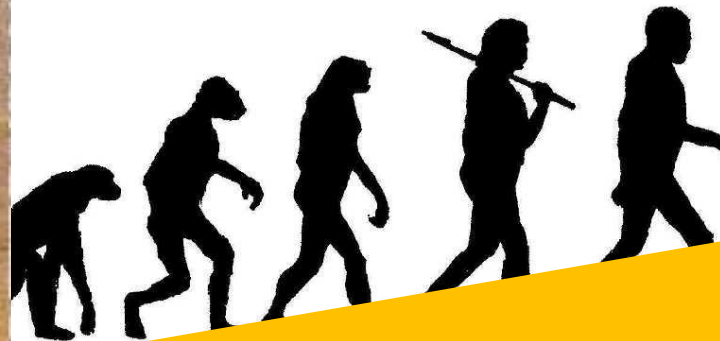
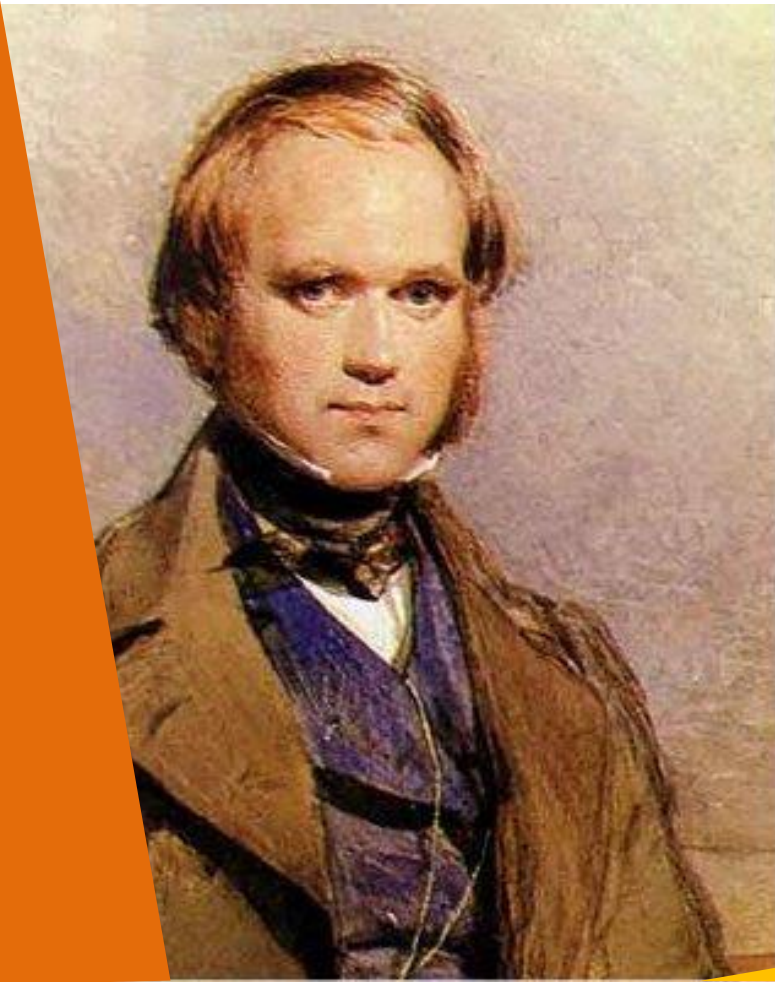


BAB 4

TEORI EVOLUSI



Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, siswa diharapkan dapat :

- Menunjukkan fakta- fakta yang mendukung teori evolusi.
- Mendeskripsikan sejumlah faktor yang dianggap berpengaruh terhadap berlangsungnya proses evolusi.
- Menjelaskan kaitan mutasi dengan proses evolusi.
- Menghitung frekuensi gen dalam suatu populasi dengan menggunakan Hukum Hardy-Weinberg.

- Membuat laporan hasil studi tentang fosil yang diamati di museum atau situs temuan fosil atau melalui gambar.
- Mengkomunikasikan secara lisan dan tertulis hasil pengumpulan informasi dan pengamatan.
- Menjelaskan berbagai teori asal usul kehidupan di bumi.
- Mengumpulkan informasi mengenai tanggapan terhadap keberadaan dan implikasi teori evolusi pada kehidupan masyarakat.

Evolusi dalam biologi proses kompleks pewarisan sifat organisme yang berubah dari generasi ke generasi dalam kurun waktu jutaan tahun.

Pendapat mereka menjadi fondasi teori evolusi.

1. *Anaximander (500 SM)*

Manusia berevolusi dari makhluk akuatik mirip ikan yang pindah ke darat.

2. *Empedocles (495– 435 SM)*

Kehidupan muncul dari lumpur dan tumbuhan kemudian berubah menjadi hewan.

3. *Erasmus Darwin (1731– 1802)*

Kehidupan berawal dari asal mula yang sama dan bahwa respons fungsional akan diwariskan pada keturunannya.

4. *Sir Charles Lyell (1797– 1875)*

Permukaan bumi terbentuk melalui proses bertahap dalam jangka waktu yang lama. Bertentangan dengan pendapat kebanyakan yang menganggap bumi masih berusia muda.

5. *Thomas Robert Malthus (1766– 1834)*

Tidak adanya keseimbangan antara penduduk dan bahan makanan. Selanjutnya, muncullah kata-kata Darwin, yaitu perjuangan untuk hidup (*struggle for life*).

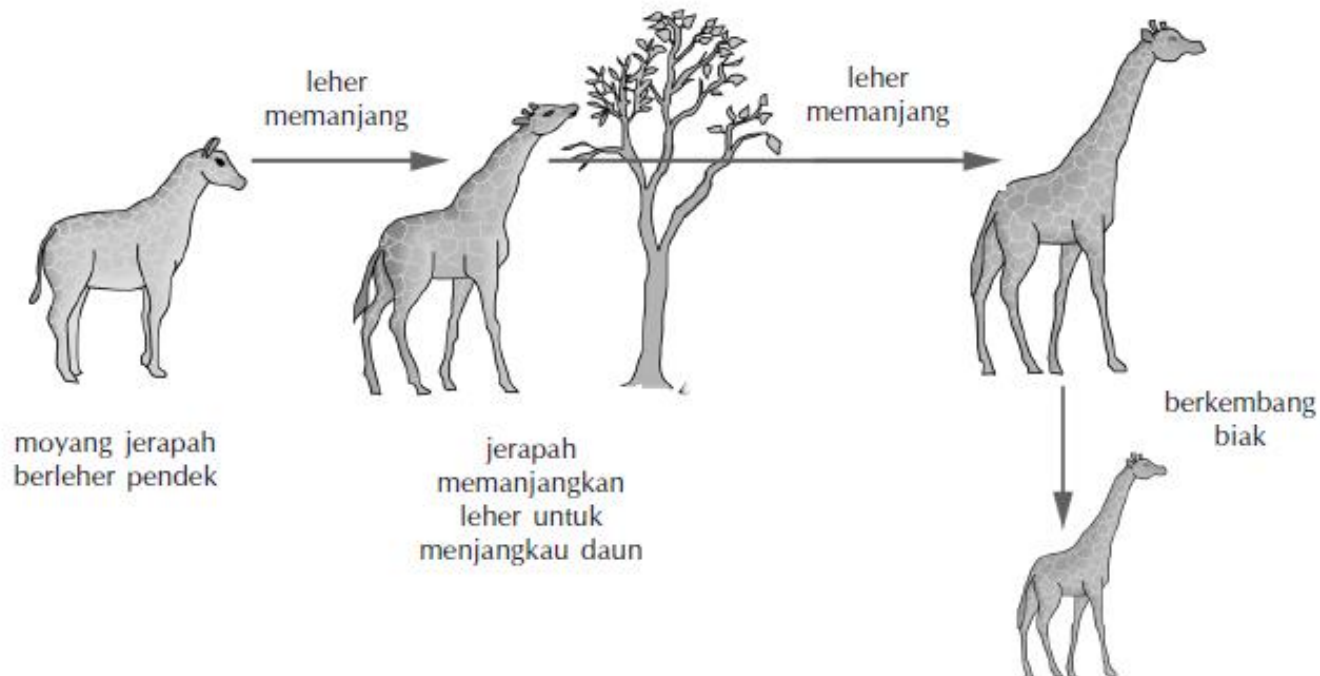
6. *George Cuvier (1769-1832)*

Setiap masa diciptakan makhluk hidup yang berbeda disebut *katastropisme*.

A. PENCETUS TEORI EVOLUSI

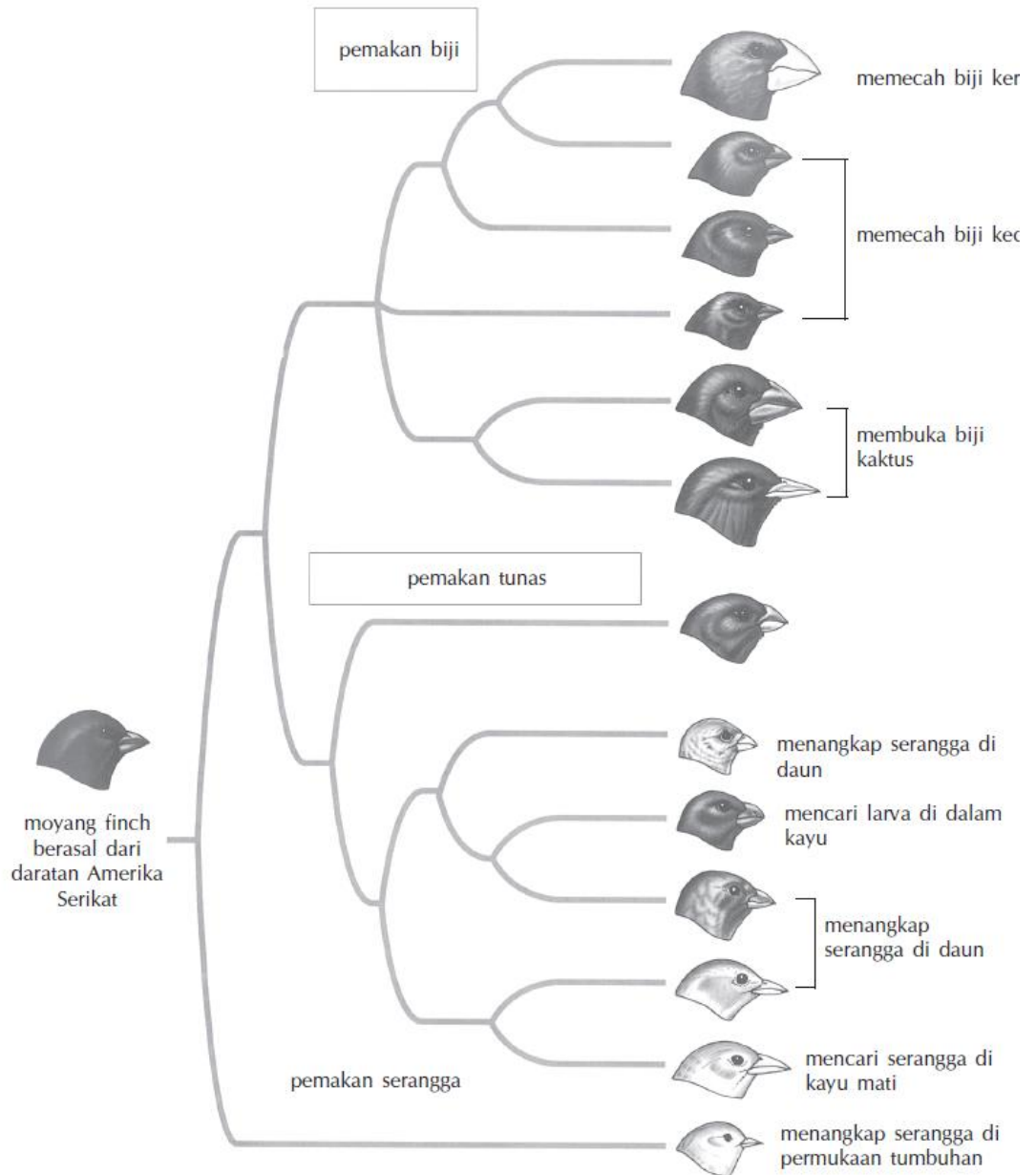
1. Lamarck

Perubahan suatu individu disebabkan oleh lingkungan dan bersifat diturunkan. Contoh jerapah memiliki leher yang panjang karena kebiasaannya memakan daun-daun dari pohon. Diduga memanjangkan lehernya untuk dapat mencapai pohon yang semakin tinggi. Adaptasi dengan pemanjangan leher diwariskan kepada generasi berikutnya



2. Charles Darwin

Di Kepulauan
Galapagos
1.050 km,
Darwin
menjumpai
berbagai
makhluk yang
menarik
burung-burung
finch memiliki
berbagai variasi
bentuk paruh.



Ide evolusi didasarkan atas :

- a. Makhluk hidup bervariasi dan beberapa variasi sifatnya dapat diturunkan.
- b. Setiap populasi cenderung bertambah banyak, karena setiap makhluk hidup mampu berkembang biak.
- c. Kenyataan menunjukkan bahwa pertumbuhan populasi tidak berjalan terus-menerus.

- d. Individu-individu berkompetisi untuk memperoleh sumber daya agar mampu bertahan hidup.
- e. sifat-sifat yang diwariskan milik beberapa individu membuat mereka dapat bertahan hidup dan bereproduksi pada keadaan lingkungan tertentu.
- f. Akibat dari seleksi lingkungan tersebut, hanya individu yang adaptif terhadap lingkungan yang dapat hidup dan menurunkan sifat adaptif tersebut.

Pokok-pokok pikiran teori Darwin dapat dilihat dari hasil pengamatan sehari-hari.

- a. adanya variasi individu dalam satu keturunan
- b. bertambah banyaknya populasi
- c. adanya perjuangan suatu spesies untuk bertahan hidup
- d. adanya peristiwa seleksi alam.

Charles Lyell, *Principles of Geology* mengatakan bahwa bumi ini sudah sangat tua sehingga memberikan “waktu” yang diperlukan bagi makhluk hidup untuk berevolusi.

Dari tulisan Lyell, Darwin membuat kesimpulan:

- a. deretan fosil yang terdapat di batuan muda berbeda dengan deretan fosil pada batuan tua.
- b. perbedaan itu disebabkan perubahan yang berangsur-angsur dan perlahan-lahan.

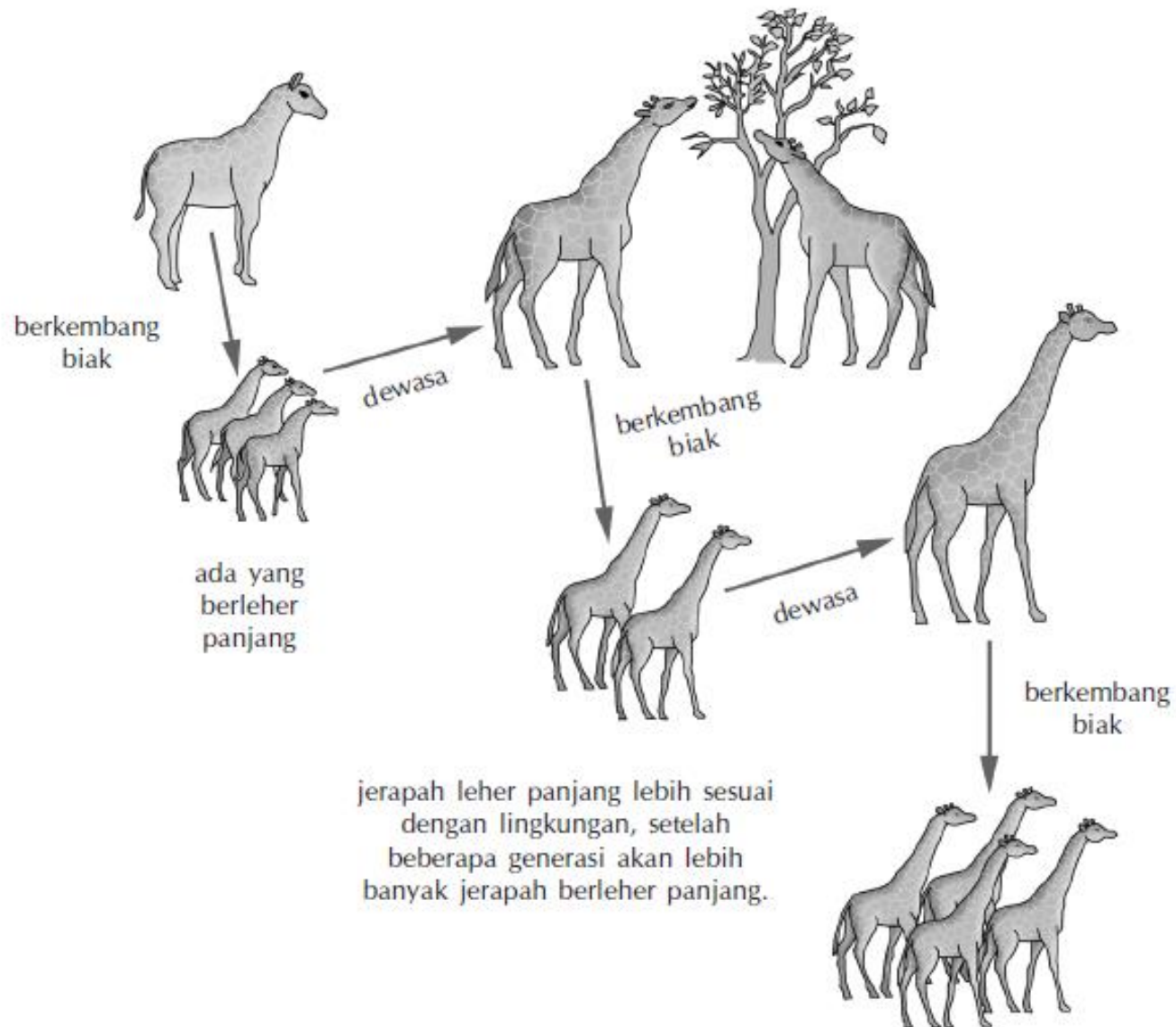
Thomas Robert Malthus mempublikasikan karya yang menyatakan populasi bertambah sesuai deret ukur (1-2-4-8-16), jauh lebih cepat dibandingkan bertambahnya jumlah makanan yang sesuai dengan deret hitung (1-2-3-4-5).

Sifat-sifat yang mendukung pemiliknya untuk mampu bertahan akan menghasilkan *adaptasi*.

Akumulasi dari modifikasi inilah yang kemudian memunculkan spesies baru.

Makhluk hidup yang mampu bertahan hidup karena mampu beradaptasi di lingkungannya inilah dapat lolos dari *seleksi alam*.

Perkembangan jerapah menurut teori Darwin



3. August Weismann

Sel-sel tubuh tidak dipengaruhi oleh lingkungan.

Membuktikan pendapatnya dengan mengawinkan dua tikus yang dipotong ekornya. Hingga generasi ke-21, semua anak tikus yang dilahirkan dari keturunan kedua tikus tadi berekor panjang.

Weismann menyimpulkan:

- a. Perubahan sel tubuh karena pengaruh lingkungan tidak akan diwariskan ke generasi berikutnya. Hal ini membuktikan bahwa teori evolusi Lamarck tidak benar.
- b. Evolusi adalah masalah pewarisan gen-gen melalui sel kelamin, atau evolusi adalah gejala seleksi alam terhadap faktor-faktor genetika.

B. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI EVOLUSI

Hukum Hardy-Weinberg menyatakan frekuensi alel atau gen dalam populasi dapat tetap stabil dan tetap berada dalam keseimbangan dari satu generasi ke generasi dengan syarat:

1. Jumlah populasi besar
2. Perkawinan secara acak atau *random*
3. Tidak terjadi mutasi maju atau balik
4. Tidak ada seleksi
5. Tidak ada migrasi.

Frekuensi gen adalah perbandingan antara suatu gen atau genotipe dengan gen atau genotipe yang lain di dalam suatu populasi.

Andaikan frekuensi alel A p, frekuensi alel a q, maka kemungkinan kombinasi spermatozoa dan sel telur heterozigot Aa X Aa $(p + q)^2 = 1$ $p + q = 1$ $p = 1 - q$.

Ovum/sperma	A(p)	a(q)
A(p)	AA (p^2)	Aa (pq)
a (q)	Aa (pq)	aa (q^2)

Jumlah = $p^2(AA) + 2pq (Aa) + q^2(aa)$

1. Menghitung frekuensi gen kodominan

Dari 1000 orang penduduk yang diperiksa golongan darahnya berdasarkan sistem MN, didapatkan 640 orang bergolongan M, 320 orang Mn, dan 40 orang N. Berapakah frekuensi alel LM dan LN dalam populasi itu?

Misal p = frekuensi untuk alel LM, q = frekuensi untuk alel LN.
Menurut hukum Hardy-Weinberg:

$$p^2 L^M L^M + 2pq L^M L^N + q^2 L^N L^N$$

$$q^2 = 40/1000 = 0,04 \quad q = \sqrt{0,04} = 0,2$$

$$p + q = 1 \quad p = 1 - 0,2 = 0,8$$

Jadi: frekuensi alel $L^M = p = 0,8$
frekuensi alel $L^N = q = 0,2$

Faktor yang menyebabkan terjadinya perubahan keseimbangan frekuensi gen

1. Perkawinan Tak Acak

Tidak ada perkawinan yang benar-benar acak.
Umumnya dipengaruhi faktor pilihan.

2. Migrasi

Individu yang meninggalkan populasi akan membawa alel keluar. Individu yang masuk ke dalam populasi akan membawa alel. Pergerakan alel antarpopulasi disebut *arus gen*.

3. Hanyutan Genetik

Perubahan frekuensi alel akibat adanya populasi kecil yang memisah dari populasi besar.

4. Seleksi Alam

- a. organisme yang dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya yang baru akan dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya
- b. organisme yang tidak dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya baru akan mati atau pindah ke daerah lain yang tidak mengalami perubahan lingkungan.

Contoh adaptasi terjadi pada populasi ngengat malam *Biston betularia*.

Periode	<i>Biston betularia</i> bersayap cerah	<i>Biston betularia</i> bersayap gelap
Sebelum revolusi industri	Populasinya lebih besar	Populasinya lebih kecil
Sesudah revolusi industri	Populasinya lebih kecil	Populasinya lebih besar

Pengaruh antibiotik pada resistensi bakteri

Perlakuan	Koloni bakteri resisten	Koloni bakteri tidak resisten
Sebelum pemberian antibiotik	Jumlah populasi kecil	Jumlah populasi besar
Setelah pemberian antibiotik	Tetap hidup, keturunannya lebih resisten	Jumlah populasinya berkurang

Contoh lainnya adalah:

- bentuk leher yang panjang dari jerapah dapat mencapai daun pada pohon yang tinggi.
- bentuk burung puyuh dan warnanya sesuai dengan tanah yang bergumpalgumpal.

Suatu populasi melakukan perkawinan secara acak, 50% dari individu memiliki sifat resesif. Distribusi fenotipe, genotipe, dan frekuensi gen adalah sebagai berikut:

Fenotipe		AA dan Aa	aa
Frekuensi fenotipe		0,5	0,5
Genotipe	AA	Aa	aa
Frekuensi genotipe	$\pm 0,09$	$\pm 0,42$	$\pm 0,5$

Misal: p = frekuensi gen A

q = frekuensi gen a

$$q^2 = 0,5, q = \sqrt{0,5} = 0,7$$

$$p = 1 - q = 1 - 0,7 = 0,3$$

Individu genotipe aa, maka individu yang dapat memperbanyak diri akan terdiri dari dua genotipe yaitu AA dan Aa. Perbandingan genotipe 0,09 AA: 0,42 Aa.

Frekuensi di dalam populasi :

$$\begin{aligned}
 - \text{ untuk AA} &= \frac{0,09}{0,09 + 0,42} = 0,18 \\
 - \text{ untuk Aa} &= \frac{0,42}{0,09 + 0,42} = 0,82
 \end{aligned}$$

Frekuensi keturunan dari perkawinan antara individu-individu AA dan Aa.

Perkawinan	Frekuensi	Frekuensi keturunan	Frekuensi keturunan	Frekuensi keturunan
		AA	Aa	aa
AA X AA	$(0,18)^2 = 0,03$	0,03		
AA X Aa	$2(0,18)(0,82) = 0,30$	0,15	0,15	
Aa X Aa	$(0,82)^2 = 0,67$	0,17	0,34	0,17
Jumlah	$= 1,00$	0,35	0,49	0,17

5. Mutasi

Perubahan materi genetik yang bersifat menurun. Mutasi gen adalah perubahan struktur kimiawi dari gen yang terjadi tanpa atau karena pengaruh faktor luar.

Penyakit molekuler Hb adalah penyakit anemia ditentukan oleh gen resesif autosomal yang dapat menyebabkan kelainan darah yang fatal jika dalam keadaan homozigot.

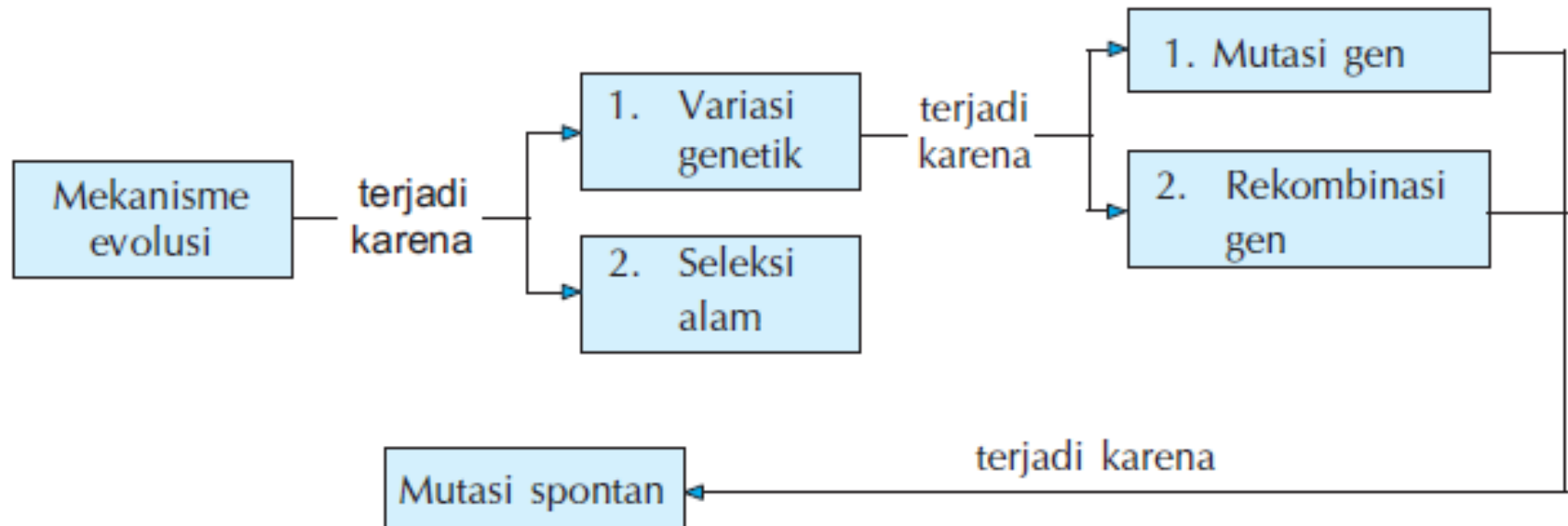
Vernon Ingram, dengan menggunakan teknik elektroforesis, menemukan adanya perbedaan molekuler antara Hb normal (HbA) dan Hb sel sabit (HbS).

HbA (Normal)

Valin	Histidin	Leusin	Treonin	Prolin	Asam Glutamat	Asam Glutamat
1	2	3	4	5	6	7

Valin	Histidin	Leusin	Treonin	Prolin	Valin	Asam Glutamat
-------	----------	--------	---------	--------	-------	---------------

HbS (*Sickle cell anemia*)



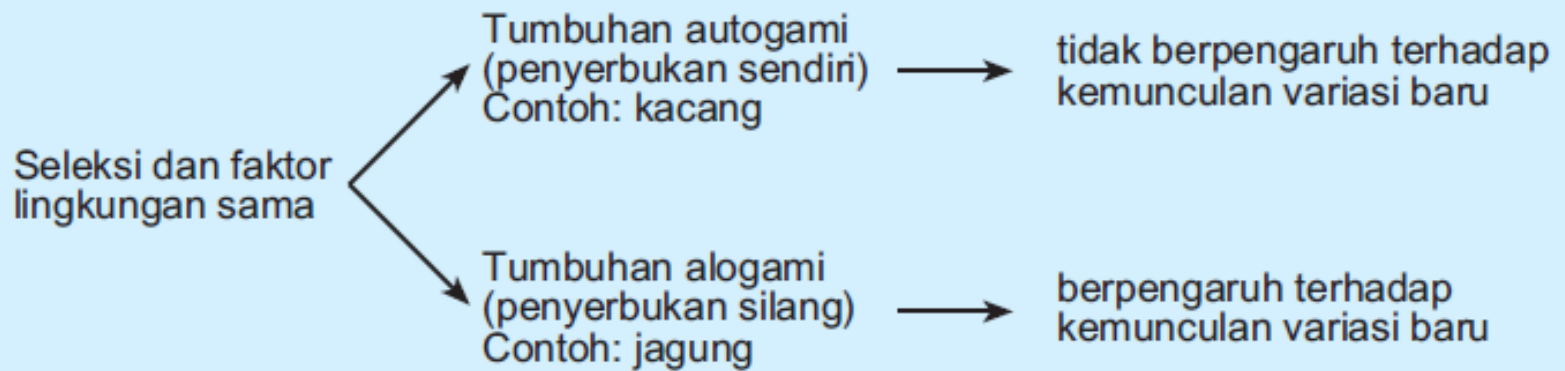
Skema mekanisme evolusi

6. Rekombinasi dan Seleksi

Rekombinasi gen dapat berlangsung melalui perkawinan, sehingga reproduksi seksual merupakan faktor penting dalam proses evolusi.

Wilhelm Ludwig Johansen (Denmark, 1857-1927) tahun 1985 menunjukkan bahwa:

- a. seleksi sangat efektif terhadap rekombinasi pada organisme yang melakukan perkawinan silang.
- b. seleksi merupakan faktor pengarah, pembatas, dan penstabil terhadap rekombinasi gen.



Skema percobaan tentang rekombinasi dan seleksi

D. TERBENTUKNYA SPESIES BARU

Isolasi merupakan kunci terjadinya spesies baru, karena isolasi mencegah terciptanya kembali keseragaman antarspesies melalui hibridisasi.

Isolasi ada 2 macam:

1. isolasi geografi, yang dipisahkan oleh tempat
2. isolasi reproduksi, dapat terjadi melalui isolasi ekologi, musim, tingkah laku, mekanik, dan isolasi gamet.

1. Isolasi Geografi

Isolasi yang terjadi akibat keadaan alam. Jika organisme dari suatu spesies berpindah ke lingkungan baru yang berbeda dari lingkungan asal dan dipisahkan oleh laut, gunung, atau gurun.

Organisme akan beradaptasi dan membentuk populasi. Bentuk adaptasi ini dapat mengarah pada pembentukan spesies baru.

2. Isolasi Ekologi

Disebabkan karena duaspesies yang berkerabat dekat terdapat di daerah geografi yang sama, namun pada habitat berbeda.

3. Isolasi Musim

Disebabkan oleh masa kawin atau kematangan gamet yang berbeda.

4. Isolasi Tingkah Laku

Karena adanya perilaku tertentu atau ritual yang berbeda-beda sebelum terjadi perkawinan pada burung bower.

Sebelum kawin, menarik perhatian betinanya dengan membangun sarang dari ranting yang dihiasi benda berwarna biru.

Sambil menari, burung tersebut mengicaukan nada dengan beraneka suara.

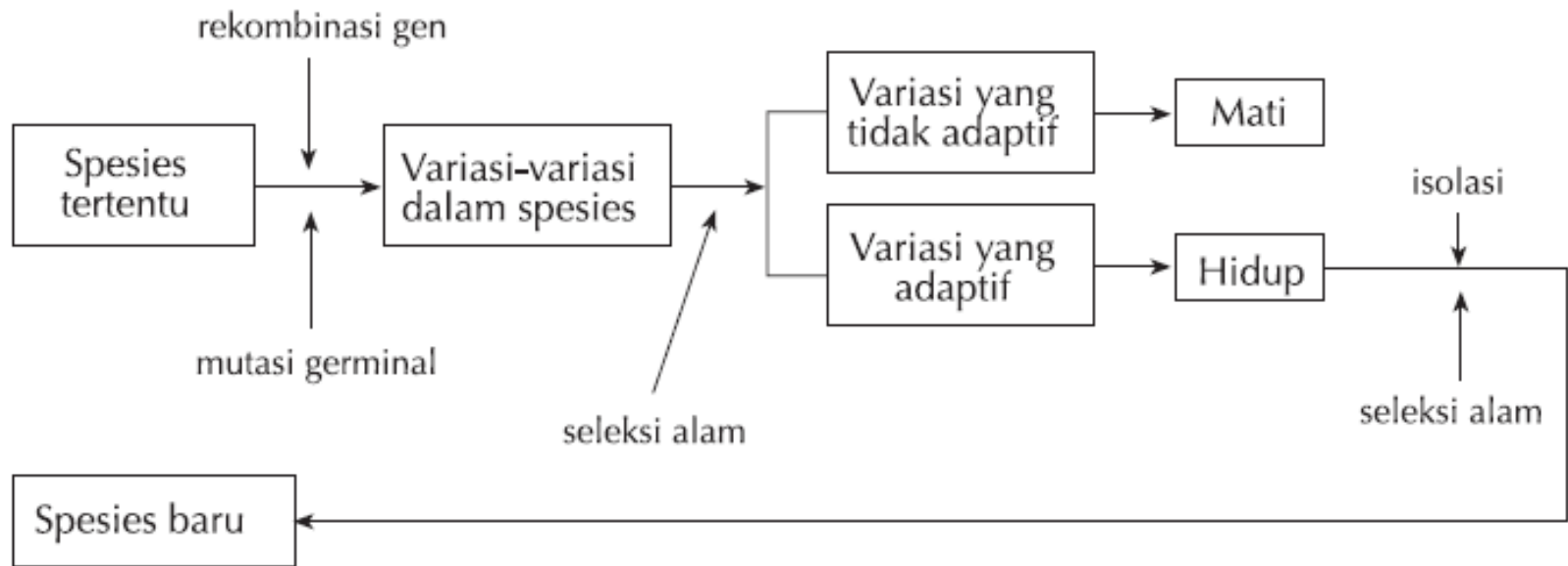
Setelah proses ritual selesai, maka terjadilah perkawinan.

5. Isolasi Mekanik

Akibat struktur kelamin yang berbeda.
Perbedaan morfologi atau anatomi membuat dua spesies yang berbeda tidak dapat kawin.

6. Isolasi Gamet

Isolasi gamet menghalangi terjadinya pembuahan akibat susunan kimiawi dan molekul yang berbeda antara dua sel gamet.



Skema cara terbentuknya spesies baru

E. PETUNJUK EVOLUSI

1. Adanya Variasi Individu dalam Satu Keturunan

Faktor penyebab terjadinya variasi adalah faktor dalam berupa gen dan faktor luar, seperti makanan, keadaan tanah, dan suhu. Variasi di dalam satu spesies akan menurunkan keturunan yang berbeda.

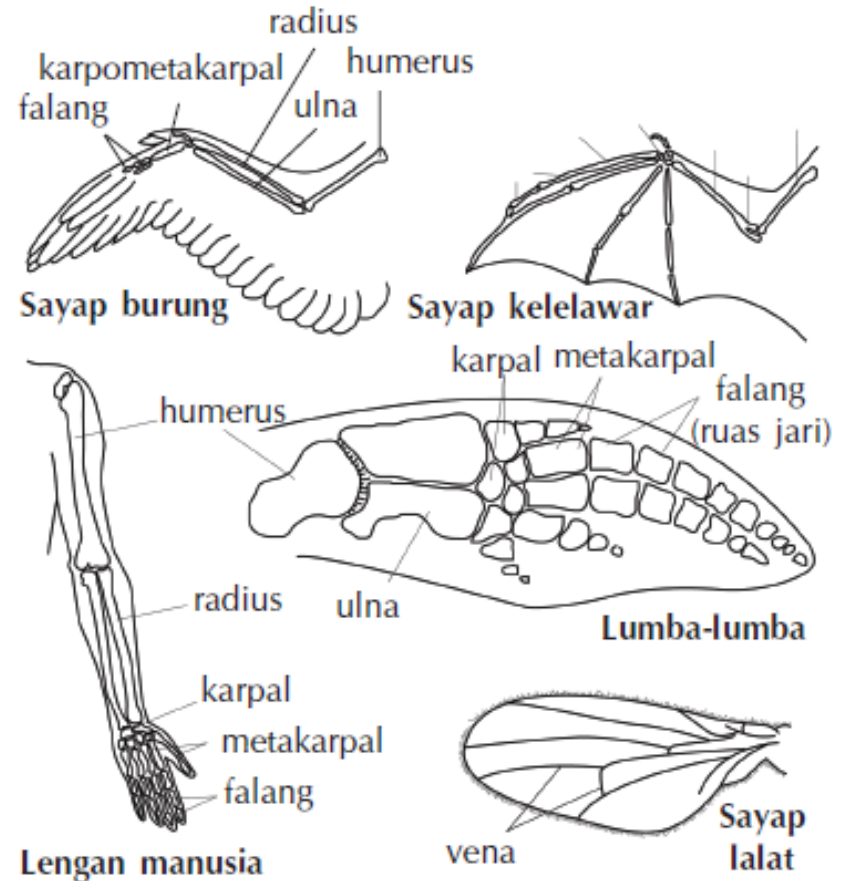
2. Homologi Organ Tubuh

Organ-organ dari berbagai makhluk hidup yang mempunyai bentuk asal sama, dan selanjutnya berubah struktur sehingga fungsinya berbeda, disebut *homolog*.

Analog, yaitu organ-organ yang fungsinya sama tanpa memperhatikan. Contoh:

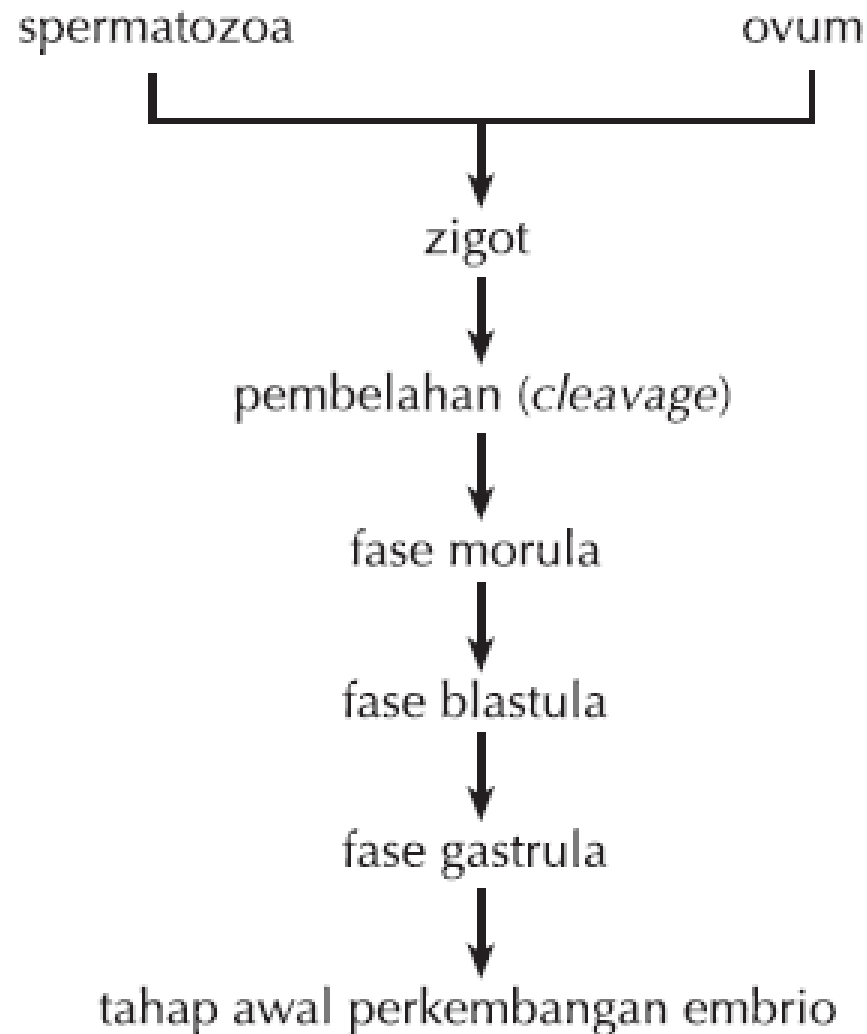
a. sayap kupu-kupu analog dengan sayap burung, keduanya berfungsi untuk terbang.

b. sayap kelelawar analog dengan sayap kupu-kupu, keduanya berfungsi untuk terbang.

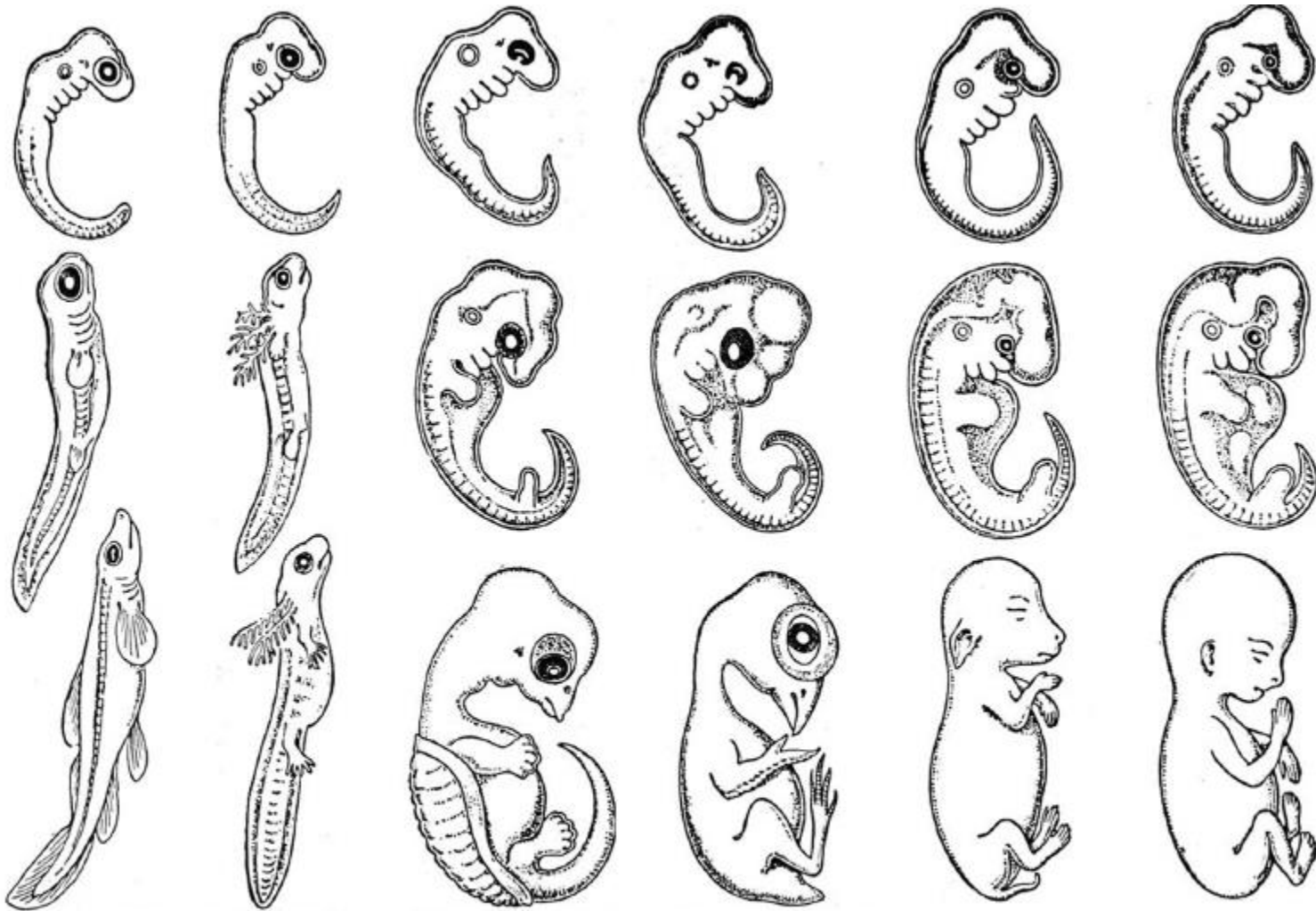


3. Perbandingan Embriologi

Persamaan perkembangan embrio



Perbandingan embriologi



Ikan

Salamander

Kura-kura

Ayam

Kelinci

Manusia

4. Fosil

Informasi yang diperoleh dari para ahli antropologi dan paleontologi dari fosil dan peninggalan-peninggalan masyarakat purba untuk mempersiapkan suatu bagan silsilah spesies manusia.

Beberapa fosil temuan para ahli.

a. *Australopithecus* (*Australo* = selatan; *pithecus* = kera)

Ada 4 spesimen:

1. *Australopithecus africanus*
2. *Australopithecus robustus*
3. *Australopithecus boisei*
4. *Australopithecus habilis* (*Homo habilis*)

b. Pithecanthropus

Ada tiga jenis *Pithecanthropus* menurut tahap evolusi, yaitu:

1. *Pithecanthropus robustus (modjokertoensis)*.
2. *Pithecanthropus erectus*.
3. *Pithecanthropus soloensis*.

c. Meganthropus palaeojavanicus.

d. Homo neanderthalensis.

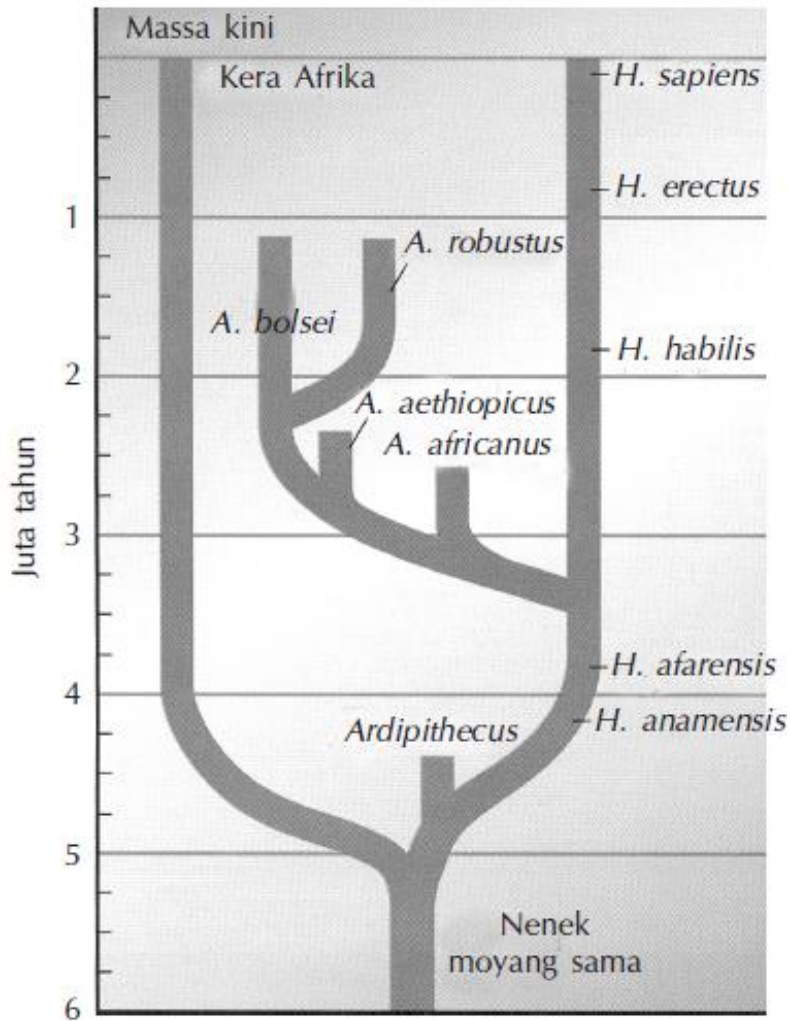
e. Homo sapiens

Manusia modern di dunia dibedakan menjadi 5 ras pokok :

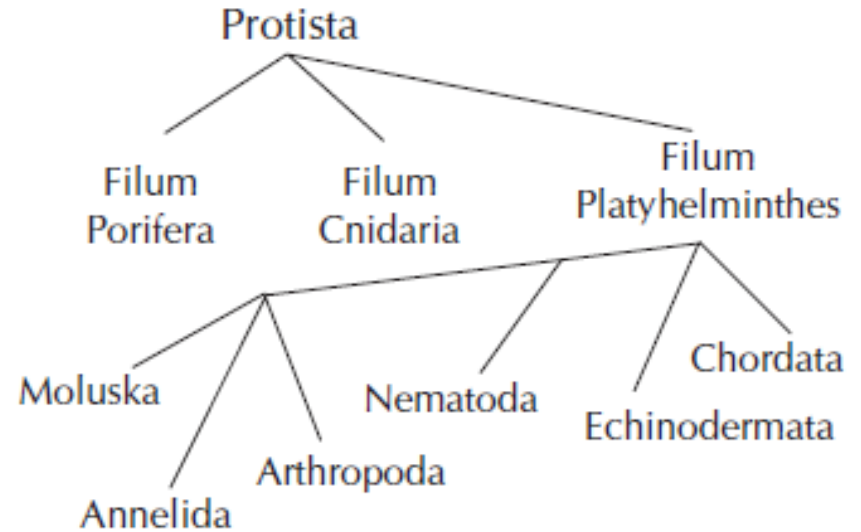
- a. Mongoloid (kulit kuning sampai cokelat tua).
- b. Kaukasid (kulit putih sampai cokelat).
- c. Negridd (kulit hitam atau coklat tua).
- d. Khoisonid (kulit cokelat kemerahan sampai cokelat tembaga).
- e. Australomelanesid (kulit bervariasi: kemerahan sampai cokelat tua).

Dari hasil perkembangan evolusi Primata yang dimulai sejak 75 juta tahun yang lalu, diketahui bahwa:

- a. Hanya manusia yang menyimpang dari jalur evolusinya
- b. Manusia hidup di atas tanah, sedangkan yang lain hidup di pohon-pohon
- c. Manusia berjalan tegak dengan dua kaki (bipedal), sedangkan yang lain berjalan dengan empat kaki
- d. Semua hewan yang termasuk ordo Primata mempunyai beberapa persamaan:
 - 1. Mempunyai penglihatan ruang
 - 2. Lapangan pandang kedua mata terpadu
 - 3. Tangan digunakan untuk memegang
 - 4. Semakin tinggi perkembangan evolusinya.



Evolusi manusia



Skema evolusi invertebrata

Petunjuk adanya evolusi adalah dari:

1. Variasi individu dalam satu keturunan
2. Homologi organ tubuh
3. Perbandingan embriologi
4. Fosil sebagai catatan sejarah

F. PANDANGAN BARU TENTANG EVOLUSI

1. Penemuan Model DNA oleh Watson dan Crick

Molekul DNA yang terdapat dalam sel hidup, mempunyai kerumitan dan keteraturan.

2. Hukum Penurunan Sifat Menurut Mendel

Penurunan sifat induk kepada keturunannya disebabkan oleh *faktor penentu* yang sekarang diketahui sebagai gen.

3. Paleontologi

Berdasarkan studi tentang fosil yang ditemukan, tidak ada organisme masa kini yang berbeda dengan fosil nenek moyangnya.

G. TEORI ASAL USUL KEHIDUPAN

1. Teori Nebula

Beberapa miliar tahun yang lalu, bintang-bintang di angkasa yang tidak stabil meledak.

Debu dan gas hasil ledakan ini membentuk kabut disebut nebula.

Kabut asal memadat lalu meledak, menghasilkan bintang–bintang baru dan planet-planet.

Bintang baru yang tidak stabil meledak dan membentuk **nebula** lagi.

2. Teori *Big Bang*

Materi di angkasa menyatu dan memadat membentuk benda kecil yang kemudian meledak menghasilkan bintang-bintang dan planet.

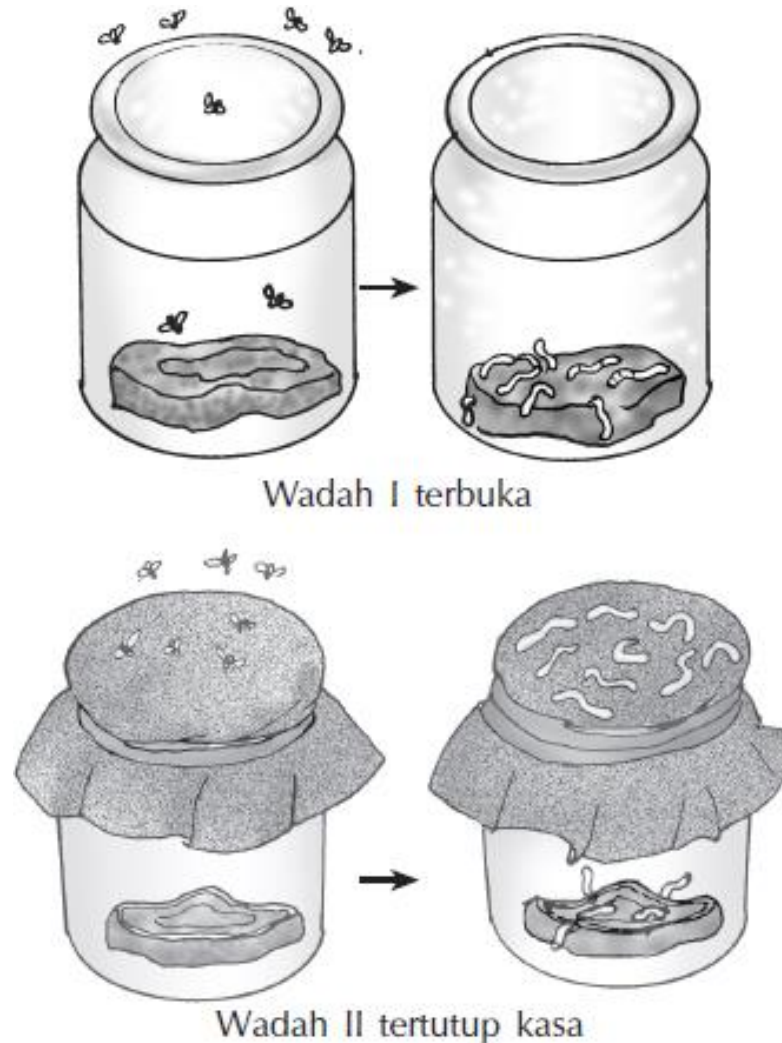
Dalam biologi tiga teori asal usul kehidupan.

1. Teori Abiogenesis (**Generatio Spontanea**)

Kehidupan berasal dari benda mati. Penelitian Aristoteles tentang hewan-hewan yang hidup di air, ikan-ikan tertentu melakukan perkawinan, kemudian bertelur. Needham (1700) melakukan penelitian dengan merebus kaldu. Pada abad ke-17, **Antony van Leeuwenhoek** berhasil membuat mikroskop untuk membuktikan kebenaran dari teori generatio spontanea.

2. Teori Biogenesis

a. Percobaan Francesco Redi

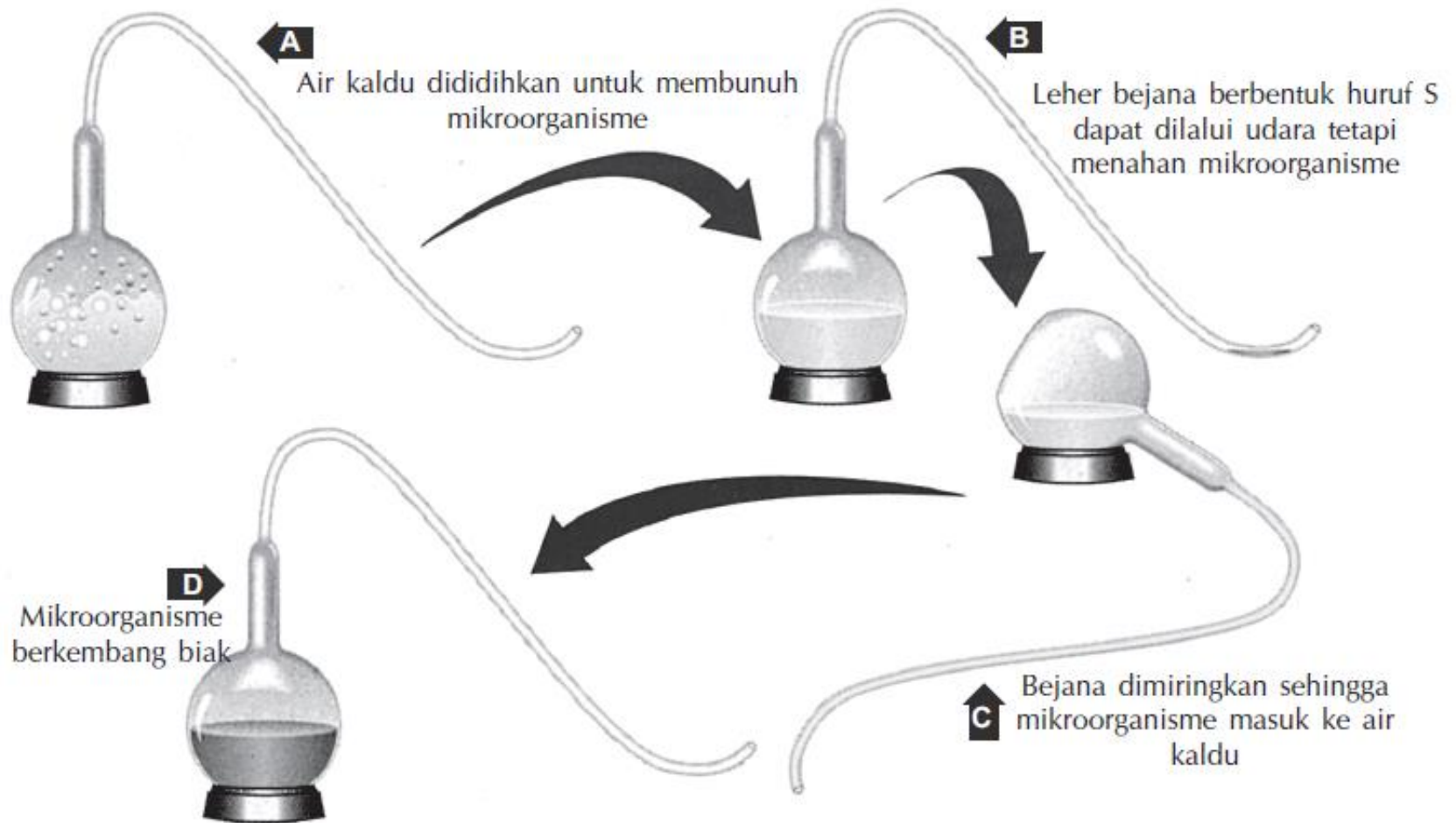


b. Percobaan Spallanzani

Menyatakan bahwa Needham tidak merebus tabung cukup lama sampai semua organisme terbunuh dan tidak menutup leher tabung dengan rapat sekali sehingga masih ada organisme yang masuk dan tumbuh.

Menyimpulkan bahwa, timbulnya suatu kehidupan hanya mungkin jika telah ada suatu bentuk kehidupan sebelumnya.

c. *Percobaan Louis Pasteur*



3. Teori Evolusi Kimia (Teori Biologi Modern)

a. A.I. Oparin (Rusia)

Evolusi zat-zat kimia telah terjadi sebelum kehidupan ini ada.

“The Origin of Life”, dia mengemukakan bahwa asal mula kehidupan terjadi bersamaan dengan evolusi terbentuknya bumi dan atmosfernya.

b. Harold Urey

Bahan organik merupakan bahan dasar organisme hidup, yang pada mulanya dibentuk sebagai reaksi gas yang ada di alam dengan bantuan energi.

Dijabarkan atas 4 fase.

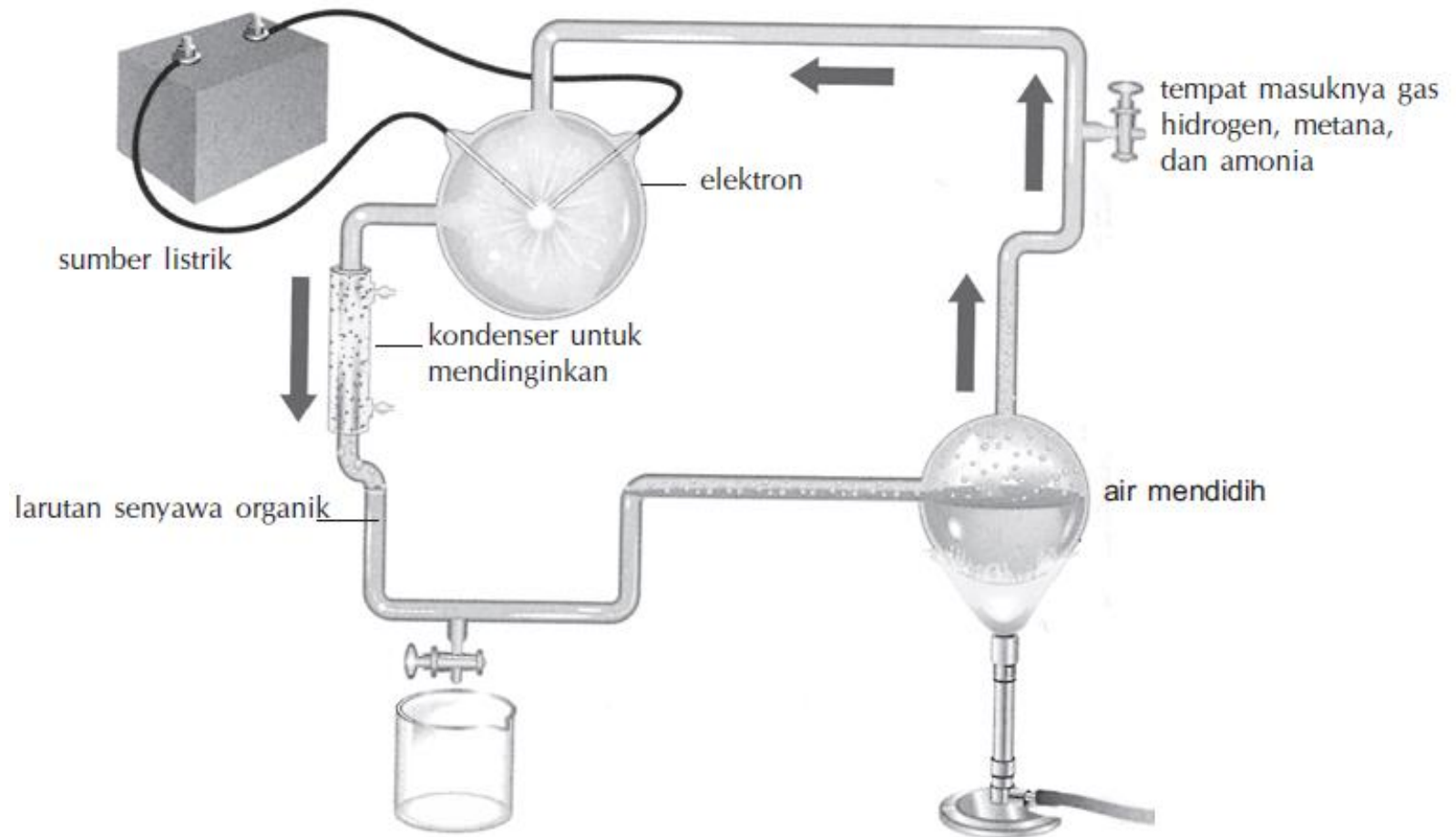
Fase 1. Tersedianya molekul metana, amonia, hidrogen, dan uap air yang sangat banyak di atmosfer.

Fase 2. Energi yang timbul dari aliran listrik, halilintar, dan radiasi sinar kosmis

Fase 3. Terbentuknya zat hidup yang paling sederhana.

Fase 4. Zat hidup yang terbentuk berkembang dalam waktu jutaan tahun menjadi sejenis organisme yang lebih kompleks.

c. *Stanley Miller*



d. Melvin Calvin

Menunjukkan bahwa radiasi sinar dapat mengubah metana, amonia, hidrogen dan air menjadi molekul-molekul gula dan asam amino, dan juga membentuk purin dan pirimidin, yang merupakan zat dasar pembentukan DNA, RNA, ATP, dan ADP.

Senyawa organik itulah yang merupakan komponen dasar makhluk hidup.