

BAB XII EVOLUSI

A. STANDAR KOMPETENSI

Setelah mempelajari bab ini mahasiswa diharapkan memahami sejarah perkembangan dan evolusi makhluk hidup.

B. KOMPETENSI DASAR

Pada akhir pengajaran, mahasiswa diharapkan dapat :

1. Menjelaskan teori evolusi Darwin.
2. Menyebutkan bukti-bukti evolusi serta contoh pada masing-masing.
3. Menjelaskan mekanisme seleksi alam pada makhluk hidup.
4. Menyebutkan kondisi makhluk hidup maupun lingkungan hidupnya yang menyebabkan terjadinya spesies.
5. Menjelaskan hubungan antara spesies dalam ordo piramid.

C. URAIAN MATERI

1. Teori Evolusi Charles Darwin

Pada tahun 1859 Charles Darwin mempublikasikan bukunya berjudul "*the origin of species*". Buku ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap cara berpikir dunia barat yang isinya :

1. Semua organisme hidup berasal dari nenek moyang yang sama yang telah mengalami evolusi. Spesies itu tidak fixed tetapi berasal dari spesies lain yang telah mengalami perubahan yang bertahap. Teori evolusi ini berlawanan dengan faham/konsep yang telah diterima masyarakat luas, yaitu bahwa spesies ditempatkan di bumi dalam bentuk seperti yang sekarang sudah ada.
2. Buku Darwin mengemukakan banyak fakta yang dapat dijelaskan dengan teori evolusi, tetapi tidak dapat dijelaskan dengan baik oleh teori "*species creation*" (ciptaan khusus).
3. Darwin mengusulkan suatu mekanisme untuk menerangkan bagaimana perubahan evolusi terjadi. Teori ini juga disebut seleksi alamiah merupakan dasar dari *origin of species*.

2. Bukti-Bukti Evolusi

a. Paleontologi, Fosil adalah semacam sisa organisme yang hidup pada masa geologis yang lampau. Telah ditemukan bermacam-macam fosil :

- Tapak kaki Dinosaurus yang hidup 120 juta tahun yang lalu (Cretaceous)
- Tulang-tulang dinosaurus yang membatu.
- Pohon yang membatu.
- Fosil-fosil yang terdapat dalam lapisan yang lebih dalam berumur lebih tua dan lebih sederhana dibandingkan dengan yang terdapat di dalam lapisan lebih atas.

b. Perbandingan anatomis, Dengan membandingkan anatomi anggota-anggota kelas mamalia satu dengan yang lain kita melihat dasar-dasar yang menyolok pada setiap specimen.

Contoh : Organisasi tulang-tulang pada lengan manusia, paus dan kelelawar yang digunakan untuk aktivitas yang berlainan, mempunyai struktur dasar yang sama. Organ demikian disebut organ yang *homolog*.

Dapat dikatakan bahwa makin banya organ-organ yang homolog antar dua spesies makin besar kemungkinan bahwa nenek moyangnya sama. Sedang bila masing-masing spesies diciptakan khusus, makin kecil kemungkinan adanya persamaan pola-pola dasar.

c. Perkembangan embrio, Pertumbuhan embrio awal dari semua vertebrata menunjukkan keseragaman yang menyolok. Walaupun beberapa struktur selalu muncul baik pada vertebrata rendah maupun vertebrata tinggi pada tahap awal dari pertumbuhannya, struktur tersebut dapat hilang atau dapat dikenal lagi pada stadium lanjut.

d. Biokimia, Studi biokimia beberapa organisme mengungkapkan kemiripan susunan rantai asam aminonya.

Contoh :

Enzim sitokrom terdapat hampir pada semua organisme hidup. Salah satu diantaranya yaitu sitokrom C adalah suatu rantai polipeptida yang terdiri dari 104-112 asam amino, tergantung organismenya. Dalam tahun belakangan ini telah diteliti urutan yang tepat asam amino dari sitokrom C dari beberapa macam organisme seperti manusia, kelinci, penguin, ular, ikan tuna, ngengat, kapang (*Neurospora*) dan lain-lain. Meskipun ada variasi yang agak besar dalam urutannya, terutama organisme yang berkerabat jauh, tetapi ada pula sejumlah persamaan yang menyolok. Umpama antara sitokrom C manusia dengan sitokrom C kera rhesus hanya terdapat satu perbedaan asam amino dalam rantai. Sitokrom C dari gandum berbeda 35 asam amino dari manusia. Keberadaan gen untuk sitokrom C pada bermacam-macam organisme yang mengandung informasi genetik yang sama hanya dapat dijelaskan melalui teori evolusi. Bukti ini menunjukkan bahwa semua organisme yang ada sekarang ini berasal dari moyang yang sama.

e. Perbandingan struktur kromosom, Makin dekat kekerabatan 2 spesies makin mirip kariotipenya. Kariotipe dari simpanse (11 dan 12 dari gorilla dan orang utan). Pada *Drosopila* yang mempunyai kromosom raksasa pada kelenjar ludahnya dapat terlihat dengan jelas bagaimana konfigurasi sinapsis yang terjadi bila diadakan hibridisasi interspesifik yang biasanya menghasilkan keturunan yang steril.

f. Kemiripan yang protektif, Contoh : *Biston betularia* sejenis kupu-kupu. Di Inggris tahun 1849 ditemukan mutan berwarna hitam legam di sekitar kota Manchester. Pada akhir abad ke 19 bentuk yang hitam jumlahnya lebih besar dari yang terang. Dan saat sekarang ini lebih dari 90% dari kupu-kupu adalah hitam. Perubahan warna ini disebabkan karena meningkatnya mesin-mesin industri yang memberikan jelaga bagi lingkungannya. Kupu-kupu hitam tidak terlihat oleh musuh alamiahnya di lingkungan yang berjelaga (terproteksi). Ini adalah suatu contoh dari perubahan suatu spesies yang terjadi di alam dalam waktu yang singkat sehingga dapat direkam oleh ilmuwan.

Dalam ekspedisinya Darwin mengunjungi antara lain Kepulauan Galapagos dan menemukan 13 spesies burung Finch yang belum pernah ia temukan di tempat lain. Darwin berpendapat bahwa masing-masing spesies burung tersebut adalah hasil dari moyang Finch biasa yang secara kebetulan mencapai pulau-pulau tersebut dan berasal dari tempat aslinya yaitu benua Amerika Selatan. Dengan burung-burung Finch tersebut Darwin berhasil membuktikan pendapatnya bahwa *spesies dapat berubah dan itu adalah produk evolusi.*

g. Domestikasi, Selama ribuan tahun manusia telah melakukan domestikasi hewan dan tumbuhan untuk memenuhi kebutuhan akan makanan, pakaian dan tenaganya tanpa harus berburu dan mencari di lingkungan sekitarnya. Domestikasi itu sendiri diartikan : penjinakan hewan dan tumbuhan liar yang ditangkap/diambil dari lingkungan aslinya (alamiahnya) agar dapat dimanfaatkan oleh manusia.

Dari kegiatan ini muncul varietas atau galur-galur tumbuhan dan hewan yang menguntungkan manusia karena selalu menyisihkan individu unggulan untuk selalu dibiakkan. Hewan/tumbuhan yang sudah lama dipelihara, akan berbeda sangat nyata dengan moyangnya yang turunannya mungkin masih ada di hutan (alam bebas). Contoh : musang di hutan sebagai nenek moyang dari anjing, itu sudah sangat berbeda dengan kerabatnya anjing yang kita kenal sudah ratusan spesies.

Hal ini membuktikan bahwa spesies itu mempunyai variabilitas yang besar dan bahwa kita mampu menciptakan perubahan-perubahan evolusi demi kesejahteraan hidup manusia. Jika distribusi geografis hewan-hewan yang ditemukan Darwin memberinya bukti bahwa evolusi telah terjadi, maka proses domestikasi memberinya kunci bagaimana hal itu terjadi.

3. Mekanisme Evolusi

1. Variasi yang Diwariskan adalah Bahan Baku Evolusi.

Dengan mengamati peternak-peternak yang melakukan pemuliaan hewan-hewan domestic, Darwin menemukan bahwa strain baru dapat diciptakan dari variasi-variasi yang muncul secara spontan pada ternak yang dipelihara yang mempunyai sifat unggul seperti : berbuah banyak, rasa enak, singkat masa panennya, susu yang banyak dan lain-lain sifat unggul yang menguntungkan perekonomian manusia.

Variasi ini bukannya muncul karena perubahan lingkungan, tetapi perubahan dalam informasi genetiknya, jadi dapat diwariskan. Dengan melakukan perkawinan secara selektif dan selalu berulang akhirnya akan menghasilkan galur murni yang menunjukkan sifat yang baru (yang diinginkan).

Apakah di alam bebas juga terdapat mekanisme yang sama ?

Syarat yang pertama adalah bahwa dalam populasi alami harus ada variasi yang selalu diturunkan yang dapat menjadi bahan baku bagi evolusi. Ada dua macam variasi :

- a. Variasi yang kontinyu : sifat tersebut muncul dengan variasi yang bedanya hanya kecil dari satu ekstrim ke ekstrim lainnya (berat tubuh, tinggi tubuh, warna bunga dan sebagainya).
- b. Variasi yang diskontinyu : sifat yang muncul hanya dapat dikategorikan ke dalam 2 kelompok tanda ada yang intermediet (contoh : golongan darah A, B dan O). Variasi seperti ini disebut Polimorfisme.

Kedua macam variasi ini dapat menyediakan bahan baku bagi evolusi hanya bila sifat tersebut disebabkan oleh factor-faktor yang diwariskan dan bukan dieprolehnya dari lingkungan. Bagaimana dapat kita ketahui diwariskan atau tidak.

2. Seleksi Alamiah

Apakah di alam juga terjadi "*selective breeding*" seperti yang dilakukan oleh Darwin dalam domestifikasi? Jawabnya didapat setelah Darwin membaca buku Robert Maltus yang berjudul "*Essay On Population*". Maltus menunjukkan bahwa semua organisme mempunyai potensi reproduksi yang besar. Misalnya : kemampuan kemampuan bakteri untuk bisa membelah setiap 20 menit akan mampu

menyelimuti permukaan bumi dalam beberapa hari saja bila tidak ada rintangan. Dalam kondisi yang ideal populasi akan tumbuh secara eksponensial. Jadi apakah yang menghalangi spesies untuk tumbuh secara eksponensial? Ada beberapa faktor yang abekerja sama yang oleh Darwin disebut *seleksi alamiah*.

3. Ukuran Fitness

Teori Darwin tentang seleksi alamiah seringkali disalah artikan. Kesannya seolah-olah di alam terjadi perubahan sumber daya dengan cara saling makan memakan secara agresif. *Fitness* adalah suatu konsep biologi yang dapat diukur hanya dari kemampuan individu untuk menghasilkan keturunan yang mampu berbiak. Individu-individu dalam populasi yang meninggalkan sejumlah besar keturunan yang dewasa adalah yang paling fit.

a. *Survival (Lulus Hidup)*, Yang penting dalam fitness adalah berusaha hidup sampai melewati masa reproduksi. Jadi semua sifat yang memperbesar kemungkinan untuk melewati periode reproduksi tadi membuat organisme lebih fit dari individu-individu lain dari spesies yang sama. Kemampuan (sifat-sifat) tersebut dinamakan adaptasi. Hal ini dapat melibatkan : perubahan dalam struktur tubuh, perubahan dalam fisiologi, perubahan dalam kelakuan dll.

Contoh : mekanisme pada *Biston betularia* adalah suatu contoh dari adaptasi morfologis yang membuat ngengat tersebut lebih fit dengan mengurangi kemungkinan untuk dimangsa oleh predatornya. Nilai survival dari suatu sifat selalu harus dikaitkan dengan lingkungan dimana organisme tersebut hidup. Nilai survival *Biston betularia* tinggi, karena ia hidup di hutan yang pohon-pohonnya menjadi berwarna gelap karena terpolusi asap industri. Contoh lain *Sicle cell* hemoglobin mengurangi survival di tempat yang tak ada malaria, tapi mempunyai nilai survival positif di Afrika, dimana malaria *Falciparum* berkecamuk.

b. *Seleksi Seksual*, Beberapa sifat yang diturunkan membuat individu lain (jantan atau betina) lebih menarik bagi jenis kelamin yang berlawanan, akan menjamin suatu perkawinan yang berhasil. Dalam suatu eksperimen oleh Scledon dan Elisabeth membuat kultur yang berisi *Drosophila* yang berwarna merah dan bermata putih dicampur dalam jumlah yang sama. Setelah 25 generasi tak ada seekorpun *Drosophila* yang bermata putih, semuanya bermata merah. Pada penelitian tersebut tidak ada lalat bermata merah menyukai lalat yang bermata putih. Lalat yang bermata putihpun menyukai lalat bermata merah. Disini terlihat bahwa seleksi seksual cukup kuat untuk menyingkirkan lalat yang kurang fit dalam waktu yang cukup pendek (25 x 10 hari = 250 hari).

4. Besar Keluarga (Family size)

Setiap sifat yang menyebabkan jumlah keturunan dewasa menjadi besar, merupakan ukuran fitness. Pada hewan yang tidak dapat menjaga/memelihara anaknya seperti ikan, kodok, kura-kura dan sebagainya, fitness diukur dari jumlah telur yang berhasil dibuahi. Sebaliknya pada hewan yang menjaga anaknya sampai dewasa, jumlah keturunannya hanya sedikit yang tereduksi. Jadi bila memperhatikan besar keluarga, maka individu yang paling fit adalah mereka yang mempunyai jumlah keluarga yang besar pada akhirnya bukan pada awalnya.

Bagaimana dengmanusia? Dengan semakin majunya bidang kedokteran, saanitasi, ilmu gizi dll., maka manusia terhindar dari seleksi alam. Kenyataannya

adalah bahwa mungkin kekuatan seleksi alamiah terhadap manusia memang berubah, tetapi tidak sama sekali hilang.

Pada saat ini telah dipahami prinsip-prinsip genetika sehingga dengan demikian tabir evolusi semakin terungkap. Evolusi melibatkan perubahan genotip individu-individu dalam spesies.

5. Sumber Genetik dari Variabilitas

Reproduksi seksual menciptakan kombinasi gen baru, genotip baru, jadi hasilnya adalah fenotip atau variasi baru. Kombinasi baru ini terjadi dengan 3 cara :

- a. Crossing over
- b. Random assortment
- c. Cut breeding.

Yang paling penting selain ketiga cara ini adalah mutasi, karena kejadian ini menghasilkan alel-alel baru.

6. Asal Usul Makhluk Hidup

Gejala hidup merupakan suatu proses kimia dari bentuk atom menjadi senyawa sederhana, kemudian menjadi senyawa kompleks dan akhirnya senyawa kompleks itu secara menyeluruh menjadi benda hidup.

Dari makhluk-makhluk yang ada sekarang, seperti bakteri dan virus secara reduksi ditarik kebelakang akan dicoba untuk menyusunnya kembali di laboratorium sehingga terbentuk senyawa terminal tertentu, yang secara logika dapat diteruskan menjadi makhluk hidup.

1. Evolusi Kimiawi., Uraian materi untuk bahasan ini telah tersaji dalam bab 4, namun untuk mengetahui bagaimana awal evolusi biologi dimulai, anda perlu mengulas lagi bab itu.
2. Evolusi Biologi, Pada saat ini yang dianggap sebagai makhluk hidup terkecil dan dasar dari makhluk hidup adalah sel. Isi sel mengandung berbagai zat cair, senyawa-senyawa organik seperti protein dan asam nukleat. Sel sebagai kesatuan terbungkus oleh membrane dan di dalamnya berlangsung proses hidup.

Bila dikatakan bahwa evolusi biologi sebagai lanjutan evolusi kimiawai, bukan berarti evolusi kimiawi berhenti pada satu titik, kemudian dilanjutkan evolusi biologi, tetapi evolusi masih berlangsung sampai sekarang. Evolusi kimia bukan menghasilkan senyawa kimia yang bersifat kompleks dan bersifat tetap, tetapi senyawa kimia yang kompleks itu dapat menghasilkan molekul-molekul lainnya yang baru.

Makhluk Hidup Pertama

a. Sel dan Virus

Sel sebagai awal gen, yang terbentuk dari asam nukleat merupakan suspensi molekul yang terpisah dalam sel. Diduga sejumlah asam nukleat pada sel primitive saat ini merupakan gumpalan kecil yang semula menjadi satu dengan bagian-bagian sel lainnya terpisah di dalam laut terbuka. Hal ini mungkin terjadi karena suatu peristiwa temporer bagian-bagian sel yang mengalami disintegrasikan (penguraian), sedang bagian inti yang berupa asam nukleat masih tetap ada, sehingga sekarang terbentuk sel yang tidak sempurna. Bentuk ini akan aktif kembali bila bersentuhan dengan benda atau sel hidup lainnya, sehingga asam nukleat itu dapat mengontrol reproduksi.

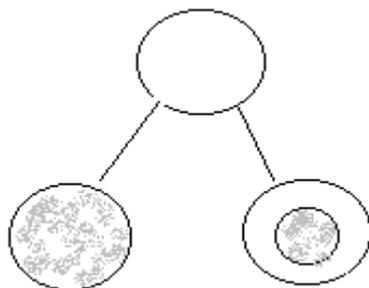
Gumpalan asam nukleat itu merupakan nenek moyang virus-virus saat ini, dimana virus-virus sekarang ini merupakan segumpal asam nukleat yang terbungkus oleh protein, oleh karena itu bukan merupakan sel dan bukan merupakan makhluk hidup. Kita mengetahui bahwa semua virus modern dalam keadaan bebas seperti tersebut di atas, baru aktif bila bersentuhan dengan sel hidup. Virus yang menempel pada sel hidup akan membengkak karena menyerap air, kemudian asam nukleat virus akan meninggalkan pembungkusnya masuk ke dalam sel. Dengan menggunakan organel-organel, virus akan memperbaharui diri dan memperbanyak diri yakni membentuk gumpalan-gumpalan asam nukleat baru dengan bungkus protein baru.

Pada klasifikasi dahulu, virus dikelompokkan ke dalam parasit yang infeksi. Virus modern terkenal memiliki struktur dan tingkah laku yang kompleks, sedang moyangnya sangat sederhana berupa asam nukleat yang telanjang. Asam nukleat merupakan suatu gen, sehingga dapat mengontrol kegiatan dan pembuatan protein. Oleh karena itu virus juga dapat mengontrol kegiatan sel. Pada saat ini virus modern mentransferkan gen dari sel satu ke sel lainnya.

b. Tipe Sel Pertama

Sel pemula merupakan sel tunggal yang mempunyai dua struktur yang merupakan ciri hasil evolusi tingkat akhir yang secara singkat telah dikemukakan yaitu memiliki bahan pembentuk gen berupa asam nukleat. Selanjutnya asam nukleat itu membentuk senyawa yang lebih kompleks yang disebut *nukleoprotein*. Pada beberapa turunan sel awal nukleoprotein tampak sebagai gumpalan agregasi yang terpisah-pisah. Pada tiap sel, gumpalan semacam itu masih menyatu dengan sel lainnya.

Mahluk yang berciri pengaturan diri di dalam, dan bila berkumpul disebut sebagai monera. Sel semacam ini masih ada saat ini, dan sebagian dari famili monera adalah bakteri. Walaupun moyang yang sebenarnya dari bakteri masih belum pasti, tetapi dari struktur bakteri yang ada sekarang ini, dekat dengan konsep sel yang dikemukakan itu, sehingga monera dapat dianggap sebagai moyang bakteri modern. Kelompok makhluk hidup lain yang sekarang terkenal sebagai ganggang biru hijau bernenek moyang dari monera yang pertama.



Gb. Sel pemula (berisi nukleoprotein) mungkin berkembang menjadi 2 macam struktur, ke satu tanpa membrane inti sebagai sel monera, ke dua dengan membrane inti, sebaai sel protista

Kelompok sel lain dari sel pemula adalah sel-sel yang mengandung gen sebagai kondensasi nukleoprotein yang merupakan pecahan gumpalan massa, yang selanjutnya massa itu terbungkus oleh membrane yang menjadi nukleus. Sel-sel pemula yang mengandung nukleus (inti) merupakan asal usul makhluk modern (kecil monera). Dengan dua tipe sel pemula tersebut sebagai monera pemula dan protista pemula terjadilah diversifikasi tipe-tipe makhluk hidup yang ada pada saat ini.

5. Radiasi Primata

Sejarah manusia ditinjau dari evolusi biologi dapat dijelaskan berdasarkan logika dan materi biologi secara struktural. Manusia tidak beradaptasi untuk memanjat, berlari, terbang atau berenang karena manusia menggunakan otaknya untuk memecahkan persoalan yang dihadapinya.

Manusia menempati derajat yang tinggi bila dibandingkan dengan makhluk hidup lainnya karena mampu berkomunikasi, menggunakan alat, mengemukakan pendapat dan suka memikirkan tentang sesuatu. Otaknya berkembang dengan baik dan ukuran otaknya paling besar diantara hewan-hewan yang lain.

Manusia memiliki banyak persamaan dalam struktur tubuhnya dengan primate lainnya, antara lain :

1. Mata menghadap ke depan dan letak kelenjar susu di dada.
2. Ibu jari dan tungkai depan dapat digerakkan ke segala arah.
3. Bentuk rahim yang kompleks
4. Sistem ekskresi, enzim, dan hormon.
5. Sistem pencernaan.
6. Struktur jantung, tipe darah, faktor Rh dan sistem peredaran darah.

Manusia mempunyai bentuk tubuh yang tegak disebabkan tulang panggul dan tulang abdominal pendek dan rata serta kemampuan berkomunikasi memungkinkan untuk mencapai kemajuan yang tinggi yang tidak mungkin dapat dicapai oleh makhluk lain.

Darwin dalam bukunya "*The Descent of Man*" mengutarakan teorinya bahwa manusia memiliki kekerabatan dengan kera, gorilla, simpanse, orang utan dan gibbon karena memiliki banyak persamaan dalam hal struktur tubuh. Berdasarkan persamaan tersebut di Darwin menduga bahwa manusia merupakan hasil perkembangan kera. Dalam kenyataan dugaan itu kurang tepat karena pembentukan spesies baru dalam lingkungan yang baru tidak mudah terjadi. Hewan pertama dari ordo primata diduga hidup kira-kira 75 juta tahun yang lalu, yang dimulai dengan primata primitif dan radiasi evolusinya mengarah ke berbagai bentuk. Yang dapat ditelusuri mulai dari *Tupaidae*, *Lemuridae*, *Pongidae*, sampai *Hominidae*.

Semakin tinggi perkembangannya semakin tangkas dalam menggunakan anggota tubuhnya. Sehingga timbul anggapan semakin tinggi tingkat perkembangannya, volume otaknya semakin besar.

Perkembangan Manusia Purba

Perkembangan manusia purba diawali dengan penemuan Eugene Dubois berupa fosil pecahan rahang "manusia kera" di daerah Trinil, tepi sungai Bengawan Solo pada tahun 1890 an. Dubois menamakannya *Pithecanthropus erectus* (manusia kera tegak). Tetapi karena sangat terbatasnya data-data geologi di pulau Jawa saat itu, umur fosil tersebut tidak dapat ditaksir. Ciri-cirinya pun tidak serupa jika dibandingkan dengan fosil-fosil yang sudah diketemukan sehingga tidak ada kesepakatan apakah fosil ini tergolong *Hominidae* atau kera? . Fosil-fosil yang berhasil ditemukan berupa tulang rahang, gigi dan sebagian tulang paha. Mereka dianggap sudah dapat membuat alat untuk berburu dan sudah dapat menggunakan api, dan diduga sudah dapat berbicara. Anggapan ini didasarkan pada volume otaknya yang sudah lebih besar dari pada otak manusia kera. Volume otaknya diperkirakan antara 770 sampai 1000cm³.

Hasil penemuan ini menarik bagi ilmuwan lain, diantaranya adalah seorang guru besar Anatomi pada perguruan tinggi di Peking. Orang tersebut adalah Davidson Black yang mengadakan penelitian di Choukoutien, gua besar yang berbukit-bukit. Hasil penyelidikan dilanjutkan oleh Franz W. . Fosil yang dikumpulkan diberi nama *Sinantropus pekinensis*. Mempunyai volume otak kira-kira 900-1200 cm³, dan mempunyai kebudayaan yang lebih tinggi dari *Pithecantropus erectus*. Menggunakan perkakas dari tulang dan batu dan sudah terbiasa menggunakan api.