

# Teori Evolusi

Dr. Djoko T. Iskandar.



## PENDAHULUAN

---

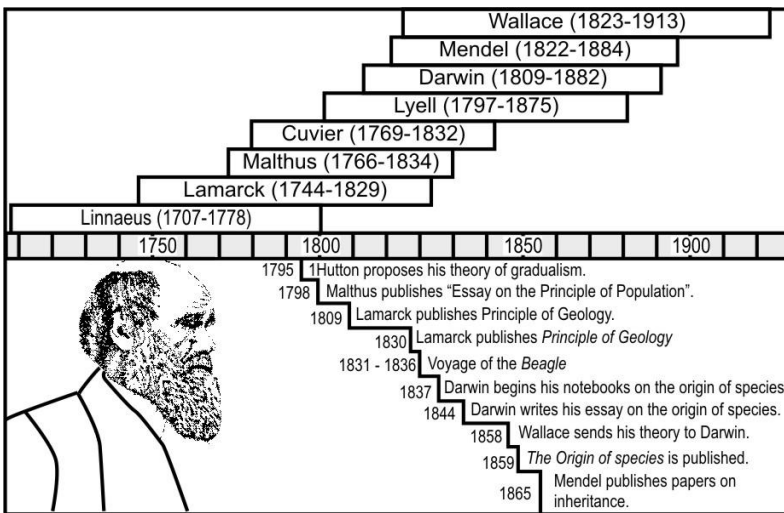
Modul ini terdiri dari tiga kegiatan belajar. Diperkirakan Anda membutuhkan dua sampai tiga minggu untuk memahaminya. Setelah mempelajari modul ini, Anda diharapkan dapat menerangkan apa yang dimaksud dengan teori evolusi menurut bermacam-macam waktu dan konsep-konsepnya. Anda harus dapat menerangkan prinsip-prinsip yang berbeda-beda sesuai dengan masa teori tersebut, dan dapat menerangkan, mengapa teori Evolusi ini tidak bertentangan dengan agama mana pun di dunia. Dengan teori evolusi modern Anda akan mencoba mempelajari proses-proses yang terjadi pada masa lalu, atau proses-proses yang mungkin terjadi pada masa lalu dan bagaimanakah metodologinya, dan apa latar belakang pemikirannya.

KEGIATAN BELAJAR 1

Sejarah Teori Evolusi

Kegiatan Belajar 1 yang membahas mengenai pandangan-pandangan para ilmuwan mengenai kehidupan ini sendiri. Hal ini ditujukan untuk meluruskan ke salah pengertian mengenai teori evolusi. Bahwa sebenarnya tidak ada pertentangan antara teori Evolusi dengan agama. Yang terjadi pada masa lampau adalah ke salah pengertian karena ilmu pengetahuan itu sendiri belum berkembang.

Teori evolusi terus mengalami perkembangan menurut bermacam-macam waktu dan konsep-konsepnya. Dalam Kegiatan Belajar ini diterangkan prinsip-prinsip yang berbeda-beda sesuai dengan masa teori tersebut. Kegiatan Belajar ini menjelaskan mengapa teori evolusi ini tidak bertentangan dengan agama manapun di dunia. Dengan teori evolusi modern akan dipelajari proses-proses yang terjadi pada masa lalu, atau proses yang mungkin terjadi pada masa lalu, serta metodologi dan latar belakang pemikiran, dan analisisnya (Gambar 1.1).



1. Darwin dan kronologi teori evolusi (Campbell).

Gambar 1.1.  
Darwin dan Kronologi teori Evolusi (Campbell)

Dalam gambar ini diterangkan Masa fiksisme (Linnaeus), Masa transformisme (Lamarck), Masa Teori Seleksi Alam (Darwin dan Wallace) dan Masa Teori Genetika (Mendel) yang digambarkan di atas garis berarsir. Di bawah garis berarsir digambarkan orang-orang yang berpengaruh pada pemikiran Darwin yang diakhiri oleh Mendel. Meskipun Mendel tidak mempengaruhi Darwin, tetapi penemuan Mendel sangat berpengaruh pada perkembangan teori evolusi sekarang.

## **A. PERUBAHAN PANDANGAN MENGENAI TEORI EVOLUSI**

Teori Evolusi pun mengalami “Evolusi” sama seperti waktu orang mengemukakan bahwa bumi berputar mengelilingi matahari, banyak mendapat tentangan, bahkan hingga dipenjara. Hal ini dapat dipahami, mengingat orang tidak begitu mengerti mengenai apa yang sebenarnya menjadi landasan dari pernyataan yang dibuat para ahli tersebut. Dalam hal ini, Charles Darwin lebih beruntung, mengingat Ilmu Pengetahuan sedang berkembang pesat, dan suatu pernyataan ilmiah harus ditentang dengan bukti-bukti ilmiah pula. Hanya di kalangan awam, hal ini masih terus berlanjut hingga sekarang. Tujuan dari Kegiatan Belajar ini adalah untuk meluruskan arti ilmu evolusi bagi mereka yang belum mengerti mengenai makna sebenarnya dari teori Evolusi.

### **1. Masa Fiksisme**

(Tokoh-tokohnya: Aristoteles, Plato, Leeuwenhoek, Cuvier, Linnaeus, Buffon, Hooke)

Para ahli hingga abad ke-18 beranggapan bahwa suatu organisme sesamanya adalah identik sebagai ciptaan Tuhan (Fix = tetap, maksudnya tidak berubah). Pada masa itu tidak pernah dipersoalkan mengenai hubungan kekerabatan antara satu organisme dengan organisme yang lain. Semua kegiatan biologis dianggap sesuai dengan semua ajaran yang sudah diturunkan dalam kitab-kitab melalui para Nabi. Adanya kelainan atau cacat tubuh dianggap sebagai kutukan, sehingga orang tersebut dikucilkan masyarakat. Kemiripan atau kesamaan antara dua jenis organisme dianggap sebagai suatu kebetulan. Teori fiksisme dianggap sebagai satu-satunya teori yang tidak dapat diganggu gugat oleh siapa pun juga. Matahari dipercaya berotasi mengelilingi bumi, sehingga orang yang berpendapat dan yang menyatakan bahwa bumi mengelilingi matahari langsung masuk penjara

karena dianggap menghujat Tuhan. Pada waktu itu Linnaeus (Carl von Linné) mengemukakan pengelompokan organisme hidup dalam bukunya, *Sistema Naturae*) yang didasarkan atas kesamaan alat reproduksi pada tanaman, sedangkan pada hewan dikelompokkan berdasarkan kesamaannya. Meskipun tidak mendapat tentangan, Linnaeus sudah mengelompokkan manusia bersama-sama dengan kera (kera = primata tidak berekor; monyet = primata berekor), namun tidak menimbulkan kontroversi pada waktu itu.

## 2. Masa Adaptasi dan Transformasi

(Tokoh-tokohnya a.l: Hutton, Malthus, Lamarck, Lyell)

Pada masa ini manusia mulai menyadari bahwa mereka tidak betul-betul sama antara satu dengan yang lainnya. Hal yang sama dapat pula diamati pada tumbuh-tumbuhan, bahwa tidak ada satu pohon pun yang mempunyai cabang yang tepat sama. Oleh karena itu, timbullah masalah mengenai dari mana datangnya perbedaan-perbedaan antarindividu. J.B. Lamarck mencoba menjelaskan bahwa perbedaan-perbedaan antarindividu tersebut disebabkan oleh kebiasaan individu tersebut. Pohon yang tertiuip angin dari Barat mempunyai cabang pendek di sebelah Barat dan lebih panjang di sebelah Timur. Manusia yang sering berolahraga akan mempunyai tubuh besar. Namun Lamarck kemudian memperkirakan bahwa orang bertubuh besar akan mempunyai anak bertubuh besar. Dari satu segi memang demikian, tetapi kemungkinan lain pun sama besarnya. latihan adalah suatu proses adaptasi, sedangkan perubahan yang terjadi adalah proses transformasi. Menurut Lamarck, hal yang diperoleh dari latihan dapat diturunkan kepada anaknya.

## 3. Masa Seleksi Alam

(Tokoh-tokonya: C. Darwin, A.R. Wallace)

Pada masa ini Darwin dan Wallace bekerja secara terpisah. Darwin yang sebelumnya sekolah untuk menjadi imam dan kemudian sekolah kedokteran, merasa bahwa apa yang diberikan di bangku Universitas tidak memadai. Beliau banyak membaca dan pemikirannya dipengaruhi oleh tulisan Malthus mengenai *Essay on the principle of Population*. Beliau pun pernah bekerja dengan Lyell dan mempelajari fosil. Dengan pengetahuan ini, kemudian beliau berlayar dengan kapal “the Beagle” selama beberapa tahun keliling dunia. Dari pengalaman studinya dan perjalanan dengan kapal “the Beagle”, beliau memikirkan mengenai asal-usul burung di kepulauan Galapagos. Hasil pemikirannya kemudian didiskusikan dengan sejumlah ahli di Inggris.

Wallace berlayar ke daerah jajahan Inggris di Malaysia, dan kemudian bekerja di Borneo dan terus bekerja di Sulawesi dan Maluku. Di sana beliau melihat betapa berbedanya kandungan fauna di Indonesia Barat dan Indonesia Timur. Di kepulauan Aru, beliau menderita sakit Malaria, yang pada waktu itu tidak ada obatnya. Ketika pada suatu hari beliau tiba-tiba sembuh, timbullah pemikiran mengenai kesembuhan itu. Dari penyakitnya itu timbullah ide mengenai hukum alam: **siapa yang kuat, dialah yang menang** atau "*survival of the fittest*". Pemikiran ini dituangkan dalam suatu karya ilmiah. Ternyata teori Wallace ini serupa dengan teori pemikiran Darwin sehingga Wallace diminta oleh "Royal Society of London" untuk menunggu agar Darwin pun membuat karya ilmiah mengenai teorinya dan kemudian kedua karya ilmiah tersebut dibacakan. Menurut teori Evolusi tersebut, suatu organisme beraneka ragam dan alam yang akan melakukan seleksi. Individu yang sesuai akan dapat bertahan, sedangkan yang tidak kuat akan mati. Hanya Darwin belum merasa puas, karena Beliau belum dapat menerangkan dari mana datangnya keanekaragaman.

#### 4. Masa Teori Genetika

(Tokohnya: Mendel, De Vries, Tschernov, W.Bateson; Weismann)

Dalam kehidupan membiara, seorang biarawan sering kali menanam kebutuhan sehari-hari seperti sayur-sayuran dan buah-buahan. Kalau mereka mempunyai waktu luang maka waktu tersebut digunakan untuk mengerjakan sesuatu yang berguna dengan seizin kepala biara. Pada tahun 1865 Gregor Mendel, seorang biarawan Katolik mengemukakan hasil pengamatan penelitiannya selama menanam sayuran dalam rangka mencari suatu bibit unggul. Mendel mengemukakan bahwa sifat-sifat tertentu ternyata diturunkan dengan ketelitian yang cukup akurat. Oleh karena itu, beliau mengemukakan dua macam hukum penurunan yang kemudian dikenal sebagai hukum Mendel. Sayang sekali, hasil penelitian ini masih terlalu maju untuk zamannya, sehingga tidak ada seorang pun yang mengerti dan kemudian tersimpan begitu saja di perpustakaan. Sekitar 35 tahun kemudian, beberapa peneliti (Hugo de Vries dan Tschernov) menemukan kembali hukum Mendel tersebut secara independen. Ketika mereka memeriksa kepustakaan untuk meneguhkan penemuan mereka sebagai penemu pertama, ternyata penemuan tersebut sudah pernah dipublikasikan lama sebelumnya. Hukum Mendel yang ditemukan kembali kemudian merangsang para peneliti untuk mendalami bidang ilmu yang baru ini dan disebut ilmu Genetika. Selama 30 tahun

berikutnya, ilmu Genetika berkembang dengan pesat, namun keberadaan ilmu ini baru berjalan sejajar dengan ilmu Evolusi sebagai dua disiplin ilmu yang terpisah dan tanpa ada sangkut pautnya. Apabila Charles Darwin berkesempatan membaca tulisan Mendel, maka mungkin ia merasa sebagai orang yang paling berbahagia di muka bumi, karena hukum Mendellah yang dapat menerangkan banyak hal yang tidak dapat diterangkan oleh teori Evolusi waktu itu. Selama 30 tahun kemudian, Ilmu Genetika berkembang dengan sangat pesat, bahkan lebih pesat dari ilmu Evolusi itu sendiri.

## 5. Masa Teori Sintetik

**(Tokohnya: E. Mayr, P.J. Darlington, TH. Dobzhansky, Morgan, J. Huxley, G.G. Simpson)**

Morgan yang bekerja dengan alat buah *Drosophila melanogaster* selama lebih dari 30 tahun merupakan orang yang sangat berjasa dalam ilmu Genetika, karena berhasil menemukan banyak sekali fenomena baru mengenai kerja gen. Di lain pihak, Ernest Mayr dan P.J. Darlington yang mempelajari Taksonomi Sistematis dan Zoogeografi burung juga banyak menemukan fenomena evolusi yang baru. Dalam masyarakat ilmiah yang lebih komunikatif dibandingkan dengan masa sebelumnya, maka orang mulai melihat kaitan antara masing-masing ilmu. Ternyata bukan Ilmu Genetika dan Evolusi saja yang dapat saling menunjang, tetapi semua cabang ilmu biologi dapat dipakai untuk menerangkan fenomena Evolusi. Pendapat ini mendapat dukungan dari sebagian besar ahli biologi terkemuka di dunia, misalnya Theodozios Dobzhansky yang telah berjasa dalam merangkul begitu banyak fenomena Evolusi dari berbagai macam disiplin biologi. Hal ini menyebabkan teori Evolusi masuk dalam masa baru yang kemudian dikenal dengan Teori Sintetik Evolusi.

## 6. Masa Evolusi Modern

**(Tokohnya: R.A. Fischer; S. Wright, F Haldane, M. Nei, M. Kimura, T. Ota)**

Setelah ditemukannya struktur DNA dan majunya perkembangan komputer, maka teori Evolusi pun mengalami kemajuan yang pesat. Dengan analisis DNA, maka segala kemungkinan yang dahulu mustahil, kini dapat dilakukan, paling tidak secara teoritis. Dengan demikian, maka kemajuan dalam bidang evolusi pun dijabarkan secara matematis dan komputer pun memegang peranan yang penting untuk menunjang kemajuan teori Evolusi.

Kini data raksasa pun dapat diatasi dengan komputer dan hanya akan memakan waktu beberapa menit saja untuk memperoleh jawaban.

Di dalam era evolusi modern terdapat dua kelompok pemikiran, yaitu kelompok netralis dan kelompok seleksionis.

*a. Pemikiran kelompok netralis*

Apa pun bentuk suatu populasi, maka seleksi alam akan menyebabkan hilangnya suatu alel, sedangkan mutasi akan menambahkan suatu alel pula. Karena proses ini berlangsung sejak adanya kehidupan di muka bumi adalah lazim untuk mengkaji berapa banyak individu yang harus mati untuk menghapuskan suatu alel yang hanya dengan proses seleksi. Untuk menghilangkan suatu alel resesif dari suatu populasi, menurut perhitungan Haldane, diperlukan sekitar 300 generasi. Walaupun demikian, tidak semua mutasi menyebabkan perubahan atau hilangnya suatu alel. Kimura menyatakan bahwa perubahan alel pada dasarnya dalam suatu populasi dapat lebih cepat lagi, karena kecepatan mutasi suatu gen dapat mencapai satu asam amino setiap  $10^7$  tahun atau dengan kata lain ada satu alel yang hilang setiap  $10^7$  tahun. Mengingat bahwa jumlah asam amino yang di kode oleh DNA lebih dari  $10^7$ , maka paling tidak ada satu mutasi asam amino per tahun dalam setiap spesies. Apabila hal tersebut benar, maka setiap spesies harus berkembang biak sangat cepat dan menghasilkan sebanyak-banyaknya anak, agar tidak ada alel yang hilang. Karena hilangnya suatu keanekaragaman dapat menyebabkan punahnya suatu spesies. Hal ini tidak mungkin terjadi. Oleh karena itu, para ahli matematika yang dipelopori oleh Kimura menyatakan bahwa suatu mutasi asam amino kebanyakan bersifat netral, jadi tidak terkena seleksi. Apabila seleksi pada suatu mutasi tidak ada, maka suatu spesies tidak akan dengan mudah punah, sehingga proses hilangnya suatu alel hanya bergantung kepada arus genetik dan kecepatan mutasi. Argumentasi pemikiran netralis didukung dari hasil analisis sejumlah spesies di dunia ternyata sebagian besar gen yang diteliti memiliki puluhan alel. Contoh dari suatu gen yang netral adalah kemampuan menggulung lidah. Kemampuan tersebut dimiliki sekitar 50% dari populasi manusia, sedangkan 50% lainnya tidak mampu menggulung lidah. Memang kemampuan menggulung lidah tidak pernah menjadi parameter dalam menentukan pasangan.

*b. Pemikiran kelompok seleksionis*

Menurut pandangan kaum seleksionis, seleksi merupakan suatu mekanisme yang harus terjadi. Tidak ada alel yang memiliki kemampuan yang sama. Meskipun beberapa alel kelihatannya tidak terpengaruh oleh suatu keadaan, tidak berarti pada keadaan yang lain semua alel tetap tidak terkena seleksi. Memang kebanyakan alel kelihatannya netral. Hal ini disebabkan oleh ekspresi suatu gen tidak ditentukan oleh satu gen saja, tetapi oleh sejumlah gen sekaligus. Selain itu sejumlah gen bekerja sama sehingga pengaruh lemahnya suatu gen diimbangi oleh gen lain yang mempunyai pengaruh menguntungkan. Keadaan heterosigot menimbulkan efek heterosis, jadi kenyataannya terlihat lebih baik. Tetapi dalam keadaan homosigot, biasanya keadaannya akan lebih lemah. Hal lain yang menguatkan adalah pengaruh tekanan seleksi biasanya bekerja secara antagonis. Misalnya sel darah sabit adalah suatu gen yang bersifat letal, jadi seharusnya hilang karena seleksi alam. Walaupun demikian ada pengaruh lain yang menyebabkan gen tersebut membawa keuntungan. Sebagai contoh diambil penyakit malaria yang disebabkan oleh *Plasmodium*. Penyakit malaria akan menyerang orang yang mempunyai darah normal. Tetapi orang yang heterosigot karena memiliki sel darah sabit, resisten terhadap penyakit malaria.

Suatu argumentasi lain menunjukkan bahwa pada suatu spesies, sering sekali dijumpai gen yang mempunyai beberapa alel. Tetapi mengapa ada salah satu alel yang sangat dominan dalam frekuensinya, sedangkan frekuensi alel lainnya rendah sekali. Apabila suatu gen netral terhadap seleksi, maka frekuensi alel suatu gen harus lebih kurang setimbang atau dapat juga menonjol di suatu tempat tetapi rendah di tempat yang lain.

**Polimorfisme** suatu gen sangat ditentukan oleh penting tidaknya suatu gen. Gen yang esensial umumnya mempunyai sedikit alel, sedangkan gen yang tidak begitu diperlukan (misalnya penghasil metabolit sekunder) mempunyai lebih banyak alel. Apabila suatu alel netral, maka tingkat polimorfisme pada kedua macam kelompok gen tersebut di atas harus sama.

## **B. PRINSIP DASAR YANG DIANUT DALAM MENERANGKAN TEORI EVOLUSI**

Evolusi adalah ilmu yang mempelajari perubahan-perubahan yang berangsur-angsur menuju kepada kesesuaian dengan waktu dan tempat. Jadi pada dasarnya, evolusi tidak akan pernah membuktikan bagaimana kera



menjadi manusia. Suatu organisme mempunyai nenek moyang organisme lain. Sampai sekarang belum ditemukan suatu makhluk pun di muka bumi ini yang mempunyai asal usul berbeda, misalnya yang tidak mempunyai DNA atau RNA atau yang mempunyai sistem tubuhnya berbeda (misalnya bernapas melalui kulit, mata di samping, atau telinga di bahu). Kita tidak akan pernah melihat bagaimana suatu organisme berubah menjadi organisme yang lain. Teori evolusi yang hanya didasarkan atas data fosil tidak pernah dapat menerangkan dengan lengkap mengenai apa yang terjadi pada masa yang telah silam. Oleh karena itu, dalam mempelajari evolusi suatu organisme, biasanya para ahli menggunakan **metode pendekatan** dan **bukan pembuktian**. Dalam hal ini, mereka melihat perubahan struktur dari organisme yang saling berkerabat satu dengan yang lain dan mengaitkan perubahan-perubahan ciri-ciri yang masih dapat ditelusuri. Dengan mempelajari proses perubahan sejumlah ciri tertentu maka dapat ditarik suatu kesimpulan mengenai proses evolusi dari suatu kelompok secara utuh. Perubahan-perubahan suatu ciri dapat ditelusuri dari sekelompok organisme secara holistik, sehingga kita mengetahui dengan pasti bahwa ciri tertentu berevolusi dari suatu bentuk yang primitif kepada suatu bentuk yang maju. Suatu organisme yang sudah punah dapat mempunyai ciri yang relatif maju, sedangkan suatu organisme yang masih hidup sampai sekarang dapat mempunyai sejumlah ciri yang primitif.

### C. KONSEP-KONSEP TERPENTING DALAM ILMU EVOLUSI

Beberapa konsep penting yang dapat Anda temukan di dalam Ilmu Evolusi adalah sebagai berikut:

1. Perubahan evolusi adalah perubahan komposisi genetik suatu populasi pada satuan waktu tertentu.
2. Alam mengarahkan evolusi dari populasi suatu organisme.
3. Seleksi alam adalah satu-satunya kekuatan yang mengarah pada adaptasi suatu organisme
4. Seleksi alam hanya akan mengubah komposisi genetik suatu populasi apabila kondisi lingkungan cocok dengan alel yang tersedia.
5. Ada sejumlah mekanisme dari seleksi alam.
6. Proses seleksi alam yang sangat spesifik akan mengarah pada terbentuknya jenis baru.

7. Bumi berumur sangat tua. Kehidupan berusia sedikit lebih muda dari bumi dan kehidupan di muka bumi berubah dari waktu ke waktu. Banyak kelompok organisme muncul. Kebanyakan organisme yang hidup pada masa lalu, kini sudah punah.
8. Semua organisme yang hidup sekarang mempunyai sejarah dan hubungan dengan organisme yang hidup pada masa lalu. Biosistemik adalah ilmu yang mempelajari hubungan kekerabatan dan evolusi dari jenis-jenis yang berkerabat. Hubungan filogenetik dapat digunakan untuk melihat bukti-bukti evolusi. Hubungan tersebut dapat dipelajari dengan meneliti keserupaan dari fosil, morfologi, maupun struktur biokimiawi suatu kelompok organisme.



## LATIHAN

---

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Mengapa teori evolusi tidak bertentangan dengan agama?
- 2) Di manakah letak perbedaan prinsip dari Teori evolusi sesuai dengan setiap masa?
- 3) Apakah Teori Darwin masih berlaku hingga sekarang?
- 4) Aspek apakah yang paling penting dalam proses evolusi dan mengapa?
- 5) Apakah proses evolusi mempunyai tujuan akhir?

### *Petunjuk Jawaban Latihan*

- 1) Teori Evolusi tidak pernah menyatakan bahwa manusia berasal dari kera. Teori Evolusi menyatakan bahwa manusia dan kera berkerabat paling dekat bukan suatu implikasi bahwa manusia berasal dari kera. Teori evolusi menerangkan bahwa evolusi adalah perubahan bertahap suatu organisme sejalan dengan waktu. Perubahan apa yang terjadi. Semua perubahan disebabkan oleh perubahan frekuensi alel yang ekspresinya mungkin terlihat dalam fenotip, tetapi tidak harus selalu demikian. Pendapat bahwa semua makhluk adalah ciptaan Tuhan itu tidak salah, hanya manusia sering tidak sadar bahwa proses pun adalah ciptaan Tuhan.

- 2) Mula-mula manusia berpendapat bahwa semua makhluk adalah ciptaan Tuhan.  
Manusia melihat suatu variasi sebagai kutukan dan bukan sebagai kebesaran Tuhan  
Karena variasi ternyata adalah suatu fenomena umum, maka manusia mulai berusaha menerangkan dari mana variasi tersebut berasal. Lamarck menerangkan bahwa variasi timbul akibat dari latihan.  
Darwin menunjukkan bahwa variasi itu ada, tetapi kemampuan tiap variasi tidak sama. Alam yang melakukan seleksi. Ada banyak cara alam melakukan seleksi. Darwin belum dapat menerangkan darimana datangnya variasi.
- 3) Ya.
- 4) Keanekaragaman. Tanpa keanekaragaman evolusi tidak mungkin terjadi.
- 5) Tidak. Meskipun ada kecenderungan tertentu, yang menentukan arah evolusi adalah lingkungan, dan lingkungan berubah dari waktu ke waktu.



## RANGKUMAN

---

Teori Evolusi memaparkan bagaimana manusia mengalami perubahan dalam cara melihat sesuatu fenomena. Ada perubahan yang sangat mendasar, akibat dari sifat manusia yang demikian berubah, dari menerima kenyataan tanpa bertanya menjadi seorang pemikir. Ini sebenarnya adalah proses evolusi manusia yang sangat drastis di dunia. Manusia dengan tingkat intelegensia sedikit di atas kera kini menjadi demikian pandai. Tekanan seleksi alam yang sebelumnya ditujukan pada kekuatan fisik sudah berubah sama sekali menjadi kekuatan daya pikir atau kecerdasan. Kalau dahulu orang tua menginginkan anaknya yang kuat dan sehat, maka kini kecerdasanlah yang diharapkan.

1. Organisme hidup mempunyai kemampuan adaptasi dalam lingkungan hidupnya.
2. Banyak orang sebelum Darwin sudah berpikir adanya kemungkinan bahwa suatu spesies berubah dari waktu ke waktu. Tetapi mereka lebih yakin, bahwa organisme tidak berubah.
3. Teori Darwin mengenai Evolusi akibat seleksi alam dapat menerangkan kaitan antara perubahan dan adaptasi
4. Banyak orang pada zaman Darwin mengakui konsep Evolusi, tetapi tidak percaya dengan seleksi alam.
5. Darwin tidak mengetahui darimana datangnya keanekaragaman.

6. Pada masa Teori sintetik, manusia baru menyadari bagaimana ilmu Genetika dapat bekerja sama secara harmonis dengan teori Evolusi.
7. Pada masa teori modern, semua ilmu ikut berkontribusi dalam kemajuan teori evolusi
8. Pemikiran netralis maupun pemikiran seleksionis masing-masing mempunyai kebenaran. Bahwa dalam kehidupan, kedua-duanya diperlukan untuk kelangsungan hidup suatu organisme. Suatu keanekaragaman dapat bersifat netral pada suatu keadaan, tetapi mungkin terkena seleksi pada keadaan yang lain.
9. Evolusi adalah perubahan berangsur-angsur menuju kesesuaian dengan keadaan dan waktu. Oleh karena itu, perubahan yang berangsur-angsur dapat diterangkan dengan mudah karena adanya ilmu genetika. Pada prinsipnya, perubahan berangsur-angsur adalah perubahan frekuensi alel per satuan waktu.
10. Evolusi adalah penyempurnaan dari yang sudah ada. Jadi semua struktur yang kita lihat dan pelajari sekarang adalah ciptaan yang kemudian mengalami modifikasi (perubahan berangsur-angsur) menuju kesempurnaan yang sesuai dengan waktu dan tempat.
11. Seleksi alam adalah satu-satunya kekuatan yang mengarahkan evolusi. Seleksi alam tersebut selalu berubah-ubah sejalan dengan waktu. Jadi sebenarnya evolusi tidak mempunyai tujuan akhir, karena seleksi tidak mengarah pada satu tujuan akhir.



### TES FORMATIF 1 \_\_\_\_\_

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini adalah ....
  - A. pada masa Aristoteles, orang masih menganggap bumi sebagai suatu bidang datar
  - B. Lamarck menyatakan bahwa suatu organisme mengalami transformasi
  - C. Darwin menganggap bahwa keanekaragaman timbul dari variasi genetik
  - D. teori sinetik merangkum semua ilmu biologi untuk menerangkan evolusi
  
- 2) Jawaban yang benar dari pernyataan di bawah ini adalah ....
  - A. Linnaeus sudah mempunyai gambaran mengenai evolusi organisme hidup
  - B. Darwin memperoleh gambaran mengenai evolusi dari data pulau Galapagos

- C. Morgan membuktikan bahwa genetika dapat menerangkan mengenai evolusi.
  - D. Evolusi berkembang dengan pesat setelah adanya kemajuan dalam bidang biokimia dan komputer
- 3) Pemikiran netralis didasarkan atas ....
- A. banyaknya variasi morfologi
  - B. banyaknya variasi genetika biokimiawi
  - C. bahwa banyak variasi yang mempunyai ketahanan yang berbeda di alam
  - D. kecepatan mutasi jauh lebih cepat dari yang diduga sebelumnya.
- 4) Evolusi ....
- A. adalah perubahan suatu struktur menjadi struktur yang lebih kompleks
  - B. mengarah pada suatu tujuan akhir
  - C. merupakan hasil adaptasi suatu organisme
  - D. hanya berjalan apabila ada seleksi alam

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

**KEGIATAN BELAJAR 2****Waktu Geologi**

Sejarah muka bumi bersama dengan isinya merupakan hal yang menarik, mengingat kita yang mempelajarinya akan dibawa kepada masa yang telah silam, bahkan sampai kepada masa bumi belum berpenghuni sekalipun. Di dalam Kegiatan Belajar ini, Anda akan melihat bahwa timbulnya kehidupan berlangsung sangat lama, kira-kira 1500 juta tahun lamanya bumi belum berpenghuni, sedangkan munculnya manusia baru berlangsung kurang dari lima juta tahun yang lalu.

Menurut teori, bumi terbentuk karena kondensasi gas yang ada dalam tata surya. Pada waktu proses tersebut terjadi, diperkirakan ada benturan dengan suatu bintang lainnya, sehingga gas tersebut terpecah menjadi gumpalan gas yang lebih kecil. Semua itu membentuk satu tata surya. Gumpalan terbesar menjadi matahari, sedangkan sisanya menjadi planet, bulan, dan meteorit. Akibat adanya perbedaan ukuran, maka gumpalan yang lebih kecil dapat berputar lebih cepat dibandingkan dengan gumpalan yang besar, sehingga ukuran gas akan menentukan rotasi suatu planet atau bulan, yang akan terbentuk. Akibat daya tarik yang besar, maka gumpalan gas tersebut berubah menjadi cair dan panas, dan baru kemudian perlahan-lahan memadat. Dalam proses menjadi padat, maka bentuk muka bumi berubah-ubah. Hal ini diperkuat pula dengan adanya rotasi. Rotasi menimbulkan gaya sentripetal dan sentrifugal dan berputar pada sumbu magnetik. Karena proses menjadi padat yang relatif cepat, maka keadaan di dalam bulatan masih cair. Benda padat mengalami penyusutan, sedangkan keadaan di dalam yang masih panas memuai. Oleh karena itu, timbul retakan-retakan dan batuan cair keluar sebagai proses vulkanisme. Selain itu, bentuk bumi yang ada tidak rata. Oleh karena adanya rotasi maka proses penyetimbangan berjalan, yang menyebabkan adanya pergeseran daratan. Pergeseran daratan tersebut dapat menyebabkan pecahnya daratan dan bersatunya daratan. Apalagi mengingat bahwa sumbu magnetik bumi tidak tepat dari waktu ke waktu. Dengan demikian, maka ada proses masuknya daratan ke perut bumi dan timbulnya daratan yang baru.

## A. METODE PENENTUAN WAKTU

Dalam penentuan umur suatu batuan atau fosil, ada beberapa persyaratan yang harus diperhatikan, yaitu:

### 1. Adanya Kemungkinan Pembasuhan

Akibat adanya pembasuhan, maka suatu batuan atau fosil berubah kandungan kimianya. Dengan demikian penghitungannya tidak cukup akurat.

### 2. Adanya Kemungkinan Transportasi

Suatu batuan atau fosil dapat terbentuk di suatu tempat. Namun sejalan dengan waktu, benda tersebut dapat berpindah tempat. Dengan demikian, fosil suatu organisme dapat ditemukan di tempat yang tidak semestinya. Kekuatan utama yang mungkin dapat memindahkan fosil tersebut adalah aliran sungai. Sungai akan membawa suatu fosil atau batu dari daerah hulu ke hilir. Demikian pula sungai dapat membawa suatu fosil dari lapisan atas menuju lapisan yang lebih tua, karena sungai dapat mengikis batuan sehingga akhirnya batuan tersebut semakin lama menjadi makin dalam. Hal lain yang dapat memindahkan suatu batuan atau fosil adalah adanya pelapukan dan pergeseran tanah. Akibat adanya pelapukan, maka suatu fosil yang sebelumnya berada pada lapisan yang dalam menjadi terdedahkan karena batuan di atasnya tersingkap oleh kekuatan alam. Setelah terdedahkan, maka ada faktor luar yang menyebabkan fosil yang sudah terdedahkan tersebut berpindah tempat. Hal-hal tersebut dapat menyebabkan penentuan umur suatu batuan atau fosil menjadi tidak akurat. Untuk mendeteksi adanya transportasi biasanya dilakukan analisis geomagnetik.

Penentuan umur biasanya tidak pernah tepat, mengingat banyaknya faktor luar yang dapat berperan. Oleh karena itu, simpangan baku umur suatu fosil biasanya cukup lebar. Misalnya fosil *Homo erectus* dari Sangiran diduga berumur 250.000 tahun. Menurut penelitian di tahun 1997, salah satu fosil berumur sekitar 27.000 tahun dan paling tua berumur 54.000 tahun. Kisaran antara 27.000 tahun ke 54.000 tahun maupun 250.000 tahun adalah sangat besar, sehingga sulitlah kiranya membuat perkiraan umur rata-rata.

## B. JAM RADIOAKTIF

Penentuan umur suatu lapisan atau suatu fosil dapat juga didasarkan atas perbedaan masuk dan keluarnya suatu senyawa radioaktif dari dalam tubuh. Di alam terdapat sejumlah zat radioaktif yang kita hirup dan dikeluarkan sehari-hari tanpa menyebabkan adanya gangguan. Karena zat radioaktif tersebut tidak diakumulasi oleh tubuh, maka jumlah zat radioaktif di dalam maupun di luar tubuh akan tetap. Namun apabila kita mati, maka tidak terdapat transpor zat radioaktif tersebut baik masuk maupun keluar. Akibatnya jumlah zat radioaktif tersebut akan menurun sejalan dengan waktu paruh zat radioaktif tersebut. Ada zat radioaktif yang meluruh dalam skala jam, hari, tahun, abad maupun yang memakan waktu berabad-abad. Mengingat bahwa volume tubuh dibandingkan dengan volume alam, maka perubahan jumlah zat radioaktif di alam relatif konstan tidak berubah. Dengan membandingkan jumlah yang terdapat di dalam tubuh dengan jumlah yang ada di alam per volume, maka kita dapat memprediksi umur zat radioaktif tersebut.

Demikian pula halnya dengan zat radioaktif yang terdapat dalam lapisan batuan, dapat diperlakukan serupa, meskipun ada faktor koreksi, mengingat batuan tertentu dapat sudah lama berada di muka bumi dibandingkan dengan data fosil.

Selain itu haruslah kita perhatikan, zat radioaktif apa yang meluruh dan apa yang dihasilkan. Jadi selain menghitung jumlah bahan yang meluruh, juga harus dihitung perbandingan antara zat asal dengan zat yang dihasilkan.

Adapun rumus untuk menghitung perkiraan umur suatu batuan/fosil adalah

$$t = 1/\lambda \ln N + N_R / N$$

$t$  = umur;

$\lambda$  = peluruhan;

$N_0$  = jumlah zat radioaktif waktu batuan dibentuk dan

$N$  = jumlah zat radioaktif sekarang.

$N_R$  =  $N_0 - N$

Contoh: apabila 3%  $^{87}\text{Rb}$  dalam batuan telah berubah menjadi  $^{87}\text{Sr}$ , maka umur batuan tersebut adalah



$$t = 1/1,42 \times 10^{-11} \times \ln(1 + 3\%) = 2,08 \times 10^9 \text{ tahun.}$$

Tabel 1.1.  
Zat Radioaktif yang Digunakan dalam Menentukan Umur Batuan/Fosil

Isotop	Peluruhan x 10-11 th	Waktu Paruh	Radiogenik Isotop
<sup>14</sup> C (Karbon)	1,2 x 10 <sup>7</sup>	5,73 x 10 <sup>3</sup>	<sup>14</sup> N
<sup>40</sup> K (Potasium)	5,81 + 47,2	1,3 x 10 <sup>9</sup>	<sup>40</sup> Ar + <sup>40</sup> Ca
<sup>87</sup> Rb (Rubidium)	1,42	4,86 x 10 <sup>10</sup>	<sup>86</sup> Sr
<sup>147</sup> Sm (Samarium)	0.654	1,06 x 10 <sup>11</sup>	<sup>143</sup> Nd
<sup>232</sup> Th (Thorium)	4.95	1,39 x 10 <sup>10</sup>	<sup>208</sup> Pb
<sup>235</sup> U (Uranium)	98.485	7 x 10 <sup>8</sup>	<sup>207</sup> Pb
<sup>238</sup> U (Uranium)	15.5125	4,4 x 10 <sup>9</sup>	<sup>206</sup> Pb

### C. JAM DNA

Karena suatu organisme yang sudah menjadi fosil hingga kini masih sulit sekali diekstraksi DNA-nya, maka kita hanya dapat menggunakan organisme yang masih hidup. Dari skala waktu geologi, maka kita dapat memperkirakan kapan suatu organisme muncul dan kapan organisme lainnya muncul. Misalnya ikan sudah berada jauh sebelum Amfibi apalagi Primata. Dalam kurun waktu yang begitu jauh berbeda, maka kita dapat menghitung berapa besar perubahan dalam susunan DNA yang telah terjadi. Karena kita dapat menghitung berapa kecepatan mutasi suatu organisme, maka kita dapat menghitung berapa lama perbedaan umur antara dua organisme. Untuk dapat menggunakan Jam DNA, ada suatu pengetahuan dasar yang diperlukan, karena kecepatan mutasi suatu bagian DNA tidak sama. Ada gen yang bermutasi sangat cepat dan ada gen yang bermutasi sangat lambat. Dalam kaitan ini, pada dasarnya kita akan menggunakan suatu daerah DNA yang konservatif. Gen yang sangat konservatif baik untuk menentukan perbedaan umur dari dua organisme yang berkerabat jauh, misalnya antara kera dengan manusia, sedangkan gen yang tidak terlalu konservatif baik untuk menentukan perbedaan antarpopulasi.

Dari beberapa rantai DNA homolog yang kita bandingkan, maka selain adanya perbedaan, kita akan menjumpai kesamaan untuk sejumlah asam nukleat. Jadi misalnya dari sekian banyak rantai DNA yang kita analisis terdapat asam nukleat no 23, 45 dan seterusnya yang identik untuk semua. Hal ini memberikan gambaran kepada kita, bahwa asam nukleat no 23, 45 dan seterusnya seharusnya sama juga untuk nenek moyang. Apabila ada satu

rantai DNA yang berbeda untuk asam nukleat no 23, maka kita dapat menduga bahwa pada rantai DNA itu mengalami mutasi. Dengan demikian, kita dapat melakukan rekonstruksi mengenai bagaimana rupa rantai DNA nenek moyang. Dari hasil tersebut, maka kita dapat menentukan tiga hal, *pertama* adalah berapa banyak mutasi yang terjadi dibandingkan dengan rantai DNA nenek moyang, dan *kedua* adalah berapa besar perbedaan antara satu rantai dengan rantai yang lain. Hal terakhir yang dapat segera kita tentukan adalah apakah ada mutasi yang spesifik untuk suatu populasi. Dengan pengetahuan tersebut, data yang kita miliki dapat dikalibrasikan dengan kecepatan mutasi gen tersebut. Kalibrasi dapat kita lakukan dengan melihat data fosil. misalnya kapan burung mulai muncul dan kapan organisme lain mulai muncul. Perbedaan waktu tersebut menunjukkan rentang umur. Kalau ada 10 mutasi per rentang umur 10.000 tahun, maka kecepatan mutasi adalah 1 mutasi per 1000 tahun. Dari data yang kita analisis, maka kita dapat menghitung berapa kecepatan evolusi dengan menggunakan data DNA

*Catatan:* Cara untuk menghitung kecepatan evolusi adalah dengan membandingkan berapa banyak perbedaan yang ada antara dua spesies. Banyaknya substitusi dibagi dengan waktu divergensi. Jadi kalau waktu katak berevolusi sejak 360 juta tahun dan manusia 5 juta tahun yang lalu, jumlah substitusi kita bagi dengan 360-5 juta atau 355 juta tahun adalah *waktu divergensi*. Harus diingat bahwa cara penghitungan yang dilakukan para ahli tidak tepat dan banyak mendapat tentangan, karena diasumsikan bahwa evolusi katak terhenti 360 tahun yang lalu. Hanya hingga kini, cara penghitungan ini masih tetap dipakai, karena hanya dengan cara begitu dapat dilakukan estimasi meskipun tingkat kesalahannya cukup besar.

#### **D. PENGGUNAAN FOSIL POLLEN**

Penggunaan jasa palinologi untuk merekonstruksi keadaan masa lampau banyak dilakukan orang. Apabila fosil sering ditemukan dalam keadaan tidak utuh, maka tidak demikian halnya dengan pollen. Di daerah yang mempunyai 4 musim penggunaan pollen dapat memberikan data yang sangat akurat. Hal ini disebabkan oleh suatu tumbuhan akan berbunga serempak pada periode yang relatif singkat di musim semi dan panas. Akibatnya pollen menutupi seluruh permukaan tanah. Saat berikutnya ada jenis tumbuhan lainnya yang berbunga. Jadi setiap tahun, tumbuhan akan membentuk lapisan yang lebih

kurang sama dengan tahun sebelumnya. Pollen yang terkubur dalam tanah akan mati, tetapi bagian luarnya sangat keras dan karena jumlahnya yang besar, banyak yang menjadi fosil. Banyaknya polen merupakan fungsi langsung dari jenis tumbuh-tumbuhan yang berbunga. Dengan perkataan lain, kadar polen dapat memberikan informasi yang tepat mengenai tumbuh-tumbuhan yang dominan pada suatu periode. Demikian pula apabila ada perubahan cuaca, habitat, angin dan lain-lain, semuanya akan tercerminkan dari profil fosil tersebut. Dari keadaan tersebut, maka orang dapat merekonstruksi apa yang terjadi pada masa lalu, ada jenis-jenis apa saja dalam suatu masa dan bagaimana keadaan habitat di tempat tersebut pada periode tertentu. Salah satu hal yang agak menyulitkan adalah cara untuk menentukan jenis-jenis apa saja yang hidup pada masa itu. Dalam hal ini para ahli menggunakan data tumbuh-tumbuhan aktual, dengan dugaan bahwa jenis yang berkerabat mempunyai pollen yang serupa.

## **E. PENGGUNAAN DATA EKSPERIMEN**

Penggunaan data eksperimen sampai sekarang mungkin merupakan data yang paling akurat. Walaupun demikian, tidak ada jaminan bahwa data yang digunakan sekarang berlaku juga 1000 tahun yang lalu. Caranya adalah dengan menghitung kecepatan mutasi yang dapat diamati dalam populasi yang dipelihara di laboratorium. Hal ini dilakukan pada banyak organisme, antara lain ragi, bakteri, lalat buah (*Drosophila melanogaster*), dan mencit (*Mus musculus*). Caranya ialah dengan metode multilokus. Sejumlah individu betina suatu organisme yang mengandung sejumlah gen homosigot resesif disilangkan dengan individu jantan homosigot dominan. Keturunannya diharapkan semuanya berfenotip dominan. Ternyata ada sejumlah keturunan yang tidak. Hal ini berarti bahwa ada mutasi yang terjadi dari alel dominan menjadi alel resesif. Apabila ada 500.000 individu yang disilangkan dan dihasilkan sekitar 35 ekor individu mutan, maka kecepatan mutasinya sekitar  $8 \times 10^{-4}$ . Hasil ini mungkin agak bervariasi, karena ada gen yang mudah bermutasi dan ada yang sukar bermutasi.

Tabel 1.2.  
Kecepatan Mutasi Suatu Gen pada Berbagai-macam Organisme

Organisme	Gen yang Bermutasi	Kecepatan Mutasi
Bacteriophage T <sub>2</sub>	inhibitor lisis: r II <sup>-</sup> → r II <sup>+</sup>	1 × 10 <sup>-3</sup>
Bacteriophage T <sub>2</sub>	host range: h <sup>+</sup> → h <sup>-</sup>	3 × 10 <sup>-9</sup>
<i>E. Coli</i>	fermentasi laktosa: lac <sup>-</sup> → lac <sup>+</sup>	2 × 10 <sup>-7</sup>
<i>E. Coli</i>	sensitif thd phage: T <sub>2</sub> : T <sub>1</sub> <sup>-s</sup> → T <sub>1</sub> <sup>r</sup>	2 × 10 <sup>-8</sup>
<i>E. Coli</i>	histidin: his <sup>-</sup> → his <sup>+</sup>	4 × 10 <sup>-8</sup>
<i>E. Coli</i>	histidin: his <sup>+</sup> → his <sup>-</sup>	2 × 10 <sup>-6</sup>
<i>E. Coli</i>	streptomisin: str-s → str-d	1 × 10 <sup>-9</sup>
<i>E. Coli</i>	streptomisin: str-d → str-s	1 × 10 <sup>-8</sup>
<i>Chlamydomonas</i>	streptomisin: str <sup>s</sup> → str <sup>r</sup>	1 × 10 <sup>-6</sup>
<i>Neurospora crassa</i>	Inositol: inos <sup>-</sup> → inos <sup>+</sup>	8 × 10 <sup>-8</sup>
<i>Neurospora crassa</i>	Adenin: ade <sup>-</sup> → ade <sup>+</sup>	4 × 10 <sup>-8</sup>
<i>Zea masy</i>	biji berkerut: sh → sh	1 × 10 <sup>-5</sup>
<i>Zea masy</i>	biji ungu: P → p	1 × 10 <sup>-6</sup>
<i>Drosophila</i>	tubuh kuning jantan: Y → y	1 × 10 <sup>-4</sup>
<i>Drosophila</i>	tubuh kuning betina: Y → y	4 × 10 <sup>-5</sup>
<i>Drosophila</i>	mata putih: W → w	1 × 10 <sup>-6</sup>
<i>Mus musculus</i>	bulu belang: S → s	3 × 10 <sup>-5</sup>
<i>Mus musculus</i>	bulu campur: S → s	3 × 10 <sup>-5</sup>
Manusia	normal → hemofili	3 × 10 <sup>-5</sup>
Manusia	normal → albino	3 × 10 <sup>-5</sup>

Dari tabel tersebut di atas, ternyata kecepatan mutasi tidak sama. Kecepatan mutasi secara resiprokal resisten – sensitif atau sensitif -resisten, atau dominan – resesif dan sebaliknya biasanya tidak sama, demikian pula kecepatan mutasi antara jantan dan betina tidak sama.

## F. PEMISAHAN WAKTU GEOLOGI

Waktu geologi dipisah-pisahkan atas sejumlah Eon, Era (3-4), Periode, Kurun atau epok dan Formasi atau Masa. Walaupun demikian, Kurun dan Formasi tidak banyak dipakai dalam buku-buku, kecuali untuk Era Senozoik. Suatu Era dapat menyangkut banyak Periode, dan satu Periode dapat terdiri dari beberapa Kurun dan seterusnya.

Perhatikan profil fosil pada Tabel 1.3. Di sana dapat kita lihat bahwa keberadaan fosil pada dasarnya menunjukkan kapan fosil suatu organisme mulai ada dalam lapisan tanah. Namun keberadaan suatu organisme dalam

bentuk fosil tidak menjamin bahwa organisme tersebut baru muncul. Hal ini disebabkan oleh individu yang menjadi fosil jumlahnya sangat sedikit kalau dibandingkan dengan organisme yang ada. Dari 5 miliar manusia yang hidup di muka bumi sekarang, belum tentu ada satu orang pun yang menjadi fosil. Selain itu, sudah didiskusikan di atas, bahwa dengan adanya kemungkinan transportasi, menyebabkan suatu fosil dapat berada dalam lapisan yang lain. Hal ini mungkin dapat ditelusuri dengan melihat profil fosil kelompok tersebut. Adanya celah dalam profil fosil dapat memberikan petunjuk adanya transportasi, namun adanya celah pada awal keberadaan suatu kelompok dapat mencerminkan sedikitnya anggota kelompok tersebut pada waktu itu. Meskipun awal keberadaan suatu organisme dapat ditunjukkan oleh keberadaan fosilnya, besar kemungkinan bahwa organisme tersebut sudah ada jauh sebelumnya, tetapi tidak ada yang menjadi fosil.

Pembagian waktu Geologi umumnya didasarkan atas macam-macam fosil dominan yang ditemukan, dan bukan atas lamanya suatu Eon, Era, atau Periode. Suatu Periode dan Kurun biasanya dibagi lagi atas bagian yaitu: **atas, tengah** dan **bawah**, atau **awal, tengah** dan **akhir**, namun hal ini dapat dilakukan untuk setiap pembagian waktu yang ada. Pembagian yang lebih kecil, pada dasarnya akan sangat berbeda dari daerah ke daerah. Misalnya ada Formasi Trinil atau Formasi Sampung dan lain-lain di Jawa Tengah. Penamaan suatu lapisan biasanya dikaitkan pula dengan tempat fosil dan macam batuan tersebut ditemukan.

Selain fosil dan waktu (umur), Skala waktu Geologi dapat memberikan gambaran yang cukup lengkap mengenai hal-hal lainnya. Tetapi apabila semuanya digambarkan, maka dibutuhkan suatu lembaran yang relatif besar. Oleh karena itu, hanya digambarkan hal-hal yang penting saja, misalnya kehidupan darat dan laut, kepunahan, glasiasi dan cuaca secara umum serta sedikit mengenai pergeseran benua.

Tabel 1.3.  
Data Fosil dari Sejumlah Kelompok Organisme dan Waktu Munculnya di Permukaan Bumi

	Periode	Umur	TS	SU	CU	JI	JA	OL	CH	AC	CO	IN	KA	LA	TR	UL	AM	RE	VH	
M E S O	Permintaan atas bawah	248	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		258	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		286	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
P A L E O S O I K	Karbonian atas (Pensylvanian)	296	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		316	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		333	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	(Mississipian) bawah	352	x	x	x	x	x	x	+	x	x	x	x	+	x	x	x	x	+	+
		360	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	+	x	x	x	x	+	+
		367	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	+	+
	Devonian atas tengah	374	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	+	+
		380	x	x	x	x	x	x		x	+	x	x		x	x	x	x	+	+
		387	x	x	x	x	x	x		x	+	x	x		+	x	x	x	+	+
	Bawah	394	x	x	x	x	x	x		x	+	x	x			x	x	x	+	+
		401	x	x	x	x	x	x		x	+	x	x			x	x	x	+	+
		408	x	x	x	x	x	x		x	+	x	x			-	-	-	-	-
	Silurian atas	414	x	x	x	x	x	x			?	+								
		421	x	x	x	x	x	x		+										
		428	x	x	x	x	x	x												
Bawah	438	x	x	x	x	x	x													
	448	x	x	x	x	x	?													
	458	x	x	x	x	x														
Tengah	468	x	x	x	x	x														
	478	x	x	x	x	x														
	488	x	x	x	x	x														
Bawah	488	x	x	x	x	x														
	505	x	x	x	x	x														

**Keterangan:**

TS = Tetraspora;  
SU = Spora organisme uniselular;  
CU = Kutikula;  
JI = Jaringan Ikat;  
JA = Jamur Ascomycetes;  
OL = Oligochaeta;  
CH = Chilopoda;  
AC = Acarina;  
CO = Collembola;

IN = Insecta;  
KA = Kalajengking;  
LA = Laba-laba;  
TR = Trigonatarbidae;  
UL = Ular;  
AM = Amfibia;  
RE = Reptilia;  
VH = Vertebrata herbivora

Tabel 1.4.  
Contoh Pembagian Waktu Geologi yang Lebih Terperinci

Juta Tahun	Eon	Era	Periode	Kurun	Formasi	Kejadian	
65	P	M	Kretasea atas	Seronian	Maatrichtian		
73					Campanian		
83					Santonian		
87,5	H			E	Turonian		Irian berpisah
91	A			S	Cenomanian		
97,5					Albian		
113	N	O	Kretasea bawah	Aptian			
119	E			Barremian		Clavatipollenitis pollen	
125	Z			Hauterivian			
131	R	O	J	Neocomian	Valanginian		
138					Berriasian		
144	O	I	U	akhir	Tithonian		
150					K	Kimmerridgian	
156					Z	Oxfordian	Pemisahan Asia sempurna
163	O			R	Tengah	Callovian	
169						Bathonian	
175	I			A	K	Bajocian	
181		Aalencian					
188		K	S			Awal	Toarcian
194	Pliensbachian						
200	Sinemurian						
206							

Tabel 1.5.  
Pembagian Waktu Geologi

Eon	Era	Periode	Kurun	Kehidupan Air	Kehidupan Darat
P H A N E R O Z O I K	Kuarter	0,5-3 juta	Sekarang	Semua kehidupan ada	Manusia
	Senosoik 63 ± 2 juta (Tertier)	Tahun yl	Pleistosen 3	<i>Glassiasi, pergeseran benua</i> <i>Amerika Utara, Eropa, Australia, Antartika terpisah</i>	Terjadinya evolusi kebudayaan Manusia pertama
		Tersier 65 ± 2 juta	Plosen 5 Miosen 24 Oligosen 37 Eosen 54 Paleosen 65	Semua kehidupan ada	Hominidae dan Pongidae Monyet dan kerabatnya Radiasi adaptasi burung Mamalia modern Angiospermae Yang berbatang basah
	Meosik 230 ± 10 juta	Kretasea 144 ± 5 juta		Ikan bertulang Kepunahan ammonit Pleiosaurus Ichtyasaurus <i>Amerika Selatan dan Afrika berpisah</i>	Kepunahan Dinosaurus Timbulnya Angiospermae berkayu
	(Secondary)	Jurasik  213 ± 5 juta  (Oolitic)		Plesiosaurus & Ichtyosaurus Ammonit berlimpah Ikan bertulang rawan dan Ikan biasa berlimpah <i>Pangea dan Godwan mulai berpisah</i>	Dinosaurus dominan Kadal pertama Archeopteryx Serangga berlimpah Angiospermae pertama
		Triasik  248 ± 10 juta		Pleiosaurus pertama Ichtyosaurus, Ammonit  Ikan bertulang	Radiasi reptilia, kura-kura, buaya thecondonta, therapsida dinosaurus pertama, mammalia pertama
	Permian  286 ± 10 juta		Punahnya Trilobit dan  Placoderm <i>glasiasi dan kekeringan</i>	Cotylosaurus dan Peleosaurus  Reptilia lain dominan Cycas, Gynko, Conifera	





## LATIHAN

---

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Bagaimanakah kita menghitung umur suatu fosil atau batuan?
- 2) Hal-hal apa saja yang dapat mempengaruhi penentuan umur suatu batuan atau fosil?
- 3) Apabila ratio  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  dalam batuan adalah 0.36, berapakah umur batuan tersebut?
- 4) Mengapa rekonstruksi masa lampau dapat demikian akurat dan bagaimanakah caranya?
- 5) Ada berapa kategori pembagian waktu geologi?

### *Petunjuk Jawaban Latihan*

- 1) Dengan zat radioaktif
- 2) Transpor dan pencucian
- 3)  $t = 1/(1,537 \times 10^{-10}) \ln (1.360) = (6.508 \times 10^9) \times (0,307) = 1,998 \times 10^7$  tahun.
- 4) Karena menggunakan cara penghitungan dari beberapa macam zat radioaktif, data fosil yang dipakai secara eksensif dan didukung oleh banyak ahli, sehingga selalu terjadi perbaikan.
- 5) Ada 5 kategori Eron, Era, Periode, Kurun, dan Formasi



## RANGKUMAN

---

Sistem tata surya kita mungkin terbentuk 4.600 juta tahun yang lalu, dari gumpalan materi gas di angkasa luar yang berputar dan akhirnya memadat. Akibat benturan dengan bintang lain, maka terbentuklah planet-planet dengan bulan-bulannya. Pendinginan bumi tidak terjadi secara serempak, sehingga mengakibatkan adanya daratan dan gunung yang tinggi. Karena ketidakrataan pendinginan, maka daratan berpindah-pindah seperti berlayar dari satu tempat ke tempat yang lain. Selama 1500 juta tahun lamanya bumi belum berpenghuni dan selama 2000 juta tahun setelah bumi terbentuk, pada umumnya baru dihuni organisme bersel satu. Kehidupan di darat baru muncul sekitar 425 juta tahun yang

lalu. Kehidupan di daratan tersebut dimulai dengan munculnya serangga dan tumbuh-tumbuhan rawa. Meskipun Vertebrata sudah mulai ada sekitar 500 juta tahun yang lalu, namun manusia baru muncul sekitar 4,8 juta tahun yang lalu. Lamanya keberadaan manusia di muka bumi tidak berarti banyak dibandingkan dengan umur bumi. Walaupun demikian, manusia penyebab paling banyak perubahan.

Untuk mengkaji hal-hal yang telah terjadi ribuan tahun digunakan sejumlah metode, antara lain zat radioaktif untuk menghitung waktu, korelasinya dengan batuan, dan tempat, maka para ahli menyusun Waktu geologi yang menggambarkan juga bagaimana dinamika permukaan bumi dan segala isinya sejalan dengan waktu.



## TES FORMATIF 2

---

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Waktu Geologi adalah ....
  - A. menerangkan macam organisme yang hidup pada suatu masa
  - B. memprediksi cuaca pada setiap masa
  - C. didasarkan atas umur suatu batuan
  - D. menerangkan adanya kepunahan
  
- 2) Penentuan umur suatu fosil dapat menggunakan zat radioaktif ....
  - A. Thalium
  - B. Uranium
  - C. Strontium
  - D. Radium
  
- 3) Data polen dapat memberikan gambaran mengenai ....
  - A. curah hujan
  - B. macam tumbuhan
  - C. habitat
  - D. cuaca
  
- 4) Penentuan umur atau waktu divergensi dengan DNA ....
  - A. tidak dapat dipercaya
  - B. bervariasi antar organisme
  - C. bervariasi antar gen
  - D. bervariasi antar individu

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 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.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

## KEGIATAN BELAJAR 3

## Kemunculan dan Kepunahan

Suatu organisme mempunyai masanya masing-masing. Kemunculan suatu organisme dapat terjadi karena adanya relung baru atau relung yang ditinggalkan. Selain itu ada sejumlah persyaratan yang diperlukan yang mendukung terbentuknya suatu jenis baru. Hal ini akan diterangkan di bawah ini.

**A. KEMUNCULAN KELOMPOK ORGANISME TERTENTU**

Beberapa waktu yang lalu, dunia perfilman digegerkan oleh film Jurassic Park. Dalam film itu diceritakan mengenai dihidupkannya Dinosaurius yang berasal dari zaman Jurasik. Berapa lamakah zaman Jurasik itu? Kapan zaman itu berlalu dan mengapa?

Evolusi adalah proses yang berlangsung sejak asal mula adanya kehidupan. Kapan kehidupan mulai ada, tidak dapat diketahui dengan pasti. Satu-satunya data yang dapat diperoleh mengenai hal ini adalah adanya fosil. Dari data yang dihimpun oleh ahli paleontologi diketahui bahwa fosil tertua yang ditemukan berumur sekitar 490 juta tahun. Maka kehidupan diperkirakan mulai pada akhir masa Prekambrian, sekitar 700 juta tahun yang lalu. Data ini pun masih merupakan dugaan, karena pada masa itu, tentu jumlah organisme masih sangat sedikit, sehingga fosil tidak mungkin dijumpai pada lapisan tanah. Pada waktu itu, habitat yang mungkin ada adalah air. Dengan demikian, dapat diperkirakan bahwa muka bumi masih dihuni oleh Prokariot dan organisme bersel satu, terutama ganggang biru, yang kemudian diikuti oleh lumut kerak dan lumut yang menghuni sekitar pantai. Suhu permukaan bumi pun diperkirakan masih jauh lebih panas dan oksigen mungkin meliputi hanya sekitar 10% dari apa yang ada sekarang. Lapisan yang mengandung fosil tertua (*Stromatolites*) berupa spora, ditemukan di daerah pantai di Arabia dan Australia dan berumur sekitar 470 juta tahun yang lalu. Hal ini berarti bahwa ekosistem yang ada baru terdapat sekitar 480 juta tahun yang lalu. Setelah periode itu baru ditemukan fosil yang lebih muda di banyak daerah lain. Dari Tabel 1.4 dan 1.5 dapat kita lihat kapan suatu kelompok organisme mulai muncul di permukaan bumi sesuai dengan data fosil yang ada. Garis titik-titik menunjukkan bahwa data

fosil masih jarang dijumpai. Apabila kita bandingkan kedua tabel tersebut, maka terlihat bahwa waktu geologi yang diberikan tidak sama. Hal ini disebabkan oleh sumber yang diambil tidak sama. Tabel 1.5 pada kegiatan belajar 1 mungkin lebih tepat, karena didasarkan atas publikasi yang relatif baru (1993). Meskipun umur tidak dapat begitu saja diabaikan, namun dari tabel tersebut di atas dapat kita lihat bagaimana proses terjadinya kehidupan itu terjadi. Misalnya kalau kita mengambil contoh manusia, maka manusia baru muncul di permukaan bumi sekitar 500.000 tahun yang lalu. Sedangkan Protozoa dan Prokariot lain diperkirakan sudah ada sekitar 3000 juta tahun yang lalu. Jadi proses kehidupan dapat pula kita telusuri melalui data fosil. Seperti sudah dikemukakan di atas, data umur sangat bervariasi. Variasi tersebut akan bertambah besar, kalau kita menggunakan data biologi lainnya yang akan didiskusikan kemudian.

## **B. TEORI TENTANG KEMUNCULAN DAN KEPUNAHAN REPTILIA BESAR**

Banyak orang menganggap bahwa Mammalia menguasai muka bumi, namun hal ini disebabkan dominasi manusialah (*Homo sapiens*) yang merupakan penyebab utama anggapan tersebut. Tidak dapat disangkal bahwa sebenarnya Reptilia merupakan organisme yang paling sukses di muka bumi. Meskipun Reptilia tidak lagi merajai permukaan bumi, namun jumlah yang kini masih hidup di muka bumi tidak dapat dikatakan sedikit, dan kini hanya disaingi oleh kelompok Pisces. Lamanya Reptilia menguasai permukaan bumi juga menunjukkan bahwa kelompok ini merupakan pemula di daratan dan pernah menjadi penguasa daratan (diwakili oleh macam-macam *Dinosaurus*). Reptilia pernah menguasai air (diwakili oleh *Mesosaurus*), daratan (*Tyranosaurus*) dan udara (*Pteranodon*). Data mengenai Reptilia yang hidup di dalam tanah sayangnya tidak banyak diketahui.

Untuk mengkaji bagaimana Reptilia timbul dan hilang (terutama *Dinosaurus*) dari muka bumi, kita dapat mempelajari konsekuensi-konsekuensi dari kehidupan Reptilia sejak munculnya di muka bumi hingga punahnya. Sebagai hewan Vertebrata yang pertama muncul sebagai hewan daratan, maka Reptilia mempunyai konsekuensi untuk mengatasi masalah kekeringan. Sebenarnya Vertebrata pertama yang muncul di daratan adalah Amphibia, tetapi Amphibia dalam hal ini tidak diperhitungkan, karena sebagian besar kehidupannya berlangsung di dalam air atau di permukaan,

sehingga tidak banyak menghadapi konsekuensi kekeringan. Sedangkan Reptilia benar-benar merupakan hewan Vertebrata daratan.

Sejarah kemunculan Reptilia di daratan ditandai dengan:

1. Terbentuknya sel telur berdinding ganda (Telur Amniota)
2. Kulit tubuh yang ditutupi perisai (misalnya kura-kura dan Dinosaurius) atau sisik guna melindungi diri terhadap kekeringan.
3. Terbentuknya sistem ekskresi yang terpisah kalau dibandingkan dengan hewan Vertebrata lainnya yang telah ada sebelumnya (Ikan, Amfibi).
4. Terbentuknya anggota gerak
5. Terbentuknya alat indera penglihatan, pendengaran, penciuman, dan pengecapan yang lebih baik

### **C. TERBENTUKNYA SEL TELUR BERDINDING GANDA (AMNIOTA)**

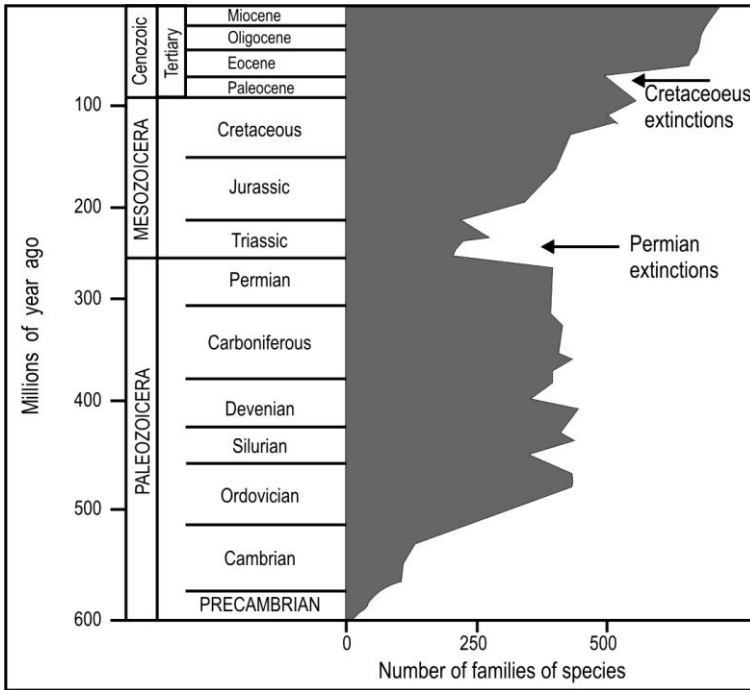
1. Kapan terbentuknya telur amniota tidak dapat ditelusuri dengan baik, karena sedikitnya data fosil. Dalam hal ini harus kita pahami bahwa Reptilia pertama yang muncul di permukaan bumi seharusnya berukuran relatif kecil, tetapi karena berukuran kecil, maka data fosilnya pun sangat terbatas. Walaupun demikian, berlandaskan pada logika, ada beberapa tahapan yang perlu dilalui kalau kita tinjau keadaan telur ikan dan amfibi jika dibandingkan dengan tipe telur yang dimiliki Reptilia.
2. Konsekuensi dari sel telur berdinding ganda (kapur dan selaput amnion) mengharuskan fertilisasi internal sebagai satu-satunya alternatif reproduksi. Dengan demikian alat kelamin sekunder jantan merupakan struktur pertama yang muncul di kelompok Vertebrata pada Reptilia (dalam bentuk sepasang hemipenis).
3. Konsekuensi lain dari munculnya sel telur berdinding kapur memerlukan suatu perubahan penting kalau dibandingkan dengan telur amfibi atau ikan, karena kulit kapur tersebut harus dapat menghubungkan embrio dengan dunia luar untuk pertukaran gas antara Oksigen dan Karbon dioksida).
4. Telur Reptilia ternyata ditunjang dengan terbentuknya membran amnion. Membran amnion berguna untuk menangkap oksigen yang masuk melalui dinding sel kapur tersebut. Hal ini memberikan konsekuensi

bahwa telur pertama tidak mungkin terlalu besar agar pertukaran gas dapat berlangsung dengan baik.

5. Konsekuensi lainnya adalah digantikannya insang dengan paru-paru (tahap ini sudah dilalui oleh Amfibia).
6. Naiknya Reptilia ke daratan memberikan konsekuensi pula pada alat indera.
7. Mata yang dilindungi dengan membran nictitans digantikan dengan mata yang berkelopak, yang berfungsi untuk melindungi dari bahaya kekeringan.
8. Alat pendengaran yang sebelumnya terdapat pada rahang bawah (Pisces) mulai berangsur digantikan dengan telinga dalam, karena juga menghadapi tantangan kekeringan. Fungsi telinga lebih diperlukan apabila dibandingkan dengan kehidupan di dalam air, untuk mencari mangsa dan menghindari dari predator. Di dalam air, ikan dan amfibi menggunakan linea lateralis yang langsung berhubungan dengan air sebagai media, namun struktur tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik di daratan.

#### **D. KEPUNAHAN (TERMASUK REPTILIA BESAR - DINOSAURUS)**

Dalam sejarah muka bumi telah tercatat adanya lima kali peristiwa kepunahan besar-besaran. Hal ini terjadi pada masa Kambrian, Ordovisian, Devonian, Permian dan Kretasea. Di antara kelima peristiwa kematian massal, maka peristiwa kematian massal pada periode Permian merupakan kejadian yang paling buruk dalam sejarah bumi. Pada waktu itu sekitar 75% organisme punah. Namun pada masa Kretasea sebelum peristiwa kematian massal, jumlah organisme hidup sudah melebihi keadaan sebelum peristiwa kematian Permian. Setelah peristiwa kematian Kretasea, maka kini jumlah organisme pun masih meningkat lagi sehingga diperkirakan jumlah organisme sudah dua kali lipat daripada keadaan sebelum peristiwa kematian Permian (lihat Gambar 1.2)



Gambar 1.2.  
Kepunahan massal (Campbell, 23.13)

Perhatikan dalam gambar ini bahwa sejak zaman Kambrian hingga zaman Kretasea, jumlah fosil mengalami penurunan secara mendadak. Penurunan terbesar terjadi pada jaman Permian. Hal ini menggambarkan adanya kepunahan Masal. Adanya penurunan pada akhir zaman Kambrian, Ordovisian, Silurian, Devonian, Triasik dan Kretasea menunjukkan kapan terjadi kepunahan massal.

Apakah yang menyebabkan peristiwa kematian tersebut di atas. Ada sejumlah teori yang dikemukakan para ahli, dan kemungkinan besar beberapa teori dapat bekerja secara simultan atau merupakan akibat dari kemungkinan terdahulu, yaitu:

### 1. Teori Pergerakan Benua dan Terbentuknya Pangea

Akibat bergeraknya benua, maka jumlah panjang pantai menjadi sangat pendek dibandingkan dengan keadaan apabila bumi terdiri dari banyak benua. Hal ini menyebabkan sejumlah besar organisme laut yang hidup di air



dangkal akan punah. Selain itu konsekuensi yang juga timbul adalah adanya satu daratan menyebabkan timbulnya perubahan cuaca yang drastis. Sebagai contoh, semua daratan di berbagai benua (Afrika, Asia dan Amerika Utara) akan memiliki daerah gurun. Daratan yang luas dan datar menyebabkan daerah tengah tidak mendapat cukup air hujan, karena hujan sudah turun di daerah yang tidak terlalu jauh dari pantai. Akibat timbulnya gurun yang besar, maka sebagian besar iklim akan menjadi berubah, kering. Sebagian besar organisme daratan dan air akan punah.

## **2. Teori Vulkanisme**

Vulkanisme akan menimbulkan perubahan yang besar untuk suatu daerah. Letusan suatu gunung berapi dapat berlangsung berbulan-bulan dan akibatnya paling tidak mempengaruhi sebagian muka bumi. Di Indonesia kita mengenal beberapa kepundan yang sangat besar dan garis tengahnya lebih dari 20 km, misalnya Danau Toba, Danau Tondano, dan Daerah Dieng. Diperkirakan bahwa letusan gunung tersebut beberapa ratus kali lebih dahsyat daripada letusan Gunung Krakatau. Akibat letusan gunung Krakatau saja, banjir besar menimpa daerah Negeri Belanda yang berjarak puluhan ribu kilometer. Apabila ada sejumlah besar gunung berapi sebesar gunung Krakatau atau Tambora meletus, maka akan timbul kegelapan selama berbulan-bulan. Hal ini akan menyebabkan perubahan cuaca yang drastis. Pengaruh letusan Gunung Galunggung saja telah hampir memusnahkan beberapa spesies di Jawa. Di Pangandaran, jumlah banteng tinggal tiga ekor dari sekitar 35 ekor sebelumnya. Menurut hasil visum, kebanyakan banteng mati karena ada deposit debu vulkanis di paru-paru, dan sejumlah besar abu vulkanis di dalam lambung yang tidak dapat dikeluarkan dengan feces, mungkin karena terlalu berat.

## **3. Teori Meteorit atau Supernova**

Meteorit berukuran sangat besar yang menabrak bumi akan menyebabkan perubahan iklim global, selain menimbulkan gempa bumi, akan memberikan akibat yang serupa dengan letusan gunung berapi, yang berarti perubahan cuaca. Ledakan supernova (bintang raksasa) di luar angkasa akan menyebarkan debu bintang yang mungkin menimbulkan kegelapan. Debu bintang dapat pula mempengaruhi magnetik bumi. Apabila kutub magnetik bumi berubah, maka akan terjadi gempa bumi, karena poros bumi mengalami perubahan. Menurut penelitian, kutub magnetik bumi

memang sudah tidak tepat dari yang diperhitungkan dahulu. Selain itu meteorit atau supernova dapat membawa suatu unsur seperti logam berat (misalnya Iridium) yang beracun bagi kehidupan di muka bumi (lihat Tabel 1.7)

Dari Tabel 1.6 dapat dilihat bahwa kematian massal sering terjadi dalam sejarah kehidupan muka bumi, tetapi hanya kematian massal pada periode Kretasea-Paleosen; Devonian-Karboniferus II, dan Permian-Triasik I, jumlah Iridium jauh di atas normal. Jadi kematian massal akibat meteorit hanya mungkin terjadi pada dua peristiwa saja.

Tabel 1.6.  
Pengaruh yang ditimbulkan akibat kepunahan massal

Periode	Kemungkinan penyebab kepunahan massal
Eosen-Oligosen	Pendinginan bumi (glasiasi), pergantian arus laut
Akhir Kretasea	Benturan meteorit
Akhir Triasik	Kenaikan curah hujan
Akhir Permian	Meteorit?, Pendinginan bumi (glasiasi), Pangea
Akhir Devonian	Meteorit?, Pendinginan bumi (glasiasi)
Akhir Ordovisian	Vulkanisme, Berkurangnya lapisan es di Gondwana
Eosen-Oligosen	Pendinginan bumi (glasiasi), pergantian arus laut

Tabel 1.7.  
Kadar Iridium yang Terdapat Setelah Kepunahan Masal

Periode	Kepunahan	Kadar Iridium
Kretasea-Paleosen	massal	tinggi sekali (3000 ppt)
Eosen-Oligosen II	massal	sedikit
Eosen-Oligosen II	massal	sedikit
Eosen-Oligosen I	massal	sedikit
Permian - Triasik III	massal	sedikit
Permian - Triasik II	massal	normal
Permian - Triasik I	massal	10 kali lipat
Devonian-Karboniferus II	massal	3-7 kali lipat
Devonian-Karboniferus I	massal	sedikit
Ordovisian-Silurian II	massal	normal
Ordovisian-Silurian I	massal	normal
Prekambrian-Kambrian II	massal	sedikit
Prekambrian-Kambrian I	normal	sedikit

Adanya benturan meteorit dapat dibuktikan dengan adanya retakan pada sejumlah besar kristal yang ada. Retakan kristal yang dimaksudkan adalah

suatu kristal yang mempunyai banyak sekali retakan, meskipun tidak hancur. Hal ini hanya dapat terjadi kalau ada benturan yang kuat sekali. Salah satu bukti lain yang kuat untuk menunjukkan adanya benturan meteorit adalah adanya kawah yang besar.

#### **4. Teori Glasiasi**

Turunnya hujan salju selama satu minggu di kota Roma menjadi berita utama di tahun 1987. Hal ini disebabkan kota Roma tidak setiap tahun kedatangan salju. Biasanya hujan salju yang turun di sana hanya berlangsung beberapa menit sampai satu jam dan kejadian semacam itu biasanya hanya sepuluh tahun sekali. Pada tahun 1987, salju menumpuk sampai hampir dua meter, lalu lintas terputus, listrik mengalami banyak gangguan. Akibatnya puluhan orang meninggal dunia karena kedinginan dan kelaparan. Gambaran peristiwa di atas dapat terjadi lebih parah lagi di masa lalu. Apabila hal itu terjadi di kota, bagaimana pula keadaannya di alam terbuka. Banyak satwa yang mati, dan tanaman yang hancur. Adanya zaman es menyebabkan cuaca bumi menurun secara drastis dan menimbulkan kematian masal bagi organisme yang tidak beradaptasi. Menurunnya suhu bumi sebanyak satu derajat saja sudah dapat memperluas lingkaran kutub menjadi beberapa puluh ribu km<sup>2</sup>, dan hal ini menyebabkan kematian organisme di sekitar daerah tersebut.

#### **5. Adanya Air Bah**

Air merupakan penyebab kepunahan yang paling umum dijumpai. Hujan yang turun selama empat atau lima hari sudah menimbulkan banjir, tanah longsor dan kerusakan tempat penghunian, ladang, dan hewan ternak. Akibat hujan beberapa hari saja sudah dapat menaikkan air sampai beberapa meter dan di daerah muara dapat sampai belasan meter. Akibatnya seperti yang kita lihat di Bangladesh. Banyak ternak yang mati, dan tanaman pangan rusak total. Apabila hal ini berlangsung beberapa minggu saja, maka seluruh daerah akan mati dan meninggalkan pohon-pohon yang besar saja. Sesudah banjir biasanya penyakit mewabah, sehingga apa yang tertinggal ikut mati pula apabila tidak ditangani.

Air dapat disebabkan glasiasi berakhir, misalnya seluruh dataran Sunda dan dataran Sahul terendam air, meninggalkan daerah dataran tinggi saja dan menjadikan Indonesia berbentuk kepulauan. Banyaknya organisme yang punah tidak dapat diperkirakan.

## 6. Teori Epidemii atau Pandemi

Kematian massal suatu organisme misalnya setelah glasiasi atau banjir selain memunahkan organisme yang terdapat di daerah tersebut, juga akan menimbulkan penyakit lainnya. Ada proses pembusukan besar-besaran, dan penyakit berkembang dengan pesat karena sanitasi yang buruk. Akibatnya banyak organisme lain yang ikut mati karena jumlah mikroba pembusuk meningkat dan menimbulkan infeksi pada organisme yang hidup di sekitarnya.

## 7. Teori Naiknya Suhu Muka Bumi (*Greenhouse Effect*)

Adanya jumlah CO<sub>2</sub> yang besar akan menyebabkan temperatur muka bumi naik. Hal ini disebabkan oleh CO<sub>2</sub> akan membentuk lapisan yang menghambat masuknya sinar matahari. Akibatnya setiap pemanasan pada siang hari akan tetap tertahan pada malam hari, dan dengan demikian, udara bertambah lama bertambah panas.

## 8. Teori Radiasi Ultraviolet dan Lubang Ozon

Lubang ozon menimbulkan mutasi pada organisme karena kemampuan sinar ultraviolet menembus sel dan memotong-motong DNA. Rusaknya DNA umumnya menyebabkan organisme yang dikenai sinar ultraviolet mengalami mutasi yang kemungkinan besar merugikan sehingga punah. Dengan adanya lubang ozon, maka suhu muka bumi akan naik dan contoh pada masa kini adalah banyaknya organisme yang punah akibat naiknya temperatur muka bumi.

## 9. Teori Berkembangnya Mamalia Kecil Setelah Perubahan Temperatur Global

Mamalia kecil diperkirakan mulai berkembang di muka bumi tidak lama setelah kemunculan Reptilia. Sebelumnya, Mamalia tertekan perkembangannya karena bersaing dengan Dinosaurus. Namun pada waktu terjadi perubahan muka bumi, keberadaan Mamalia tidak banyak terpengaruh, sebaliknya sebagian besar Dinosaurus punah.

## 10. Teori Campur Tangannya Manusia

Hal ini terutama berlaku untuk buaya, penyu, dan kura-kura besar. Penyebabnya adalah karena "*over harvesting*" dan "*over exploiting*" untuk kesenangan atau ketamakan sekelompok orang dan rasa sekuriti kelompok yang lain.

Dari sepuluh penyebab utama yang disebutkan di atas, maka hanya tiga penyebab utama (epidemi, Mamalia, dan manusia) yang tidak mempengaruhi perubahan temperatur muka bumi secara umum, kecuali pada zaman modern. Mengapa naik turunnya temperatur muka bumi berpengaruh pada kepunahan reptilia, terutama Dinosaurus?

Hal ini disebabkan:

- a. Kebanyakan Reptilia tidak mengerami telurnya, tetapi menguburnya di dalam tanah.
- b. Kebanyakan Reptilia mempunyai determinasi seks yang bergantung kepada temperatur. Hal ini berarti bahwa suhu lingkungan akan menentukan jenis kelamin organisme yang akan menetas dari telur.
- c. Mengapa keberadaan Mamalia menjadi ancaman bagi Reptilia? Kalau temperatur bumi turun, maka Reptilia memerlukan waktu yang lebih lama untuk aktif, sedangkan Mamalia tidak demikian. Diperkirakan sifat homoioterm merupakan kunci keberhasilan Mamalia. Karena kemampuan termoregulasi, maka kenaikan suhu bumi, keberadaan Mamalia tidak terpengaruh sebesar pengaruh yang terjadi pada organisme poikiloterm.
- d. Kalau temperatur bumi naik, maka Reptilia harus bersembunyi karena kalau tidak mereka dapat hiperaktif dan memerlukan energi tinggi, sehingga ketersediaan mangsa menjadi masalah pokok. Hal ini disebabkan Reptilia tidak mempunyai kemampuan termoregulasi yang baik. Mamalia memang ikut menderita pada zaman glasiasi, tetapi dapat mengatur suhu tubuhnya secara lebih mudah, sehingga tidak perlu menjadi hiperaktif.
- e. Pada masa kepunahan, maka sebagian besar organisme punah, dan ini berarti punahnya sebagian besar mangsa. Reptilia berukuran besar akan lebih sulit mencari mangsa, tetapi tidak demikian bagi Reptilia kecil dan Mamalia. Mereka bersaing, tetapi Mamalia dapat aktif siang atau malam, sedangkan Reptilia lebih terbatas jam operasinya karena perlu penyesuaian diri terhadap lingkungan yang waktunya lebih lambat dibandingkan Mamalia. Mamalia kecil yang lebih gesit mempunyai kemampuan menyembunyikan diri dari Reptilia berukuran besar.
- f. Telur Reptilia merupakan mangsa bagi Reptilia lain dan Mamalia kecil, sedangkan Mamalia tidak mempunyai telur yang bebas yang dapat di mangsa organisme lain.

- g. Mamalia menjaga anaknya, sedangkan kebanyakan Reptilia tidak.  
 h. Konsekuensi dari determinasi seks yang bergantung kepada temperatur.

Reptilia mempunyai determinasi seks yang bergantung kepada temperatur. Apabila kita kaji strategi reproduksi reptilia, diketahui bahwa proses pematangan telur ditentukan oleh penyinaran matahari. Di sini tidak ada masalah apakah temperatur muka bumi naik atau turun. Adanya perubahan temperatur akan mengakibatkan timbulnya salah satu jenis kelamin saja, jantan atau betina. Dengan demikian, semua telur yang menetas akan menghasilkan salah satu jenis kelamin saja, sehingga tidak ada regenerasi untuk generasi yang berikutnya. Dalam satu atau dua siklus reproduksi saja, maka jenis tersebut dapat hilang dari muka bumi.

Dari Tabel 1.8 dapat dilihat bahwa akibat dari glasiasi, sejumlah besar organisme yang hidup di darat mati, demikian juga yang hidup di laut, sedangkan yang hidup di dalam air tawar sedikit sekali terpengaruh. Organisme yang hidup di daratan Amerika Utara sedikit terpengaruh, karena berada di daerah iklim temperata.

Tabel 1.8.  
 Jumlah Genera Beberapa Kelompok Organisme di suatu Habitat Sebelum (Kretasea) dan Sesudah (Paleosen) Kepunahan Massal

Organisme	Pra	Pasca	%	Organisme	Pra	Pasca	%
Air tawar				Organisme permukaan laut			
Ikan tulang rawan	4	2		Acritarch	28	10	
Ikan bertulang sejati	11	7		Coccolith	43	4	
Amphibia	9	10		Dinoflagellata	57	43	
Reptilia	12	16		Diatomaea	10	10	
<b>Jumlah</b>	<b>36</b>	<b>35</b>	<b>97</b>	Radiolaria	63	63	
Daratan Amerika Utara				Foraminifera	63	63	
Tumbuhan tinggi	100	90		Ostracoda	79	70	
Siput	16	18		<b>Jumlah</b>	<b>298</b>	<b>173</b>	<b>58</b>
Bivalvia	0	7		Organisme laut (berenang)			
Ikan tulang rawan	4	2		Ammonit	34	0	
Ikan bertulang sejati	11	7		Nautilus	10	7	
Amphibia	9	10		Belemnit	4	0	
Reptilia	54	24		Ikan tulang rawan	70	50	
Mamalia	22	25		Ikan bertulang sejati	85	39	
<b>Jumlah</b>	<b>226</b>	<b>183</b>		Reptilia	29	3	
				<b>Jumlah</b>	<b>332</b>	<b>99</b>	



## LATIHAN

---

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Mengapa ada kemunculan dan kepunahan suatu organisme?
- 2) Mengapa ada organisme yang hidup sangat lama di muka bumi, sedangkan kelompok lain dapat hanya berada “sementara saja” di muka bumi? Berikan faktor-faktor yang mendukung.
- 3) Mengapa manusia muncul terakhir di muka bumi?
- 4) Mengapa kehidupan di daratan muncul begitu lama setelah kehidupan ada?
- 5) Bagaimana cara mengatasi kehidupan di daratan?

### *Petunjuk Jawaban Latihan*

- 1) Antara lain Glasiasi, Vulkanisme, Meteorit, Pergeseran Benua, Lubang Ozon, Penyakit dan Manusia.
- 2) Bergantung kepada gen pool: Berapa besar keanekaragaman yang tersedia.
- 3) Karena manusia adalah hasil proses penyempurnaan dari banyak aspek yang telah ada.
- 4) Karena mekanisme untuk mengatasi kehidupan di daratan banyak sekali dan sangat kompleks.
- 5) Untuk tumbuhan: dinding sel, jaringan pembuluh, akar, daun, kayu, bunga, buah sedangkan untuk hewan adalah kulit, anggota gerak, paru-paru, mata, telinga, penciuman, seks, reproduksi internal, telur, dll. (lihat Kegiatan Belajar 2 dan Modul 6).



## RANGKUMAN

---

1. Masa lampau dapat diamati, direkonstruksi berdasarkan fosil, pollen, zat radioaktif, maupun dengan menggunakan DNA dari organisme aktual
2. Waktu geologi ditentukan oleh macam organisme dominan yang hidup pada masa tersebut.

3. Naiknya fauna dan flora ke daratan merupakan loncatan dalam evolusi, karena memerlukan banyak hal untuk penyesuaian diri di daratan.
4. Setiap organisme mempunyai masa keberadaan masing-masing, karena bumi tidak dapat menampung semua jenis organisme sekaligus
5. Proses kemunculan dan kepunahan sudah merupakan pola dari muka bumi ini
6. Ada banyak alasan yang dapat dikaji untuk menerangkan bagaimana suatu organisme muncul dan punah.
7. Munculnya kehidupan di muka bumi baru terjadi kira-kira setelah bumi berumur relatif tua
8. Prokariot muncul dan punah karena kondisi bumi yang belum stabil.
9. Pada waktu bumi terbentuk, Oksigen belum ada di atmosfer, organisme berkhlorofil yang memberikan kontribusi Oksigen di Atmosfir.
10. Bumi yang kita huni sebelumnya tidak seestabil sekarang. Ada banyak perubahan muka bumi yang menyebabkan kepunahan masal.



### TES FORMATIF 3

---

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Perubahan cuaca dapat timbul karena adanya ....
  - A. aktivitas vulkanisme
  - B. perubahan pada atmosfer
  - C. perubahan pada sumbu rotasi
  - D. benturan dengan meteorit
- 2) Pergeseran benua dapat menyebabkan ....
  - A. percampuran flora dan fauna
  - B. kepunahan flora dan fauna
  - C. timbulnya flora dan fauna baru
  - D. perubahan fauna dan flora
- 3) Adanya mutasi DNA merupakan penyebab kepunahan organisme. Hal ini sesuai dengan teori ....
  - A. naiknya suhu bumi
  - B. *greenhouse effect*



- C. ultraviolet dan lubang ozon
  - D. campur tangan manusia
- 4) Di bawah ini adalah sifat-sifat reptilia yang berpengaruh pada kepunahan dari hewan-hewan reptil tersebut, kecuali ....
- A. sebagian besar reptilia mempunyai determinasi seks yang tergantung pada temperatur.
  - B. telur mamalia merupakan mangsa bagi reptilia lain dan mamalia kecil
  - C. reptilia tidak menjaga anaknya
  - D. kebanyakan mamalia tidak mengubur telurnya di dalam tanah

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali  
80 - 89% = baik  
70 - 79% = cukup  
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

## KERJA MANDIRI: WAKTU GEOLOGI

Konsep yang akan diamati: Kehidupan berlangsung cukup lama setelah bumi terbentuk

Penentuan skala geologi: Kalibrasikan skala waktu tersebut di bawah ini dalam:

### 1. Skala Panjang 5 Meter

Untuk melakukan percobaan ini gunakan kertas komputer (*continous form*) sepanjang 5 meter. Tuliskan setiap fenomena di bawah ini sesuai dengan skala umur bumi 4.5 miliar tahun = 5 meter

### 2. Skala Waktu 24 Jam

Untuk melakukan percobaan ini gunakanlah selembar kertas karton/karton manila berukuran sekitar 70 cm lebarnya. Buatlah suatu bulatan dengan jari-jari 35 cm. Tuliskan setiap fenomena di bawah ini sesuai dengan skala umur bumi 4.5 miliar tahun = 24 jam.

Peristiwa	Perkiraan Umur
Fosil bakteri pertama	3,5 miliar tahun yl
Oksigen mulai dihasilkan di atmosfer	2,5 miliar tahun yl
Fosil sel Eukariot pertama	1,3 miliar tahun yl
Fosil Algae dan mikroba, fauna Ediacara	700 juta tahun yl
Oksigen mencapai 2% di atmosfer	600 juta tahun yl
Radiasi Kambrian	530 juta tahun yl
Ikan pertama	500 juta tahun yl
Tanaman darat dan Insekta pertama	425 juta tahun yl
Amphibia pertama	405 juta tahun yl
Oksigen mencapai 20%	380 juta tahun yl
Pohon pertama	350 juta tahun yl
Pembentukan telur	340 juta tahun yl
Reptilia pertama	330 juta tahun yl
Dinosaurius dan Mammalia pertama	220 juta tahun yl
Pembentukan superkontinen Pangea	200 juta tahun yl
Burung pertama	180 juta tahun yl
Angiospermae pertama	125 juta tahun yl
Kepunahan Kretasea	65 juta tahun yl
Primata pertama	65 juta tahun yl
Benturan antara India dan Asia	35 juta tahun yl
Pembentukan Pegunungan Himalaya	15 juta tahun yl
Kemunculan <i>Ardipithecus</i> (hominoid pertama)	4,5 juta tahun yl
<i>Australopithecus</i>	4,0 juta tahun yl
Zaman es	1,3 juta tahun yl
<i>Homo erectus</i>	1,2 juta tahun yl
<i>Homo sapiens</i>	0,3 juta tahun yl

## Kunci Jawaban Tes Formatif

### *Tes Formatif 1*

- 1) A, B
- 2) B, D
- 3) B, D
- 4) A, D

### *Tes Formatif 2*

- 1) A, B
- 2) B
- 3) B, D
- 4) B, C

### *Tes Formatif 3*

- 1) A, C, D
- 2) A, B, C
- 3) C
- 4) D

## Daftar Pustaka

- Campbell. (1992). *Biology*. Benyamin Cummings Publ. Co.
- Chaloner. (1994). *Evolution and Extinction. 1 st ed.* Cambridge University Press
- Futuyma, D.J. (1979). *Evolutionary Biology*. Sinauer Associates Inc.
- Greenwood, P.J. P.H. Harvey & M. Slaktin, (eds.). (1985). *Evolution*. Cambridge, Univ. Press.
- Huston, M.A. (1994). *Biological diversity 1 st ed.* Cambridge Univ. Press.
- Lewin, R. (1996). *Patterns in Evolution 1 st ed.* WH Freeman
- Ridely, M. (1993). *Evolution*. Blackwell Scientific Publishing Inc.
- Simpson, G.G., (1955). *The Major Features of Evolution*. New York: Columbia University Press
- Skelton. (1993). *Evolution 1 st ed.* Addison Wesley
- Smith, J.M. (1989). *Evolutionary Genetics*. Oxford, Oxford University Press.
- Strickberger M.W. (1990). *Evolution*. Jones and Bartlett Publishing Co.
- Wilson, E.O. (1992). *The Diversity of Life*. Cambridge, The Belknap Press.