhluk hidup itu terjadi? Faktor-faktor apa yang menyebabkan terjadinya evolusi? Marilah kita pelajari dalam materi berikut.

### 1. Seleksi Alam

Seleksi alam menyatakan bahwa makhluk hidup yang lebih mampu menyesuaikan diri (beradaptasi) dengan kondisi alam habitatnya akan mendominasi dengan cara memiliki keturunan yang mampu bertahan hidup. Sebaliknya, makhluk hidup yang tidak mampu beradaptasi akan punah. Sebagai contoh sekelompok rusa yang hidup di bawah ancaman hewan pemangsa (seperti macan, harimau, singa, dan citah), secara alamiah rusa-rusa yang mampu berlari kencang dapat bertahan hidup dan berketurunan. Sebaliknya, rusa yang lemah, sakit-sakitan, dan tidak dapat berlari kencang akan mati dan tidak melanjutkan keturunan.



Sumber: *Keruntuan Teori Evolusi*, Harun Yahya

Gambar 7.17

Siapa yang kuat, dia akan menang

Seleksi alam sebenarnya merupakan proses alamiah yang telah dikenal ahli biologi sebelum Darwin. Para ahli biologi waktu itu mendefinisikan seleksi alam sebagai mekanisme yang menjaga agar spesies tidak berubah tanpa menjadi rusak. Namun, Darwinlah orang pertama yang mengemukakan bahwa seleksi alam mempunyai kekuatan evolusi. Selanjutnya, Darwin mengemas teori Evolusi melalui seleksi alam dalam bukunya *The Origin of Species, by Means of Natural Selection* yang diterbitkan pada tahun 1859.

Darwin menyatakan bahwa seleksi alam merupakan faktor pendorong terjadinya evolusi. Pernyataannya itu didasarkan pada pengamatannya terhadap populasi alami dunia. Dia mengamati adanya beberapa kecenderungan berikut: jumlah keturunan yang terlalu besar (*over reproduction*), jumlah populasi yang selalu konstan (tetap), adanya faktor pembatas pertumbuhan populasi, dan perbedaan keberhasilan berkembang biak.

Setiap spesies mempunyai kemampuan untuk menghasilkan banyak keturunan setelah dewasa. Melalui proses reproduksi, populasi makhluk hidup dapat meningkat secara geometrik.

Setiap individu hasil perkawinan memungkinkan mempunyai variasi warna, bentuk, maupun kemampuan bertahan diri di lingkungan. Varian yang adaptif akan tetap hidup dan berkembang, tetapi spesies yang tidak adaptif akan punah.

Beberapa faktor pembatas di alam yang mempengaruhi populasi di antaranya adalah makanan, air, cahaya, tempat hidup, dan sebagainya. Akibatnya, makhluk hidup harus berkompetisi dengan makhluk hidup lain untuk mendapatkan sumber daya yang terbatas tersebut. Beberapa faktor pembatas lainnya yang cukup serius pengaruhnya terhadap pertumbuhan populasi yaitu predator, organisme penyebab penyakit, dan cuaca yang tidak menguntungkan.

Tingkat kesuksesan perkembangbiakan juga menentukan pertumbuhan populasi makhluk hidup dan merupakan kunci dalam seleksi alam. Makhluk hidup yang paling adaptif adalah individu yang berhasil dalam perkembangbiakan. Sebaliknya, yang tidak berhasil akan mati prematur atau menghasilkan sedikit keturunan.

Lebih jauh dalam bukunya itu, Darwin mengemukakan bahwa individu-individu yang beradaptasi pada habitat mereka dengan baik akan mewariskan sifat-sifat unggul kepada generasi berikutnya. Darwin menyatakan bahwa sifat-sifat unggul atau menguntungkan ini lama-lama terakumulasi dan mengubah suatu kelompok individu menjadi spesies yang sama sekali berbeda dengan nenek moyangnya. Berdasarkan proses inilah akan terbentuk spesies baru.

Suatu contoh proses seleksi alam paling terkenal pada masa itu adalah mengenai populasi ngengat (*Biston betularia*) selama revolusi industri di Inggris. Pada awal revolusi industri di Inggris, kulit batang pohon di sekitar Manchester berwarna cerah. Hal ini mengakibatkan ngengat (*Biston betularia*) berwarna cerah yang hinggap pada kulit batang tidak mudah tertangkap burung pemangsa. Itulah sebabnya pada awal revolusi industri, populasi ngengat berwarna cerah lebih banyak daripada ngengat



Sumber: Biology, Raven dan Johnson

#### Gambar 7.18

Contoh proses seleksi alam pada populasi *Biston betularia*

- Biston betularia* sebelum revolusi industri di Inggris
- Biston betularia* sesudah revolusi industri di Inggris

berwarna gelap. Keadaan itu berubah  $180^{\circ}$  setelah terjadi revolusi industri. Mengapa terjadi demikian?

Lima puluh tahun kemudian, kulit batang pohon menjadi lebih gelap akibat polusi udara. Keadaan itu sangat menguntungkan ngengat berwarna gelap karena saat hinggap di pohon tidak terlihat oleh burung pemangsanya. Sebaliknya, ngengat berwarna cerah mudah dilihat oleh burung pemangsa. Hal ini mengakibatkan populasi ngengat berwarna gelap lebih besar daripada ngengat berwarna cerah. Sekarang timbul pertanyaan: "Mungkinkah ngengat *Biston betularia* berwarna cerah berubah menjadi *Biston betularia* berwarna gelap?"

Lakukan Eksperimen berikut agar Anda lebih memahami mekanisme seleksi alam.



## Eksperimen

### Melakukan Praktik Simulasi Seleksi Alam

Siapkan kertas berwarna kuning, merah, dan hijau. Potonglah kertas warna kuning menjadi bentuk segitiga sebanyak 30 buah. Potonglah kertas warna merah menjadi bentuk lingkaran sebanyak 30 buah. Potonglah kertas warna hijau menjadi bentuk persegi sebanyak 30 buah.

Masukkan semua potongan kertas (sebanyak 90 buah) ke dalam sebuah kantong, kemudian kocoklah hingga bercampur rata. Sebarkan semua potongan kertas itu pada lapangan berumput. Mintalah kepada salah satu teman Anda untuk mengambil potongan kertas itu dalam waktu 1 menit. Catatlah hasil pengamatan Anda dalam tabel berikut.

No.	Nama Kelompok	Warna Kertas yang Terambil			Jumlah
		Merah	Kuning	Hijau	
1.	Pinguin				
2.	Lumba-lumba				
3.	Paus				
4.	Lobster				
5.	dst.				

### Pertanyaan

1. Warna kertas apakah yang paling sedikit terambil?
2. Apakah yang mempengaruhi kertas tersebut paling sedikit terambil, karena bentuknya ataukah warnanya? Jelaskan.

3. Warna kertas apakah yang paling banyak terambil?
4. Apakah yang mempengaruhi kertas tersebut paling banyak terambil, karena bentuknya ataukah warnanya? Jelaskan.

Buatlah laporan kegiatan dan presentasikan di kelas.

Berdasarkan hasil eksperimen di atas tampak bahwa seleksi alam berkaitan erat dengan adaptasi dan kelangsungan hidup organisme. Kertas berwarna hijau paling sedikit terambil pada habitat lapangan berumput. Hal ini dapat dikatakan bahwa kertas segitiga berwarna hijau paling adaptif sehingga secara alami akan bertahan hidup.

Kita telah melihat bahwa seleksi alam akan menghasilkan individu unggul dan mampu bertahan hidup. Mampukah seleksi alam menghasilkan spesies baru? Lakukan kegiatan berikut untuk mengetahui jawabannya.



## Forum Diskusi

Coba amati tanaman bunga pukul empat (*Mirabilis jalappa*) yang ada di sekitar Anda. Ada berapa macam warna bunga dalam spesies tersebut? Apakah variasi warna bunga tersebut dalam kurun waktu lama dapat berevolusi? Diskusikan bersama teman sekelompok Anda dan presentasikan hasilnya di depan kelas.

## 2. Mutasi Gen

Mutasi gen pernah Anda pelajari di Bab VI dalam buku ini. Coba Anda pahami kembali materi tersebut untuk memperkuat pemahaman Anda tentang salah satu mekanisme evolusi berikut.

Peristiwa mutasi gen dapat tidak menyebabkan perubahan pembentukan asam amino sehingga tidak menimbulkan efek yang berarti. Namun, jika mutasi gen menyebabkan perubahan pembentukan asam amino maka fungsi gen tersebut juga berubah. Perubahan fungsi ini dapat diamati melalui kelainan-kelainan yang terjadi pada individu yang mengalami mutasi.

Bagaimana peristiwa mutasi dapat menyebabkan terjadinya evolusi? Setiap sel makhluk hidup dapat mengalami mutasi setiap saat, tetapi tidak semua mutasi dapat diwariskan pada keturunannya. Mutasi yang terjadi pada sel soma (sel tubuh) tidak akan diwariskan. Setelah individu yang mengalami mutasi meninggal maka mutasi yang terjadi juga akan menghilang bersamanya. Sementara itu, mutasi yang terjadi pada sel-sel kelamin akan diwariskan pada keturunannya. Adanya bahan-bahan mutagen dalam gonad dapat menyebabkan terjadinya mutasi pada sel kelamin jantan (sperma) dan sel kelamin betina (ovum). Dengan demikian, gen yang bermutasi akan selalu ada dalam setiap sel keturunan.

Setiap spesies makhluk hidup memiliki sifat genotip dan fenotip (fisik) yang berbeda. Gen-gen yang menentukan fenotip individu tersimpan di kromosom dalam nukleus. Gen-gen sendiri tersusun dalam DNA (asam deoksiribonukleat). Sementara itu, DNA disusun oleh nukleotida yang terdiri dari basa nitrogen, gula deoksiribosa, dan fosfat. Perubahan yang terjadi pada susunan kimia DNA dapat mengakibatkan perubahan sifat individu. Perubahan ini disebut **mutasi gen**.

Sebagian besar mutasi bersifat merugikan karena mutasi dapat mengubah atau merusak posisi nukleotida-nukleotida yang menyusun DNA. Perubahan-perubahan akibat mutasi banyak menyebabkan kematian, cacat, dan abnormalitas, seperti yang dialami penduduk Hiroshima, Nagasaki, dan Chernobyl.

Kadang-kadang mutasi pada sel kelamin dapat mengakibatkan timbulnya sifat baru yang menguntungkan. Bila sifat baru tersebut dapat beradaptasi dengan lingkungannya maka individu tersebut akan terus hidup dan mewariskan mutasi yang dialaminya kepada keturunannya. Berdasarkan anggapan bahwa terdapat mutasi yang menguntungkan, muncullah teori Evolusi



## Tahukah Anda

### Mutasi Gen Akibat Reaksi Nuklir

Reaktor nuklir Chernobyl di Ukraina mengalami kebocoran pada tanggal 25 April 1989. Radiasi nuklir menyebar ke seluruh kawasan di Ukraina, tidak menutup kemungkinan meluas ke negara tetangga. Adanya kebocoran ini menyebabkan penduduk di daerah tersebut mengalami mutasi gen.



Sumber: Keruntuhan Teori Evolusi, Harun Yahya

Gambar 7.19

Korban radiasi nuklir Chernobyl

baru yaitu **Teori Evolusi Sintetis Modern**. Pada intinya teori ini memasukkan konsep mutasi pada teori Seleksi Alam Darwin. Oleh karena itu, teori ini juga dikenal sebagai **Neodarwinisme**. Teori ini berkembang pada 1930–1940.

Jika mutasi selalu terjadi pada sel kelamin dari generasi ke generasi dapat menyebabkan susunan gen dalam kromosom generasi pendahulu sangat berbeda dengan generasi berikutnya. Peristiwa itu memungkinkan timbulnya individu atau spesies baru yang sangat berbeda dengan generasi pendahulunya.

Menurut pendapat beberapa ilmuwan (evolusionis), perubahan pada struktur kromosom yang bersifat menguntungkan akan mengakibatkan munculnya spesies baru. Kemunculan spesies baru yang lebih baik ini tergantung dari angka laju mutasi. **Angka laju mutasi** adalah angka yang menunjukkan jumlah gen yang bermutasi yang dihasilkan oleh suatu individu dari suatu spesies. Besarnya angka laju mutasi sebuah alel gen sebesar 1–10 untuk setiap 100.000 pembelahan sel.

### 3. Frekuensi Gen dalam Populasi

**Frekuensi gen** adalah frekuensi kehadiran suatu gen pada suatu populasi dalam hubungannya dengan frekuensi semua alelnya. Dalam genetika, populasi berarti kelompok organisme yang dapat saling kawin dan menghasilkan keturunan yang fertil. Misalnya dalam suatu populasi terdapat gen dominan (A) dengan alel gen resesif a. Perkawinan antara induk galur murni AA dengan aa, menghasilkan keturunan  $F_1$  dengan genotip Aa. Pada keturunan  $F_2$  menghasilkan perbandingan genotip atau keseimbangan frekuensi gen dalam populasi ( $F_2$ ) = AA (homozigot dominan) : Aa (heterozigot) : aa (homozigot resesif) = 25% : 50% : 25% atau 1 : 2 : 1. Pada keturunan berikutnya ( $F_3$ ) ternyata menghasilkan perbandingan genotip seperti keturunan  $F_2$ , yaitu AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1. Jadi, apabila setiap individu dari berbagai kesempatan melakukan perkawinan yang sama, yang berlangsung secara acak serta setiap genotip mempunyai viabilitas yang sama, perbandingan antara genotip yang satu dengan yang lainnya dari generasi ke generasi tetap sama.

Perbandingan frekuensi gen dapat mengalami perubahan sehingga perbandingan frekuensi gen tidak dalam keadaan seimbang. Perubahan perbandingan frekuensi gen di dalam suatu populasi dapat disebabkan oleh mutasi, seleksi alam, emigrasi dan imigrasi, rekombinasi dan seleksi, isolasi reproduksi, dan domestikasi.

Variasi genetik dalam populasi alamiah sempat membingungkan Darwin. Hal ini terjadi karena reproduksi sel belum dikenal. Akan tetapi, pada tahun 1908 kebingungan itu terjawab oleh **G.H. Hardy** seorang matematikawan Inggris dan **G. Weinberg** seorang fisikawan Jerman. Hardy dan Wienberg menyatakan bahwa *dalam populasi besar di mana perkawinan*

terjadi secara random dan tidak adanya kekuatan yang mengubah perbandingan alela dalam lokus, perbandingan genotip alami selalu konstan dari generasi ke generasi. Pernyataan tersebut dikenal dengan **hukum Perbandingan Hardy-Weinberg**.

Adanya perubahan keseimbangan frekuensi gen dalam suatu populasi memberi petunjuk adanya evolusi.

Hukum Hardy-Weinberg berlaku jika memenuhi beberapa persyaratan berikut.

- Tidak terjadi mutasi.
- Terjadi perkawinan secara acak.
- Tidak terjadi aliran gen baik imigrasi maupun emigrasi.
- Populasi cukup besar.
- Tidak ada seleksi alam

Secara matematis hukum Hardy-Weinberg dirumuskan sebagai berikut.

$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Sebagai contoh alela gen A dan a, maka menurut persamaan di atas:

$p^2$  = frekuensi individu homozigot AA

$2pq$  = frekuensi individu heterozigot Aa

$q^2$  = frekuensi individu homozigot aa

Bagaimana penerapan persamaan tersebut dalam menjawab permasalahan genetika populasi? Perhatikan contoh berikut.

Misalkan dalam sebuah desa terdapat populasi 100 orang, 84% penduduk lidahnya dapat menggulung dan 16% lidahnya tidak dapat menggulung. Tentukan berapa jumlah penduduk yang heterozigot dan homozigot jika genotip penduduk yang lidahnya dapat menggulung Rr atau RR dan lidah yang tidak dapat menggulung bergenotip rr.

**Penyelesaian:**

$RR = p^2$ ,  $Rr = 2pq$ , dan  $rr = q^2$

Frekuensi gen r

Rumus:  $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

$$r^2 = q^2 = 16\% = 0,16$$

$$q = \sqrt{0,16} = 0,4$$

Oleh karena frekuensi untuk seluruh alela harus 1, maka  $p + q = 1$  sehingga frekuensi alela dominan (p) dapat dihitung:

$$p = 1 - 0,4 = 0,6 \rightarrow p^2 = 0,36$$

$$\text{Selanjutnya } 2pq = 2 \times 0,6 \times 0,4 = 0,48$$

Jadi, perbandingan antara genotip dominan homozigot (RR), heterozigot (Rr), dan resesif homozigot (rr) adalah 36 : 48 : 16, sedangkan frekuensi gen R = 0,6 dan gen r = 0,4.



## Tugas Mandiri

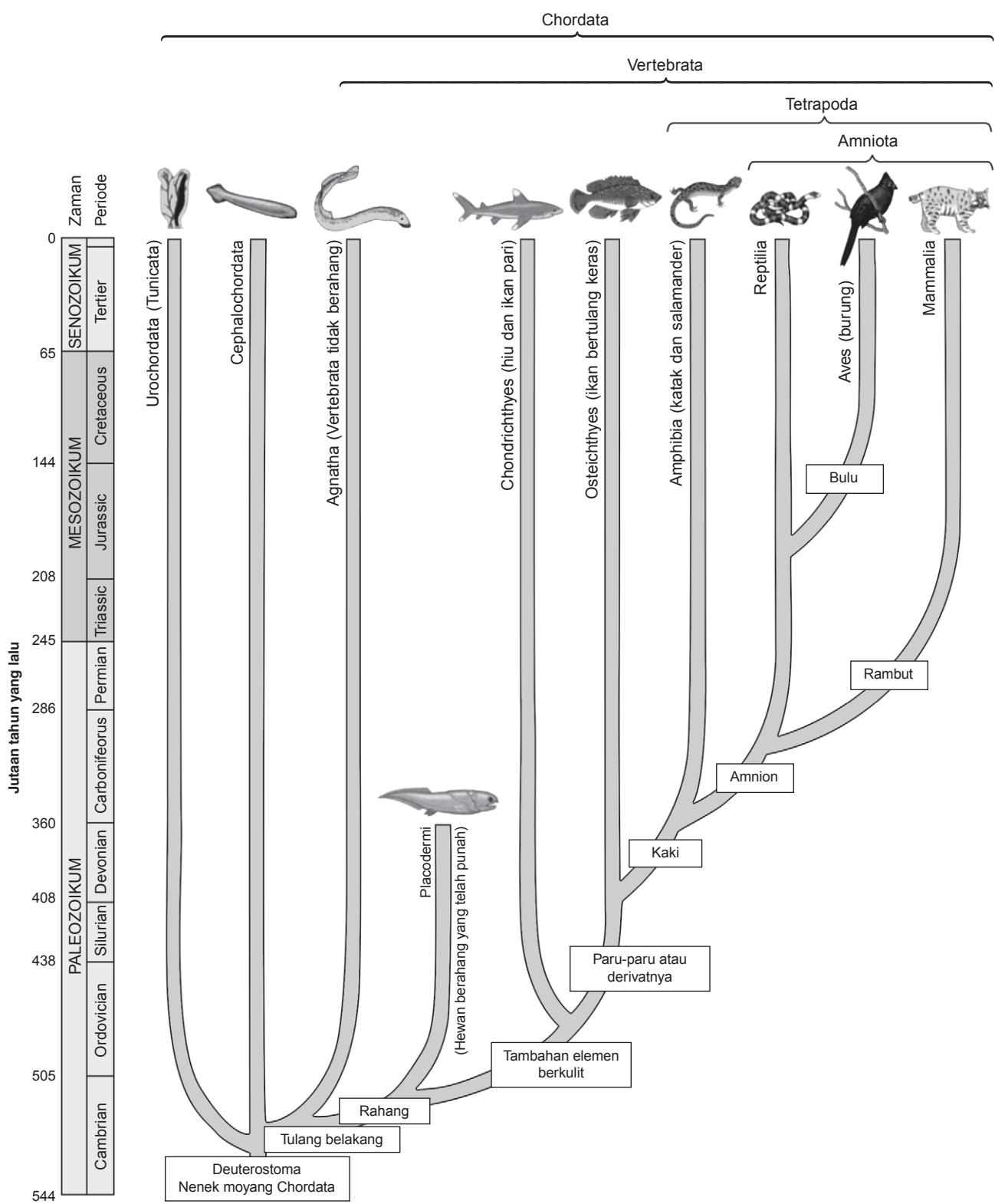
Tentukan berapa orang yang diharapkan pengecap (*taster*) homozigot dari 1.000 orang yang melakukan tes *Phenylthiocarbamida* (PTC) bila diperoleh 40 orang buta kecap (*nontaster*).

### 4. Hubungan Waktu dengan Perubahan Sifat Organisme

Di depan telah dijelaskan bahwa evolusi terjadi melalui beberapa mekanisme, yaitu seleksi alam dan mutasi gen. Menurut teori Evolusi, pada awalnya makhluk hidup tercipta tidak sempurna atau dalam kondisi primitif. Seiring dengan berjalannya waktu, makhluk hidup purba itu mengalami kemajuan-kemajuan. Kemajuan-kemajuan itu diperoleh karena adanya variasi genetik dalam populasinya. Variasi itu diperoleh melalui proses perkawinan. Individu-individu yang kebetulan mewarisi sifat unggul dari induknya akan tetap hidup dan dapat melangsungkan kehidupannya. Sebaliknya, individu yang tidak mewarisi sifat unggul akan tersisih dalam persaingan. Akibat paling parah dari individu ini akan mati dan akhirnya punah. Hal ini menunjukkan bahwa faktor seleksi alam sangat menentukan keberlangsungan hidup suatu individu.

Umur bumi diperkirakan hingga saat ini berkisar 5.000-an juta tahun. Selama itu pula di muka bumi terjadi perkembangan berbagai populasi dari berbagai jenis makhluk hidup. Berbagai jenis makhluk hidup itu diperkirakan berasal dari satu individu sebagai nenek moyang. Melalui proses evolusi, suatu populasi mengalami perubahan sifat (misalnya variasi genetik dan mutasi) sehingga dicapai bentuk makhluk hidup seperti sekarang.

Bagaimana hubungan antara waktu dengan perubahan sifat organisme? Marilah kita pelajari perkembangan Chordata melalui diagram pohon evolusi berikut (di sini kita ambil contoh proses evolusi pada Chordata).



Sumber: Biology, Campbell

**Gambar 7.20**  
Diagram filogeni Chordata

Berdasarkan Gambar 7.20 di depan tampak bahwa Deuterostoma merupakan nenek moyang Chordata yang diperkirakan muncul pada periode Cambrian di zaman Paleozoikum (544 juta tahun yang lalu). Seperti telah Anda pelajari di kelas X, bahwa filum Chordata memiliki ciri khas adanya notochord atau chorda dorsalis yang memanjang di sepanjang tubuh sebagai sumbu tubuhnya. Diperkirakan, pada awalnya Deuterostoma berkembang menjadi Urochordata, Cephalochordata, Agnatha, dan Placodermi (sekarang telah punah). Perkembangan ini terjadi pada periode Cambrian dari tahun 544 sampai 505 juta tahun yang lalu. Bahkan Urochordata tidak mengalami perkembangan sejak zaman Cambrian hingga saat ini.

Pada periode Ordovician masih di era Paleozoikum, garis perkembangan Chordata bercabang menjadi dua yaitu menjadi ikan bertulang rawan (Chondrichthyes) dan ikan bertulang sejati (Osteichthyes). Perubahan sifat yang mencolok pada kedua kelompok ini adalah adanya insang atau derivat insang pada Osteichthyes. Selanjutnya, pada akhir periode Silurian (438–408 juta tahun yang lalu), muncul kelompok hewan yang mempunyai kaki yaitu kelompok Reptilia. Kelompok ini berkembang dari garis ikan bertulang sejati (Osteichthyes). Pada akhir periode Carboniferous dari garis Amphibia muncul hewan berambut yaitu kelompok Mammalia. Masih dari garis Mammalia, pada periode Jurassic muncul kelompok baru hewan berbulu yaitu Aves.

Hewan-hewan yang kita temui pada masa lampau (purga), tentu saja berbeda dengan hewan-hewan yang kita jumpai sekarang, walaupun hewan-hewan itu berasal dari kelompok yang sama. Perhatikan beberapa rekonstruksi hewan-hewan Reptilia yang diperkirakan hidup pada periode Jurassic. Bandingkan hewan-hewan tersebut dengan hewan-hewan modern. Bagaimana pendapat Anda?



Brachiosaurus



Reptilia laut



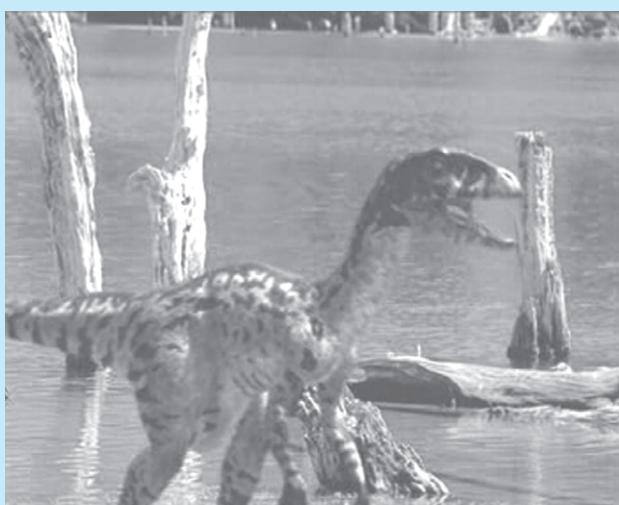
Cetophysis



Tyrannosaurus (Tyrex)



Iguanodon

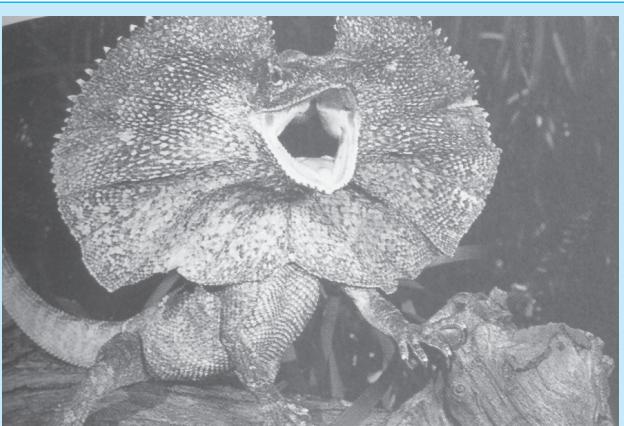


Raptor

Sumber: Discovery Channel TV Asahi Co-Production in Association With Prosieben and France 3, 2001

**Gambar 7.21**

Beberapa spesies Reptilia purba (rekaan)



Kadal



Komodo

Sumber: Ensiklopedi Indonesia Seri Fauna: Reptilia dan Amfibia, Redaksi Ensiklopedi Indonesia

**Gambar 7.22**

Beberapa spesies Reptilia modern

Jadi, selama penciptaan makhluk hidup di bumi telah terjadi proses evolusi dalam waktu yang lama. Proses itu menyebabkan terbentuknya spesies-spesies baru yang berbeda sama sekali dengan nenek moyangnya, seperti yang kita lihat pada saat ini.

Diagram filogeni Chordata (lihat halaman sebelumnya) belum menampakkan adanya spesies manusia, padahal manusia tersebar di seluruh dunia sebagaimana hewan dan tumbuhan. Bagaimanakah spesies manusia muncul? Manusia diperkirakan baru muncul sekitar 10 juta tahun yang lalu. Nenek moyang manusia diduga merupakan kelompok Primata yang muncul sekitar 60 juta tahun yang lalu. Perhatikan diagram filogeni Primata berikut.

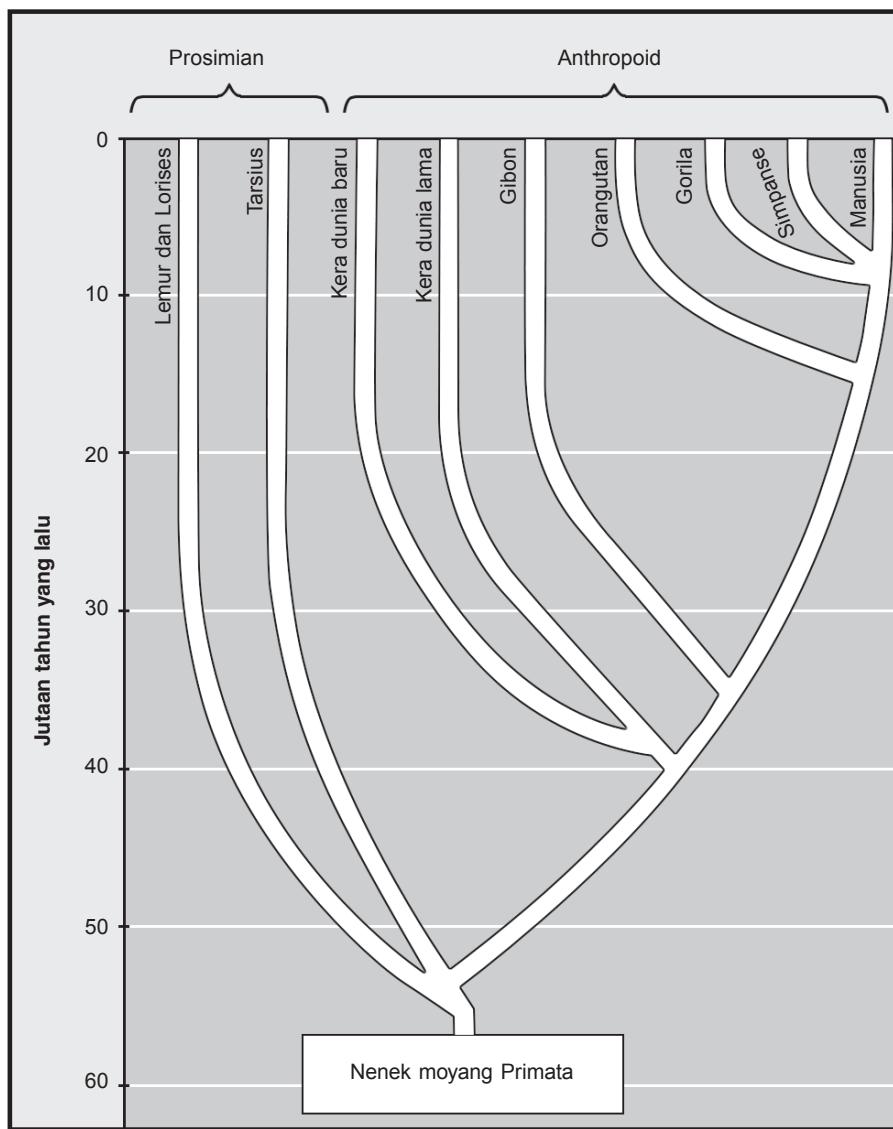
**Tahukah Anda**

### Klasifikasi Primata

Ordo Primata dibedakan menjadi 13 familia berikut.

1. Cheirogaleidae
2. Lemuridae (lemur)
3. Indriidae
4. Daubentonidae
5. Lorisidae
6. Galagidae
7. Tarsiidae (Tarsius)
8. Callitrichidae
9. Cebidae (kera dunia baru)
10. Cercopithecidae (kera dunia lama)
11. Hylobatidae (gibon)
12. Pongidae (orang utan)
13. Hominidae (gorila, simpanse, dan manusia)

Sumber: *Biology*, Solomon



Sumber: *Biology*, Campbell

**Gambar 7.23**

Diagram filogeni Primata

Berdasarkan gambar di atas, spesies manusia berada satu garis dengan kemunculan orangutan sekitar 15 juta tahun yang lalu. Selanjutnya, sekitar 10 juta tahun yang lalu garis orang utan bercabang menjadi tiga yaitu kelompok gorila, simpanse, dan

manusia. Perlu diketahui bahwa gorila, simpanse, dan manusia dikelompokkan dalam satu familia yaitu Hominidae. Kapan sebenarnya spesies manusia mulai muncul?

Para ilmuwan mencoba mencari jawaban atas pertanyaan tersebut melalui penggalian fosil dan analisis terhadap fosil-fosil yang ditemukan. Fosil-fosil yang ditemukan dari beberapa lokasi penggalian diduga berasal dari salah satu anggota Primata yaitu dari familia Hominidae. Berikut merupakan tabel penemuan fosil-fosil yang diduga merupakan nenek moyang manusia.



### Tahukah Anda

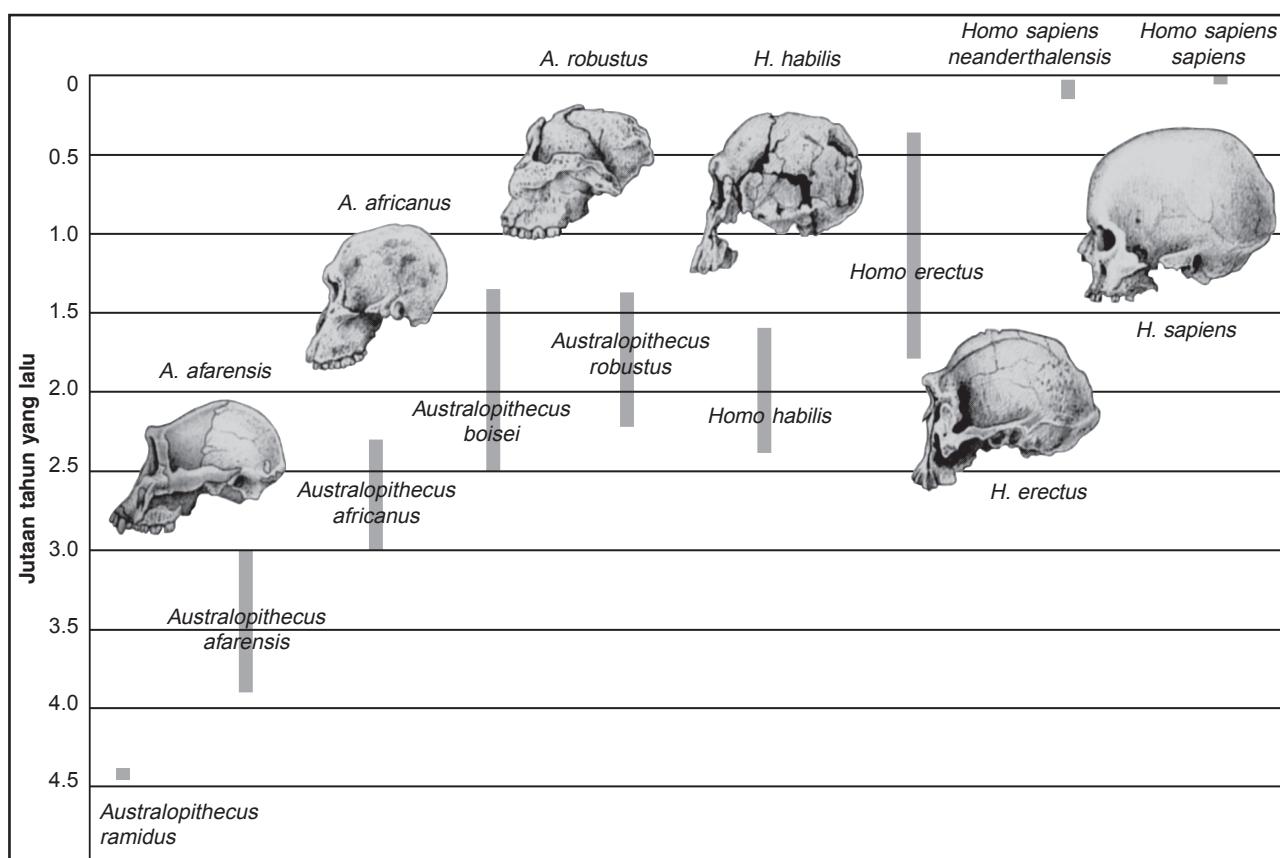
**Siapakah Nenek Moyang Bangsa Indonesia?**

Berdasarkan ciri-ciri fisik bangsa Indonesia, diperkirakan hasil pewarisan dari bangsa Australomelanesid. Bangsa ini keturunan dari *Homo wajakensis*.

**Tabel 7.3 Penemuan Fosil yang Diduga Anggota Familia Homidae**

No.	Nama Fosil	Umur/Rentang Hidup	Tinggi Tubuh	Lokasi Penemuan
1.	<i>Australopithecus ramidus</i>	4,4 juta tahun	1,30 – 1,55 m	Ethiopia
2.	<i>Australopithecus afarensis</i>	3,18 juta tahun	1,05 – 1,50 m	Ethiopia
3.	<i>Australopithecus africanus</i>	3 juta tahun	1,14 – 1,32 m	Afrika Selatan
4.	<i>Australopithecus boisei</i>	2,5 – 1,7 juta tahun		Afrika
5.	<i>Australopithecus robustus</i>	2,2 – 1,6 juta tahun		Afrika
6.	<i>Homo habilis</i>	2,5 – 1,4 juta tahun	1,17 – 1,32 m	Afrika
7.	<i>Homo erectus</i>	1,8 – 300 ribu tahun	1,60 – 1,78 m	Afrika, Asia, Eropa
8.	<i>Homo sapiens neanderthalensis</i>	120 – 35 ribu tahun	1,55 – 1,65 m	Eropa, Asia Tengah
9.	<i>Homo sapien cro-magnon</i>	30 ribu tahun	1,60 – 1,75 m	Prancis

Berdasarkan tabel tersebut dapat dibuat suatu *timeline* seperti berikut.



Sumber: Biology, Campbell

**Gambar 7.24**

Timeline beberapa spesies anggota Hominidae



## Tahukah Anda

### Manusia Purba Indonesia Turut Mengalami Evolusi

*Meganthropus palaeojavanicus* merupakan manusia berukuran besar yang hidup di Jawa pada zaman kuno. *Meganthropus* mempunyai ciri berahang besar dan bergigi.

Pakar Palaeontropologi, Prof. Dr. Teuku Jacob berpendapat bahwa *Meganthropus* melakukan evolusi adaptasi agar bisa tetap hidup di lingkungannya.

Berdasarkan hasil penelitian, fosil manusia dapat dibedakan menjadi dua, yaitu manusia primitif dan manusia modern. Fosil *Australopithecus* sp. dan *Homo erectus* merupakan jenis manusia primitif, sedangkan *Homo sapiens* merupakan jenis manusia modern. Manusia modern merupakan hasil evolusi dari manusia primitif, sedangkan manusia primitif sendiri merupakan hasil evolusi dari simpanse. Manusia primitif umumnya mempunyai ciri-ciri berjalan menggunakan empat kaki, (kecuali *Homo erectus* yang mulai berjalan tegak menggunakan dua kaki), tengkorak lebih menyerupai kera, volume otak kecil (500–1.100 cc), dan belum mampu berbicara. Sementara itu, manusia modern sudah berjalan dengan dua kaki (*bipedal*), volume otak lebih besar (>1.200 cc), dapat berbicara, dan memiliki seni dan budaya.

Anda telah mempelajari teori Evolusi, bagaimana pendapat Anda? Sekarang, cobalah Anda mengumpulkan pendapat dari teman-teman Anda melalui kegiatan berikut.



## Tugas Mandiri

Buatlah angket untuk memperoleh tanggapan dari teman Anda tentang teori Evolusi. Contoh angket dapat dibuat seperti berikut.

1. Dari mana Anda mengenal teori Evolusi?
  - a. Sekolah
  - b. Buku-buku ilmu pengetahuan
  - c. Internet
2. Bagaimana pandangan Anda tentang Charles Darwin?
  - a. Seorang yang jenius
  - b. Seorang ilmuwan amatiran
  - c. Orang yang senang biologi
3. Penemuan fosil membuktikan bahwa suatu makhluk hidup pernah ada.  
Pendapat Anda:
  - a. Ya
  - b. Ragu-ragu
  - c. Tidak
4. Hasil penemuan fosil menunjukkan bahwa tiap zaman geologi dihuni makhluk hidup yang berbeda.  
Pendapat Anda:
  - a. Ya
  - b. Ragu-ragu
  - c. Tidak
5. Berdasarkan penemuan fosil, makhluk hidup mengalami perkembangan dari sederhana (primitif) menuju kompleks (maju).  
Pendapat Anda:
  - a. Ya
  - b. Ragu-ragu
  - c. Tidak

6. Berdasarkan penemuan fosil, makhluk hidup sejenis yang hidup saat ini berbeda dengan makhluk hidup sejenis yang hidup pada zaman dahulu.

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

7. Di sekitar kita banyak variasi ayam: ayam kedu, ayam pelung, ayam cemani, ayam bangkok, ayam kate, dan lain-lain. Variasi itu merupakan hasil mutasi genetik. Hal ini berarti telah terjadi evolusi pada jenis ayam.

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

8. Hewan yang hidup di masa lampau berukuran lebih besar daripada hewan sejenisnya. Perubahan bentuk tubuh ini merupakan hasil evolusi.

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

9. Makhluk hidup yang hidup saat ini merupakan hasil evolusi dari makhluk hidup sejenis yang pernah hidup pada masa lampau.

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

10. Jika terbukti terdapat banyak persamaan (fisiologi, biokimia, dan morfologi) antara manusia dengan simpanse, dapatkah dikatakan bahwa gorila mengalami evolusi menjadi manusia?

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

11. Apakah Anda setuju bahwa makhluk hidup terjadi secara kebetulan?

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

12. Bagaimana tanggapan Anda tentang teori Evolusi?

---

---

---

**Catatan:** Pertanyaan-pertanyaan dalam kuisioner di atas dapat Anda tambah atau kurangi sesuai tujuan Anda.



## Eksperimen Plus

### Membedah Buku Keruntuhan Evolusi, Harun Yahya

Saat ini, telah banyak beredar buku tentang keruntuhan evolusi yang disusun oleh Harun Yahya. Coba bedahlah buku tersebut dengan membuat rangkuman dari setiap babnya secara berkelompok. Setelah itu diskusikan dengan teman-teman sekelas Anda.

#### Pertanyaan:

1. Menurut Anda, apa dasar Harun Yahya menuliskan buku tersebut?
2. Setelah membaca buku tersebut dan membandingkan dengan teori evolusi, menurut Anda apakah teori evolusi betul-betul salah?
3. Menurut Anda, apa manfaat ditemukannya teori evolusi bagi kehidupan saat ini?

Kini Anda telah memahami teori dan mekanisme evolusi. Memang, evolusi ini masih dalam taraf teori belum mencapai sebuah ilmu. Hal ini karena pembahasan evolusi belum disertai data-data empiris akan tetapi hanya berupa bukti-bukti, sebagai contoh fosil. Walaupun begitu, kita patut menghargainya karena teori-teori tersebut disusun berdasarkan metode ilmiah.

Kecenderungan saat ini, evolusi terjadi bukan pada tingkat individu seperti yang dikemukakan Darwin. Akan tetapi berlangsung pada tingkat kromosom bahkan gen. Mekanismenya dikenal dengan mutasi. Pada saat ini prinsip mutasi telah banyak dikembangkan di berbagai bidang, di antaranya kedokteran dan pertanian. Sebagai contoh semangka tanpa biji merupakan hasil rekayasa mutasi oleh manusia. Mutasi ini dilakukan pada tingkat kromosom. Agar Anda memahami lebih lanjut mengenai kecenderungan evolusi pada saat ini beserta penerapannya, coba ulas kembali Bab VI tentang Mutasi pada buku ini.



## Uji Kompetensi D

Jawablah soal-soal berikut.

1. Mengapa Darwin beranggapan bahwa seleksi alam dapat menyebabkan terjadinya evolusi?
2. Menurut anggapan Darwin, mutasi yang menguntungkan akan menghasilkan spesies baru yang adaptif. Bagaimana pendapat Anda?
3. Apakah hukum Hardy-Weinberg tetap berlaku jika dalam populasi yang cukup besar tidak terjadi mutasi, seleksi alam, dan perkawinan secara acak? Mengapa demikian?

4. Dari populasi 1.000 ayam bangkok, terdapat 64 ekor tidak bertaji. Berapakah jumlah ayam yang bertaji dengan genotip heterozigot dan yang bergenotif homozigot. (Catatan: gen kaki bertaji lebih dominan terhadap gen kaki tidak bertaji)
5. Jelaskan hipotesis tentang munculnya spesies manusia (*Homo sapiens*).



## Rangkuman

1. Evolusi adalah perubahan struktur tubuh makhluk hidup yang berlangsung secara perlahan-lahan dalam waktu sangat lama.
2. Fenomena burung finch dan kura-kura Galapagos menimbulkan gagasan Darwin untuk mengemukakan teori Evolusi.
3. Ilmuwan yang mengilhami teori Evolusi Darwin:
  - a. Charles Lyell dengan bukunya *Principles of Geology*  
Sumbangan teori: Variasi karena pengaruh alam

- b. Thomas Malthus dengan bukunya *The Principles of Population*  
Sumbangan teori: Seleksi alam karena ketersediaan pangan
4. Prinsip pokok teori Evolusi Darwin
  - a. Spesies yang berkembang sekarang berasal dari spesies-spesies yang hidup pada masa lampau
  - b. Evolusi terjadi melalui seleksi alam
5. Bukti-bukti evolusi
  - a. Rekaman fosil  
Perubahan bentuk fosil disesuaikan dengan lapisan bumi yang lebih muda

- b. Homologi  
Semakin banyak kemiripan organ (homolog) antara spesies semakin dekat hubungan kekerabatan di antara spesies tersebut.
- c. Embriologi perbandingan  
Embrio-embrio mengulangi proses evolusi yang telah dialami nenek moyangnya
- d. Organ vestigial  
Pada beberapa jenis makhluk hidup terdapat organ-organ yang tidak fungsional, yang merupakan peninggalan dari nenek moyangnya
6. Mekanisme evolusi
- Seleksi alam  
Makhluk hidup yang mampu beradaptasi akan mampu bertahan hidup
  - Mutasi gen  
Perubahan susunan DNA dapat menimbulkan sifat baru
  - Frekuensi gen dalam populasi  
Perbandingan frekuensi gen dapat mengalami perubahan. Adanya perubahan keseimbangan frekuensi gen dalam populasi menunjukkan adanya evolusi
  - Hubungan antara waktu dengan perubahan sifat organisme  
Selama penciptaan makhluk hidup telah terjadi proses evolusi dalam waktu yang lama. Proses tersebut menyebabkan terbentuknya spesies-spesies baru
7. Rumus hukum Hardy-Weinberg  
 $(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$   
Syarat berlakunya hukum Hardy-Weinberg
- tidak terjadi mutasi
  - perkawinan secara acak
  - tidak terjadi aliran gen
  - populasi cukup besar
  - tidak ada seleksi alam
8. Teori Asal Usul Kehidupan
- Teori Abiogenesis  
Makhluk hidup berasal dari benda tidak hidup  
Tokoh pendukung: Aristoteles, Nedham
  - Teori Biogenesis  
Makhluk hidup berasal dari makhluk hidup  
Tokoh pendukung: Francesco Redi, Lazzaro Spallanzani, dan Louis Pasteur
  - Teori Cosmoczoic  
Makhluk hidup bumi berasal dari spora kehidupan yang berasal dari luar angkasa
  - Teori Penciptaan  
Makhluk hidup diciptakan oleh Tuhan
  - Teori Evolusi Biokimia  
Asal mula kehidupan terjadi bersamaan dengan evolusi terbentuknya bumi dan atmosfer  
Tokoh pendukung: Alexander Oparin, Harold Urey, Stanley Miller
  - Teori Evolusi Biologi  
Makhluk hidup tersusun dari zat organik (asam amino) yang berasal dari lautan



## Evaluasi

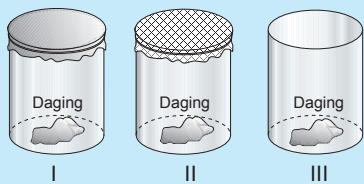
A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.

- Pernyataan yang mendukung teori Evolusi karena seleksi alam yaitu ...
  - Beberapa jenis bebek mempunyai kaki berselaput sehingga mudah untuk berenang.
  - Burung yang hidup di pinggir kolam mempunyai kaki dan leher panjang sehingga dapat menangkap ikan.
  - Jerapah semula berleher pendek karena kebiasaan menjangkau cabang yang tinggi menyebabkan lehernya bertambah panjang.
  - Ular tidak berkaki disebabkan kebiasaan ular hidup merayap di tanah.
- Perkembangan industri menyebabkan punahnya kupu-kupu berwarna cerah dan meningkatnya populasi kupu-kupu berwarna gelap.
- Migrasi burung finch dari daratan Amerika Selatan menuju ke Kepulauan Galapagos menghasilkan beraneka ragam burung finch. Hal ini disebabkan di Kepulauan Galapagos mempunyai ....
  - iklim dan lingkungan yang sama
  - iklim yang terus-menerus berubah
  - iklim dan lingkungan yang berbeda
  - iklim berbeda, tetapi lingkungan sama
  - iklim sama, tetapi lingkungan berbeda

3. Bentuk paruh dan kaki pada bangsa burung dapat dipakai untuk menentukan ....
- cara mempertahankan diri dari pemangsa
  - jarak jelajah dan jenis makanan
  - jenis makanan dan habitat
  - cara mencengkeram mangsa dan habitat
  - habitat dan jarak jelajah
4. Pernyataan di bawah ini yang sesuai dengan teori Evolusi Darwin adalah ....
- Kompetisi di antara individu dari suatu spesies dapat mengakibatkan variasi keturunan.
  - Kehidupan dari suatu spesies selalu dipengaruhi oleh karakteristik fenotip.
  - Organisme yang dapat beradaptasi dengan baik terhadap lingkungannya akan selalu sukses dalam reproduksinya.
  - Seleksi alam akan menyebabkan variasi.
  - Keanekaragaman makhluk hidup dipengaruhi oleh materi genetik.
5. Makhluk hidup itu hadir sesaat dan lenyap oleh malapetaka kemudian tercipta lagi makhluk hidup yang lain. Teori kehidupan itu dikemukakan oleh ....
- Alfred R. Wallace
  - August Weismann
  - George Cuvier
  - Erasmus Darwin
  - Thomas H. Huxley
6. Ilmuwan yang mengemukakan paham "digunakan dan tidak digunakan" dalam teori Evolusinya adalah ....
- Erasmus Darwin
  - Count de Buffon
  - J.B. Lamarck
  - Charles Darwin
  - Alfred Wallace
7. Makhluk hidup yang terdapat di lapisan bumi yang tua mengadakan perubahan bentuk sesuai dengan lapisan bumi yang lebih muda. Pernyataan tersebut merupakan pendapat ....
- Lamarck
  - George Cuvier
  - Alfred Wallace
  - Leonardo da Vinci
  - Charles Robert Darwin
8. Ciri-ciri evolusi yang ditandai dengan adaptasi terhadap lingkungan antara lain ....
- a. organisme penghuni gua dan laut dalam mempunyai indra penglihat yang tajam
- b. semua jenis unggas yang tinggal di dekat air dapat terbang dan berenang
- c. kelelawar mempunyai sistem sonar untuk terbang pada malam hari yang gelap
- d. semua jenis ikan mempunyai sisik yang terdiri dari bahan tulang
- e. semua anggota mamalia mempunyai gigi taring yang tajam perobek daging
9. Perhatikan beberapa pernyataan yang mendukung teori Evolusi.
- Tikus berekor panjang dipotong ekornya beberapa generasi ekornya tetap panjang.
  - Perubahan suatu organisme disebabkan adanya perubahan faktor dalam yang menurun.
  - Mutasi merupakan salah satu mekanisme dalam evolusi.
  - Proses evolusi merupakan perubahan yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan.
  - Jerapah berleher pendek menjadi jerapah berleher panjang.
- Pernyataan yang mendukung teori Evolusi Lamarck adalah ....
- 1) dan 2)
  - 3) dan 5)
  - 1) dan 4)
  - 4) dan 5)
  - 2) dan 3)
10. Pernyataan berikut ini yang sesuai dengan teori Lamarck adalah ...
- Seleksi terhadap tumbuhan maupun hewan merupakan cara untuk memperoleh bibit unggul.
  - Adaptasi merupakan salah satu mekanisme seleksi alam.
  - Radiasi merupakan salah satu penyebab terjadinya mutasi.
  - Evolusi adalah gejala seleksi alam terhadap faktor genetik.
  - Sifat bawaan suatu individu dipengaruhi langsung oleh keadaan lingkungan.
11. Perbandingan populasi *Biston betularia* sebelum terjadi revolusi industri di Inggris adalah ....
- hanya tinggal yang bersayap cerah, yang bersayap gelap mati semua
  - populasi yang bersayap gelap maupun yang bersayap cerah sama
  - jumlah yang bersayap cerah lebih banyak daripada yang bersayap gelap

- d. jumlah yang bersayap gelap lebih banyak daripada yang bersayap pendek  
e. jumlah yang bersayap cerah lebih sedikit daripada yang bersayap gelap
12. Populasi *Biston betularia* sesudah revolusi industri . . .  
a. yang bersayap cerah populasinya lebih besar daripada yang bersayap gelap  
b. yang bersayap gelap populasinya tetap  
c. yang bersayap gelap populasinya lebih kecil dibanding yang bersayap cerah  
d. yang bersayap cerah populasinya tetap  
e. yang bersayap cerah populasinya lebih kecil daripada yang bersayap gelap
13. Evolusi dapat dibuktikan dengan adanya peninggalan fosil-fosil makhluk purba. Fosil yang lengkap dan ditemukan pada setiap zaman geologi yaitu . . .  
a. kuda d. harimau  
b. kera e. dinosaurus  
c. gajah
14. Keistimewaan fosil kuda dibandingkan fosil-fosil lainnya yaitu . . .  
a. pada setiap zaman geologi ditemukan fosil secara lengkap  
b. ditemukan dari zaman Eosen sampai zaman Pleistosin  
c. menunjukkan adanya perubahan ukuran tubuh  
d. terjadi pengurangan jumlah jari kaki depan dari 5 menjadi 1 jari  
e. perubahan permukaan gigi geraham dari datar menjadi bergelombang
15. Fosil kuda ditemukan dengan ciri-ciri tinggi ± 28 cm, berleher pendek, kaki depan mempunyai 4 jari, dan kaki belakang mempunyai 5 jari. Fosil kuda tersebut termasuk dalam genus . . .  
a. Pliohippus d. Eohippus  
b. Equus e. Parahippus  
c. Mesohippus
16. Ada beberapa pasangan organ tubuh.  
1) Sayap burung dan tangan manusia.  
2) Sayap kelelawar dan sayap burung.  
3) Sayap kupu-kupu dan sayap burung.  
4) Sayap kupu-kupu dan tangan manusia.  
5) Kaki depan buaya dan sirip pada ikan paus.  
Pasangan organ tubuh yang termasuk organ homolog yaitu . . .
- a. 1) dan 2) d. 2) dan 4)  
b. 1) dan 5) e. 3) dan 5)  
c. 2) dan 3)
17. Organ-organ tubuh manusia yang digunakan sebagai bukti adanya evolusi adalah . . .  
a. tulang ekor dan umbai cacing  
b. tulang ekor dan jakun  
c. umbai cacing dan tulang rusuk  
d. rambut dada pada laki-laki dan tulang rusuk  
e. tulang ekor dan rambut pada daun telinga
18. Faktor-faktor di bawah ini yang mengakibatkan terjadinya perubahan keseimbangan genetik dari generasi ke generasi dalam suatu populasi yaitu . . .  
a. terjadi seleksi alam  
b. adanya mutasi  
c. sering terjadi *inbreeding*  
d. adanya imigrasi  
e. anggota populasi sangat besar
19. Apabila 1% tikus dalam suatu populasi mempunyai ekor pendek, berapa persen dari tikus yang mempunyai ekor panjang bersifat heterozygot?  
a. 1% d. 81%  
b. 18% e. 99%  
c. 49%
20. Pada hukum Hardy-Weinberg:  $p^2 + 2pq + q^2 = 1.0$ . Nilai  $2pq$  menunjukkan . . .  
a. individu yang homozigot dominan  
b. individu yang heterozygot  
c. individu yang homozigot resesif  
d. kecepatan perubahan jumlah populasi  
e. rasio genetik pada alel multipel
21. Pendukung teori asal usul kehidupan yang menyatakan bahwa makhluk berasal dari benda mati yaitu . . .  
a. Anthonie van Leeuwenhoek  
b. Stanley Miller  
c. Louis Pasteur  
d. Francesco Redi  
e. Lazzaro Spallanzani
22. Teori Abiogenesis runtuh karena percobaan yang dilakukan oleh . . .  
a. Aristoteles  
b. Harold Urey  
c. Louis Pasteur  
d. Alexander Oparin  
e. Anthonie van Leeuwenhoek

23. Perhatikan gambar percobaan berikut ini.



Setelah beberapa hari, stoples yang mengandung belatung adalah . . .

- a. I dan II
- b. I saja
- c. II dan III
- d. III saja
- e. I dan III

24. Setelah teori Abiogenesis gugur, muncul teori Biogenesis. Salah satu tokoh pendukung teori ini adalah Francesco Redi. Melalui berbagai percobaan, tokoh ini menyimpulkan bahwa belatung pada daging di wadah terbuka berasal dari . . .

- a. telur cacing
- b. makhluk hidup lain dari luar daging
- c. kontaminasi udara dengan daging
- d. debu yang menempel pada daging
- e. dalam daging ketika dipotong

25. Louis Pasteur melakukan percobaan dengan menggunakan labu leher angsa untuk mengetahui asal usul kehidupan. Fungsi pipa s atau leher angsa pada tabung percobaan tersebut yaitu . . .

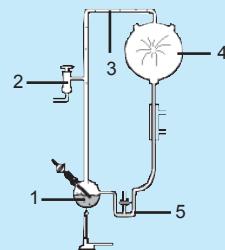
- a. mencegah hubungan dengan udara luar
- b. menghalangi mikroorganisme masuk dan membiarkan udara luar masuk
- c. membiarkan mikroorganisme dan udara luar masuk
- d. mencegah masuknya udara luar dan membiarkan mikroorganisme masuk
- e. menghambat pernapasan mikroorganisme dalam kaldu dengan udara luar

26. Pada eksperimen Stanley Miller dapat diperoleh jawaban mengenai . . .

- a. asal usul kehidupan
- b. terjadinya makhluk hidup pertama
- c. substansi dasar kehidupan
- d. pembentukan organisme prokariotik
- e. permulaan kehidupan di bumi

27. Pada percobaan Miller, tempat berlangsung reaksi antara  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  terjadi pada perangkat nomor . . .

- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5



28. Ilmuwan yang mengemukakan teori bahwa zat hidup yang pertama kali terjadi berasal dari reaksi metana, amonia, hidrogen, dan air yaitu . . .

- a. Harold Urey
- b. Stanley Miller
- c. Louis Pasteur
- d. Lazzaro Spallanzani
- e. Francesco Redi

29. Konsep yang dikemukakan oleh Harold Urey menyatakan bahwa kehidupan berasal dari . . .

- a. zat organik yang terurai menjadi zat-zat anorganik
- b. zat anorganik yang mengalami perubahan menjadi makro molekul organik
- c. asam amino menjadi protein sebagai bahan dasar kehidupan
- d. gas-gas yang terdapat di dalam atmosfer purba
- e. benda mati yang mengalami serangkaian proses menjadi benda hidup

30. Hubungan teori Evolusi kimia dengan asal usul kehidupan yaitu . . .

- a. bahan dasar atmosfer purba oleh reaksi halilintar terbentuk senyawa makromolekul
- b. kehidupan diciptakan oleh zat supranatural pada saat istimewa
- c. benda hidup berasal dari benda tak hidup
- d. kehidupan datang di planet bumi dari mana saja
- e. senyawa organik terbentuk di lautan menjadi sifat purba tempat kehidupan pertama

B. Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan yang dimaksud dengan teori *Use and Disuse* menurut Lamarck.
2. Sebutkan hal-hal yang mendasari teori Evolusi Darwin.
3. Sebutkan bukti-bukti yang mendukung teori Evolusi.
4. Apa perbedaan homologi dan analogi? Berikan masing-masing contohnya.
5. Jelaskan bahwa seleksi alam merupakan salah satu mekanisme evolusi.
6. Desa B yang berpenduduk 10.000 jiwa terdapat 16 orang yang menderita albino. Berapa frekuensi gen pembawa albino (karier) dalam populasi penduduk tersebut?
7. Berapakah banyaknya orang bertangan normal homozigot dan heterozigot, jika dalam populasi penduduk 200.000 jiwa terdapat 49% orang bertangan kidal?
8. Apakah persamaan antara eksperimen Spallanzani dan Pasteur?

9. Dari berbagai teori tentang asal usul kehidupan, Anda secara pribadi percaya pada teori yang mana? Jelaskan alasan jawaban Anda.

10. Apa yang mendasari para peneliti bahwa asal makhluk hidup di permukaan bumi adalah satu sel yang mengalami proses yang berkesinambungan?

C. Berpikir kritis.

Sering kita lihat acara sirkus yang mempertunjukkan kepiawaian simpanse-simpanse dalam memukul genderang, bahkan bersepeda. Kedua kepandaian itu juga dimiliki manusia. Pada kesempatan lain, simpanse sakit. Dokter hewan yang merawatnya memberi obat yang sebenarnya obat untuk manusia, ternyata simpanse itu berangsur-angsur sembuh. Nah, dari bukti-bukti itu beberapa ilmuwan berkesimpulan bahwa simpanse merupakan kerabat dekat manusia. Setujukah Anda dengan kesimpulan mereka? Bagaimana pendapat Anda tentang kesimpulan itu?



## Refleksi

### Teori Evolusi

Pelajari kembali

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Jelaskan tentang teori asal-usul kehidupan
2. Apakah yang dimaksud dengan evolusi?
3. Bagaimanakah sejarah munculnya teori Evolusi?
4. Sebutkan fakta-fakta yang mendukung teori Evolusi.
5. Jelaskan tentang mekanisme evolusi.
6. Bagaimana peranan teori Evolusi terhadap perkembangan sains?

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul  $\geq 60\%$

