



Jurusan Pendidikan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta

Modul Pembelajaran

EVOLUSI

Berbasis Museum Purbakala Sangiran

untuk kelas XII SMA/ sederajat



Penyusun
Nur Aini, S.Pd.
dr Tutiek Rahayu M.Kes.

Modul Pembelajaran Evolusi Berbasis Museum Purbakala Sangiran

Penyusun
Nur Aini, S.Pd.
dr Tutiek Rahayu M.Kes.

Jurusan Pendidikan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Jl. Colombo No.1, Karang Malang, Caturtunggal, Depok,
Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
2020



MODUL PEMBELAJARAN EVOLUSI BERBASIS MUSEUM PURBAKALA SANGIRAN

Bukti Evolusi yang ditemukan di Situs Sangiran, Sragen, Jawa
Tengah ©2020 Universitas Negeri Yogyakarta

ISBN: 9 786239 582135

Penyusun

Nur Aini, S.Pd.
dr Tutiek Rahayu M.Kes.

Editor

Rio Christy Handziko, S.Pd.Si., M.Pd
Ema Apriliasa, M.Pd.
Suratsih, M,Si.

Rizka Apriani Putri, M.Sc.

Desain dan Tata Letak

Nur Aini

Desain Sampul Depan

Museum Purbakala Sangiran Klaster Krikilan (Nur Aini)

Ilustrator

Nur Aini, M. Luthfi As'ad

Kontributor Foto

Ishadiyanto Salim, Kharisma Diah TK, Mariza Uthami

Penerbit

Jurusan Pendidikan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Kampus Karangmalang, Jl. Colombo No 1 Caturtunggal, Depok, Sleman,
Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
Email: jurdikbio@uny.ac.id

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas terselesaikannya modul pembelajaran ini. Modul pembelajaran evolusi ini dimaksudkan untuk membantu peserta didik SMA/ sederajat kelas XII semester genap untuk mendapatkan pemahaman mengenai konsep evolusi, meluruskan miskonsepsi teori evolusi yang telah terjadi, serta mengangkat Situs Sangiran sebagai sumber belajar evolusi yang relevan. Peserta didik diharapkan dapat memperoleh pengalaman belajar yang baru dan menyenangkan serta dapat membuat peserta didik belajar mandiri dalam memahami berbagai konsep, proses sains, dan fenomena yang ada di lingkungan sekitar khususnya yang berhubungan dengan evolusi.

Modul ini disusun secara sistematis berdasarkan Kompetensi inti dan Kompetensi dasar dari Kurikulum 2013 yang berlaku pada materi yang berkaitan serta menyertakan gambar-gambar yang relevan. Di akhir setiap bab, terdapat latihan soal dan tes formatif pada bagian akhir buku saat semua bab telah dipelajari yang bertujuan untuk menguji pemahaman peserta didik, serta rubrik pengayaan yang diharapkan dapat merangsang peserta didik untuk mengembangkan pengetahuannya mengenai evolusi.

Semoga modul pembelajaran biologi ini dapat memberikan manfaat, dan memang masih jauh dari sempurna, sebab itu kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan modul ini.

Yogyakarta, April 2020

Penulis



DAFTAR ISI

Cover

Halaman Judul

Kata Pengantar i

Daftar Isi ii

Kompetensi Pembelajaran 1

Petunjuk Penggunaan Modul 3

Peta Konsep 5

Tentang Museum Purbakala Sangiran 6

BAB I Ilmuwan Evolusi **24**

Tokoh Sebelum Darwin 26

Linnaeus 26

Hutton 27

Lamarck 27

Malthus 29

Cuvier 30

Lyell 30

Pandangan Darwin 31

Darwin dan Pelayarannya
dengan Kapal H.M.S Beagle 32

Tentang MUSEUM PURBAKALA SANGIRAN



Daftar 1 Museum Purbakala Sangiran adalah tempat belajar proses evolusi manusia dan Sangiran merupakan sebuah daerah yang secara administratif terbentuk atas dua bagian kecamatan yang tergabung, yaitu dari setengah bagian merupakan daerah Kabupaten Sangiran dan sebagian yang lain merupakan daerah Kabupaten Karanganyar. Sangiran dikenal dengan sebutan situs atau museum, serta erat kaitannya dengan fosil, manusia purba, purbakala, dsb. Lalu, sebenarnya apa perbedaan dari Situs Sangiran dan Museum Purbakala Sangiran?

Situs memiliki arti lokasi suatu kejefaan, struktur, objek, atau hal lain, baik virtual, temporer atau permanen. Situs yang dimaksud pada istilah Situs Sangiran memang pada maksud sebagai lokasi bersejarah dan sebagai situs arkeologi, yaitu tempat di mana bukti-bukti sejarah masa lalu dikumpulkan yang sedang ataupun akan diteliti dengan disiplin ilmu arkeologi. Situs Sangiran mencakup semua bagian yang menyajikan bukti sejarah kehidupan masa lampau serta Museum Purbakala Sangiran sebagai sarana untuk menunjukkan kepada dunia mengenai jejak yang tersimpan di dalam Kubah Sangiran.



BAB I ILMUWAN EVOLUSI



Daftar 2 Ilustrasi beberapa tokoh ilmuwan dan pemikirannya mengenai evolusi. Berbicara mengenai asal-usul kita dan aspek kehidupan yang menyertai, kita tentu tidak asing dengan istilah evolusi. Kata evolusi sangat akrab kita dengan baik pada suasana pembelajaran di sekolah maupun pada topik pembicaraan tertentu. Pada buku ini, kita akan mempelajari mengenai evolusi secara lebih luas dan mendalam. Untuk mengetahui beberapa jejak pengetahuan kita, sebelumnya **ayo ungkapkan pendapatmu mengenai evolusi!** Setelah itu, mari bersama-sama kita mempelajari evolusi dari sudut pandang biologi secara lebih mendalam.

TUJUAN PEMBELAJARAN
Setelah mempelajari bab ini, kamu diharapkan mampu:
1. Menyebutkan tubung pembuat jaring jaring.
2. Menjelaskan bagaimana berinteraksi yang dikenal Darwin dengan mekanisme seleksi alam dengan teori.
3. Mendeskripsikan perkembangan evolusi melalui mengungkap jejak evolusi dan perkembangan teori mengenai evolusi dengan teori.
KATA KUNCI
Evolusi
Seleksi
Pembuatan
Jaring-jaring
Fosil
Seleksi alam
Seleksi alam dengan Model Rusa



Kepulauan Galapagos	33
Teori Darwin	39
Karya Darwin	45
Tokoh Setelah Darwin	50
Wallace	50
Mendel	50
Haeckel	51
Huxley	52
Weisman	53
Evolusi Masa Kini	53
Edwards	53
Teori Helogenome	54
Dawkins	55
Harun Yahya	55

BAB II Mekanisme Evolusi 60

Seleksi Alam	62
Seleksi Mengarah	63
Seleksi Disruptif	64
Seleksi Stabilisasi	64
Mutasi dan Rekombinasi Gen	69
Gene Flow dan Genetic Drift	72
Frekuensi Alel	75

3. Tokoh Setelah Darwin

1. Wallace

Naturalis Inggris yang bekerja di India Timur. Alfred Russel Wallace (1823-1913), merupakan tokoh evolusi yang juga mengembangkan teori seleksi alam selengkapannya yang diungkapkan oleh Darwin. Perkenalan Wallace hingga dapat menemukannya bersama Darwin dan pengantarannya ke Darwin, yakni melalui di Malaya, dan kemudian ke Jepang & Borneo, dan saat berada di Sulawesi dan Maluku. Di sana Wallace menemukan burung-burukannya fauna yang ada di Indonesia serta dengan Indonesia Timur. Pada tahun 1858, yang di samping Wallace mengungkapkan istilah "survival of the fittest" yang berarti orang yang kuat adalah yang menang. Perkenalan Wallace ini mirip dengan gagasan Darwin yaitu "struggle for life".

Wallace juga terkenal karena menemukannya burung-burukannya (Wallace bird) yang gratis yang membawa konsep geografi hewan-hewan Asia dari Australia. Garis-garis tadi, masing-masing di sepanjang bukit-bukit Hainan dan Pulau Bali. Deskripsi mengenai Garis Wallace ini dapat dilihat dan tulisan Wallace yang berjudul "On the Zoogeographical Geography of the Malay Archipelago" (1859).



2. Mendel

Ernst Johann Mendel (1822-1884) mengembangkan pada tingkat bahwa penurunan sifat dari induk ke keturunannya diwariskan oleh faktor panentu. Saat ini faktor panentu yang diwariskan oleh Mendel kini dikenal sebagai gen. Perkenalan sifat terjadi saat ini baru manusia dan hewan. Mendel mempelajari bahwa penurunan sifat hereditas merupakan pola dengan terikat.



4. Evolusi Masa Kini

1. Scott V. Edwards

Scott V. Edwards adalah Profesor Biologi Sistem Mamalia Universitas Indiana. Dipertemukan oleh Edwin Edwicks saat ini adalah Kurator Ornithology dan pengajaran grup saat di Museum of Comparative Zoology Harvard.

Keterkaitan Edwards dengan burung telah muncul sejak kecil dan semakin berkembang saat ia memutuskan untuk kuliah dan bekerja di laboratorium dan di taman botani nasional di Hawaii dan California. Sistem bekerja di laboratorium, Edwards mulai mengungkap bahwa semua burung-burukannya memiliki keterkaitan dan saling memiliki satu sama lain, termasuk lalat putih.

Ornithology sebagai bidang keilmuan yang diwariskan oleh Edwards ternyata telah mengungkap bahwa dalam mengenai evolusi yang terjadi pada populasi burung di Australia. Spesies burung sebanyak 350.000 ekor di Australia menurut Edwards bahwa yang dikumpulkan oleh peneliti ia telah menunjukkan perbedaan ukuran, bentuk, dengan kelompok populasi populasi, tempat lahir dan waktu.

Penelitian Edwards diawali dengan kaitannya dengan dalam lapangan burung-burukannya di Papua New Guinea sebagai burung pengantar burung yang hidup di hutan hujan. Edwards kemudian mulai menulis tentang pengantar yang hidup di Australia. Penelitian

3. Teori Helogenome

Teori Helogenome adalah pada awal abad 21. Teori ini berasal dari pengamatan yang dilakukan oleh peneliti terhadap lalat putih yang sudah disebutkan.



BAB II MEKANISME EVOLUSI



TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mempelajari bab ini, siswa dapat:

1. menjelaskan mekanisme evolusi dengan konsep seleksi alam;
2. menguraikan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya perubahan evolusi;
3. menjelaskan mekanisme evolusi pada suatu populasi menggunakan hukum Hardy-Weinberg dengan konsep...

KATA KUNCI

Seleksi alam, seleksi alam, seleksi alam, seleksi alam, seleksi alam.




BAB III Asal Usul Spesies 82

Spesiasi 84

Spesiasi Alopatrik 86

Spesiasi Simpatrik 86

Spesiasi Peripatrik 87

Spesiasi Parapatrik 87

Isolasi 88

Isolasi Reproduksi 88

Isolasi Habitat 90

Isolasi Perilaku 90

Isolasi Temporal 91

Isolasi Mekanik 91

Radiasi Adaptif 92

BAB IV Bukti Evolusi

Fosil 95

Asal Mula Keanekaragaman Tumbuhan dan Fosilnya 97

Asal Mula Keanekaragaman Hewan dan Fosilnya 101

Primata dan Manusia serta 122

Perbandingan Anatomi 162

Alat Tubuh yang Tersisa 165

Perbandingan Embriologi 166



Perbandingan Biokimia	167
Biogeografi	170
Domestikasi	172
Tes Formatif	175
Pengayaan	180
Referensi	195
Glosarium	198
Kunci Jawaban	202
Tentang Penulis	203



KOMPETENSI

PEMBELAJARAN

Deskripsi Singkat

Modul ini digunakan sebagai bahan ajar pada kegiatan pembelajaran materi evolusi kelas XII SMA/ sederajat semester genap. Modul ini memiliki judul Modul Pembelajaran Evolusi Berbasis Museum Purbakala Sangiran yang disusun berdasar pada kajian literatur dan kajian dari Museum Purbakala Sangiran sebagai penyedia bukti evolusi yang relevan.

Alokasi Waktu Pembelajaran

4 x 45 menit (2 minggu)

Kompetensi Inti

3. Memahami, menerapkan, dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dengan wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian, serta menerapkan pengetahuan prosedural pada bidang kajian yang spesifik sesuai dengan bakat dan minatnya untuk memecahkan masalah.
4. Mengolah, menalar, menyaji, dan mencipta dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri serta bertindak secara efektif dan kreatif, dan mampu menggunakan metoda sesuai kaidah keilmuan.

Kompetensi Dasar

- 3.9 Menganalisis tentang teori evolusi dan seleksi alam dengan pandangan baru mengenai pembentukan spesies baru di bumi berdasarkan studi literatur.
- 4.9 Mengevaluasi pemahaman diri tentang berbagai pandangan mengenai evolusi makhluk hidup dan menciptakan gagasan baru tentang kemungkinan-kemungkinan teori evolusi berdasarkan pemahaman yang dimilikinya.



Indikator Pembelajaran

- 3.9.1 Menemukan hubungan pendapat para ahli mengenai teori evolusi
- 3.9.2 Menghubungkan fenomena-fenomena yang ditemui Darwin dengan mekanisme seleksi alam
- 3.9.3 Menghitung frekuensi gen dalam populasi menggunakan hukum Hardy-Weinberg
- 3.9.4 Membuktikan terjadinya evolusi pada suatu populasi menggunakan Hukum Hardy-Weinberg
- 3.9.5 Menemukan urutan temuan fosil hominin di Situs Sangiran untuk mengetahui perkembangan hominin di Indonesia
- 3.9.6 Menguraikan mekanisme evolusi
- 3.9.7 Menguraikan macam spesiasi
- 3.9.8 Mengaitkan adanya isolasi makhluk hidup yang menyebabkan terbentuknya spesies baru
- 3.9.9 Menguraikan macam-macam bukti evolusi
- 3.9.10 Mengaitkan lapisan-lapisan tanah yang ada di Sangiran untuk menjelaskan evolusi lingkungan
- 4.9.1 Menyimpulkan pendapat para ahli evolusi mengenai peristiwa evolusi dan pandangan baru mengenai evolusi
- 4.9.2 Mencari dan menciptakan gagasan mengenai kecenderungan baru teori evolusi berdasarkan pemahaman yang dimiliki



PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

Modul pembelajaran evolusi ini terdiri atas empat bab, yaitu Tokoh-Tokoh Evolusi, Mekanisme Evolusi, Asal-Usul Spesies, dan Bukti Evolusi. Untuk membantu pengguna dalam mempelajari kegiatan belajar ini, ada baiknya perhatikanlah beberapa petunjuk belajar berikut ini:

Pendahuluan

Bacalah dengan cermat bagian pendahuluan sampai anda memahami secara tuntas mengetahui bagaimana mempelajari modul ini.

Informasi tambahan

Bagian ini memberikan Anda tambahan wawasan sekitar ilmu Biologi.

Kenalan yuk!



Erasmus Darwin (1731-1802) adalah ayah dari Charles Darwin. Erasmus memiliki ketertarikan dengan farmasi, penelitian dan

Sumber:

<https://www.britannica.com/biography/Erasmus-Darwin>

Kamu tahu tidak?

Kita sering menemukan istilah-istilah yang digunakan dalam ilmu pengetahuan seperti teori, postulat, hukum, asumsi dan prinsip. Namun tahukah kamu perbedaan dari lima kata tersebut?

1. Teori adalah adalah serangkaian bagian atau variabel, definisi dan dalil yang saling berhubungan yang menghadirkan sebuah pandangan sistematis mengenai fenomena dengan menentukan hubungan antarvariabel, dengan maksud menjelaskan fenomena alamiah. Teori bersifat subjektif tergantung pandangan setiap orang, sehingga tidak dapat dijadikan acuan tunggal yang harus disepakati semua orang
2. Postulat adalah pendapat yang kebenarannya dapat

Sumber: file.upi.edu



Point Penting

Tangkap konsep dasar esensial dan pengertian demi pengertian melalui pemahaman sendiri, dan terdapat variasi ketebalan huruf pada kata atau kalimat tertentu untuk menunjukkan poin penting

Forum Diskusi

Kegiatan ini melatih Anda mengasah dan mengembangkan kemampuan Anda dalam memecahkan permasalahan.

Menambah wawasan yuk

1. Tahukah kamu perbedaan bulus, kura-kura dan penyu?
2. Di manakah habitat bulus, kura-kura dan penyu?

Latihan Mandiri

Berupa tugas pada setiap bab yang wajib Anda kerjakan untuk mengukur aspek kognitif.

Rangkuman

Bagian ini membantu Anda mempersiapkan materi belajar.

Glosarium

Bagian ini berisi penjelasan dari istilah-istilah penting yang anda temukan saat mempelajari materi pada modul ini

Pengayaan

Modul ini menyajikan pengayaan untuk menambah pengetahuan anda selain yang anda dapat sesuai dengan tuntutan KD

Eksperimen

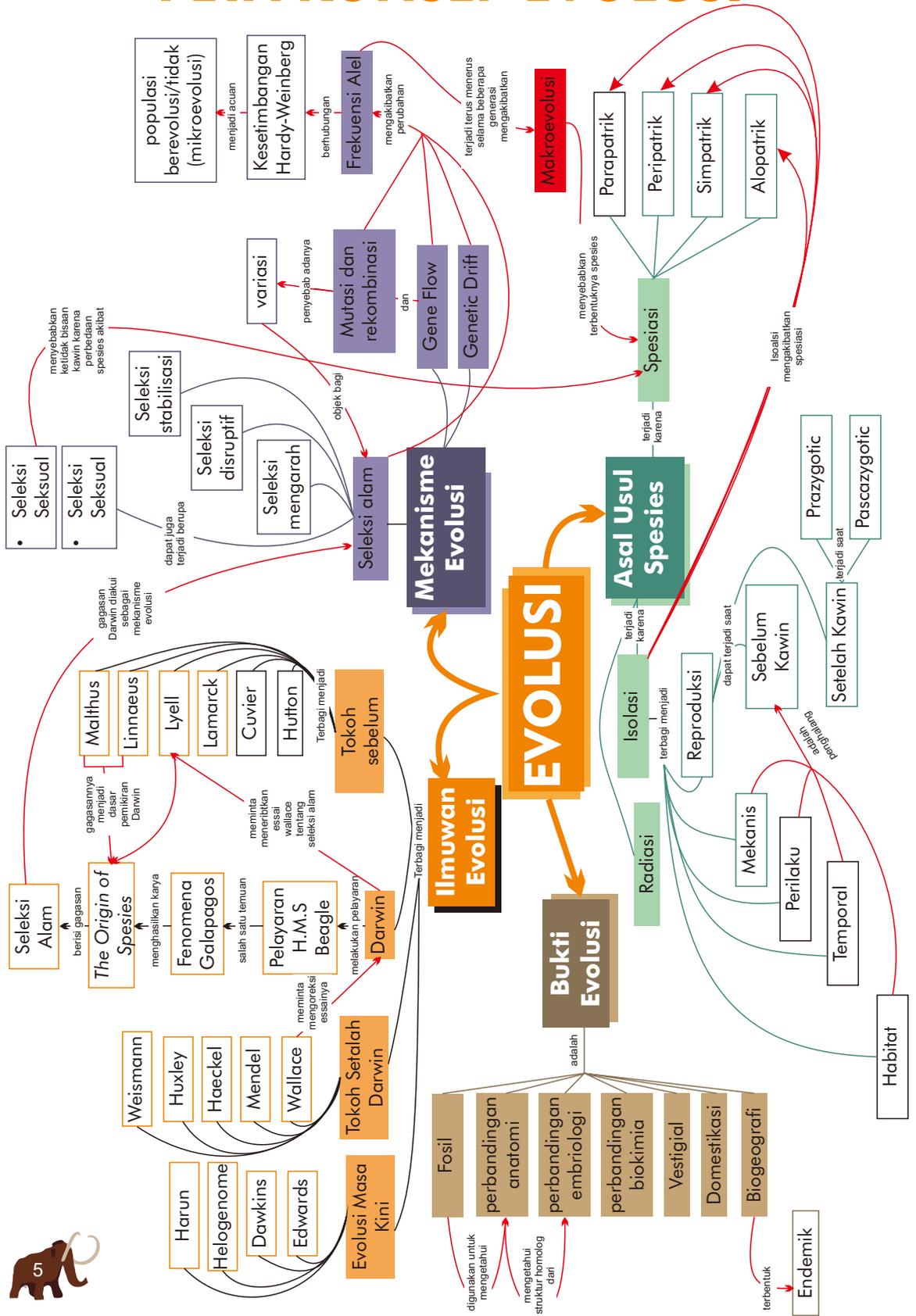
Anda akan melatih keterampilan melakukan kegiatan praktikum melalui media ini sehingga tidak hanya mempelajari Biologi secara teoritis saja.

Tes Formatif

Modul ini menyajikan soal-soal yang meliputi seluruh materi. Kinilah saatnya Anda untuk membuktikan kemampuan Anda dalam memahami materi yang telah anda pelajari.



PETA KONSEP EVOLUSI



Tentang MUSEUM PURBAKALA SANGIRAN



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1 Museum Purbakala Sangiran sebagai sumber belajar proses evolusi manusia dan lingkungan

Sangiran merupakan sebuah daerah yang secara administratif terbentuk atas dua bagian kecamatan yang tergabung, yaitu dari setengah bagian merupakan daerah Kabupaten Sragen dan sebagian yang lain merupakan daerah Kabupaten Karanganyar. Sangiran dikenal dengan sebutan situs atau museum, serta erat kaitannya dengan fosil, manusia purba, purbakala, dsb. Lalu sebenarnya **apa perbedaan dari Situs Sangiran dan Museum Purbakala Sangiran?**

Situs memiliki arti lokasi suatu kejadian, struktur, objek, atau hal lain, baik virtual, lampau atau direncanakan. Situs yang dimaksud pada istilah Situs Sangiran merujuk pada maksud sebagai lokasi bersejarah dan sebagai situs arkeologi, yaitu tempat di mana bukti aktivitas masa lalu dilestarikan serta sedang ataupun akan diselidiki dengan disiplin ilmu arkeologi. Situs Sangiran mencakup semua bagian yang menyimpan bukti sejarah kehidupan masa lampau serta Museum Purbakala Sangiran sebagai sarana untuk menunjukkan kepada dunia mengenai apa yang tersimpan didalam Kubah Sangiran.



Museum Purbakala Sangiran adalah bagian dari Situs Sangiran yang menyimpan, merawat, dan memperlihatkan kepada masyarakat benda berharga dan bersejarah berupa fosil, artefak, dan budaya kehidupan purba yang pernah ada di Sangiran jutaan tahun lalu. Museum Purbakala Sangiran berdiri pada tahun 1977 dan terdiri dari 5 Klaster, yaitu Klaster Krikilan, Klaster Bukuran, Klaster Manyarejo, dan Klaster Ngebung, yang terletak di Kecamatan Kalijambe, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah serta Klaster Dayu yang terletak di Kecamatan Gondangrejo, Karanganyar Jawa Tengah. Kelima klaster ini menyimpan dan menampilkan fosil dan artefak zaman purba dengan kekhasan masing-masing.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 2 Museum Purbakala Sangiran Klaster Krikilan



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 2 Museum Purbakala Sangiran Klaster Krikilan

1. Klaster Krikilan

Klaster Krikilan adalah *visitor center* dimana para wisatawan umumnya mendatangi klaster tersebut pertama kali sebelum ke klaster yang lain. Klaster ini menyuguhkan informasi umum dari Situs Sangiran yang terbagi menjadi 3 ruang, yaitu ruang pameran Kekayaan Sangiran, ruang pameran Langkah-Langkah Kemanusiaan, dan ruang diorama Masa Keemasan *Homo Erectus*.

Temuan *Homo erectus* di Sangiran ternyata menyumbang hampir separuh dari total temuan *Homo erectus* di dunia. Satu juta tahun masa hidup *Homo erectus* yang pernah tinggal di Jawa menunjukkan perkembangan yang signifikan, didukung oleh temuan artefak di Situs Sangiran yang mendukung keberadaan manusia pada saat itu.



Klaster Krikilan menyajikan temuan-temuan di Situs Sangiran, seperti fosil fosil fauna yang menggambarkan lingkungan Sangiran pada lini masa tertentu. Fauna yang pernah hidup dan kini telah memfosil di antaranya adalah fauna akuatik seperti penyu, ikan, moluska, dan reptil; hewan-hewan vertebrata berukuran besar seperti gajah (*Mastodon*, *Stegodon*, dan *Elephas*), kerbau (*Bubalus paleokarabau*), banteng (*Bibos paleosandicus*), antelop (*Duboisia santeng*), rusa, badak, kuda sungai, dll yang hidup berdampingan dengan manusia selama lebih dari 1 juta tahun.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 3 Museum Purbakala Sangiran Klaster Bukuran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 3 Museum Purbakala Sangiran Klaster Bukuran

2. Klaster Bukuran

Klaster Bukuran terdiri atas 2 lantai, terletak di Desa Bukuran, Kecamatan Kalijambe, Kabupaten Sragen. Klaster Bukuran mengangkat tema evolusi manusia, sehingga klaster ini menyajikan berbagai informasi mengenai evolusi manusia. Pola evolusi manusia disampaikan dengan menyajikan 12 replika tengkorak manusia untuk menunjukkan perbedaan ke-12 tengkorak yang mewakili jenis *hominid* yang berbeda. Klaster Bukuran menyajikan bukti-bukti peninggalan fosil manusia purba (replika), juga keanekaragaman makhluk hidup di Sangiran yang pernah ada di Sangiran yang ditampilkan dalam format audio visual yang menggambarkan berbagai aspek kehidupan mereka.





Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4 Museum Purbakala Sangiran Klaster Ngebung

3. Klaster Ngebung

Klaster Ngebung terletak tiga km di sebelah utara Klaster Krikilan. Klaster Ngebung memiliki nilai historis yang tinggi karena lokasinya merupakan daerah yang pernah dilakukan penelitian secara sistematis. Oleh karena itu, klaster ini mengambil tema sejarah para peneliti Eropa yang melakukan penelitian di Ngebung. Peneliti Eropa yang pernah datang ke Indonesia merupakan pembuka jalannya penelitian terhadap fosil dan budaya yang menyertainya.

4. Klaster Dayu

Klaster Dayu merupakan satu-satunya klaster dari Museum Purbakala Sangiran yang terletak di Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah. Klaster Dayu dikenal sebagai situs yang penting karena banyak menyimpan tinggalan kehidupan sejak jutaan tahun silam seperti manusia dan budaya, fauna, serta rekaman perubahan lingkungan Sangiran.

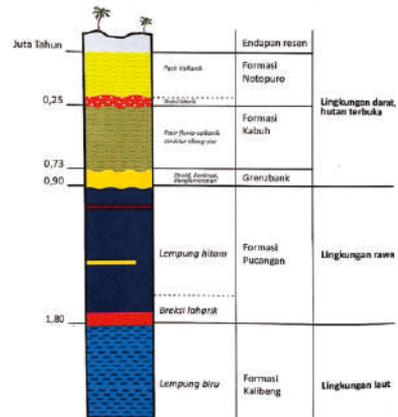
Fosil dari *Homo erectus* yang menjadi *masterpiece* Sangiran yaitu Sangiran 17 (S17) ditemukan tidak jauh dari Klaster Dayu, yaitu di Desa Pucung pada tahun 1969. Keadaan stratigrafi tanah di Desa Dayu relatif lengkap, sehingga mampu menggambarkan secara berurutan evolusi lingkungan Sangiran sejak 1.2 juta tahun lalu saat Sangiran masih berupa rawa hingga menjadi daratan.





Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5 Museum Purbakala Sangiran Klaster Dayu



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 6 Litografi dan stratigrafi tanah di Sangiran

Klaster Dayu memiliki empat anjungan yang menunjukkan lapisan tanah berbeda secara nyata yang ada di Sangiran. Mulai dari anjungan teratas yaitu anjungan Notopuro (termuda, tanah yang dihuni penduduk Sangiran pada masa sekarang), menuju ke bawah adalah anjungan yang menampilkan lapisan Formasi Kabuh, anjungan Grenzbank, dan anjungan Pucangan. Secara lebih jelas, spesifikasi keempat lapisan atau formasi tanah yang ada di Sangiran adalah sebagai berikut:

a. Formasi Kalibeng

Formasi Kalibeng memiliki usia 2.4 juta tahun. Pada masa ini, Sangiran merupakan lautan dalam. Hal ini diketahui dari lapisan lempung biru yang ada di formasi tersebut, juga ditemukannya fosil hewan-hewan laut seperti hiu, penyu, ikan pari, moluska, dan kerang mutiara.

Kedaaan alam di Sangiran mengalami perubahan karena adanya tenaga endogen seperti gempa tektonik aktivitas vulkanik dan proses patahan. Perubahan ini mengakibatkan terbentuknya daratan dan laut dalam Sangiran berangsur menjadi rawa.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 7 Lapisan tanah formasi Pucangan di Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 8 Lapisan tanah formasi Kalibeng di Sangiran

b. Formasi Pucangan

Keadaan lingkungan berupa rawa dan daratan di Sangiran terjadi pada masa Plestosen bawah yang tergambar pada Formasi Pucangan. Ciri yang terlihat adalah tanah berwarna hitam yang tersusun dari material lempung hitam hingga abu-abu dengan lapisan pasir tipis yang halus. Kandungan mineral organik yang ada pada lapisan pucangan diasumsikan bahwa lapisan ini terbentuk dari lingkungan rawa dan hutan bakau.

Usia formasi pucangan adalah 1.7 juta tahun. Rawa-rawa terbentuk karena aktivitas vulkanis. Abu vulkanis gunung Lawu purba atau gunung Merapi mengendap dan membentuk dasaran rawa. Dataran terbentuk karena gempa tektoknis yang mengangkat dasar laut menjadi semakin ke atas.

Fosil fauna yang ditemukan pada lapisan ini merupakan hewan vertebrata (bertulang belakang) seperti buaya sungai, kuda air, kepiting, dan labi-labi. Selain itu pada lapisan pucangan juga ditemukan fosil manusia purba *Homo erectus* arkaik. Manusia purba ini memiliki ciri-ciri, yaitu tempurung otak tebal, volume otak kecil, serta memiliki tulang rahang yang kekar dan gigi geliginya besar. *Homo erectus* arkaik ini merupakan manusia awal yang menghuni pulau Jawa.

c. Grenzbank

Grenzbank atau yang memiliki nama lain lapisan silang-siur adalah lapisan antara pucangan dan kabuh. Lapisan Grenzbank menyerupai beton semen yang sangat keras, terdiri dari kongresi konglomeratan/gamping pisoid. Lapisan Grenzbank adalah batuan kapur yang terbentuk dari kerap terjadinya perubahan daratan menjadi laut dan sebaliknya, yang dibarengi proses terangkatnya daratan, dan masih ditambah timbunan material vulkanis, proses ini diakhiri dengan terbentuknya daratan.

Grenzbank tersusun dari paduan mineral, gamping, batuan beku, lempung, fosil moluska, dan foraminifera. Campuran ini menandakan kehidupan laut yang bercampur endapan aktivitas gunung api dan erosi dari pegunungan Kendeng. Terdapat juga endapan kapur yang biasa terbentuk pada kondisi iklim yang sangat kering. Seperti adukan semen, proses alam kala itu menjadikan lapis tanah ini menjadi begitu keras bagai beton, dan hal ini mendasari pemberian nama Grenzbank yang artinya “zona batas”. Batas masa Sangiran benar-benar menjadi daratan sempurna hingga kini. Usian grenzbank adalah 900-730 ribu tahun, di mana Sangiran mengalami perubahan menjadi daratan. Grenzbank tebalnya sekitar 60 – 120 cm.

d. Formasi Kabuh

Lapisan kabuh berumur 700 ribu – 250 ribu tahun, terletak tepat diatas lapisan grenzbank. Sangiran pada masa lapisan kabuh merupakan kawasan aliran sungai yang cukup hijau, dengan dominasi rerumputan berseling pohon besar. Hewan herbivora seperti banteng, badak, dan gajah purba bergerombol merumput di bawah pohon rindang yang berseling semak belukar. Lingkungan sungai merupakan habitat yang nyaman bagi buaya dan kuda sungai. Pada masa ini, Sangiran merupakan sabana hijau yang mencapai puncak kejayaan kehidupan.





Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 9 Lapisan tanah formasi Kabuh di Sangiran

Homo erectus yang hidup di masa ini bertempat tinggal di atas bukit dan telah membuat alat batu. Makanan *Homo erectus* masa ini adalah kacang-kacangan, umbi dan telur. Mereka kadang memburu hewan-hewan antara lain babi hutan, kerbau, kijang, dan sapi.

Kejayaan Sangiran berakhir menjelang akhir Kala Plestosen Tengah saat gunung-gunung meletus bergantian menjadikan Sangiran sebagai dataran yang gersang.

e. Formasi Notopuro

Lapisan yang paling atas atau termuda adalah lapisan Notopuro yang terdiri dari material pasir dan batuan andesit. Lapisan ini sudah menjadi dataran yang sempurna dan berusia 250ribu-15 ribu tahun. Ketebalan lapisan mencapai 47 meter dan terbagi menjadi tiga lapisan yaitu lapisan lahar atas, lapisan teras, lapisan batu pumice. Berdasarkan lapisan lahar tersebut, formasi notopuro dibedakan menjadi 3 yaitu Formasi Notopuro bawah, formasi notopuro tengah dan formasi notopuro atas. Formasi Notopuro Tengah (lapisan teras) memiliki ketebalan maksimal 20 meter, dan Formasi Notopuro Lahar Atas dengan maksimal 25 meter.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 10 Lapisan tanah formasi Notopuro di Sangiran

Hanya sedikit fauna yang sanggup bertahan hidup pada Formasi Notopuro, karena perubahan iklim dimasa itu yang menyebabkan tanah Sangiran menjadi kering dan tandus. Hewan yang mampu bertahan dikala itu seperti kerbau, gajah purba, dan badak. Sungai-sungai mengering dari sabana subur berlimpah air, Sangiran beralih menjadi daerah yang gersang dan pepohonan menjelma menjadi semak belukar. Pada Formasi Notopuro ini sangat jarang dijumpai fosil, namun di dalam lapisan ini banyak ditemukan artefak batu hasil budaya manusia yang berupa serpih-bilah (sehingga Sangiran dijuluki industri serpih-bilah Sangiran), kapak perimbas, bola batu, kapak penetak, dan kapak persegi).

5. Klaster Manyarejo

Klaster Manyarejo didirikan sebagai wujud apresiasi terhadap kegiatan ekskavasi yang dilakukan oleh para peneliti di Situs Sangiran. Galian ekskavasi terletak dibagian luar diorama di Klaster ini. Galian ini merupakan galian asli, bukan tiruan atau ilustrasi sebagaimana yang ada di klaster-klaster lain.

Diorama Klaster Manyarejo berisi Audio visual yang berisi ungkapan warga Sangiran sebagai penemu-penemu fosil sekaligus

pengawal tugas yang handal bagi para peneliti menyambut kedatangan pengunjung Museum Manyarejo. Lini masa penelitian di Sangiran diceritakan menurut perspektif masyarakat menanggapi kedatangan para peneliti asing dan dalam negeri. Mitos dan legenda mengenai balung buto juga disampaikan di ruang diorama klaster ini.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 11 Museum Purbakala Sangiran Klaster Manyarejo

Berdirinya Museum Purbakala Sangiran didasarkan atas semakin banyaknya temuan fosil maupun artefak manusia purba di Sangiran serta dorongan rasa keharusan untuk melestarikan warisan tak ternilai tersebut sebagai warisan budaya asli Indonesia. Museum Purbakala Sangiran didirikan dengan tema "Apresiasi Sejarah Peradaban Manusia". Situs Sangiran merupakan salah satu situs Manusia Purba yang terbesar dan terpenting di dunia. Pada situs Sangiran telah ditemukan sebanyak sekitar 100 fosil manusia purba (*Homo erectus*) atau 50% lebih temuan fosil *Homo erectus* di dunia. Oleh karena kandungannya yang mempunyai nilai tinggi pada kesejarahan dan ilmu pengetahuan, maka Situs Sangiran telah ditetapkan sebagai daerah Cagar Budaya. Selain itu, UNESCO telah menetapkan Sangiran sebagai Warisan Budaya Dunia (*World Culture Heritage*) pada tahun 1996.

Setelah mengetahui sejarah dan informasi mengenai Museum Purbakala Sangiran, sekarang kita dihadapkan pada pertanyaan: bagaimana asal mula penelitian fosil dilakukan hingga akhirnya temuan demi temuan fosil terus terjadi di Situs Sangiran?

Jauh sebelum mengenal istilah fosil, masyarakat Sangiran lebih akrab dengan kata 'balung buto' untuk menamai batu berbentuk mirip tulang belulang yang ditemukan secara tidak sengaja di lahan pertanian mereka. Sejarah balung buto membekas bagi masyarakat Sangiran hingga Von Koeningswald datang untuk mengungkap rahasia tersimpan Sangiran dan mengenalkan istilah fosil untuk menamai belulang yang membatu itu. Sejarah Situs Sangiran dimulai pada tahun 1893, saat Eugene Dubois untuk pertama kali mendatangi situs ini untuk melakukan pemetaan secara geologis di Sangiran dan sekitarnya bersama L.J.S van Es. Hasil pemetaan ini berbentuk peta yang kemudian digunakan oleh G.H.R von Koeningswald pada tahun 1934 untuk melakukan survey dengan temuan himpunan artefak prasejarah.

Pada tahun 1936 hingga 1941, Koeningswald berhasil mengumpulkan sejumlah spesimen fosil *Homo erectus* di Situs Sangiran. Namun temuan *Homo erectus* ini bukan merupakan temuan pertama dan pembuka penelitian dan pencarian fosil di Indonesia. Tokoh yang pertama kali melakukan eksplorasi mengenai benda 'langka' dan bersejarah di Indonesia adalah Franz Wilhelm Junghuhn (1809-1864).

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan ketertarikan para ilmuwan Eropa mengenai fosil dan bukti kehidupan masa lalu, Indonesia mulai dikunjungi para ilmuwan ini untuk mencari dan menemukan sesuatu yang berkaitan dengan hal ini.





Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 12 Heinrich Ernst Von Beyrich (1815-1896)

Karya : Fosil Masa Paleozoikum Akhir dari Timor Barat (1865)

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 13 Johan Karl Ludwig Martin (1951-1942)

Karya : Pengetahuan Paleo-zoologi dari Jawa (1919)

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 14 B.D Van Rietschoten (1837-1927)

Karya : Manusia Wajak 1 (1888)

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 15 J Franz Wilhelm Junghuhn (1809-1864)

Karya : Jawa: Bangunannya, Platon Corak Ragam Tanaman dan Desain Interior (1852)



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 18 Eugene Dubois

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 17 Georg Eberhard Rumphius (1627-1702)

Karya : Benda-benda Langka dari Ambon (1705)

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 16 Rogier Diederik Marius Verbeek

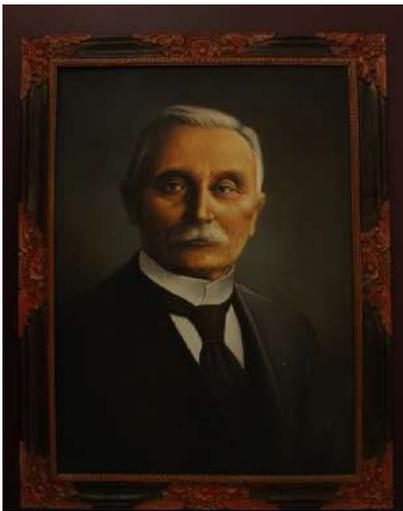
Karya : Krakatau (1884)

Ketertarikan Eugene Dubois tentang dunia fosil dan kehidupan masa lalu adalah keinginannya untuk mencari kebenaran dari gagasan Ernst Haeckel yang disampaikan Darwin, yaitu adanya spesies 'transisi' yang menghubungkan kera dan manusia dalam proses evolusi.



Spesies transisi inilah yang kemudian kita kenal dengan istilah '*the missing link*'. Haeckel meyakini bahwa *the missing link* adalah sosok pra manusia yang telah berdiri tegak tetapi belum punya kemampuan bicara.

Eugene Dubois datang ke Indonesia pada tahun 1887 menggunakan kapal uap SS Princess Amalia bersama anggota keluarganya. Perlabuhan pertama Dubois adalah Pulau Sumatra. Kemudian ia bertolak ke Pulau Jawa untuk mewujudkan mimpinya menemukan *the missing link*. Tokoh-tokoh yang telah kita ketahui sebelumnya memiliki ketertarikan dengan dunia purba di Indonesia, tetapi Dubois adalah orang pertama yang memiliki fokus kajian penelitian *hominid* yang ada di Indonesia. Penelitian Dubois dimulai pada tahun 1891, diawali dengan penggalian di sepanjang tepian Bengawan Solo, Trinil yang menghasilkan penemuan fosil gigi geraham ketiga pada bulan September, dan atap tengkorak pada bulan Oktober.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 20 Louis Jean Chretien van Es



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 19 Temuan pertama Eugene Dubois berupa tulang paha dan atap tengkorak

Pencarian ini terus berlanjut hingga satu tahun kemudian pada Agustus 1892, Dubois berhasil menemukan fosil paha kiri. Dari tiga bagian tubuh yang memfosil dan berhasil ditemukan, Dubois merasa hampir menemukan *the missing link*. Dubois menamai spesies temuannya ini sebagai *Pithecanthropus* yang berarti manusia-keras.



Walau temuan Dubois merupakan temuan besar dan mengarah kepada kebenaran adanya *the missing link*, nyatanya Dubois memiliki keraguan. Dubois tidak yakin bahwa fosil yang ia temukan merupakan tulang dari spesies yang ia inginkan, bisa jadi belulang tadi merupakan sisa dari manusia sebangsa kita yang mati dan kuburannya terbongkar karena proyek galian Dubois. Keraguan Dubois rupanya dipatahkan oleh Van Es, ahli geologi dari Jawatan Hindia Belanda. Louis Jean Chretien van Es atau JLC van Es melakukan penelitian mengenai karakteristik lapisan tanah purba. Van Es menyusun biostratigrafi melalui kandungan unsur-unsur setiap lapisan tanah. Biostratigrafi adalah telaah ilmiah yang dapat menentukan umur lapisan tanah dan batuan menggunakan fosil yang terkandung di dalamnya. Melalui biostratigrafi yang ia ciptakan, van Es dapat menunjukkan pertanggalan relatif (umur relatif) fosil manusia purba. Dugaan Dubois diperkuat oleh van Es, karena van Es dapat menunjukkan umur relatif fosil *Pithecanthropus erectus* dari Trinil yang ternyata telah hidup Kala Pleistosen Bawah.

Pencarian fosil pertama kali yang dilakukan oleh von Koeningswald bukan dengan melakukan penggalian, tetapi mengunjungi toko obat China. Zaman dahulu, sebelum pengetahuan mengenai fosil berkembang, masyarakat meyakini bahwa balung buto (berarti tulang raksasa) merupakan benda yang sakral dan tidak boleh asal disentuh apalagi diambil kecuali dalam keadaan tertentu. Mitos yang berkembang menggiring pemahaman masyarakat bahwa balung buto memiliki khasiat dalam menyembuhkan penyakit dan mengusir roh jahat, sehingga para shenshei dari China memanfaatkan balung buto sebagai ramuan atau obat. Dengan ini, maka toko-toko obat China pasti menyimpan balung buto sebagai persediaan bahan utama ramuan mereka, sehingga von Koeningswald memulai pencariannya disini.





Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 21 Ilustrasi shenshei China yang menggunakan balung buto sebagai pengobatan



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 22 Von Koeningswald

Dubois yang membuka jalan pencarian fosil di Trinil serta biostratigrafi ciptaan van Es membuat von Koeningswald melakukan survey di Sangiran untuk pertama kalinya pada tahun 1934. Von Koeningswald menggunakan peta Sangiran yang dibuat oleh van Es berhasil menemukan alat serpih berserakan di atas bukit Ngebung. Temuan ini memotivasi Koeningswald untuk mencari lebih banyak fosil atau artefak di Sangiran dengan melakukan penggalian pada tahun 1935. Temuan dan penggalian yang dilakukan Koeningswald pada tahun 1934 dan 1935 ini meyakinkan Koeningswald bahwa sangiran adalah situs yang potensial untuk penelitian *Hominid*. Adapun temuan pertama *hominid* oleh Koeningswald adalah spesimen yang ia beri nama Sangiran 1a pada tahun 1936.

Pencarian dan penelitian Koeningswald tidak ia lakukan sendiri. Koeningswald menemukan cara jitu untuk mempermudah tujuannya, yaitu melibatkan penduduk lokal yang tentu mengetahui seluk beluk wilayah Sangiran. Tiga tokoh masyarakat menyertai Koeningswald dalam melakukan pencarian fosil, yaitu Andojo; Atmowidjojo dan Toto Marsono.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 23 Toto Marsono

Pada pelaksanaannya, Andjojo yang berprofesi sebagai mantri bertugas membantu pejabat Hindia Belanda dalam hal survey wilayah. Ia memiliki pengetahuan paleontologi dan stratigrafi. Andjojo pernah berhasil menemukan 250 fosil dari 180 lubang galian, ia juga mencatat nomor dan menandai posisi temuan di peta topografi. Prestasi terbesar Andjojo adalah temuan tengkorak anak *hominid* pada bulan Februari 1936 yang dia beri nomor 173A, temuan ini kemudian populer dengan nama *Homo modjokertoensis*.

Atmowidjojo merupakan pendamping sejati Koeningswald saat berada di lapangan. Walaupun tidak dapat menulis dan membaca, Atmowidjojo telah menemani Koeningswald selama 10 tahun. Temuan terhebat Atmowidjojo adalah pada tahun 1937, yaitu atap tengkorak yang tersusun atas 40 serpih pecahan dan diberi nama Sangiran 2 dan lebih terkenal sebagai *Pithecantropus II*.

Tokoh masyarakat terakhir adalah Toto Marsono, Kepala Desa Krikilan pada masa itu. Toto Marsono merupakan fasilitator antara peneliti dengan masyarakat, juga menyediakan rumahnya sebagai tempat Koeningswald menginap dan sebagai tempat penyimpanan temuan fosil. Toto Marsono berperan sejak era Koeningswald (1934-1940) hingga didirikannya Balai Penyelamatan Fosil Sangiran pada tahun 1974.

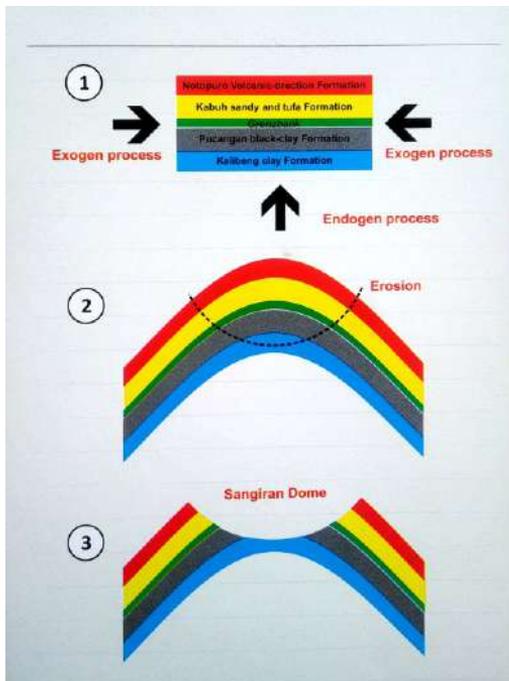
Kita telah mengetahui mengenai para peneliti yang berperan di Sangiran, serta sejarah Sangiran pada setiap lapisan tanah penyusunnya. Sebenarnya pertanyaan yang tidak kalah penting belum kita ketahui alasannya, yaitu mengapa fosil-fosil mudah ditemukan di Sangiran sedangkan menurut catatan pengetahuan fosil terletak jauh didalam tanah? Mengapa lapisan tanah Sangiran dapat terlihat tanpa terputus?

Lima lapisan tanah yang terbentuk di Sangiran memiliki daya tekan satu sama lain. Terbentuknya tanah Sangiran adalah karena tumbukan lempeng tektonik yang terjadi di selatan Pulau Jawa menghasilkan gaya yang saling menekan pada perlapisan tanah batuan di Sangiran.

Gaya yang saling menekan mengakibatkan pengangkatan pada permukaan tanahnya. proses pelipatan tanah/batuan membentuk menyerupai kubah. Proses pembentukan kubah biasa diiringi dengan terbentuknya patahan dan rekahan terutama pada bagian puncaknya. Zona patahan dan rekahan ini merupakan zona lemah, sehingga lapisan tanah /batuan mudah tererosi, dan memberi jalan air hingga menjadi sungai.

Permukaan tanah Sangiran adalah berbukit-bukit, hal ini terjadi karena aktivitas vulkanik, tektonik, serta naiknya sedimen lempung yang terjadi ratusan ribu tahun lalu. Kemudian proses patahan, longsoran, dan erosi, menyebabkan terjadinya perubahan bentuk menjadi lembah. Proses deformasi tersebut telah membelah kubah Sangiran, mulai dari kaki kubah sampai ke pusat kubah ditengahnya, sehingga menyingkapkan lapisan tanah purba dengan sisa-sisa kehidupan purba yang pernah ada di kawasan itu.

Lapisan tanah yang tersingkap di Kubah Sangiran tersebut berturut-turut dari pusat kubah sampai ke bibir kubah terbagi menjadi empat formasi stratigrafi yaitu Formasi Kalibeng, Formasi Pucangan, Formasi Kabuh, dan Formasi Notopuro.



Sumber: Museum Purbakala Sangiran

Gambar 24 Ilustrasi penyingkapan kubah Sangiran

Sangiran memiliki empat nilai penting dalam memahami evolusi manusia di dunia, yaitu:

1. Nilai Penting Budaya

Sangiran sebagai salah satu situs di mana alat batu ditemukan pada lapisan yang sama dengan penemuan *Homo erectus*. Sangiran memberikan bukti bahwa *Homo erectus* Indonesia sudah memiliki budaya yaitu mencipta alat batu.

2. Morfologi *Homo erectus*

Temuan *Homo erectus* dapat memberikan gambaran evolusi manusia dengan adanya fosil fosil *Homo erectus* yang terbagi menjadi *Homo erectus* arkaik, *Homo erectus* tipik, dan *Homo erectus* progresif.

3. Geografis

Umumnya *Homo erectus* di luar Indonesia ditemukan pada benua benua, tidak seperti *Homo erectus* Sangiran yang mana secara geografis Sangiran merupakan daerah kepulauan.

4. Persebaran paling jauh

Homo erectus yang keluar dari Afrika melakukan perjalanan paling jauh yaitu ke Sangiran.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.1 Gambar beberapa tokoh evolusi dan pendapatnya mengenai evolusi

Berbicara mengenai asal usul kita dan aspek kehidupan yang menyertai, kita tentu tidak asing dengan istilah evolusi. Kata evolusi sangat akrab kita dengar, baik pada suasana pembelajaran di sekolah maupun pada topik pembicaraan tertentu. Pada buku ini, kita akan mempelajari evolusi secara lebih luas dan mendalam. Untuk mengetahui seberapa jauh pengetahuan kita, sebelumnya **ayo ungkapkan pendapatmu mengenai evolusi!** Setelah itu, mari bersama-sama kita mempelajari evolusi dari sudut pandang biologi secara lebih mendalam.

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, kita dapat:

1. Menemukan hubungan pendapat para ahli mengenai teori evolusi dengan benar
2. Menghubungkan fenomena-fenomena yang ditemui Darwin dengan mekanisme seleksi alam dengan benar
3. Menyimpulkan pendapat para ahli evolusi mengenai peristiwa evolusi dan pandangan baru mengenai evolusi dengan benar

Kata Kunci

Evolusi
Teori
Penciptaan
Galapagos
Finch
Seleksi alam

Alur Perkembangan Pengetahuan oleh Ilmuwan serta Gagasan Darwin



Linnaeus(1707-1778):klasifikasi

Hutton(1726-1797):perubahan geologik

Lamarck(1744-1829):spesies dapat berubah

Malthus(1766-1834):batasan populasi

Cuvier(1769-1832):fosil, kepunahan

Lyell(1797-1870):geologi modern

Darwin(1809-1882):evolusi, seleksi alam

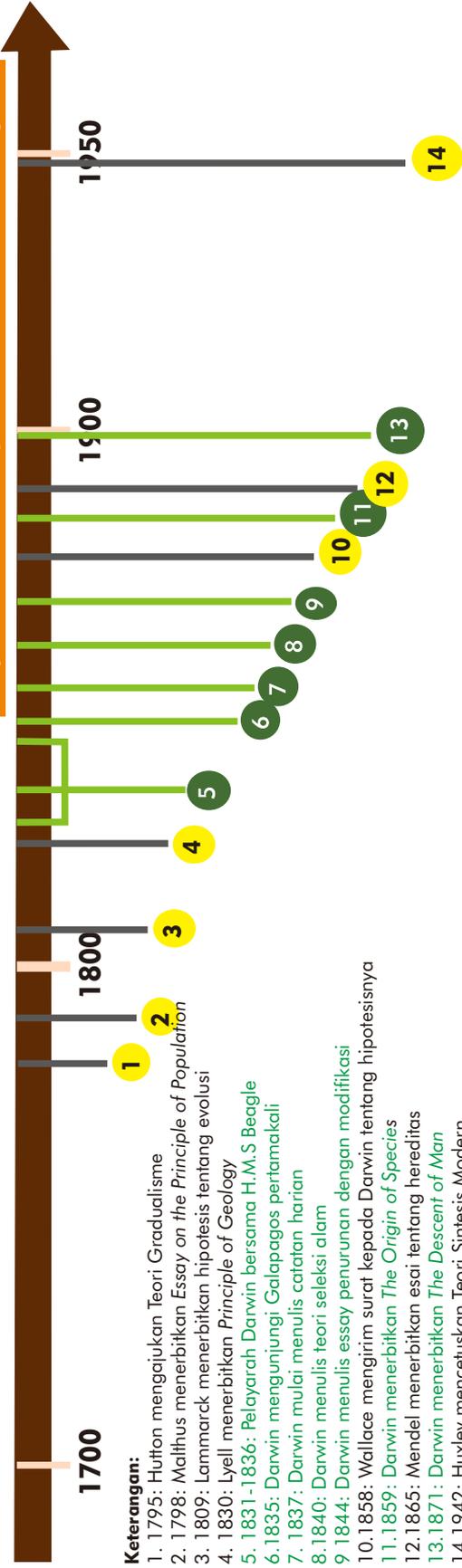
Mendel(1822-1918):hereditas

Wallace(1823-1918):evolusi, seleksi alam

Haeckel(1834-1919):pohon filogeni dan hubungan evolutif

Weismann(1834-1914): substansi yang diturunkan

Huxley(1887-1975): variasi terjadi karena mutasi dan rekombinasi gen



Keterangan:

1. 1795: Hutton mengajukan Teori Gradualisme
2. 1798: Malthus menerbitkan *Essay on the Principle of Population*
3. 1809: Lamarck menerbitkan hipotesis tentang evolusi
4. 1830: Lyell menerbitkan *Principle of Geology*
5. 1831-1836: Pelayarah Darwin bersama H.M.S Beagle
6. 1835: Darwin mengunjungi Galapagos pertamakali
7. 1837: Darwin mulai menulis catatan harian
8. 1840: Darwin menulis teori seleksi alam
9. 1844: Darwin menulis essay penurunan dengan modifikasi
10. 1858: Wallace mengirim surat kepada Darwin tentang hipotesisnya
11. 1859: Darwin menerbitkan *The Origin of Species*
12. 1865: Mendel menerbitkan esai tentang hereditas
13. 1871: Darwin menerbitkan *The Descent of Man*
14. 1942: Huxley mencetuskan Teori Sintesis Modern

Evolusi dalam kajian biologi diartikan sebagai proses kompleks pewarisan sifat organisme yang terus mengalami perubahan kepada generasi ke generasi dalam kurun waktu yang lama. Evolusi memberikan kita jalan untuk mengetahui bagaimana suatu spesies dapat muncul di bumi dan bagaimana spesies yang lain dapat punah.

Sejak pertama kali didengar hingga saat ini teori, evolusi masih didebatkan. Tokoh dari berbagai latar belakang keilmuan memberikan pendapatnya mengenai evolusi. Teori terkini umumnya mencoba membuktikan gagasan ilmuwan sebelumnya sehingga didapatkan teori yang paling pas untuk menjawab maksud sebenarnya dari evolusi.

1. Tokoh Sebelum Darwin

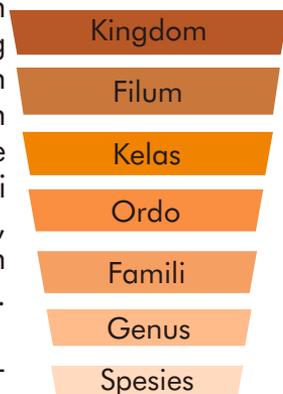
1. Linnaeus

Carolus Linnaeus adalah ahli botani asal Swedia yang hidup pada tahun 1707-1778. Linnaeus dikenal sebagai bapak taksonomi, yaitu cabang ilmu biologi yang membahas pengelompokan dan penamaan bentuk kehidupan yang sangat beraneka ragam. Linnaeus mencetuskan sistem dua tata nama yang disebut **binomial nomenclature** dalam penamaan organisme menurut genus dan spesies. Sistem penamaan ini masih digunakan hingga saat ini. Dasar utama yang digunakan Linnaeus dalam mengelompokkan organisme adalah ada tidaknya persamaan atau perbedaan antar organisme. Organisme yang memiliki banyak kesamaan ciri dikelompokkan dalam genus yang sama, selanjutnya genus yang mirip dikelompokkan dalam kelompok yang lebih besar yaitu famili. **Lihat gambar 1.3.**

Linnaeus merupakan tokoh di abad ke-17 yang beranggapan bahwa suatu organisme diciptakan dengan bentuk seperti itu, kemiripan maupun perbedaan yang ada merupakan kebetulan yang terjadi karena kehendak Tuhan.



Sumber: Britanica Encyclopedia
Gambar 1.2 Carolus Linnaeus



Gambar 1.3 Skema Linnaeus mengenai pengelompokan organisme



Linnaeus tidak menyatakan bahwa kemiripan antara spesies spesies diakibatkan oleh kekerabatan evolusioner, tapi diakibatkan dari pola penciptaan. Dengan pendapatnya ini, Linnaeus termasuk dalam tokoh yang tidak menyetujui teori evolusi. Tetapi walau begitu, ternyata seabad kemudian sistem taksonominya menjadi titik fokus pendapat Darwin mengenai teori evolusi yang ia gagas.

2. Hutton



Sumber: Wikipedia.org
Gambar 1.4 James Hutton

Naturalis dan ahli geologi dari Skotlandia bernama James Hutton (1726-1797) menjelaskan proses geologis pembentukan kerak bumi, yaitu lapisan tempat semua organisme tinggal. Hutton terkenal dengan **Teori Gradualisme** yang ia cetuskan. Teori *Gradualisme* berisi pendapat Hutton bahwa perubahan geologis berlangsung secara perlahan tetapi pasti.

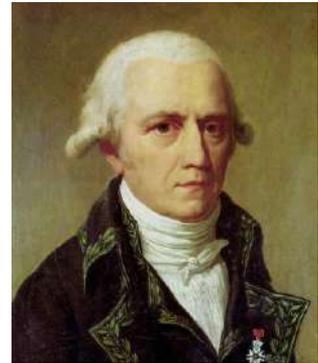
Hutton merupakan salah satu tokoh yang mengubah pandangan manusia tentang bumi. Awalnya semua orang meyakini teori Penciptaan mengenai pembentukan bumi. menurut teori penciptaan, bumi dan langit diciptakan dalam waktu yang singkat yaitu selama enam hari. Pada tahun 1795, seiring dengan rilisnya teori yang ia buat, Hutton menyampaikan pendapat bahwa bumi telah berusia 6000 tahun.

Hutton memiliki pendapat mengenai evolusi, yaitu seleksi alam terjadi karena dipengaruhi oleh mekanisme yang terjadi pada makhluk hidup. Ide Hutton mengenai geologi dan evolusi ini tertuang dalam buku karya Charles Lyell, yang mana kemudian buku ini digunakan oleh Charles Darwin sebagai salah satu rujukan mengembangkan ide idenya mengenai seleksi alam yang merupakan penyebab terbentuknya suatu spesies.

3. Lamarck

Pada akhir abad ke-18, beberapa ahli ilmu pengetahuan mulai menyadari bahwa bumi mengalami evolusi dengan kehidupan di dalamnya yang juga ikut mengalami perubahan.

Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) merupakan salah satu pendahulu Darwin yang mampu mengembangkan suatu model untuk menjelaskan proses kehidupan berevolusi. Awal mula ketertarikan Lamarck adalah karena pertanyaan yang berkembang di kalangan masyarakat pada masa itu, yaitu mengapa di antara banyaknya pepohonan, tidak ada pohon yang memiliki percabangan yang sama persis satu sama lain?



Sumber: enciclopedie-gouvernement.org

Gambar 1.5 Jean Baptiste Lamarck

Lamarck mempublikasikan teori evolusinya pada tahun 1809. Dengan membandingkan spesies yang hidup pada masa itu dengan fosil fosil yang telah ditemukan, Lamarck dapat melihat beberapa garis keturunan yang menunjukkan urutan kronologis dari fosil tertua, fosil yang lebih muda hingga ke spesies modern (hubungan ini disebut hubungan evolusioner). Urutan kronologis ini menurut Lamarck merupakan bukti bahwa organisme mengalami perubahan atau berevolusi.

Lamarck mengemukakan mekanisme yang dapat menjelaskan bagaimana adaptasi yang dilakukan oleh organisme. Yang pertama, *use* (menggunakan) dan *disuse* (tidak menggunakan), artinya bagian tubuh yang digunakan untuk menghadapi lingkungan (adaptasi) akan berkembang menjadi lebih besar dan lebih kuat (prinsip *use*), sedangkan bagian lain yang tidak digunakan akan mengalami penurunan (prinsip *disuse*). Contoh yang digunakan Lamarck dan membuatnya dikenal adalah mengenai evolusi jerapah.



Gambar 1.6 Evolusi pemanjangan leher jerapah karena harus memakan daun di dahan yang tinggi menurut Lamarck

Kamu tahu tidak?

Jerapah dimasukkan dalam kelompok *giraffid*. Namun nenek moyang jerapah hingga saat ini belum diketahui. Baru-baru ini fosil dari spesies *Descennatherium rex* ditemukan di Madrid yang menunjukkan kemiripan dengan jerapah modern dengan adanya gigi taring ganda dan *ossicones* (tanduk). Kekerabatan jerapah dengan fosil *giraffid* didasarkan atas kedua organ tubuh ini, bukan dari leher yang selama ini dianggap sebagai ciri khas jerapah.



Sumber:

<https://nationalgeographic.grid.id/>

Lamarck berpendapat bahwa pada jaman dahulu hanya ada satu jenis jerapah, yaitu jerapah berleher pendek. Untuk mendapatkan makan, jerapah harus beradaptasi dengan cara meregangkan otot lehernya untuk mencapai dedaunan yang terletak pada cabang-cabang pohon yang tinggi. Akibatnya, jerapah mengalami pemanjangan leher. Lamarck mengatakan, bahwa jerapah leher pendek yang berhasil beradaptasi tadi akan melahirkan keturunan berupa jerapah leher panjang. Leher jerapah yang panjang berkembang secara perlahan-lahan sebagai produk kumulatif dari generasi-generasi leluhurnya yang meregangkan lehernya semakin tinggi dan semakin tinggi lagi.

Ilmu genetika yang berkembang saat ini menggugurkan mekanisme pemanjangan leher jerapah yang disampaikan Lamarck, karena tidak ada bukti bahwa ciri yang diperoleh karena kebiasaan dapat diwariskan. Namun pada masanya, pendapat Lamarck umum diterima, bahkan Lamarck patut diberi pujian karena konsepnya berwawasan jauh mengenai evolusi.

4. Malthus

Thomas Robert Malthus (1766-1834) merupakan ahli ekonomi asal Inggris yang terkenal karena bukunya yang berjudul *Essay on the Principle of Population* (1798). Inti dari buku yang ditulisnya adalah pendapat Malthus mengenai penderitaan, banyaknya manusia, penyakit, kelaparan, gelandangan dan perang) merupakan akibat yang tidak dapat dihindari karena peningkatan jumlah manusia yang lebih cepat daripada ketersediaan bahan makanan dan sumber daya alam lainnya. Bertambahnya jumlah populasi manusia ini merupakan ciri khas suatu spesies.

Menurut Malthus, suatu populasi yang terancam mengalami kepunahan akan mempertahankan keturunannya dengan memaksimalkan perkembangbiakan (reproduksi), sehingga keturunan yang banyak tidak akan punah semuanya karena beberapa di antaranya mungkin saja akan bertahan dari



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.7 Thomas Robert Malthus

ancaman kepunahan. Dari buku Malthus ini, kelak Darwin mendapatkan dukungan dalam penulisan teorinya yaitu mengenai perjuangan untuk hidup atau *struggle of life*.

5. Cuvier

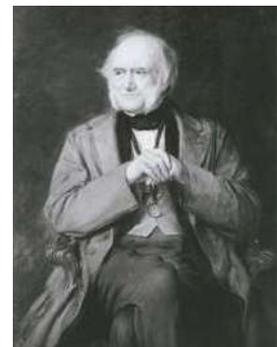
George Cuvier (1769-1832) merupakan ahli anatomi dari Prancis yang mengembangkan ilmu Paleontologi. Cuvier menyadari bahwa sejarah kehidupan tersimpan dalam lapisan tanah yang mengandung fosil. Satu lapisan tanah menunjukkan satu masa kehidupan yang mana lapisan tanah yang tersusun bertumpuk-tumpuk tidak saling berhubungan. Bencana alam merupakan peristiwa yang umum terjadi dalam sejarah kehidupan dan merupakan pembatas fase kehidupan satu dengan yang lainnya (pembatas setiap lapisan tanah). Bencana alam memutus rantai kehidupan makhluk hidup. Teori yang disampaikan oleh Cuvier ini dikenal sebagai **Teori Katatrofisme**. Teori yang ia kembangkan ini merupakan alasan utama Cuvier menolak menjadi penganut evolusi pada masanya.



Sumber: britannica encyclopedia
Gambar 1.8 George Cuvier

6. Lyell

Charles Lyell (1797-1875) merupakan ahli Geologi asal Skotlandia yang hidup pada masa yang sama dengan Charles Darwin. Lyell mengembangkan **Teori Uniformitarianisme** yang merupakan perpaduan gagasan *gradualisme* Hutton. Inti dari teori Lyell adalah pertama; perubahan geologis merupakan akibat dari kerja yang lambat dan terjadi secara terus menerus bukan kejadian yang terjadi secara tiba-tiba, kedua; proses yang sangat lambat tetapi sangat halus yang bertahan selama periode waktu yang sangat panjang dapat menyebabkan perubahan yang cukup besar. Lyell menulis buku berjudul *Principles of Geology* (1830). Hasil tulisan Lyell ini memengaruhi pikiran Darwin seiring dengan perjalanan Darwin di kepulauan Galapagos. Lyell merupakan tokoh yang mendorong Darwin untuk menerbitkan tulisannya mengenai gagasan evolusi.



Sumber: Britanica.org
Gambar 1.9 Charles Lyell

2. Pandangan Darwin



Sumber: wikimedia.org

Gambar 1.10 Charles Darwin

Kamu tahu tidak?

Masa kejayaan sains adalah pada masa Renaissance abad ke 14-16. Revolusi berawal dari budaya kemudian intelektual. Pada masa ini teori penciptaan khusus mulai tidak dianggap sebagai satu-satunya jawaban atas pertanyaan ilmiah yang muncul. Ilmuwan sains mulai berani menunjukkan diri dan melawan gereja yang saat itu dianggap tertutup dengan perubahan.

Renaissance berarti pencerahan, nama ini digunakan untuk menunjukkan bangsa Eropa yang mengalami perubahan intelektual yang pesat sehingga tidak lagi berada dalam kegelapan (kebodohan atau ketidaktahuan karena keingintahuan terhadap sesuatu dibatasi oleh gereja). Beberapa tokoh intelektual yang mendominasi periode renaissance antara lain Leonardo da Vinci, Michelangelo, William Shakespeare, Erasmus, dll. Pada akhir abad 15, masa penjelajahan juga dimulai dengan ekspedisi pelayaran oleh Bartolomeu Dias, Christopher Columbus, Vasco da Gama, dan penjelajah kenamaan lainnya.



Sumber:

<https://www.idntimes.com/science/discovery/bayu-widhayasa/fakta-periode-renaissance-prancis-exp-c1c2/full>

Ilmuwan masa kini memandang perkembangan pengetahuan terbagi menjadi beberapa masa. **Masa Fiksisime** merupakan masa di mana orang-orang mempercayai bahwa kehendak Tuhan adalah satu-satunya alasan paling rasional untuk menjelaskan keragaman kejadian di bumi. Para ahli hingga abad ke-18 beranggapan bahwa suatu organisme sesamanya yang identik ada karena ciptaan dari Tuhan. Tokoh terkenal yang ada di masa ini di antaranya adalah Aristoteles, Plato, Anaximander, ilmuwan sains terkemuka Linnaeus dan lain-lain. Pada masa itu, para ilmuwan beranggapan, bahwa semua kegiatan biologis sesuai dengan ajaran yang diturunkan dalam kitab-kitab melalui para Nabi sehingga muncul **Teori Penciptaan Khusus atau The Special Creation**, sebutan bagi pendukung teori ini disebut Kaum Kreasonis. Teori ini dianggap sebagai teori yang mutlak, tidak dapat digugat oleh siapapun.

Masa Adaptasi dan Transformasi merupakan masa di mana manusia mulai menyadari bahwa terdapat perbedaan di antara organisme-organisme yang ada di bumi. Bahkan kembar identik sekalipun menunjukkan ada perbedaan walau kecil. Ilmuwan yang hadir pada masa ini diantaranya adalah Erasmus Darwin, Lamarck, Lyell, Malthus dan lain-lain. Lamarck merupakan penjembaran atas pertanyaan-pertanyaan yang muncul mengenai perbedaan yang ada tadi menuju jawaban yang rasional dimasa itu; yaitu kebiasaan yang dilakukan oleh setiap individu yang menyebabkan perbedaan tadi muncul.

Pada pertengahan abad ke-18, dikenal sebagai **Masa Seleksi Alam**. Pada masa ini, Darwin hadir dengan gagasannya yang sangat kontroversial karena dianggap menentang Tuhan. Tetapi gagasan Darwin tersebut hingga saat ini masih dianggap sebagai gagasan yang hebat,

bahkan memantik gairah ilmuwan masa kini untuk terus melakukan penelitian yang lebih mendalam mengenai kebenaran teori evolusi. Darwin dianggap sebagai tokoh kontroversi dimasanya karena pendapatnya, yaitu **semua organisme yang ada berasal dari ancestor atau moyang yang sama**, yang kemudian organisme tadi berevolusi menjadi organisme organisme yang kita temui saat ini karena alam menuntut mereka untuk dapat

2.1 Darwin dan Pelarannya dengan Kapal H.M.S Beagle

Charles Darwin (1809-1882) merupakan putra dari dokter terkenal bernama Erasmus Darwin, yang lahir pada tahun 1809 di Shrewsbury, Inggris. Pada umur 16 tahun, ayahnya mengirim Darwin ke *University of Edinbur* untuk belajar ilmu kedokteran. Tetapi Darwin meninggalkan sekolah itu tanpa gelar karena dianggap membosankan.

Akhirnya ia mendaftarkan diri di *Chirst College Cambridge University*. Di kampus barunya, Darwin yang berniat menjadi seorang imam menjadi murid Pastur John Henslow, seorang profesor botani. Setelah Darwin menyelesaikan studinya pada tahun 1831, Henslow merekomendasikan Darwin untuk ikut pelayaran bersama Kapten Robert Fitz Roy mengelilingi dunia menggunakan kapal H.M.S Beagle.

Selain ketertarikannya dengan alam, alasan Darwin ikut dalam pelayaran H.M.S Beagle adalah karena tulisan Malthus "***Essay on the Principle of Population***", pengalamannya bekerja dengan Lyell, serta pengalamannya mempelajari fosil membuat Darwin tergugah untuk mengenal alam lebih jauh. Selama beberapa tahun pelayarannya, Darwin mendata daerah-daerah di sepanjang rentangan garis pantai Amerika Selatan yang masih kurang dikenal saat itu. Selama mendata, Darwin menemukan fakta bahwa flora dan fauna yang ada eksotik dan beragam.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.11 Miniatur H.M.S Beagle

2.2 Kepulauan Galapagos

Kenalan yuk!



Erasmus Darwin (1731-1802) adalah ayah dari Charles Darwin. Erasmus memiliki ketertarikan dengan farmasi, penelitian dan botani. Erasmus menerjemahkan buku teks dan menulis "The Loves of the Plants" (1789), yang terutama terdiri dari catatan kaki yang rumit yang memuji sistem taksonomi ahli botani Swedia

Sumber:

<https://www.britannica.com/biography/Erasmus-Darwin>

Perjalanan Darwin bersama kapal H.M.S Beagle menghabiskan lima tahun pelayaran. Rute yang dilalui Darwin berawal dengan keberangkatan dari Plymouth Inggris pada bulan Desember 1831 dan kembali ke Falmouth Inggris pada bulan Oktober 1836. Penjelajahan di Amerika Selatan menghabiskan waktu 4 tahun termasuk di dalamnya satu bulan di Kepulauan Galapagos pada tahun 1835. Kepulauan Galapagos terletak 1000 kilometer sebelah barat pesisir Amerika Selatan, tepatnya di Samudra Pasifik. Keunikan Kepulauan Galapagos terletak pada ketiga belas pulau-pulau yang mengitarinya, semuanya memiliki kekhasan geografis tersendiri.

Dahulu, Kepulauan Galapagos dianggap sebagai tanah leluhur yang penuh dengan cerita mistis. Segala perbedaan dan keunikan yang ada di seluruh wilayah Galapagos dianggap sebagai kesakralan. Pulau-pulau dengan masing-masing cirinya terbentuk dari sebuah legenda mistis. Namun Darwin berhasil mengubah mitos yang berkembang tadi dengan percaya diri. Tidak ada yang menandingi gagasan Darwin mengenai kondisi alam Kepulauan Galapagos karena Darwin mematahkan cerita yang ada dengan yakin serta menggunakan pemikiran ilmiah Baik dari buku ilmiah yang ia kaji, maupun dari pengalaman ilmiah yang ia lalui, Darwin berhasil membuat kepulauan yang memesona ini menjadi ikon penting bagi revolusi terbesar pemikiran intelektual ilmuwan barat.

1) Kura-Kura Galapagos

Terdapat dua macam kura-kura hidup yang ditemui Darwin Galapagos. Awalnya, Darwin mengira keduanya merupakan fauna asli Galapagos yang sedikit memiliki perbedaan secara morfologi karena perbedaan habitat. Darwin meyakini bahwa kura-kura yang ia temui adalah fauna endemik Galapagos. Ternyata salah satu kura-kura tadi diketahui

berasal dari pulau Aldabra (Samudra Hindia) sedangkan satu yang lain merupakan fauna asli Pulau Chantam. Kura-kura Pulau Chantam memiliki bentuk karapaks seperti kubah (gambar 1.12).

Pulau Charles merupakan habitat kura-kura dengan cangkang menonjol ke atas di bagian depan seperti pelana kuda Spanyol (*saddleback tortoise*), serta leher yang dapat dijulurkan setinggi mungkin untuk mencapai makanan. Kura-kura Pulau Charles mirip dengan kura-kura Pulau Hood. Bentuk morfologi kura-kura ini merupakan adaptasi dari habitat berupa pulau yang kecil dan kering (gambar 1.13).

Setelah mengunjungi Pulau Charles, Beagle berlayar menuju Tagus Cove di Pulau Albemarle dimana Darwin tidak melihat satupun kura-kura. Selanjutnya Darwin menuju Pulau James. Di dataran tinggi pulau tersebut, Darwin melihat banyak kura-kura yang mirip dengan ras kura-kura Pulau Chatam (lihat gambar 1.14). Kura-kura Pulau James dan Pulau Chatam memiliki kemiripan yaitu karapaksnya berbentuk seperti kubah dengan tepian bergelombang.

Kamu tahu tidak?

Kepulauan Galapagos terbentuk dari lava yang mengeras dan dikelilingi oleh gunung yang masih aktif dan sewaktu-waktu dapat meledak. Iklim Kepulauan Galapagos ditandai oleh curah hujan yang rendah, kelembaban rendah, dan suhu udara dan air yang relatif rendah. Kepulauan Galapagos terdiri atas banyak pulau-pulau yang saling terpisah dan memiliki keunikan masing-masing, yaitu pulau San Cristóbal, Española, Santa Fé, Genovesa, Floreana, South Plaza, Santa Cruz, Baltra, North Seymour, Marchena, Pinzón, Rábida, Bartolomé, Santiago, Pinta, Isabela, Fernandina, Wolf, dan pulau Darwin.



Sumber:

<https://www.britannica.com/place/Galapagos-Islands>



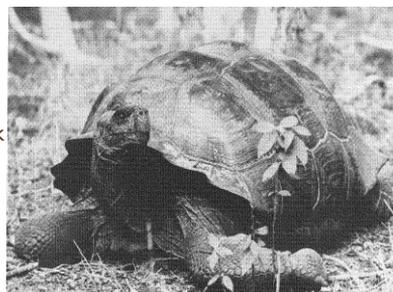
Sumber: Darwin & the Galapagos, Sulloway

Gambar 1.13 Kura-kura Saddleback (*Geochelone elephantopus hoodensis*) di Pulau Hood



Sumber: Darwin & the Galapagos, Sulloway

Gambar 1.12 Kura-kura Pulau Chatam (*Geochelone elephantopus chatamensis*)



Sumber: Darwin & the Galapagos, Sulloway

Gambar 1.14 Kura-kura Pulau James (*Geochelone elephantopus darwini*)



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.15 Fosil karapaks kura-kura yang ditemukan di Situs Sangiran

Menambah wawasan yuk

1. Tahukah kamu perbedaan bulus, kura-kura dan penyu?
2. Di manakah habitat bulus, kura-kura dan penyu?
3. Apakah bulus, kura-kura dan penyu memiliki nenek moyang yang sama?

Kura-kura raksasa Galapagos dibedakan dari bentuk karapaksnya, yaitu *saddleback* dan *domes*. Perbedaan karapaks ini terjadi karena adaptasi yang dilakukan pada perbedaan habitat. Kura-kura *saddleback* berhabitat di pulau kecil yang ketersediaan airnya sedikit. Vegetasi yang hidup didaerah kering ini adalah kaktus. Pohon kaktus yang terus meninggi membuat kura-kura beradaptasi dengan memanjangkan leher sehingga karapaks melengkung untuk memberi ruang leher yang harus diregangkan tadi.

Kura-kura *domes* berhabitat di pulau yang lebih besar dengan ketersediaan air yang melimpah sehingga vegetasi yang ada cukup beragam. Ketersediaan makanan ini tidak mengharuskan kura-kura untuk melakukan adaptasi secara khusus seperti yang dilakukan kura-kura *saddleback*.

Dua jenis kura-kura raksasa ini merupakan kura-kura yang berasal dari Amerika Selatan. Apabila dilihat secara geografis, tidak ada daratan yang menghubungkan kepulauan Galapagos dengan Amerika Selatan sedangkan struktur tubuh mereka tidak mendukung untuk berenang apalagi menyelam. Dugaan para ilmuwan adalah kura-kura tadi hanyut dari daratan utama dan terbawa hingga ke Galapagos. Dugaan ini diperkuat dengan ditemukannya fakta bahwa kura-kura raksasa mampu mengambang dan menjulurkan kepala dari permukaan air, serta mampu untuk tidak makan dan minum dalam waktu yang cukup lama. Fakta ini didapatkan dari para bajak laut, yang kerap membawa kura-kura dalam pelayarannya tanpa memberi makan dan minum.

Kura-kura yang hanyut ini kemudian terdampar ke daerah berbeda kemudian beradaptasi untuk bertahan hidup sesuai dengan tuntutan lingkungan baru tersebut, hingga kini kita kenali kura-kura jenis *saddleback* dan kura-kura jenis *domes* yang hidup di Kepulauan Galapagos.

2) Burung Finch

Selama di Galapagos, Darwin mengambil beberapa burung *finch* untuk dibawa ke London. Darwin menyadari bahwa burung *finch* yang ia bawa berbeda dengan yang ia temui di London. Di antara banyak burung yang berhasil dikumpulkan Darwin, terdapat 13 jenis burung *finch* yang meskipun mirip nampaknya merupakan spesies yang berbeda. Perbedaan yang ada ini terletak pada paruh dan perilaku burung *finch*. Lihat **aambar 1.16** dan **aambar 1.17**.



Sumber: M. Luthfi As'ad

Gambar 1.16 Empat belas burung finch yang ditemukan Darwin di Pulau Galapagos



Sumber: M. Luthfi As'ad

Gambar 1.17 Paruh dari empat burung finch yang menunjukkan perbedaan yang menonjol

Keterangan gambar :

- (1) *Geospiza scandens*
- (2) *Geospiza conirostris*
- (3) *Camarhynchus parvulus*
- (4) *Camarhynchus pauper*
- (5) *Camarhynchus pasittacula*
- (6) *Geospiza difficilis*
- (7) *Geospiza fulliginosa*
- (8) *Geospiza fortis*
- (9) *Geospiza magnirostris*
- (10) *Certhidea fusca*
- (11) *Certhidea olivacea*
- (12) *Platyspiza crassirostris*
- (13) *Cactospiza pallidus*
- (14) *Camarhynchus heliobates*

Darwin meyakini bahwa keempat belas burung *finch* di atas saling berkerabat karena nenek moyang burung *finch* yang saat ini ada di Galapagos bermigrasi dari Amerika Selatan. Adanya perbedaan paruh dan perilaku burung-burung tadi menurut Darwin adalah akibat dari perilaku adaptasi. Adaptasi merupakan karakteristik organisme yang meningkatkan kemampuan

kemampuan hidup dan reproduksi pada lingkungan yang spesifik. Secara sederhana, **adaptasi dimaknai sebagai perilaku suatu organisme terhadap lingkungan tempatnya tinggal untuk dapat bertahan hidup.**

Perbedaan struktur paruh dan perilaku burung *finch* merupakan bentuk adaptasi burung tersebut terhadap keanekaragaman sumber makanan yang tersedia serta perbedaan kondisi alam di Galapagos yang terbagi atas 12 pulau. Burung *finch* yang memakan serangga daun berbeda struktur paruhnya dengan burung *finch* yang memakan serangga di kulit batang tumbuhan, apalagi dengan paruh milik burung *finch* yang memakan biji kaktus dengan cara memecahnya.

3) Iguana Galapagos



sumber: quasarex.com

Gambar 1.18 Iguana laut Galapaos



Sumber: Galapagos Movie, BBC

Gambar 1.19 Morfologi Iguana Galapagos yang sangat mirip dengan bebatuan tempat tinggalnya

Salah satu pulau di Galapagos memiliki julukan sarang naga, yaitu Pulau Fernandina. Pemberian julukan ini dikarenakan adanya spesies unik yang memiliki ciri yang fisik yang mirip dengan hewan legenda itu, yaitu iguana. Pulau Fernandina merupakan pulau dengan gunung berapi yang berbatasan langsung dengan laut. Habitat Iguana Galapagos ini adalah batuan dengan permukaan yang kasar dan bergelombang. Celah batuan ini digunakan Iguana Galapagos sebagai tempat tinggal. Iguana Galapagos dengan batu tempatnya bersembunyi sulit dibedakan karena kemiripan warna dan struktur luar tubuh hewan tersebut dengan batuan.

Iguana Galapagos merupakan spesies dari kelompok reptil berdarah dingin yang tidak ditemukan ditempat lain. Habitat tinggal fauna ini sangat langka makanan. Sumber makanan adalah ganggang merah dan hijau yang hidup pada batu karang di dasar lautan dengan air yang dingin. Dari batuan yang membatasi gunung dengan laut, Iguana dewasa harus melompat kedalam laut yang berombak besar dan tidak pernah tenang.

Iguana Galapagos adalah perenang dan penyelam yang handal, dalam sekali hirup hewan ini dapat menyelam hingga kedalaman 30 kaki selama 10 menit.

Iguana Galapagos adalah satu-satunya iguana laut di dunia. Tetapi nenek moyangnya terdampar jauh dari pantai Galapagos, yaitu hewan darat Iguana laut ini harus berubah untuk dapat hidup di lingkungan yang berbeda dengan nenek moyangnya, yaitu dengan melakukan adaptasi. Paru parunya teradaptasi untuk dapat menahan nafas hingga 10 menit, dan otot tungkai depan dan belakang serta ekornya teradaptasi menjadi sangat kuat untuk berenang dan menyelam di laut yang memiliki ombak besar.

Sebagaimana pada fauna lain, seleksi alam juga berlaku bagi Iguana Galapagos. Organ tubuh yang telah terspesialisasi karena proses adaptasi tidak begitu saja meloloskan semua individu Iguana Galapagos dari seleksi alam. Kepulungan ke darat setelah menyelam mencari alga mengharuskan mereka untuk melawan ombak yang besar. Beberapa individu terhempas ombak dan menghantam karang sehingga mati sebelum mencapai daratan. Bagi individu yang memiliki kekuatan yang lebih dan dapat terbebas dari ancaman ombak, maka keselamatan mencapai daratan masih belum dapat mereka jamin. Mereka harus menghadapi ancaman yang lain; singa laut, predator sejati Iguana Galapagos.



sumber: Galapagos Movie.BBC

Gambar 1.20 Iguana Galapagos mengeluarkan garam dalam tubuhewat kelenjar khusus saat bersin



Sumber: Galapagos Movie, BBC

Gambar 1.21 Kepiting yang bersimbiosis dengan Iguana

Ombak cukup menyulitkan Iguana Galapagos, apalagi kehadiran singa laut yang terus membayangi. Bagi Iguana Galapagos, usaha mendapatkan makanan sama saja dengan usaha bunuh diri. Saat menyelam dan memakan alga merah dan hijau, Iguana Galapagos banyak menelan garam. Bagi makhluk darat lain, kelebihan garam dalam tubuh dapat mengakibatkan kematian. Tetapi bagi Iguana Galapagos, garam dalam tubuhnya dinetralsir dengan bantuan kelenjar khusus yang mereka keluarkan dengan bersin.

Iguana Galapagos hidup bersimbiosis dengan kepiting *Sally lightfoot* yang memakan ganggang, parasit, dan kulit mati yang menempel di kulit iguana. Simbiosis yang terjadi adalah simbiosis mutualisme, yang mana Iguana Galapagos diuntungkan karena parasit yang dapat melubangi kulit dan menyebabkan terluka lalu mati dapat hilang dan kepiting *Sally lightfoot* yang dapat menjangkau bagian tubuh iguana yang tidak dapat ia jangkau sendiri mendapatkan parasit sebagai makanannya.

2.3 Teori evolusi Darwin (seleksi alam, adaptasi, dan variasi)

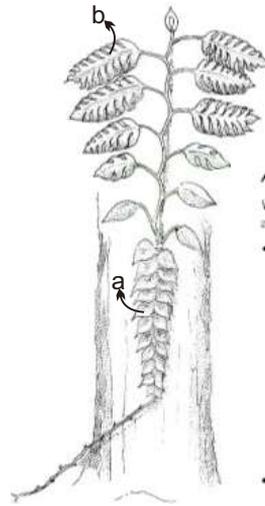
Keunikan yang ditemukan pada kura-kura Galapagos, iguana dan burung *finch* membuat Darwin mencetuskan teori evolusi. Fenomena dari tiga fauna yang telah dibahas sebelumnya, membuat pemikiran Darwin mengenai evolusi makhluk hidup mulai berkembang.

1) Adaptasi

Adaptasi merupakan karakter organisme yang meningkatkan kesintasan dan reproduksi pada lingkungan yang spesifik. Secara sederhana, **adaptasi** adalah **cara organisme mengatasi tekanan lingkungan sekitarnya untuk bertahan hidup**. Spesies baru muncul dari bentuk nenek moyangnya melalui akumulasi adaptasi yang terjadi secara bertahap terhadap lingkungan

yang berbeda. Contoh perilaku adaptasi adalah pada genus tanaman monokotil berdaun majemuk *Philodendron*. Lihat gambar 1.22.

Philodendron di alam hidup di Hutan Tropis dengan merambat. Salah satu spesies tumbuhan pada genus ini adalah *Monstera tenuis* yang saat muda tumbuh di daerah yang gelap seperti merambat di batang pepohonan yang tegak. Daunnya pipih dan menempel pada batang pohon (a), tetapi daun yang terletak lebih tinggi dan menjauhi tanah (b) memiliki bentuk yang berbeda serta menempel disepanjang tangkai daunnya sendiri sehingga mendapatkan cahaya matahari yang cukup. Perbedaan karakter daun dalam satu individu ini merupakan bentuk adaptasi terhadap lingkungan dengan menghasilkan fenotip yang berbeda.



Sumber: *Evolution*, Futuyama

Gambar 1.22 Perbedaan bentuk daun (a dan b) tumbuhan *Philodendron* dalam satu individu sebagai bentuk adaptasi

2) Penurunan dengan Modifikasi (Variasi)

Penurunan dengan modifikasi merupakan istilah yang digunakan Darwin dalam bukunya yang berjudul *The Origin of Species* sebagai ganti kata evolusi. Suatu organisme memiliki sifat tertentu yang diturunkan kepada keturunannya. Saat diturunkan, sifat ini mengalami modifikasi. Modifikasi terjadi karena mutasi, migrasi, *genetic drift*, atau seleksi alam. Sehingga sangat mungkin keturunan tidak benar-benar mirip dengan moyangnya karena adanya modifikasi tersebut.

Prinsip penurunan dengan modifikasi ini mirip dengan pemikiran Linnaeus mengenai pohon kehidupan (*phlogeny tree*). Menurut pandangan Darwin, kehidupan layaknya sebuah pohon, dengan banyak cabang dari batang pokok. Cabang cabang tadi menggambarkan setiap spesies yang berbeda, dan batang pokok mewakili garis moyang yang sama. Penurunan dengan modifikasi pada akhirnya menyebabkan tingginya keanekaragaman makhluk hidup yang kita lihat sekarang. Lihat gambar 1.24.





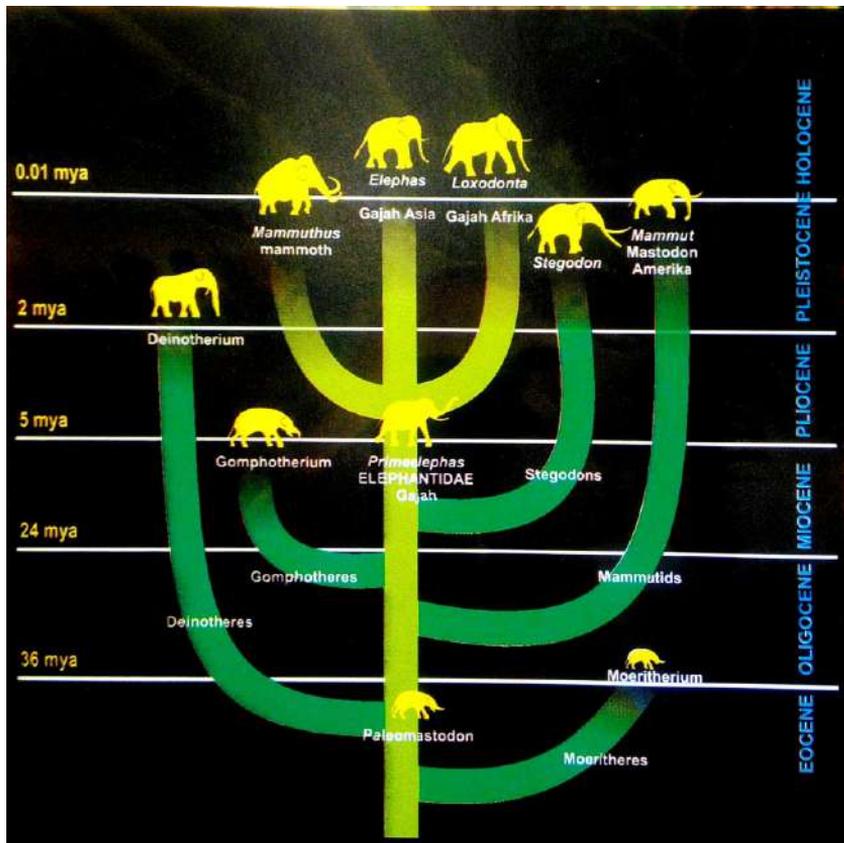
Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.23 Peristiwa variasi sebagai proses terjadinya evolusi

Variasi

Mengapa makhluk hidup yang sejenis mempunyai banyak variasi? Setiap makhluk dilahirkan unik dan membawa unsur keturunannya masing-masing. Variasi terjadi karena pewarisan ciri, ketika terjadi penggabungan dua kromosom dari kedua induknya.

Kromosom akan bertukar ciri keturunan dan membelah dengan membawa ciri yang baru, sehingga keturunannya akan berbeda dari induknya dan menjadi variasi baru. Perubahan ciri dapat juga terjadi karena mutasi, yaitu rusaknya kromosom karena radiasi.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.24 Penurunan dengan modifikasi yang ditunjukkan oleh pohon evolusi gajah yang dibuat berdasarkan temuan fosil gajah dan kerabatnya. Terdapat kemiripan anatar kelompok gajah pada setiap percabangan dengan moyang mereka yang menunjukkan adanya penurunan ciri atau sifat dengan modifikasi pada setiap generasi dalam keturunannya

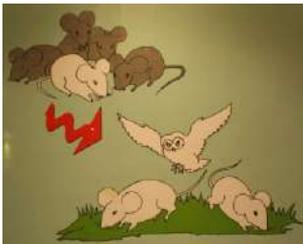
3) Seleksi Alam

Seleksi Alam

Keturunan suatu makhluk tampaknya sama dengan induk dan saudaranya.

Contoh: Induk tikus melahirkan tikus gesit dan lamban. Yang gesit dapat banyak makan dan selalu selamat dari hewan pemangsa. Yang lamban kurang makan dan mudah dimangsa hewan lain. Tikus gesit akan bertahan hidup, tikus lamban akan punah.

Jadi, alam menyeleksi makhluk seperti apa yang tetap hidup.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.25 Peristiwa seleksi alam

Kamu tahu tidak?

Darwin menggunakan tiga poin penting untuk menjelaskan terjadinya evolusi, yaitu adaptasi, penurunan dengan modifikasi dan seleksi alam. Meskipun pada dasarnya Teori Darwin sangat dikecam karena dianggap sebagai khayalan belaka, Darwin tetap menyampaikan gagasannya dalam bukunya. Seabad kemudian, saat teori evolusi mulai diyakini dan semakin didalami oleh para ahli, ternyata tiga poin penting evolusi menurut Darwin masih digunakan untuk menjelaskan mekanisme evolusi karena terbukti masuk akal dan bukan sekedar khayalan Darwin saja.

Seleksi alam merupakan sebuah proses yang terjadi apabila variasi yang terjadi pada organisme berguna baginya sehingga organisme dengan karakter tadi akan dapat bertahan hidup. Berdasarkan prinsip pewarisan, variasi dan kemampuan bertahan hidup ini akan diturunkan kepada generasi selanjutnya. Prinsip untuk tetap lestari ini disebut Darwin sebagai seleksi alam. **Seleksi alam adalah suatu proses yang terjadi ketika individu-individu yang memiliki karakter warisan tertentu mampu bertahan hidup dan bereproduksi dengan laju yang tinggi daripada individu-individu lain.**

Jika lingkungan berubah atau individu berpindah ke habitat lain, maka seleksi alam dapat dilihat dari adaptasi organisme terhadap kondisi baru tersebut.

Terdapat tiga poin penting terjadinya seleksi alam, yaitu:

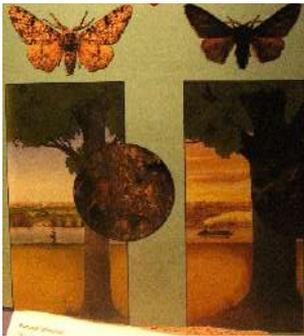
- 1) Seleksi alam bukan merupakan peristiwa yang sangat besar atau sangat kuat, oleh karena itu seleksi alam tidak bertujuan untuk membuat organisme menjadi 'sempurna' atau 'lebih baik dari sebelumnya'.
- 2) Seleksi alam memperbanyak atau mengurangi sifat-sifat warisan saja karena adanya variasi pada populasi
- 3) Seleksi alam tidak bersifat acak (mengurangi/ memusnahkan individu secara acak), tetapi spesifik pada variasi tertentu. Hanya variasi dengan sifat yang 'menguntungkan' yang akan lolos seleksi alam dan menurunkan keturunan
- 4) Seleksi alam terjadi kepada lingkungan yang bervariasi dan berhubungan dengan tempat dan waktu. Sifat yang dimiliki organisme berguna pada lingkungan A, tetapi pada tempat dan waktu lain bisa jadi tidak berguna atau malah mematikan.

Adaptasi

Mahluk yang mampu menyesuaikan diri akan bertahan hidup. Perbedaan ciri keturunan berperan penting bagi kemampuan bertahan hidup.

Contoh: Awalnya semua ngengat (moth) berwarna cerah sesuai warna kulit pohon tempat mereka hinggap. Beberapa ngengat lahir dengan warna lebih gelap sering dimangsa burung karena mudah dikenali. Ketika lingkungan berubah, warna kulit pohon menjadi gelap karena polusi pabrik, ngengat warna gelap lebih bertahan hidup dan berkembang, karena ngengat warna cerah banyak dimangsa burung dan punah.

Ngengat warna gelap beradaptasi pada lingkungan baru, ia bertahan hidup



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.26 Proses adaptasi makhluk hidup

Seleksi alam melestarikan organisme dengan varietas menguntungkan dan membinasakan varietas yang tidak memiliki kompetensi bertahan. Contohnya ngengat *Biston betularia*. Lihat gambar 1.27



Sumber: askbiologist.asu.edu

Gambar 1.27 Variasi warna *Biston bitularia* yang menentukan kesintasan setelah revolusi industri di Inggris

Seleksi alam yang terjadi pada ngengat *Biston bitularia* berkaitan dengan revolusi industri di Inggris pada tahun 1750. Sebelum revolusi industri terjadi, Inggris memiliki kondisi alam yang baik, pohon-pohon tumbuh subur dan memiliki kulit batang berwarna cerah. Keadaan ini menguntungkan bagi ngengat *Biston betularia* berwarna putih karena dapat berkamuflase dari predatornya yaitu burung. Saat revolusi industri terjadi, asap dari pabrik mengakibatkan pepohonan tidak lagi berwarna cerah dan nampak segar. Kulit batang nampak berwarna coklat kehitaman akibat dari paparan asap terus menerus, akhirnya warna sayap putih pada varietas *Biston betularia* tidak lagi menguntungkan. Warna ngengat ini kontras dengan warna pepohonan sehingga memudahkan burung

untuk mengenali dan memangsanya. Dalam situasi seperti ini, varietas lain dari *Biston betularia* yaitu ngengat yang berwarna hitam berkembang pesat populasinya karena dapat berkamuflase dengan pepohonan yang berwarna gelap sehingga terlindung dari kemungkinan dimakan predator.



Sumber: Darwinsfoundations.org, Michaels Dvorak

Gambar 1.28 *Geospiza magnostris* merupakan burung *finch* dengan paruh tebal dan besar



Sumber: Darwinsfoundations.org, CDF Archive

Gambar 1.29 *Geospiza fuliginosa* merupakan burung *finch* dengan paruh tebal dan besar

Burung *finch* berparuh tebal tidak mendapatkan masalah dalam mendapatkan makanan pada musim penghujan maupun musim kemarau, karena bentuk paruhnya memungkinkan ia mengkonsumsi biji berukuran kecil maupun besar. Akibatnya, burung-burung berparuh tipis memiliki peluang untuk hidup lebih kecil daripada burung-burung berparuh tebal. Walaupun tidak punah, burung berparuh tipis akan berjumlah lebih sedikit dan yang berparuh tebal akan mendominasi populasi.

Kesimpulan dari fakta di atas adalah ketersediaan makanan merupakan bentuk seleksi alam bagi varietas burung *finch*. Burung yang kebetulan berparuh tebal memiliki keuntungan dalam kondisi tersebut dan akan menurunkan gen untuk paruh tebal pada keturunannya hingga banyak generasi,

sehingga pada beberapa juta tahun mendatang burung berparuh tebal akan lebih mendominasi daripada berparuh tipis. Pada saat inilah dapat dikatakan evolusi telah terjadi.

Pada varietas burung *finch*, burung *finch* yang memiliki paruh tebal (lihat gambar 1.28) memiliki keuntungan karena pada musim kemarau biji yang dihasilkan oleh tumbuhan berukuran relatif besar, sehingga bagi burung *finch* ini tidak menjadi masalah untuk mengonsumsi biji besar karena paruh yang mendukung. Sedangkan burung *finch* berparuh lebih tipis (lihat gambar 1.29) yang biasa memakan biji kecil yang ada di musim kemarau akan merasa kesulitan mendapatkan makanan karena lebih banyak biji besar yang tidak sesuai dengan ukuran paruh mereka.

2.4 Karya Darwin



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.30 Catatan Charles Darwin mengenai perjalanannya bersama H.M.S Beagle dan gagasannya

Selama berada di Galapagos, Darwin merasa bahwa fakta yang ia temui disana memberi petunjuk mengenai asal-usul spesies. Sepulang dari Galapagos, yang artinya akhir dari perjalanannya dengan kapal H.M.S Beagle, Darwin beripikir bahwa pertanyaannya mengenai konsep asal-usul spesies dapat terjawab dengan mengumpulkan dan menghubungkan berbagai fakta yang mungkin berhubungan dengannya. Maka Darwin sejak berada di Galapagos telah menuliskan catatan harian, dan meminta istrinya untuk menerbitkan tulisannya suatu saat nanti.

Sejak tahun 1840 Darwin sudah mulai menuliskan teorinya mengenai seleksi alam sebagai mekanisme penting evolusi. Pada tahun 1844 ia menulis esai mengenai pandangannya terkait asal usul spesies dan seleksi alam. Tapi lagi lagi Darwin enggan memublikasikan karyanya. Sembari menuliskan pikirannya, Darwin terus



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.31 Surat Wallace kepada Darwin mengenai gagasannya tentang teori evolusi



Sumber: Nur Aini

Gambar 1.33 *The Origin of Species* karya Charles Darwin

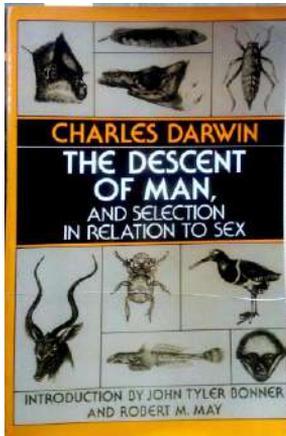
mengumpulkan bukti yang dapat mendukung teorinya dengan berkonsultasi dengan Lyell. Saat itu, Lyell belum yakin dengan teori yang diusulkan Darwin, tetapi ia memberi saran kepada Darwin untuk menerbitkan topik itu sebelum orang lain yang memiliki pemikiran sama mempublikasikan karyanya terlebih dahulu.

Rupanya dugaan Lyell menjadi kenyataan, pada tahun 1858 Alfred Wallace yang saat itu sedang berada di Indonesia mengirim surat kepada Darwin. Beserta surat tadi terlampir naskah tulisan tangan Wallace, ia meminta Darwin untuk memeriksa tulisannya untuk kemudian dikirimkan pada Lyell jika naskah tadi layak diterbitkan. Selanjutnya Darwin menyanggupi permintaan Wallace dan mengirimkannya kepada Lyell. Lyell yang telah menerima manuskrip Wallace segera mengirimkannya pada *Linnaean Society of London* untuk diterbitkan bersama dengan potongan potongan tulisan tangan Darwin yang lebih dahulu dibacanya.

Walaupun konsep pikiran Wallace dan Darwin mirip serta karya Wallace diterbitkan terlebih dahulu, Darwin lebih populer daripada Wallace. Hal ini dikarenakan Darwin mengembangkan idenya mengenai seleksi alam secara lebih luas dibandingkan Wallace yang dikenal sebagai penulisnya terdahulu. Karya Darwin yang berisi gagasannya mengenai seleksi alam diterbitkan pada tahun 1859 dengan judul *The Origin of Species by Means of Natural Selection*. Meski karyanya diterbitkan setahun lebih akhir daripada karya Wallace, Darwin tidak mendapatkan kecaman plagiasi terhadap karya Wallace, hal ini karena bukti catatan harian Darwin yang mendasari buku *The Origin of Species* telah ditulis sejak 15 tahun sebelumnya.

Sumber: Museum Purbakala Sangiran, Krikilan

Gambar 1.32 Buku karya Darwin yang disimpan di Museum Purbakala Sangiran



Sumber: Nur Aini

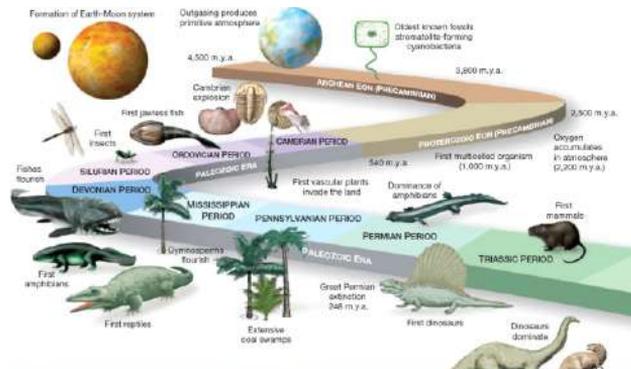
Gambar 1.35 *The Descent of Man* karya Charles Darwin

Setelah menerbitkan karyanya pertamakali pada tahun 1859, Darwin kembali menulis buku dan menerbitkannya pada tahun 1871 dengan judul *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. Pada buku ini, Darwin mulai menggunakan kata evolusi untuk menjelaskan evolusi yang terjadi pada manusia, dan menjelaskan mengenai teori seksual bukannya. Darwin menyertakan pemikirannya mengenai evolusi psikologi, evolusi etis, sebab munculnya ras manusia, perbedaan antara jenis kelamin, dan relevansi teori evolusi pada masyarakat.

Dalam bukunya yang pertama, Darwin hampir tidak menyebutkan kata 'evolusi'. Hal ini karena kehati-hatian Darwin dalam mengaitkan gagasannya dengan evolusi. Darwin menyebutkan bahwa makhluk hidup yang ada di dunia sampai dengan saat ini merupakan hasil perkembangan dari makhluk yang telah ada sebelumnya, baik yang menyangkut struktur maupun fungsi, secara turunturun dari generasi ke generasi. Dengan demikian, perubahan yang merupakan hasil perkembangan itu berlangsung dalam waktu yang amat panjang, yaitu jutaan tahun seiring dengan evolusi alam semesta. Pandangan Darwin ini banyak diilustrasikan oleh para ilmuwan sebagaimana **gambar 1.34** dibawah.

Sumber: Wikipedia

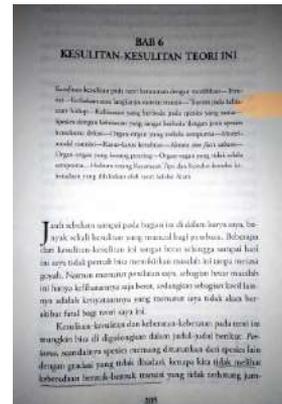
Gambar 1.34 Ilustrasi pendapat Darwin mengenai asal usul makhluk hidup yang dibuat oleh anti-Darwin



Darwin mencetuskan teorinya atas dasar pengamatan yang telah ia lakui bertahun-tahun baik saat masih kuliah di *Chirst College Cambridge University*, pelayaran bersama H.M.S Beagle, maupun setelahnya. Dalam bukunya, Darwin menyampaikan sebuah teori. Teori merupakan gagasan seseorang dalam memandang fenomena yang didasarkan kepada fakta atau kenyataan yang mendukung. Teori dapat bersifat relatif, karena cara pandang setiap orang terhadap sesuatu dapat berbeda-beda. Sebagaimana teori asal usul spesies yang merupakan gagasan Darwin, tidak benar apabila dikatakan spesies muncul di bumi pasti melalui proses yang dimaksud Darwin. Bisa jadi teori Darwin benar, bisa jadi juga salah. Perlu pembuktian yang kuat untuk mengangkat sebuah teori menjadi ketetapan yang mutlak. Perlu digaris bawahi, bahwa Darwin mencetuskan gagasannya pada abad ke-18 dengan ilmu pengetahuan yang belum berkembang sebagaimana hari ini. Sehingga pandangan Darwin sebenarnya pantas disebut hebat karena dengan keterbatasan yang ada Darwin dapat mencetuskan teori yang bahkan hingga saat ini masih terus dipelajari untuk dicari pembuktiannya.

Bahkan dalam bukunya yang pertama, *The Origin of Species*, pada bab ke 6 yang berjudul Kesulitan Kesulitan Teori Ini, Darwin menyampaikan bahwa ia sendiri tidak yakin teorinya seratus persen benar. Darwin bahkan pernah mengatakan bahwa apabila ada bukti yang kuat maka bisa jadi teori yang ia gagas akan runtuh sepenuhnya.

Menurut Darwin, evolusi terjadi dengan seleksi alam sebagai kuncinya. Adaptasi merupakan penyebab terjadinya seleksi alam atau bisa disebut sebagai mekanisme seleksi alam. Darwin memiliki pandangan mengenai



Sumber: Nur Aini

Gambar 1.36 Bab yang menjelaskan keraguan Darwin atas

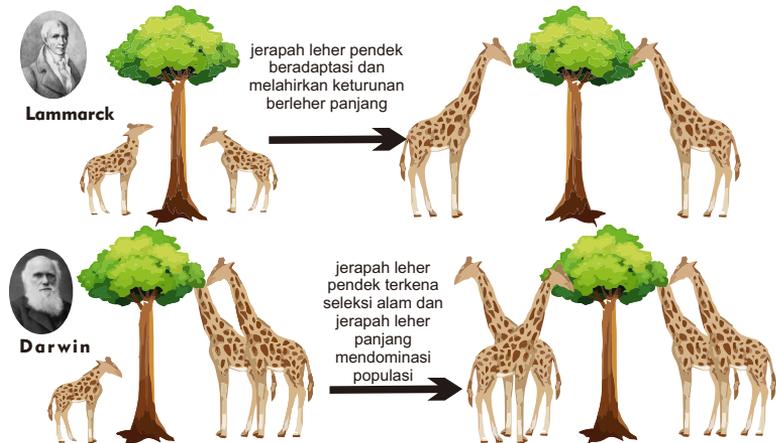
Kamu tahu tidak?

Kita sering menemukan istilah-istilah yang digunakan dalam ilmu pengetahuan seperti teori, postulat, hukum, asumsi dan prinsip. Namun tahukah kamu perbedaan dari lima kata tersebut?

1. Teori adalah adalah serangkaian bagian atau variabel, definisi dan dalil yang saling berhubungan yang menghadirkan sebuah pandangan sistematis mengenai fenomena dengan menentukan hubungan antarvariabel, dengan maksud menjelaskan fenomena alamiah. Teori bersifat subjektif tergantung pandangan setiap orang sehingga tidak dapat dijadikan acuan tunggal yang harus disepakati semua orang
2. Postulat adalah pendapat yang kebenarannya dapat diterima tanpa ada pembuktian
3. Hukum suatu unsur pengetahuan yang memiliki arti sebuah pernyataan yang menjelaskan hubungan dua atau lebih variabel sebab akibat
4. Asumsi adalah pendapat yang dapat dibuktikan secara empiris

Sumber: file.upi.edu

evolusi jerapah yang dicetuskan oleh Lammarck. Terdapat dua varietas Jerapah pada zaman dahulu, yaitu jerapah berleher panjang dan berleher pendek. Pada saat kondisi habitat tinggal kedua jenis jerapah tadi mengalami penurunan, di mana kegersangan terjadi dimana-mana dan hanya menyisakan dedaunan pada ranting tinggi yang dapat dimakan herbivora, leher panjang pada varietas jerapah berleher panjang memberi keuntungan. Akhirnya jerapah berleher pendek yang tidak dapat mencapai puncak pepohonan harus punah karena tidak dapat bertahan hidup.



Gambar 1.37 Ilustrasi perbandingan teori Lammarck dan Darwin mengenai evolusi jerapah

Konsep pokok teori evolusi yang digagas Darwin adalah sebagai berikut:

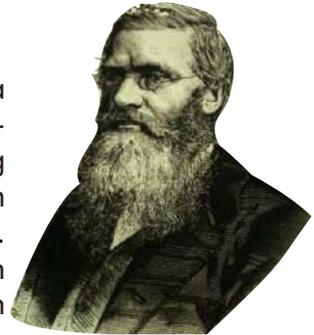
1. Variasi setiap organisme adalah ekspresi dari genotip organisme tersebut
2. Jumlah spesies relatif tetap karena ada predasi, perubahan cuaca dan proses pengasingan
3. Usaha untuk bertahan (*struggle for existence*) sebagai kunci bertahan hidup dimana individu dengan variasi yang menguntungkan akan melanjutkan hidup dan bereproduksi ini akan mewariskan variasi-variasi tersebut kepada generasi berikutnya.

3. Tokoh Setelah Darwin

1. Wallace

Naturalis Inggris yang bekerja di India Timur, Alfred Russel Wallace (1823-1913), merupakan tokoh evolusi yang juga mengembangkan teori seleksi alam sebagaimana yang diungkapkan oleh Darwin. Perjalanan Wallace hingga dapat mencetuskan teorinya berawal dari pelayarannya ke daerah jajahan Inggris di Malaysia, dan kemudian ia bekerja di Borneo dan terus bekerja di Sulawesi dan Maluku. Di sana Wallace menemukan betapa berbedanya fauna yang ada di Indonesia Barat dengan Indonesia Timur. Pada teori seleksi yang ia sampaikan, Wallace mengungkapkan istilah “*survival of the fittest*” yang berarti siapa yang kuat dialah yang menang. Pemikiran Wallace ini mirip dengan gagasan Darwin yaitu “*struggle for life*”.

Wallace juga terkenal karena mencetuskan konsep Garis Wallace (*Wallace line*), yaitu garis yang membelah kawasan geografis hewan-hewan Asia dan Australia. Garis-garis tadi melintang di sepanjang kepulauan Nusantara dan Pulau Bali. Deskripsi mengenai Garis Wallace ini dapat dilihat dari tulisan Wallace yang berjudul *On the Zoological Geography of the Malay Archipelago* (1859).



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.38 Alfred Russel Wallace

2. Mendel

Gregor Johann Mendel (1822-1884) mengemukakan pendapat bahwa penurunan sifat dari induk kepada keturunannya disebabkan oleh faktor penentu. Saat ini faktor penentu yang disebut oleh Mendel tadi dikenal sebagai gen. Penurunan sifat terjadi secara terus menerus dan teratur. Mendel menyatakan bahwa penurunan sifat tertentu ternyata terjadi dengan tingkat



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

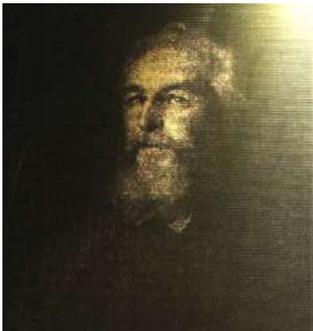
Gambar 1.39 Gregor Johann Mendel



ketelitian yang akurat. Oleh karena itu, Mendel mengemukakan dua macam hukum penurunan yang kemudian dikenal sebagai Hukum Mendel.

Pada masa dikembangkannya pendapat Mendel ini, ilmu genetika dianggap terlalu maju dan tidak ada satu orangpun yang mengerti sehingga tulisan Mendel yang ditulis pada tahun 1865 hanya tersimpan begitu saja. 35 tahun kemudian, beberapa peneliti menemukan tulisan Mendel ini, lalu meneguhkan Hukum Mendel sehingga berkembang hingga saat ini. Sayangnya, Charles Darwin tidak sempat membaca tulisan Mendel, yang mana pendapat Mendel mengenai pewarisan sifat ini dapat mendukung teori evolusi yang dicetuskan oleh Darwin. Sehingga setelah Hukum Mendel mulai diterima dan menjadi bidang kajian favorit para ahli pada masa itu, ilmu genetika dan evolusi bersifat beriringan saja, padahal genetika dapat dijadikan sebagai landasan pendukung teori evolusi. Saat ini, ilmu genetika yang berkembang dari pendapat Mendel mengenai penurunan sifat ini telah berkembang pesat bahkan mengalahkan ilmu evolusi itu sendiri.

3. Haeckel



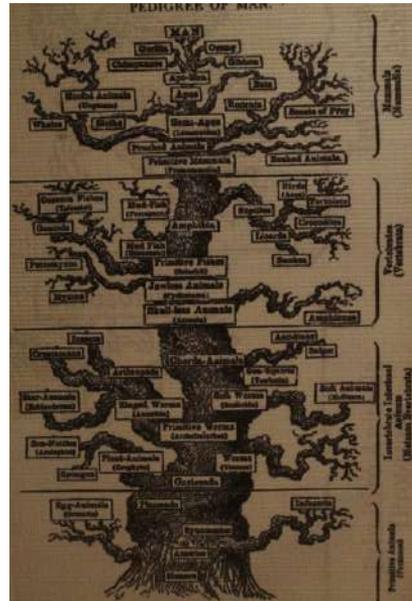
Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 1.40 Ernst

Naturalis Ernst Heinrich Philipp August Haeckel (1834-1919) merupakan ahli zoologi dari Jerman. Haeckel merupakan pendukung fanatik teori Darwin dan merupakan pencetus gagasan baru mengenai evolusi keturunan manusia. Haeckel mendeklarasikan ilmu ontogeni dan filogeni. Evolusi merupakan dasar bagi penjelasan terpadu mengenai semua kejadian alam. Dalam karyanya yang berjudul "*General Morphology of Organisms*", Haeckel menerangkan gagasan gagasannya mengenai evolusi, sayanginya banyak ahli yang tidak tertarik dengan gagasan gagasan Haeckel.

Pohon filogeni yang digagas oleh Haeckel menunjukkan hubungan evolusioner. Organisme berbagi karakter yang homolog karena memiliki nenek moyang yang sama. Pohon filogeni menunjukkan bahwa percabangan pada skema berarti terdapat kemungkinan kekerabatan pada spesies karena memiliki moyang yang sama. Pohon filogeni pasti mengarah ke atas atau kesamping. Artinya, pohon filogeni sebagai gambaran proses evolusi tidak menunjukkan bahwa antar spesies memiliki hubungan "keturunan" tetapi menunjukkan kekerabatan.

Menentukan karakter suatu spesies untuk diletakkan dalam pohon filogeni tidak hanya melihat dari ciri morfologi eksternal maupun internal, akan tetapi juga harus memerhatikan tingkah laku, struktur sel, kandungan biokimia sel, dan struktur kromosom. Saat ini, seiring dengan perkembangan ilmu biologi molekuler, penentuan pohon filogeni menggunakan rangkaian DNA sebagai salah satu acuannya.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 1.41 Pohon Evolusi menurut Haeckel untuk menunjukkan hubungan kekerabatan secara evolusioner

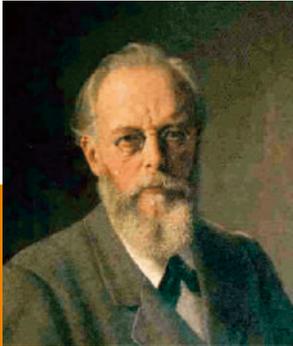
4. Huxley

Ahli genetika selain Mendel adalah Sir Julian Sorell Huxley (1887-1975). Huxley merupakan pendukung teori seleksi alam. Pada tahun 1942, Huxley menggabungkan teori evolusi Darwin dengan genetika sebagai acuan dasar Neo-Darwinisme sistematis yang kemudian disebut Sintesis Modern. Huxley beranggapan, bahwa mutasi dan kombinasi gen sebagai unit hereditas merupakan sumber utama terjadinya variasi, dan keduanya mengalami proses acak yang tidak ada kaitannya dengan kebutuhan organisme.



Sumber: Wikipedia
Gambar 1.42 Sir Julian Huxley

5. Weismann



Sumber: Cianciasdejoseleg

Gambar 1.43 Weismann

Darwin memiliki gagasan evolusi berupa seleksi alam. Gagasan ini coba dikembangkan dan dibuktikan dalam peristiwa genetika oleh ahli biologi asal Jerman bernama August Weismann (1834-1914). Sebagai usaha pembuktian atas teori Darwin, Weismann melakukan percobaan terhadap tikus. Weismann memiliki pendapat bahwa sel-sel tubuh tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh lingkungan, pendapatnya ini merupakan bantahan atas teori yang digagas oleh Lamarck sebelumnya. Bantahan Weismann terbukti dengan mengawinkan dua tikus yang telah dipotong ekornya. Hingga generasi ke-21, semua anak tikus yang dilahirkan dari pasangan tikus yang dipotong ekornya tadi tidak satupun berekor buntung, artinya semua keturunannya berekor panjang.

Gagasan Weismann diterbitkan di Jerman pada tahun 1886 dan di Inggris pada tahun 1893. Inti gagasan Weismann bahwa semua makhluk hidup mengandung substansi turun temurun yang spesial. Ide Weismann ini secara umum masih diterima hingga saat ini, meskipun pada proses dikemukakannya gagasan ini, Weismann sebenarnya tidak memiliki data genetik yang saat ini sudah ada, tetapi Weismann sangat dihargai karena gagasannya yang sangat maju dijamin itu.

4. Evolusi Masa Kini

1. Scott V. Edwards

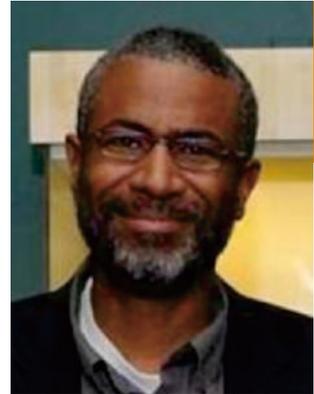
Scott V. Edwards adalah Profesor Biologi lulusan Harvard University bidang Organisme dan Evolusi. Edwards saat ini adalah Kurator Ornitologi dan pimpinan grup riset di Museum of Comparative Zoology, Harvard.

Ketertarikan Edwards dengan burung telah muncul sejak kecil dan semakin berkembang saat ia memutuskan untuk cuti kuliah dan bekerja di laboratorium dan di taman-taman nasional di Hawaii dan California. Selama bekerja di laboratorium, Edwards mulai menyadari bahwa semua bidang kajian biologi memiliki keterkaitan dan saling mendukung satu sama lain, termasuk kajian evolusi.

Ornitologi sebagai bidang kajian yang dialami oleh Edwards membuatnya tertarik untuk mengetahui lebih dalam mengenai evolusi yang terjadi pada populasi burung di Australia. Spesimen burung sebanyak 350.000 ekor di Museum tempat Edwards bekerja yang dikumpulkan dari tahun ke tahun menunjukkan perbedaan ukuran, bentuk, dan gen burung dari populasi-populasi terpisah lebih dari seabad. Penelitian Edwards diawali dengan keikutsertaannya dalam ekspedisi burung cenderawasih di Papua Nugini sebagai burung pengicau flamboyan yang hidup di hutan hujan. Edwards kemudian mulai meneliti burung pengicau yang hidup di Australia. Penelitian Edwards semakin berkembang yaitu dengan meneliti evolusi gen yang resisten terhadap virus *Major Histocompatibility Complex* (MHC) yang menyerang vertebrata terutama burung. Gen ini mengalami evolusi seiring berjalannya waktu yaitu sejak transisi reptil hingga menjadi burung. Berdasarkan penelitian ini kita dapat menarik kesimpulan bahwa evolusi terjadi sejak dahulu dan sedang terjadi saat ini, dengan kata lain evolusi terus terjadi.

2. Teori Hologenome

Teori Hologenome muncul pada awal abad ke-21. Teori ini berawal dari pengamatan yang dilakukan oleh peneliti terhadap bakteri yang ada pada tubuh manusia.



Sumber: oeb.harvard.edu

Gambar 1.44 Scott Edwards



Terdapat triliunan bakteri pada tubuh manusia yang sehat. Mikroba sendiri muncul di bumi jauh lebih dahulu sebelum manusia, sehingga teori baru ini menyimpulkan bahwa kita semua berevolusi dalam hubungan simbiosis satu sama lain. Apabila teori evolusi Darwin menyebutkan bahwa manusia yang bertahan hingga saat ini adalah manusia yang kuat dan hebat dalam bertahan menghadapi persaingan ketat seleksi alam, teori Hologenome memiliki pandangan lain. William Miller (2013), pengarang buku *"The Microcosm Within"* menyatakan bahwa kolaborasi antara mikroba dan manusia adalah kunci utama manusia dapat bertahan menghadapi kondisi alam yang berubah ubah. Teori hologenome menganggap bahwa mikrobio memegang fungsi yang bermanfaat, serta peran penting dalam beberapa proses utama.

3. Richard Dawkins



Sumber: oeb.harvard.edu

Gambar 1.45 Richard Dawkins

Richard Dawkins adalah ahli evolusi biologi dari Inggris yang selama sedekade telah menulis buku mengenai proses evolusi dan telah berulang kali menyerukan pemikirannya kepada publik mengenai pandangannya terhadap evolusi. Dawkin terkenal dengan bukunya yang berjudul *"The Selfish Gene"*. Dawkins berpendapat bahwa ketekunan luar biasa dalam melakukan perubahan yaitu kromosom. Kromosom sangat berperan penting sebagai unit evolusi karena mereka adalah kendaraan bagi gen, mirip dengan perahu dayung yang berfungsi sebagai kendaraan bagi pendayung berbakat.

4. Harun Yahya

Harun Yahya adalah nama pena dari Adnan Oktar, penulis dan kreonis Islam dari Turki. Harun Yahya merupakan penentang keras teori evolusi. Menurutnya, evolusi merupakan antithesis agama. Konsep evolusi yang diungkapkan oleh

pendukung teori evolusi dianggap sebagai penentang Tuhan. Sebagaimana tokoh kreasionis lain, Harun Yahya berpendapat bahwa segala sesuatu yang ada di bumi ini murni kehendak Tuhan. Segala kejadian, bentuk, struktur dan komponen lain yang ada merupakan ciptaan Tuhan yang sempurna dan mutlak karena Tuhan. Harun Yahya menentang keras pendapat peristiwa “kebetulan” mengenai terbentuknya bumi serta pendapat mengenai peristiwa evolusi yang terjadi pada organisme.

Harun Yahya merupakan milyader dan bukan merupakan seorang ilmuwan. Selain kekayaannya ia terkenal dengan gagasannya yaitu “Keruntuhan Teori Evolusi”, yang dimuat dalam buku yang dituliskannya maupun dalam film dengan ia sebagai naratornya. Dalam karyanya itu, Harun Yahya menyampaikan pendapatnya yang ia dasarkan atas ayat ayat Al-Qur'an, serta pendapat beberapa ahli anti-Darwin untuk menyangkal teori evolusi yang disampaikan Darwin. Selain itu, pada awal abad ke-20, paleontologi tidak berhasil menemukan fosil yang dapat mendukung teori evolusi. Evolusi yang menunjukkan perubahan menuju kesempurnaan tidak dapat dibuktikan karena tidak ditemukan fosil yang menunjukkan makhluk hidup transisi dari yang paling primitif ke paling modern. Atas dasar ini, Harun Yahya berpendapat bahwa kaum evolusi yang telah berusaha keras untuk membuktikan teori mereka justru dipatahkan oleh usaha mereka sendiri. Kesimpulannya, ilmu pengetahuan modern mengungkapkan fakta yang tak mungkin disangkal berikut ini: *Kemunculan makhluk hidup bukanlah akibat faktor kebetulan yang buta, melainkan hasil ciptaan Tuhan.*

Pendapat Harun Yahya cukup mengguncang pada masanya. Harun Yahya yang diplomatis membuat orang-orang ragu mengenai kebenaran terjadinya evolusi dan kembali menyudutkan Darwin sebagai penggagas teori evolusi. Darwin semakin dianggap sebagai ilmuwan yang radikal saat orang-orang mulai menuduh Darwin bahwa Darwin mengatakan



Sumber: wikipedia

Gambar 1.46 Harun Yahya

manusia berasal dari kera, padahal tidak ada bukti baik dari tulisan Darwin dalam bukunya maupun dari pernyataan ilmuwan yang hidup pada masa yang sama dengan Darwin mengenai hal tersebut. Sayangnya kepercayaan orang-orang terhadap Harun Yahya menjadi hancur saat latar belakang Harun Yahya yang sebenarnya terungkap. Harun Yahya rupanya merupakan seorang kriminal yang memiliki catatan kejahatan cukup mengecewakan, di antaranya adalah kejahatan seksual yang telah ia lakukan. Harun Yahya bahkan ditangkap polisi di kediamannya saat sedang melakukan pesta seks dan narkoba. Ilmu Agama yang sebelumnya digunakan Harun Yahya sebagai suatu kebanggaan rupanya tidak mencerminkan diri Harun Yahya yang sebenarnya. Orang-orang semakin merasa bahwa pendapat Harun Yahya mengenai kebenaran evolusi dan penyangkalannya terhadap gagasan Darwin tidak lagi dapat dipercaya saat diketahui bahwa film Keruntuhan Evolusi Harun Yahya rupanya adalah film karya BBC yang diganti audionya dengan suara Harun Yahya sebagai narator tanpa izin.

(sumber: <https://vajuu.com/indonesiaeng/turkish-police-catch-controversional-writer-harun-yahya>
<https://www.bbc.com/indonesia/amp/dunia-44806610>)

RANGKUMAN



Teori evolusi telah ada sejak sebelum Darwin mencetuskan teori dan terus mengalami perkembangan hingga saat ini. Teori evolusi berkembang dari berbagai sudut pandang ilmuwan, baik yang mendukung, menolak, serta menolak tetapi justru gagasannya merupakan dasar terjadinya evolusi. Berdasarkan waktu mencetuskan gagasannya, ilmuwan-ilmuwan tadi terbagi menjadi 4 kelompok yaitu:

1. Tokoh sebelum Darwin
 - a. Linnaeus
 - b. Hutton
 - c. Lamarck
 - d. Malthus
 - e. Cuvier, dan
 - f. Lyell

2. Pandangan Darwin

Dalam mencetuskan gagasannya, Darwin melakukan berbagai riset serta perjalanan yang kemudian ia sajikan melalui dua karyanya. Darwin melakukan perjalanan bersama *H. M. S Beagle* selama lima tahun dan mengunjungi Galapagos di mana ia menemukan keunikan-keunikan yang mendasari gagasannya mengenai evolusi. Keunikan yang Darwin temui adalah perbedaan paruh burung *finch*, kura-kura galapagos, serta iguana galapagos. Kunci terjadinya evolusi menurut Darwin adalah adaptasi, seleksi alam, dan penurunan dengan modifikasi. Darwin memublikasikan karyanya setelah Wallace yang juga memiliki gagasan yang mirip. Dua karya Darwin yang terkenal mengenai gagasannya tentang evolusi adalah *The Origin of Species by Means of Natural Selection* dan *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*.

3. Tokoh setelah Darwin

- a. Wallace
- b. Mendel
- c. Haeckel
- d. Huxley
- e. Weismann

4. Evolusi Masa Kini

- a. Scott V, Edwards
- b. Richard Dawkins
- c. Teori Helogenome
- d. Harun Yahya

Teori evolusi saat pertama kali dicetuskan hingga saat ini masih menjadi pro dan kontra. Beberapa ilmuwan mendukung kebenaran teori ini, beberapa yang lain menolaknya. Sebelum masa Renaissance, sains dianggap sebagai musuh agama gereja. Apabila temuan/gagasan yang dicetuskan ilmuwan dianggap bertentangan dengan agama gereja, maka ancaman penjara bahkan hukuman mati akan diberikan pada ilmuwan tersebut karena dianggap menistakan agama. Sains harus mendukung agama, hal ini membatasi perkembangan pengetahuan karena gagasan ilmuwan yang berbenturan dengan agama harus segera dikubur dalam-dalam. Penolakan ilmuwan dengan teori evolusi kebanyakan berasal dari ilmuwan yang memegang teguh Teori Penciptaan Khusus, di mana teori ini menyatakan bahwa Tuhan menciptakan keanekaragaman maupun kemiripan makhluk hidup yang ada di dunia ini secara khusus dan terpisah, tidak memiliki hubungan kekerabatan. Ilmuwan yang menolak teori evolusi diantaranya Aristoteles, Plato, Linnaeus, Cuvier, dan lain lain.



Teori evolusi yang diterima para ilmuwan biasanya didasarkan atas keterbukaan pemikiran mengenai adanya kaitan berbagai kajian keilmuan yang ternyata saling menopang dan mendukung. Hal yang dianggap sebagai bukti evolusi terus dikaji dengan berbagai sudut pandang kajian keilmuan. Dengan demikian teori evolusi semakin diakui karena kebenarannya terus terungkap berdasarkan penelitian dan pengkajian yang valid. Ilmuwan pendukung teori ini diantaranya Darwin, Lamarck, Lyell, Weismann, dan lain-lain

Tugas Mandiri



1. Selama di Kepulauan Galapagos, Darwin menemukan fenomena-fenomena pada beberapa makhluk hidup yang ada di sana. Darwin menemukan 14 jenis burung *finch* yang memiliki perbedaan bentuk dan ukuran paruh, tiga jenis kura-kura yang berbeda bentuk karapaksnya, serta iguana yang dapat menyelam di laut. Perbedaan paruh *finch* dan bentuk karapaks kura ternyata bergantung pada habitat tinggal, sedangkan iguana yang dapat menyelam merupakan satu-satunya iguana laut yang ada di dunia dan hanya ditemukan di Kepulauan Galapagos. Pelayaran Darwin di kepulauan ini membuat ia mendapatkan ide mengenai evolusi. Berdasarkan fenomena yang telah disebutkan, bagaimana pandangan Darwin mengenai seleksi alam sebagai kunci terjadinya evolusi?
2. Gagasan Darwin muncul selain berdasarkan pengalaman pelayarannya juga atas dasar pemikiran para ilmuwan yang lebih dahulu memiliki gagasan mengenai berbagai hal. Gagasan para ilmuwan ini kemudian dijadikan Darwin sebagai landasan berpikir dalam mencetuskan gagasan Darwin sendiri mengenai evolusi. Berdasarkan pengetahuan yang anda dapat pada bab ini, hubungkan poin penting gagasan setiap ilmuwan yang digunakan Darwin dengan teori evolusi yang ia cetuskan (seleksi alam)!
3. Sejak Darwin menyampaikan teori mengenai evolusi, ilmuwan-ilmuwan giat mencari bukti untuk membenarkan gagasan Darwin. Mulai abad ke-18 hingga abad ke-21 ilmuwan hadir dengan berbagai ide. Tren terbaru evolusi adalah penelitian hingga pada tingkat DNA makhluk hidup untuk mengetahui hubungan kekerabatan dan hubungan evolusionernya. Berdasarkan informasi yang telah anda dapat ada bab ini serta informasi yang anda dapat dari internet atau sumber lain bila perlu, padukan gagasan terbaru teori evolusi dengan tren evolusi yang telah disebutkan di atas! Jangan lupa cantumkan ilmuwan dan tahun gagasan-gagasan evolusi terbaru tadi muncul!



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 2.1 *Pavo muticus* (merak) jantan yang ditangkarkan secara *ex-situ* di Museum Purbakala Sangiran Klaster Sangiran

Salah satu kesalah pahaman yang umum terjadi mengenai evolusi adalah organisme tunggal yang berevolusi. Apabila dilihat dari seleksi alam sebagai salah satu mekanisme evolusi, maka benar apabila seleksi alam berlaku kepada individu. Namun, **evolusi sesungguhnya terjadi pada tingkat populasi**. Untuk mempermudah memahami konsep ini, perhatikan contoh berikut:

Burung *finch* yang berhabitat di Kepulauan Galapagos terdiri atas berbagai variasi paruh. Pada tahun 1977, Pulau Daphne Major sebagai daerah yang banyak dihuni *finch* mengalami perubahan lingkungan yang membuat banyak *finch* mati. Dari total sekitar seribu ekor burung *finch* yang sebelumnya berhasil didata, hanya 180 *finch* yang dapat bertahan hidup. dan diketahui bahwa burung *finch* yang bertahan tadi memiliki paruh lebih besar dan panjang daripada *finch* lain dalam populasinya.

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, kita dapat:

1. Menguraikan mekanisme evolusi dengan benar
2. Menghitung frekuensi gen dalam populasi menggunakan hukum Hardy-Weinberg dengan benar
3. Membuktikan terjadinya evolusi pada suatu populasi menggunakan Hukum Hardy-Weinberg dengan benar

Kata Kunci

Makroevolusi
Mikroevolusi
Gene Pool
Populasi
Frekuensi Alel
Gen



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 2.2 Mekanisme evolusi yaitu seleksi alam, adaptasi, dan variasi yang ditampilkan di Museum Purbakala Sangiran

Pada saat Pulau Deiphane Major mengalami perubahan kondisi, biji-bijian kecil dan lunak sulit ditemukan. *Finch* umumnya memakan biji-bijian keras dan besar yang menjadi lebih banyak tersedia, dengan ini maka *finch* dengan paruh yang besar dan panjang akan berpeluang hidup lebih besar dibanding *finch* dengan paruh yang lebih kecil. Kemampuan menghadapi seleksi alam memang hanya terjadi pada individu *finch* yang berparuh besar, tetapi 180 *finch* yang mampu bertahan tadi kemudian berkembang biak dan menurunkan keturunan dengan ciri sebagaimana induknya sehingga proporsi *finch* berparuh besar akan semakin besar dari generasi ke generasi, artinya populasilah yang berevolusi sedangkan individu anggotanya tidak. Berdasarkan contoh ini, dapat kita pahami bahwa seleksi alam tidak secara acak mengurangi individu *finch*, tetapi berlaku pada variasi tertentu yaitu *finch* berparuh tipis.

Setelah memahami konsep bahwa evolusi berlaku pada populasi, selanjutnya kita dapat mempelajari yang dimaksud dengan mikroevolusi dan makroevolusi. **Mikroevolusi adalah evolusi yang terjadi dalam skala kecil, yaitu dalam skala populasi yang terjadi selain karena seleksi alam juga terjadi karena adanya perubahan frekuensi alel dalam populasi.**

Ilustrasi pada **gambar 2.1** merupakan tiga hal yang paling umum diketahui sebagai mekanisme terjadinya evolusi. Variasi pada spesies, kemampuan organisme beradaptasi dan terjadinya seleksi alam merupakan tiga hal yang saling berhubungan yang menyebabkan terjadinya evolusi. Seleksi alam merupakan proses yang paling terkenal sebagai mekanisme evolusi. Mendengar kata evolusi maka seleksi alam akan ikut serta didengar. Mengapa demikian? Sebab seleksi alam merupakan satu-satunya mekanisme evolusi yang menyebabkan terbentuknya perilaku adaptasi makhluk hidup, di mana hasil adaptasi ini akan diturunkan pada keturunannya.

Pada bab ini akan dibahas bahwa seleksi alam dan perubahan frekuensi alel merupakan dasar terjadinya evolusi. Bagaimanakah kerja seleksi alam sebagai mekanisme evolusi? Bagaimanakah frekuensi alel populasi dapat membuat populasi mengalami evolusi? Untuk mengetahui jawabannya

Kamu tahu tidak?

Mikroevolusi adalah istilah yang dicetuskan oleh ahli genetika populasi dan makroevolusi adalah istilah yang digunakan oleh ahli biologi yang melakukan pengamatan di lapangan. Para pakar genetik Rusia seperti Sergei Chetverikov membantu menjembatani perpecahan antara fondasi mikroevolusi dengan makroevolusi melalui bukunya yang terbit tahun 1937 dengan judul "*Genetics and the Origin of Species*".

Sumber:

https://id.wikipedia.org/wiki/Sejarah_pemikiran_evolusi

1. Seleksi Alam

Darwin dan Wallace adalah tokoh yang mengenalkan konsep seleksi alam untuk pertama kalinya sebagai dasar teori mereka mengenai evolusi. Darwin merumuskan gagasan seleksi alam berdasarkan keberhasilan dalam kesintasan dan reproduksi individu. Seleksi alam dapat menyebabkan terjadinya evolusi adaptif, yaitu evolusi yang menghasilkan kecocokan yang lebih baik antara organisme dan lingkungannya.

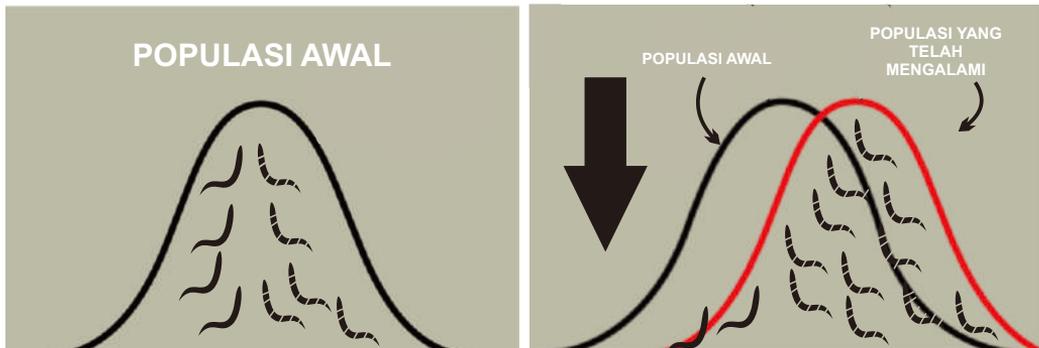


Seleksi alam merupakan peristiwa dengan objeknya yaitu variasi yang terdapat pada suatu populasi. Seleksi alam bisa bersifat membinasakan (punah) atau hanya mengurangi jumlah individu suatu variasi dari beberapa variasi dalam populasi. Syarat agar lolos seleksi alam bukan hanya sekedar yang paling kuat, paling besar, atau paling banyak jumlah anggotanya, tetapi yang memiliki kecocokan dengan lingkungan dan situasi yang dapat terhindar dari seleksi alam.

Ada 3 macam kemungkinan seleksi alam, yaitu:

a. Seleksi mengarah atau *directional selection*

Penggantian alel yang tidak berguna oleh alel yang memberikan keuntungan bagi individu adalah dasar penting dalam evolusi adaptif. Seleksi mengarah berlaku pada salah satu sifat homozigot, bisa homozigot dominan atau homozigot resesif yang menguntungkan. Seleksi ini umum terjadi ketika lingkungan populasi berubah atau anggota populasi bermigrasi ke habitat yang baru. Akibat dari seleksi ini adalah terjadinya perubahan frekuensi alel ke salah satu keadaan homozigot (dominan atau resesif) yang tidak terseleksi.

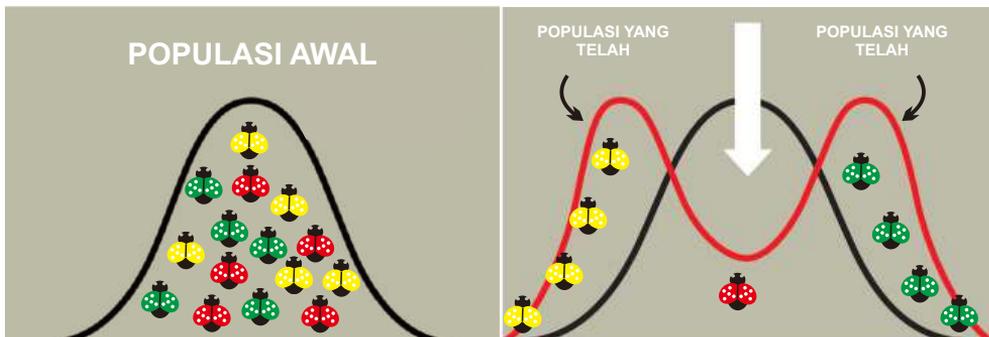


Gambar 2.3 Ilustrasi seleksi mengarah pada ular hitam dan bercorak garis-garis. Ular dengan corak garis-garis diuntungkan sehingga evolusi mengarah pada ular dengan fenotip garis-garis

Contohnya terdapat dua jenis ular dengan fenotip yang berbeda yaitu bercorak garis-garis dan tidak bercorak. Ular yang hidup di habitat alang alang dengan fenotip garis-garis akan mudah menghindari dari predator. Hal ini menyebabkan pada selang waktu tertentu hanya populasi ular dengan fenotip garis-garis yang ada di daerah tersebut.

b. Seleksi disruptif (*disruptive selection*)

Seleksi tipe disruptif berlaku pada individu heterozigot (intermediet). Seleksi disruptif terjadi dengan menyeleksi individu yang bersifat heterozigot intermediet. Seleksi ini akan memecah populasi menjadi dua kelompok yang berbeda, yaitu yang berfenotip homozigot dominan dan homozigot resesif.

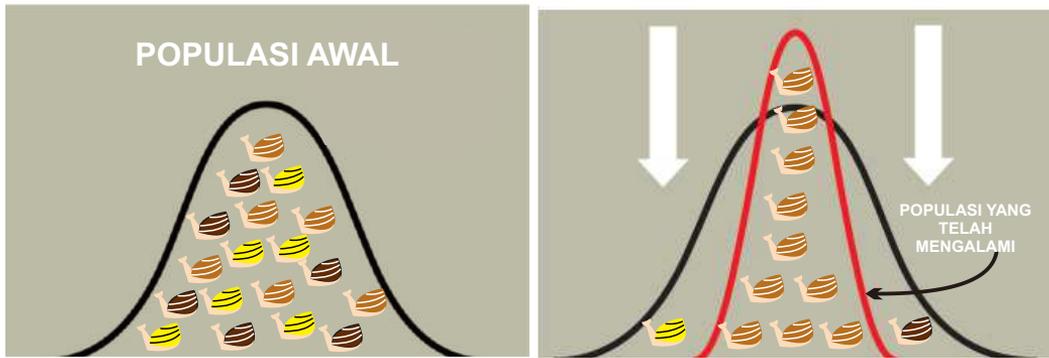


Gambar 2.4 Ilustrasi seleksi disruptif pada kepik merah, hijau dan kuning. Kepik berwarna merah terseleksi karena mencolok diantara warna dedaunan sehingga evolusi terjadi pada kepik hijau dan kuning yang dapat bertahan hidup

Contohnya adalah pada kepik yang memiliki variasi warna kuning (homozigot) dan hijau (homozigot) dengan fenotip heterozigotnya adalah merah. Warna merah pada kepik sangat mencolok diantara dedaunan yang hijau sehingga burung akan lebih mudah memangsa kepik merah. Akibatnya eliminasi terjadi pada kepik merah sebagai individu heterozigot dan menyisakan kepik hijau dan kuning .

c. Seleksi stabilisasi (*stabilizing selection*)

Seleksi stabilisasi menyeleksi semua fenotip homozigot dominan dan resesif sehingga menguntungkan fenotip heterozigot (intermediet). Secara sederhana seleksi stabilisasi akan menyelamatkan sifat yang lebih mampu bertahan hidup.



Gambar 2.5 Ilustrasi seleksi stabilisais pada siput kuning, coklat tua dan coklat tanah. Siput berwarna coklat tua dan kuning terseleksi karena mencolok diantara warna tanah sehingga evolusi terjadi pada siput coklat

Contohnya, pada suatu habitat hidup beberapa siput dengan fenotip yang berbeda-beda, yaitu siput kuning (homozigot), siput coklat tua (homozigot), dan siput coklat tanah (heterozigot). Oleh karena warna kuning dan coklat tua terlihat mencolok maka predator (burung) akan lebih banyak memangsa siput warna kuning dan coklat tua. Bagaimana dengan siput yang berwarna coklat seperti tanah (heterozigot)? Oleh karena siput yang berwarna coklat seperti tanah adalah heterozigot maka pada generasi berikutnya akan dihasilkan kembali siput berwarna kuning dan coklat tua. Dengan demikian frekuensi alelnya akan selalu tetap mendekati 25% kuning, 50% coklat tanah, dan 25%

Selain ketiga seleksi alam yang telah kita pelajari, Darwin memiliki gagasan lain mengenai kerja seleksi alam, yaitu **Seleksi seksual**. Dalam bukunya, Darwin menjelaskan seleksi seksual sebagai suatu bentuk seleksi alam yang di dalamnya terdapat individu-individu dengan karakteristik terwariskan yang kemungkinan lebih besar memperoleh pasangan kawin daripada individu lain. Seleksi seksual bekerja dalam bentuk **seleksi intraseksual** dan **seleksi interseksual**. **Seleksi intraseksual** adalah seleksi oleh individu berjenis kelamin sama. Dalam hal ini, kebanyakan seleksi intraseksual terjadi pada spesies jantan. Persaingan yang dilakukan bisa berupa adu keindahan, adu kekuatan, dan lain sebagainya.

Contoh seleksi intraseksual yang paling sering disebut adalah seleksi seksual yang terjadi pada populasi pejantan burung merak. **Gambar 2.1** merupakan pejantan burung merak yang ditangkarkan secara *ex-situ* di Museum Purbakala Sangiran, Krikilan. Merak betina ditunjukkan oleh **gambar 2.6**. Perbedaan yang utama dari kedua burung tersebut tentu saja terletak organ reproduksi. Akan tetapi perbedaan yang paling mudah dilihat adalah perbedaan morfologis atau tampak luar dari kedua merak tersebut.



Sumber: Pinterest, Lynn st. John

Gambar 2.6 *Pavo* sp. (merak) betina yang memiliki bulu tidak seindah merak jantan



Sumber: Pinterest, PUA Lingo

Gambar 2.7 Merak jantan yang sedang menarik perhatian merak betina

Merak jantan memiliki warna dan pola bulu yang jauh lebih indah daripada merak betina. Semua merak jantan memiliki ciri khas ini, namun diantara pejantan-pejantan merak, yang paling indah adalah yang paling beruntung karena akan dipilih oleh betina sebagai pasangan kawinnya. Pemilihan betina terhadap pejantan terindah merupakan **seleksi interseksual**. Seleksi interseksual adalah seleksi yang dilakukan betina dalam memilih pasangannya. Pada banyak kasus, betina cenderung memilih pejantan yang berpenampilan menarik. Padahal penampilan mencolok pejantan ini bisa jadi kelemahan bagi individu itu sendiri dalam kondisi lain, misalnya menjadi lebih mudah terlihat oleh predator.

Bagaimana kaitan sifat selektif betina dalam memilih pejantan dengan konsep evolusi? Salah satu hipotesis menyatakan bahwa betina memilih pejantan dengan fenotip yang paling bagus karena

fenotip yang bagus tadi pasti terekspresikan oleh genotip yang bagus pula. Apabila sifat dari pejantan yang disukai betina merupakan petunjuk bagi kualitas genetik keseluruhan si jantan, maka gen yang baik tadi akan terus diwariskan kepada generasi selanjutnya dan meningkatkan frekuensi gen tersebut.

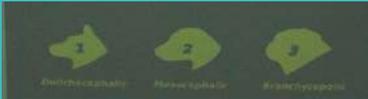
Akibatnya pejantan terbaik akan bertahan hidup dan menurunkan keturunan sehingga gen baiknya tetap lestari dalam lungkang gen populasi, sedangkan pejantan yang tidak cukup bagus untuk dipilih betina tidak akan kawin sehingga tidak dapat menurunkan keurunannya dan melestarikan gennya. Bahkan pada beberapa spesies, pejantan yang tidak dapat kawin akan mati sehingga aliran gen pada individu tersebut terputus. Kesimpulan dari seleksi seksual adalah lestarinya suatu gen dalam lungkang gen populasi dikarenakan kemampuan individu dalam populasi untuk dapat kawin.

Darwin selain membahas seleksi alam dan seleksi seksual juga menyebutkan evolusi juga terjadi karena **seleksi buatan** atau yang disebut **artificial selection**. Seleksi buatan adalah istilah yang digunakan sebagai kata lain dari domestikasi.

Domestikasi merupakan pembiakan spesies menjadi memiliki sifat-sifat yang diinginkan manusia sehingga sedikit banyak merubah 'kebiasaan' spesies tadi selama hidup di alam liar. Domestikasi dapat menyebabkan terjadinya variasi dalam lingkup spesies. Varietas domestik (variasi dari suatu spesies yang didomestikasi) apabila dilepas ke alam maka akan terdapat dua kemungkinan, yang pertama karakteristik varietas tadi akan berubah kembali sebagaimana karakteristik nenek moyangnya yang berasal dari alam sehingga dapat bertahan hidup (melakukan adaptasi). Kemungkinan kedua, varietas tadi tidak dapat bertahan hidup di alam liar atau tidak lolos seleksi alam.

Seleksi Artifisial
Kira-kira 30.000 tahun silam, manusia mulai memelihara dan menjinakkan srigala. Mereka dijadikan teman berburu dan penghalau gangguan hewan lain. kemudian manusia melatih, menyeleksi, dan menyilangkan beberapa jenis peliharaannya. Hingga bergenerasi-generasi, akhirnya menghasilkan jenis baru: anjing.

Sekarang, tipologi kepala mereka kentara merujuk 3 fitur utama yang berasal dari keturunan dan selera manusia: 1. Pelari, 2. Pelacak, 3. Petarung Ulung



Mereka merupakan hasil seleksi artifisial, kontrol kawin silang yang dipraktikkan manusia

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 2.8 Contoh seleksi buatan atau seleksi artifisial

Contoh seleksi buatan yang disebutkan Darwin dalam bukunya pada bab I yang berjudul Variasi dalam Domestikasi adalah perbedaan yang ditunjukkan oleh bebek liar dengan bebek yang telah didomestikasi dalam kandang oleh manusia. **Gambar .2.9** menunjukkan bebek liar yang memiliki ciri tulang sayap lebih besar dan kuat tulang kaki yang kecil dan lebih rapuh. Bebek yang telah didomestikasi (**gambar 2.10**) secara anatomis menunjukkan kebalikannya, yaitu memiliki tulang sayap yang lebih ringan dan tulang kaki yang lebih besar dan kuat. Perbedaan ini menunjukkan perubahan penggunaan alat tubuh yang lebih dominan. Bebek liar yang hidup secara bebas di alam cenderung lebih banyak menggunakan sayap untuk terbang sebagai organ lokomasi (berpindah dan bergerak) daripada berjalan sebagaimana yang dilakukan kebanyakan burung. Bebek yang hidup di kandang dan hanya dilepaskan pada daerah terbuka dan lebih sempit daripada di hutan akan lebih mendapatkan keuntungan saat berpindah tempat dengan berjalan. Kesimpulan dari seleksi buatan adalah adanya pola adaptasi yang dilakukan oleh organisme sebagai bentuk usaha agar dapat hidup dan lestari di lingkungan barunya.



Sumber: Pixabay, Antrianias

Gambar 2.9 Bebek liar betina nampak morfologis

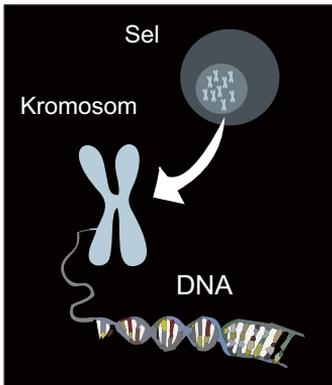


Sumber: Wikipedia

Gambar 2.10 Bebek domestik betina nampak morfologis

Seleksi alam mengakibatkan perubahan frekuensi alel pada populasi. Variasi yang terseleksi frekuensi alelnya akan menurun, sedangkan lambat laun variasi yang lolos seleksi frekuensi alelnya akan bertambah karena mendominasi populasi

2. Mutasi dan Rekombinasi Gen



Gambar 2.11 Ilustrasi Sel, Kromosom dan DNA dalam sel

Genotip adalah perangkat yang bertanggungjawab terhadap penampakan morfologi organisme (fenotip). Apabila suatu individu dalam populasi menunjukkan adanya perubahan morfologi yang nampak, maka hal tersebut dianggap sebagai variasi dari spesies individu tersebut.

Sebagaimana yang telah kita baca pada submateri seleksi alam, variasi merupakan objek dari peristiwa seleksi alam. **Saat peristiwa seleksi alam terjadi, maka akan ada variasi yang terseleksi (punah atau jumlah anggotanya berkurang banyak) dan ada variasi yang lolos seleksi alam. Variasi yang lolos ini kemudian akan mendominasi populasi sehingga frekuensi alel berubah, pada saat inilah dapat dikatakan populasi tersebut mengalami evolusi.**

Variasi terjadi karena terjadinya mutasi, baik mutasi gen maupun mutasi kromosom serta terjadinya rekombinasi gen dalam keturunan. Apakah yang dimaksud dengan mutasi dan rekombinasi gen? Bagaimanakah mutasi dan rekombinasi gen dapat mengakibatkan evolusi terjadi?

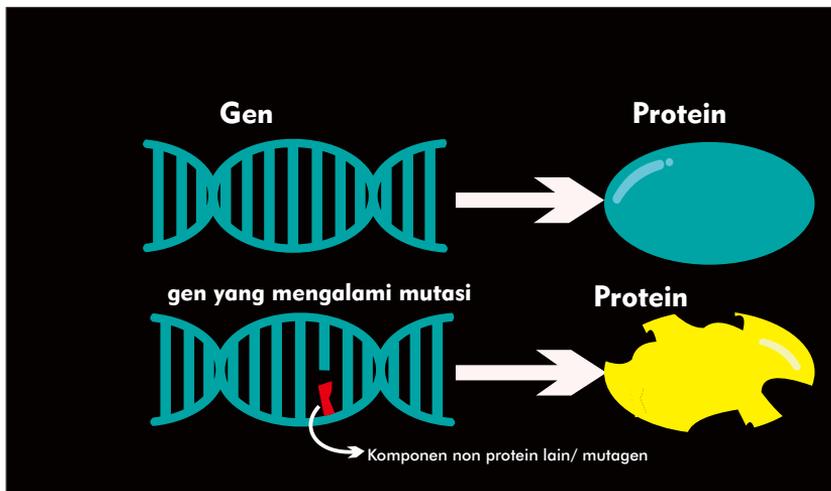
a. Mutasi

Materi genetik yang dimiliki oleh makhluk hidup adalah DNA dan RNA, kecuali virus yang memiliki hanya RNA/DNA saja. DNA tersusun atas banyak nukleotida, dengan setiap nukleotida mengandung basa nitrogen (BN) yaitu Purine (Adenin A dan Guanin G) serta Pirimidin (Timin T dan Cytosin C). Kumpulan DNA terletak dalam lokus atau wadah yang mengendalikan ciri genetik suatu makhluk hidup dan disebut gen.

Gen diwariskan oleh satu individu kepada keturunannya melalui proses reproduksi. Gen yang tersusun saling menyambung dan menyimpan informasi genetik tadi disebut kromosom.

Mutasi gen dapat diartikan sebagai suatu perubahan struktur kimia DNA. Apabila mutasi gen tidak menyebabkan perubahan pembentukan asam amino maka tidak akan menimbulkan efek yang berarti, namun apabila mutasi menyebabkan terjadinya perubahan pembentukan asam amino maka fungsi gen akan berubah yang menyebabkan perubahan sifat pada suatu organisme.

Mutasi dapat bersifat menurun ataupun tidak. Apabila mutasi terjadi pada sel soma (sel tubuh), maka tidak akan diwariskan kepada keturunan, namun apabila mutasi terjadi pada sel kelamin akan diwariskan kepada keturunannya karena mutagen yang berada pada sel kelamin jantan maupun betina akan terus ada dalam setiap keturunan.



Gambar 2.12 Ilustrasi peristiwa mutasi pada DNA

Bagaimana mutasi berkaitan dengan mekanisme evolusi? **Mutasi memiliki hubungan dengan evolusi hanya jika mutasi yang terjadi berhasil diturunkan dalam generasinya.**

Sebagian besar mutasi bersifat merugikan, karena mutasi dapat merubah dan merusak posisi nukleotida penyusun DNA. Terkadang mutasi pada sel kelamin dapat mengakibatkan timbulnya sifat baru yang menguntungkan. Bila sifat baru tadi mampu beradaptasi dengan lingkungannya maka individu tersebut akan terus hidup dan mewariskan mutasi yang dialaminya dalam keturunannya. Pada umumnya mutasi terjadi dengan kemungkinan yang sangat kecil, artinya jarang terjadi. Rata-rata 1:100.000, artinya dalam 100.000 gamet, hanya terdapat satu gen yang bermutasi. Kecilnya kemungkinan ini tetap merupakan suatu mekanisme yang penting karena setiap gamet yang mengandung ribuan gen dari individu yang dapat menghasilkan ribuan bahkan jutaan gamet memungkinkan peluang terjadinya mutasi yang menguntungkan menjadi lebih besar, terlebih lagi apabila generasi dari spesies tersebut banyak dan belum punah.

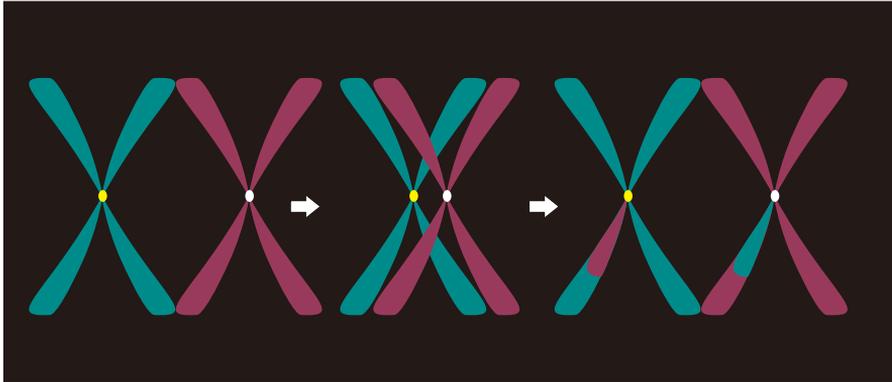
b. Rekombinasi gen

Rekombinasi gen adalah perubahan susunan gen karena adanya penggabungan gen dari induk jantan dan induk betina. Perubahan susunan gen ini mengakibatkan terbentuknya variasi dalam spesies. Rekombinasi genetik didefinisikan menjadi penggabungan gen dari satu atau lebih sel ke sel target. Sel yang disisipi atau dimasuki gen dari luar atau dari sel lain disebut biakan rekombinan. Penyusunan kembali informasi genetik dalam dan antara molekul DNA yang meliputi berbagai macam proses yang terletak secara kolektif dibawah rekombinasi genetik.

Hukum Mendel I dan II pada pewarisan sifat menunjukkan bahwa individu dihibrid apabila dikawinkan dengan sesamanya maka perbandingan fenotip F_1 nya adalah 1:2:1 dan perbandingan fenotip F_2 nya adalah 9:3:3:1.



Disimpulkan bahwa apabila individu-individu dari suatu populasi melakukan perkawinan secara acak dan setiap genotipe memiliki peluang yang sama maka perbandingan genotipe-genotipenya dari generasi-generasi akan tetap sama. Hal ini sejalan dengan Hukum Hardy-Weinberg yang akan dipelajari berikutnya



Gambar 2.13 Ilustrasi peristiwa rekombenasi gen

3. Gene Flow dan Genetic Drift

Lokus merupakan sebutan bagi sebuah tempat pada kromosom yang di dalamnya terdapat seperangkat gen-gen. Dua gen yang terletak pada lokus yang sama atau sejajar disebut alel. Setiap individu tersusun atas gen-gen, selanjutnya kumpulan individu membentuk sebuah populasi. Apabila dilihat dari tingkatan gen, maka dalam satu populasi terdapat banyak alel yang terdapat dari masing-masing individu, kumpulan alel gen tadi disebut sebagai gene pool.

a. Gene flow atau aliran gen

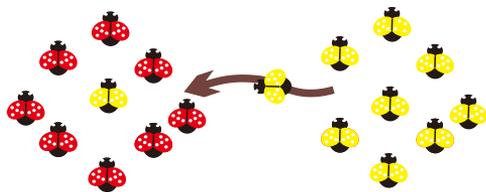
Migrasi merupakan sebuah aktivitas yang sangat mungkin dilakukan oleh sebuah populasi. Migrasi bisa diakibatkan oleh persediaan makanan yang mulai habis, kondisi alam yang berubah dan tidak memungkinkan untuk ditinggali, kedatangan predator yang mengancam, dan lain sebagainya.



Gene flow sering disebut migrasi. Hal ini dikarenakan alel yang dimiliki oleh suatu individu akan ikut berpindah pula saat individu tersebut masuk ke dalam lingkungan baru. Perpindahan populasi ke suatu tempat baru ini sangat mempengaruhi komposisi alel dalam *gene pool*. Sebagai contoh, suatu populasi kepik memiliki karakteristik warna sayap merah totol putih, suatu ketika individu dari populasi kepik dengan karakteristik sayap kuning totol putih datang dan menetap di populasi kepik merah. Peristiwa ini menunjukkan populasi kepik merah telah menerima adanya alel baru dari kepik kuning. Bertambahnya alel baru yang sebelumnya tidak terdapat pada *gene pool* disebut sebagai **gene flow**. Individu dengan alel baru yang masuk dalam populasi dan menetap serta kawin dan menghasilkan keturunan, akibatnya terdapat variasi dalam populasi. Oleh karena itu, variasi populasi dapat muncul karena mutasi dan *gene flow*.

Gene flow cenderung mengurangi perbedaan antara populasi yang telah bergabung akibat seleksi alam atau hanyutan genetik. Jika hal itu terjadi cukup lama kedua populasi berbeda tadi akan menyatu menjadi sebuah populasi tunggal dengan struktur genetik yang sama. Hal ini menyebabkan populasi tadi disebut berevolusi.

Gambar 2.14
Ilustrasi peristiwa aliran gen yang terjadi karena kepik kuning masuk dan tinggal di habitat kepik merah



b. Genetic drift atau hanyutan genetik

Fluktuasi atau naik turunnya frekuensi alel yang tidak dapat diprediksi dari satu generasi ke generasi disebut sebagai **genetic drift**. Berbeda dengan seleksi alam, *genetic drift* terjadi secara acak, yaitu mengurangi individu tanpa memperhatikan karakter yang dapat menguntungkan atau tidak.

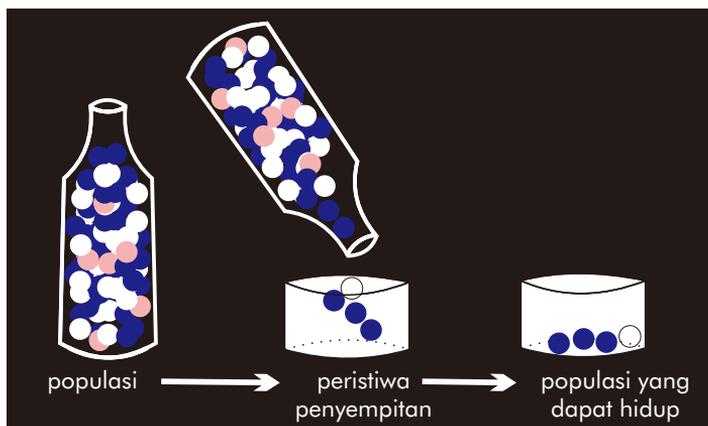
Sebagai contoh, kebakaran hutan tidak akan menguntungkan kelinci berwarna putih ataupun cokelat, keduanya bisa saja mati karena kebakaran. Tetapi pada peristiwa seleksi alam kelinci putih akan lebih mudah dilihat predator karena warnanya yang kontras dengan tanah hutan.

Genetic drift berlangsung dalam populasi kecil yang apabila satu alel hilang dapat menyebabkan hilangnya karakteristik populasi tersebut sehingga frekuensi alel populasi berubah.

Pada *Genetic drift* dikenal adanya efek leher botol (*bottleneck effect*) dan efek pendiri (*founder effect*):

1) Efek leher botol

Efek leher botol terjadi ketika sebuah bencana besar atau kejadian lain yang membuat sebagian besar anggota populasi mati meninggalkan beberapa individu yang tidak dapat mewakili variasi genetik yang pernah ada. Alel-alel tertentu mungkin dapat terwakili, tetapi besar kemungkinan hilang sama sekali.

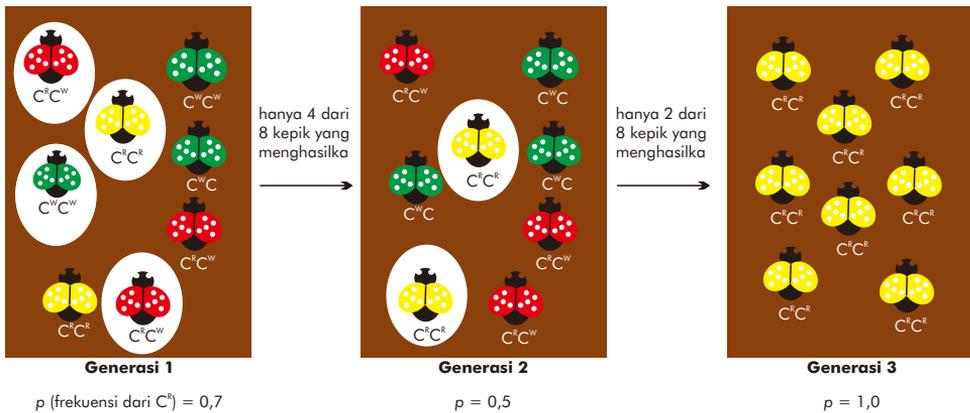


2) Efek Pendiri

Suatu kelompok kecil individu yang menempati habitat baru yang terpencil yang tidak berpenghuni, tidak akan mewakili keanekaragaman genetik dari populasi asal yang ditinggalkan.

Keanekaragaman yang dibawa oleh kelompok kecil tersebut akan menentukan komposisi genetik populasi yang terbentuk, sehingga sering dikatakan bahwa pada daerah-daerah tersebut terdapat spesies yang endemik (hanya terdapat di daerah tersebut)

Gambar 2.15 Ilustrasi peristiwa efek leher botol dengan perumpamaan kelereng-kelereng (sebagai populasi) dengan tiga warna berbeda (sebagai frekuensi alel berbeda) dalam botol. Kelereng tadi dikocok kemudian dituang pada wadah melewati leher botol yang sempit. Secara kebetulan kelereng yang dapat melewati leher botol tadi merupakan kelereng biru dan putih. Kedua warna kelereng ini mewakili frekuensi alel yang dapat hidup dari populasi awal, sedangkan kelereng merah muda yang tidak dapat melewati leher botol berarti tidak dapat mewakili frekuensi alel dari populasi awal.



Gambar 2.15 Ilustrasi peristiwa hanyutan gen di mana awalnya populasi kepik memiliki ukuran stabil (8 ekor). Secara kebetulan hanya ada 4 tumbuhan yang dapat menurunkan keturunan (lingkaran putih pada kotak Generasi 1), kemudian secara kebetulan lagi hanya ada 2 tumbuhan yang dapat menurunkan keturunan (lingkaran putih pada kotak Generasi 2). Akibatnya frekuensi alel C^W yang meningkat pada generasi ke 2 mengalami penurunan pada generas ke 3.

4. Frekuensi Alel

Frekuensi alel adalah proporsi atau perbandingan suatu gen atau genotip dengan gen atau genotip lain dalam satu populasi. Setiap individu dalam populasi memiliki genotip yang berbeda. Variasi dalam populasi sangat menentukan frekuensi alel. Ingat bahwa variasi merupakan ekspresi dari genotip. Frekuensi alel pada populasi berkurang karena peristiwa *genetic drift* dan seleksi alam, sedangkan penambahan frekuensi alel dapat terjadi karena peristiwa mutasi dan rekombinasi gen.

Prinsip Herdy-Weinberg lahir dari buah pikiran dua ilmuwan asal Inggris dan Jerman. Kedua ilmuwan ini sebenarnya tidak bekerja bersama-sama, namun gagasan mereka secara kebetulan sama sehingga kemudian dirumuskan pada tahun 1908 dengan nama Prinsip Hardy-Weinberg. Prinsip ini menyatakan bahwa **apabila frekuensi alel dan genotip pada gene pool dalam suatu populasi tetap dari generasi ke generasi maka gene pool berada dalam equilibrium Hardy-Weinberg atau populasi tidak mengalami evolusi**. Dengan kata lain, frekuensi alel dapat menunjukkan apakah suatu populasi mengalami evolusi atau tidak.

Frekuensi alel dalam *gene pool* akan berada dalam keseimbangan atau equilibrium apabila:

1. Populasi sangat besar
2. Individu pada populasi kawin secara acak
3. Tidak ada migrasi baik keluar dari populasi atau masuk ke dalam populasi (tidak ada aliran gen)
4. Seleksi alam tidak terjadi pada genotip spesifik
5. Jantan dan betina memiliki frekuensi alel yang sama, diploid, dan bereproduksi secara seksual
6. Tidak terjadi mutasi

Secara matematis, Prinsip Hardy-Weinberg dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} p + q &= 1 \\ \text{atau} \\ (p+q)^2 &= p^2 + 2pq + q^2 = 1 \\ \text{Atau} \\ p + q + r &= 1 \text{ (untuk frekuensi alel} \\ &\text{ganda)} \\ p^2 + 2pr + q^2 + 2qr + 2pq + r^2 &= 1 \end{aligned}$$

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

- p : frekuensi alel dominan A
- q : frekuensi alel resesif a
- p² : frekuensi individu homozigot AA
- 2pq : frekuensi individu heterozigot Aa
- q² : frekuensi individu homozigot aa

Persamaan Hardy-Weinberg sering digunakan untuk menguji apakah evolusi terjadi pada suatu populasi.

Untuk mempermudah pemahaman dalam menerapkan persamaan tersebut dalam menjawab permasalahan genetika populasi, marilah kita mencermati contoh dibawah!

Contoh 1:

Desa Sukamaju pada tahun 1936 memiliki jumlah penduduk berjumlah sebanyak 10.000 orang. 4 orang penduduknya merupakan orang-orang yang dapat melipat lidah, sedangkan sisanya tidak bisa. Tentukan berapa jumlah penduduk yang heterozigot dan homozigot jika genotip penduduk yang tidak dapat melipat lidah adalah AA atau Aa dan yang dapat melipat lidah adalah aa!



Penyelesaian:

Ditanya :

jumlah penduduk yang heterozigot dan homozigot jika genotip penduduk yang dapat melipat lidah adalah AA atau Aa dan yang tidak dapat melipat lidah adalah aa

Diketahui :

jumlah penduduk 10000

jumlah penduduk melipat lidah 4 orang

Dijawab:

Penduduk normal (homozigot) $AA = P^2$

Penduduk carier (heterozigot) $Aa = 2pq$

Penduduk melipat lidah (homozigot) $aa = q^2$

Menghitung frekuensi gen a

$$\text{Rumus : } p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

$$aa = q^2 = 4/10.000$$

$$= 0,0004$$

$$q = \sqrt{0,0004}$$

$$q = 0,02 \text{ (homozigot aa)}$$

karena frekuensi seluruh alel harus 1, maka $p + q = 1$ sehingga frekuensi alel dominan (p) dihitung dengan rumus

$$p + q = 1$$

$$p + 0,02 = 1$$

$$p = 0,98 \text{ (homozigot AA)}$$

$$\text{maka } 2pq = 2 \times 0,98 \times 0,02$$

$$2pq = 0,0392 \text{ (heterozigot Aa)}$$

Sekarang kita sudah mengetahui frekuensi alel, yaitu alel AA adalah 0,98; alel Aa adalah 0,0392, dan alel aa adalah 0,02. Dengan demikian kita dapat menentukan jumlah penduduk yang normal dan penduduk carier.

a. Penduduk normal

$$p^2 \times \text{jumlah penduduk} = 0,98^2 \times 10.000$$

$$= 0,9604 \times 10.000$$

$$= 9604 \text{ orang}$$

b. Penduduk Carrier

$$2pq \times \text{jmlh penduduk} = 0,0392 \times 10.000$$

$$= 392 \text{ orang}$$



Contoh 2:

Suatu desa memiliki jumlah penduduk sebanyak 10.000 orang dengan berbagai golongan darah. Sebanyak 3.900 orang bergolongan darah B, 2.400 orang bergolongan darah A, dan 1.200 orang bergolongan darah AB. Hitunglah:

- Frekuensi I^a , I^b dan I^o
- Golongan darah A homozigot dan heterozigot
- Golongan darah B homozigot dan heterozigot

Penyelesaian :

Diketahui:

Jumlah penduduk total 10.000

Jumlah penduduk bergolongan darah B
3.900

Jumlah penduduk bergolongan darah A
2.400

Jumlah penduduk bergolongan darah AB
1.200

Jumlah penduduk bergolongan darah O
2.500 (10.000-3.900-2.400-1.200)

$$p^2 = I^A I^A$$

$$2pr = I^A I^o$$

$$q^2 = I^B I^B$$

$$2qr = I^B I^o$$

$$2pq = I^A I^B$$

$$r^2 = I^o I^o$$

Ditanya:

- Frekuensi I^a , I^b dan I^o
- Golongan darah A homozigot dan heterozigot
- Golongan darah B homozigot dan heterozigot

Dijawab:

- Menghitung frekuensi I^A , I^B dan I^o

$$p^2 + 2pr + q^2 + 2qr + 2pq + r^2 = 1$$

Frekuensi I^o

$$r^2 = 2500/10.000$$

$$r^2 = 0,25$$



$$(p+r)^2 = (2.400 + 2.500)/10.000 \\ = 4900/10.000$$

$$(p+r)^2 = 0,49$$

$$(p+r) = 0,7$$

Frekuensi I^A

$$p = 0,7 - 0,5$$

$$p = 0,2$$

Frekuensi I^B

$$p+q+r = 1$$

$$q = 1 - (p+r)$$

$$q = 1 - (0,2+0,5)$$

$$q = 0,3$$

b. Jumlah penduduk golongan darah A homozigot dan heterozigot

homozigot

$$I^A I^A = p^2 = (0,2)^2 = 0,04$$

$$I^A I^A = 0,04 \times 10.000 = 400 \text{ orang}$$

Heterozigot

$$I^A I^O = 2pr = 2 (0,2 \times 0,5) = 0,2$$

$$I^A I^O = 0,2 \times 10.000 = 2000 \text{ orang}$$

c. Golongan darah B homozigot dan heterozigot

homozigot

$$I^B I^B = q^2 = (0,3)^2 = 0,09$$

$$I^B I^B = 0,09 \times 10.000 = 900 \text{ orang}$$

Heterozigot

$$I^B I^O = 2qr = 2 (0,3 \times 0,5) = 0,3$$

$$I^B I^O = 0,3 \times 10.000 = 3000 \text{ orang}$$



RANGKUMAN



Evolusi terjadi oleh beberapa mekanisme. Evolusi terjadi pada tingkat populasi, bukan individu. Seleksi alam yang terjadi pada variasi-variasi individu merupakan jalan bagi individu yang berhasil melewati seleksi alam untuk berkembang menjadi lebih mendominasi populasinya daripada individu yang tidak mampu melewati seleksi alam. Evolusi terbagi menjadi mikroevolusi dan makroevolusi. Mikroevolusi terjadi pada skala populasi karena perubahan frekuensi alel dalam populasi dan seleksi alam. Makroevolusi terjadi saat mikroevolusi telah mencapai tahap individu kawin secara acak dan menghasilkan individu baru yang steril (terbentuknya spesies baru). Mekanisme evolusi adalah sebagai berikut:

1. Seleksi alam
Seleksi alam memiliki tiga kemungkinan untuk terjadi yaitu: seleksi mengarah, seleksi disruptif, dan seleksi stabilisasi
2. Mutasi dan rekombinasi gen
Mutasi dapat diturunkan apabila terjadi pada sel kelamin. Saat mutasi pada sel kelamin terjadi dan diturunkan pada generasi selanjutnya maka saat inilah keturunan yang membawa sifat hasil mutasi mendominasi populasi dan evolusi terjadi.
3. Gene flow dan genetic drift
Gene flow merupakan bertambah atau berkurangnya frekuensi alel dalam populasi karena perpindahan individu (gamet).
Genetic drift merupakan naik turunnya frekuensi alel yang tidak dapat diprediksi yang terjadi pada populasi kecil. Genetic drift dikenal adanya efek leher botol dan efek pendiri

4. Frekuensi alel

Frekuensi alel dan genotip pada lingkungan gene populasi yang tetap dari generasi ke generasi sama maka populasi tersebut berada pada keseimbangan/equilibrium Hardy-weinberg (artinya populasi tidak mengalami evolusi). Frekuensi alel pada populasi dapat mengalami perubahan karena adanya seleksi alam, migrasi/ *gene flow*, *genetic drift*, dan mutasi.

Rumus matematis Hukum Hardy-Weinberg:

$$p + q = 1$$

atau

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

Atau

$$p + q + r = 1 \text{ (untuk frekuensi alel ganda)}$$

$$p^2 + 2pr + q^2 + 2qr + 2pq + r^2 = 1$$

EKSPERIMEN



Simulasi Seleksi Alam

Tujuan :

Kegiatan eksperimen ini memiliki tujuan agar peserta didik dapat memahami mekanisme seleksi alam dengan melakukan simulasi menggunakan alat bahan dan sederhana.

Alat dan bahan :

- Kertas berwarna merah, kuning, dan hijau
- Gunting
- Lapangan yang berrumput
- Kantong plastik

Cara kerja :

1. Siapkan kertas berwarna kuning, merah, dan hijau.
2. Potonglah kertas warna kuning menjadi bentuk segitiga sebanyak 30 buah.
3. Potonglah kertas warna merah menjadi bentuk lingkaran sebanyak 30 buah.
4. Potonglah kertas warna hijau menjadi bentuk persegi sebanyak 30 buah.
5. Masukkan semua potongan kertas (sebanyak 90 buah) ke dalam sebuah kantong, kemudian kocoklah hingga bercampur rata.
6. Sebarkan semua potongan kertas itu pada lapangan berrumput.
7. Mintalah kepada salah satu teman Anda atau lakukan sendiri untuk mengambil potongan kertas itu dalam waktu 1 menit.
8. Catatlah hasil pengamatan Anda dalam tabel berikut.

Tabel :

No	Rincian Data	kertas merah	kertas kuning	kertas hijau	jumlah
1	jumlah sebelum				
2	jumlah setelah				
3	selisih antara jumlah potongan kertas sebelum ditabur dan yang sudah terambil kembali				



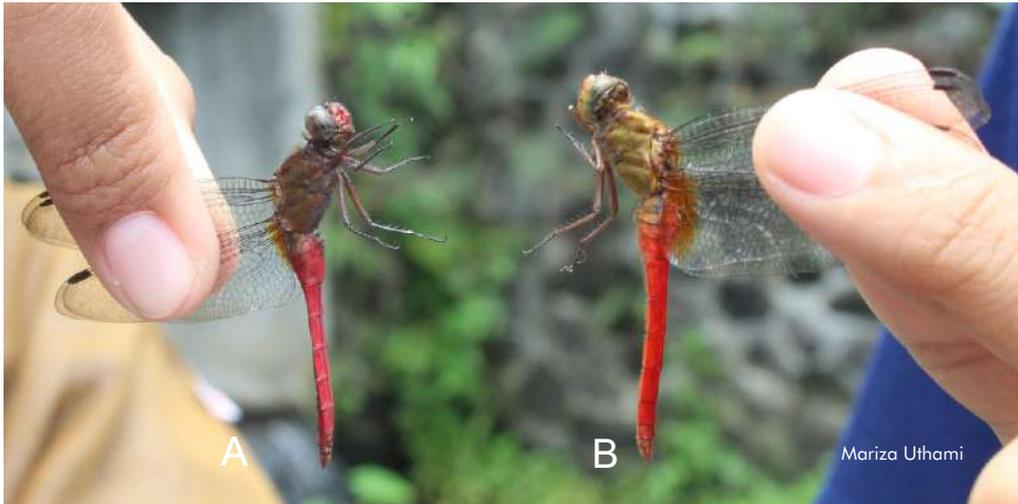
Pertanyaan

1. Pada kegiatan diatas, siapakah yang bertindak sebagai organisme sasaran seleksi alam, alam, dan si penyeleksi?
2. Apakah selisih antara jumlah potongan kertas sebelum ditabur dengan jumlah potongan kertas yang telah diambil untuk setiap warna kertas sama?
3. Warna kertas apakah yang paling sedikit terambil?
4. Apakah yang mempengaruhi kertas tersebut paling sedikit terambil, karena bentuknya atautkah warnanya? Jelaskan.
5. Warna kertas apakah yang paling banyak terambil?
6. Apakah yang mempengaruhi kertas tersebut paling banyak terambil, karena bentuknya atautkah warnanya? Jelaskan.
7. Apabila kegiatan tersebut diulangi lagi, apakah hasilnya akan mirip atau bahkan sama?
8. Tuliskan kesimpulan dari kegiatan yang telah anda lakukan!

Tugas Mandiri



1. Fenotip orang albino ditentukan oleh alel resesif f pada keadaan homozigot, sedangkan fenotip normal ditentukan oleh alel dominan F . Apabila suatu populasi pada tahun 1719 terdiri atas 80 orang dan 20 orang albino, maka tentukan:
 - a. Frekuensi alel F dan f
 - b. Frekuensi genotip FF , Ff , dan ff
 - c. Berapakah diantara mereka yang diharapkan normal homozigot?
 - d. Berapakah diantara mereka yang diharapkan normal heterozigot?
 - e. Apabila pada tahun 2019 terjadi penambahan jumlah orang albino menjadi 40 orang, bagaimanakah frekuensi alel F dan f serta apakah terjadi evolusi pada populasi penduduk tadi?
2. Tentukan berapa orang yang diharapkan pengecap (taster) homozigot dari 1.000 orang yang melakukan tes Phenylthiocarbamida (PTC) bila diperoleh 40 orang buta kecap (nontaster)!
3. Seleksi alam berlaku pada setiap individu, tetapi evolusi terjadi pada tingkat populasi. Mutasi dan rekombinasi merupakan mekanisme yang menyebabkan munculnya variasi. Bagaimana hubungan variasi individu yang disebabkan oleh mutasi dan rekombinasi gen dengan seleksi alam sehingga terjadi evolusi populasi?



Sumber: Mariza Uthami

Gambar 3.1 *Orthetrum chrysis* (A) dan *Orthetrum testaceum* (B) merupakan dua spesies berbeda tetapi memiliki kemiripan

Spesies menurut kajian ilmu biologi memiliki arti 'jenis' atau 'penampilan'. Secara lebih dalam **spesies** menurut Ernst Mayr artinya **suatu populasi atau kelompok populasi yang anggota-anggotanya memiliki kemampuan untuk saling mengawini satu sama lain di alam dan menghasilkan keturunan yang dapat hidup dan fertil**. Apabila suatu individu dikawinkan dengan individu lain maka pasti tidak dapat menghasilkan keturunan atau keturunannya tidak fertil (steril), berarti kedua individu tadi merupakan spesies yang berbeda.

Orthetrum testaceum (kanan) dan *Orthetrum chrysis* (kiri) yang ada pada **Gambar 3.1** menunjukkan kemiripan secara morfologis seperti warna abdomen, ukuran tubuh dan bentuk sayap. Namun kedua individu ini tidak dapat kawin karena merupakan spesies biologi yang berbeda.

Tujuan Pembelajaran

setelah mempelajari bab ini, kita dapat:

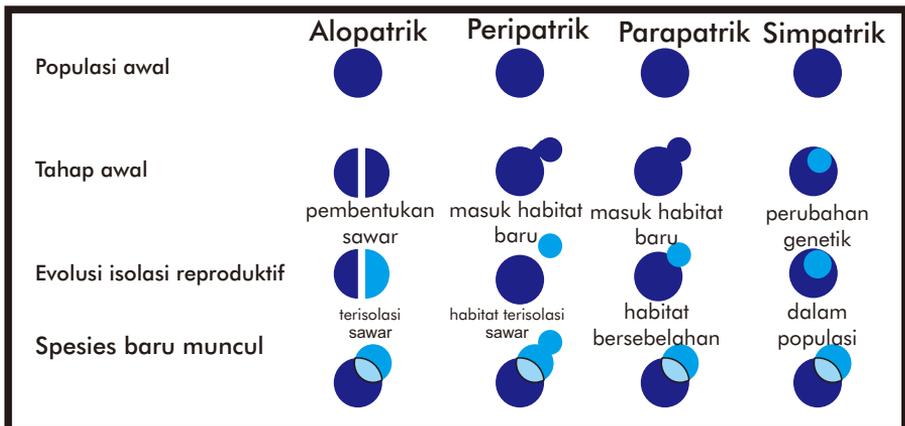
1. Menguraikan macam spesiasi dengan benar
2. Mengaitkan adanya isolasi makhluk hidup yang menyebabkan terbentuknya spesies baru dengan benar

Kata Kunci

Spesiasi
Isolasi
Endemik

1. Spesiasi

Pengelompokan spesies dapat ditentukan dengan beberapa pendekatan misalnya berdasarkan morfologi, adaptasi perkawinan maupun konsep yang berdasar kepada cabang ilmu tertentu. Individu yang awalnya satu spesies karena adanya perubahan-perubahan dalam waktu yang lama dari generasi ke generasi dapat berubah menjadi spesies yang baru. Proses pembentukan spesies baru ini disebut dengan **spesiasi**. Pada materi sebelumnya kita telah mempelajari mengenai **mikroevolusi**. Mikroevolusi belum sampai menyebabkan terbentuknya spesies baru, hal ini dikarenakan individu dalam populasi masih dapat saling kawin dan menghasilkan generasi yang fertil (karena perkawinan dengan spesies yang sama). Apabila frekuensi pada *gene pool* terjadi secara terus menerus pada beberapa generasi keturunannya, maka terjadilah makroevolusi. **Makroevolusi** adalah evolusi yang terjadi pada skala yang lebih besar di mana pada prosesnya makroevolusi dapat memunculkan spesies baru dari spesies yang sebelumnya telah ada dengan mekanisme tertentu.



Gambar 3.2 Ilustrasi pembentukan spesies (spesiasi)

1. Spesiasi alopatrik

Spesiasi alopatrik terjadi karena populasi terhambat dalam bereproduksi yang disebabkan oleh geografis yang saling terisolasi sehingga tidak dapat terjadi pertukaran gen. Spesiasi ini dapat terjadi karena fragmentasi habitat atau migrasi. Hambatan geografik mengakibatkan suatu populasi dengan populasi induk terpisah sehingga aliran gen terputus. Kedua populasi yang saling terisolasi ini akhirnya memiliki sejumlah perbedaan genetik, termasuk perbedaan bereproduksi yang membedakan satu sama lain.

Contoh dari spesiasi alopatrik adalah di Grand Canyon secara keseluruhan lokasi terdapat banyak spesies yang tinggal, diantaranya burung dan bajing antelop. Grand Canyon memiliki ngarai terpisah yaitu ngarai selatan dan ngarai utara. Bajing antelop harris ([gambar 3.3](#)) menghuni ngarai selatan sedangkan beberapa kilometer ke utara terdapat ngarai yang dihuni oleh bajing antelop ekor-putih ([gambar 3.4](#)). Adanya isolasi geografik berupa ngarai tadi menyebabkan terbentuknya dua spesies yang berkerabat dekat ini melalui spesiasi allopatrik.



Sumber: redbubble.com, Kimberly Chadwick

Gambar 3.3

Ammospermophilus harrisi



Sumber: Wikiwand, Nam Utah

Gambar 3.4

Ammospermophilus leucurus

2. Spesiasi simpatrik

Spesiasi simpatrik terjadi tidak karena adanya isolasi geografis atau perubahan pada habitat tetapi terjadi pada wilayah geografis yang sama. Spesiasi simpatrik melibatkan isolasi reproduktif salah satunya melibatkan perkawinan silang dua spesies yang berkerabat sehingga menghasilkan keturunan yang hibrid. Perkawinan ini umumnya hanya terjadi pada tumbuhan, karena sangat jarang keturunan hewan bersifat hibrid karena nantinya akan mandul. Lihat [gambar 3.2](#).

Contoh spesiasi simpatrik adalah perubahan jumlah kromosom *Primula kewensis* yang merupakan hasil persilangan interspesifik antara *Primula floribunda* dan *Primula verticillata*.



Sumber: barnhaven.com

Gambar 3.5 *Primula*
Kewensis

3. Spesiasi Peripatrik



Sumber: pinterest

Gambar 3.6 *Uta Stansburiana*

Spesies yang lepas dari populasi spesies induk yang tinggal di daerah perbatasan dan membentuk spesies baru. Spesiasi yang terjadi ketika sebagian kecil populasi organisme menjadi terisolasi dalam sebuah lingkungan yang baru. Hilangnya variasi genetik membuat populasi baru dapat berubah, baik secara genotip ataupun fenotif dari populasi asalnya.

Contohnya kadal kecil *Uta stansburiana* menunjukkan variasi geografis hampir diseluruh bagian barat Amerika Utara, tetapi populasi di pulau yang lain di jurang California sangat bervariasi dalam hal ukuran tubuh, skalasi, warna, dan lingkungan ekologi yang beberapa diantaranya telah ditetapkan sebagai spesies terpisah.

4. Spesiasi Parapatrik

Spesiasi parapatrik juga disebut spesiasi semi geografik. Spesiasi ini terjadi karena adanya variasi frekuensi kawin dalam populasi yang menempati wilayah yang sama. Spesies induk tinggal di suatu habitat tanpa ada isolasi geografik. Spesies baru muncul baru terbentuk dari populasi yang berdekatan.

Contohnya di suatu daerah dekat sungai pembuangan sampah tumbuhlah rumput *Anthoxanatum odoratum* yang kemudian berevolusi menjadi toleran terhadap logam berat yang ada di tanah. Rumput yang telah menjadi resistan tadi kawin dengan induknya yang berhabitat di tanah tidak terkontaminasi yang tidak jauh dari rumput resistan tadi hidup. Kawin campur ini menghasilkan perubahan waktu pembungaan, menyebabkan isolasi reproduksi, menyebabkan peralihan karakter, dan berbeda pada penampilannya.

Sumber: asklepios-seeds.de

Gambar 3.4
Anthoxanatum
odoratum



2. Isolasi

Apabila kita melihat ekosistem ladang dapat kita temui populasi sapi tengah merumput, segerombolan katak di pematang sawah, dan populasi spesies lain hidup dalam habitat yang sama. Pada setiap populasi tadi, terdapat *gene pool* yang membuat antar populasi memiliki perbedaan tetapi individu pada setiap populasi mirip satu sama lain. *Gene pool* setiap populasi dapat bertahan dan aliran gen yang terjadi hanya dalam populasi tersebut dikarenakan adanya isolasi. Isolasi ini juga mengakibatkan tidak mungkin terjadinya perkawinan antar spesies yang berbeda dari nenek moyangnya. Tidak mungkin sapi betina dalam populasi sapi yang berasal dari nenek moyang sapi akan kawin dengan ayam jago (ayam jantan) dalam populasi ayam yang berasal dari nenek moyang ayam. Isolasi menyebabkan spesies berkelompok sesuai dengan kekhasan masing masing.

Macam spesiasi yang telah kita pelajari terjadi karena adanya isolasi. Ada bermacam jenis isolasi, yang mana dari isolasi yang di dalamnya terdapat aliran gen akan terjadi spesiasi atau pembentukan spesies baru:

1. Isolasi Reproduksi

Isolasi reproduktif terjadi karena adanya faktor-faktor penghalang biologis yang merintangai dua spesies berbeda untuk menghasilkan keturunan yang viabel dan fertil. Keberadaan penghalang ini mencegah adanya aliran gen diantara spesies-spesies dan membatasi pembentukan hibrida (keturunan dari perkawinan antar spesies). Sebagaimana yang telah dicontohkan sebelumnya, tidak mungkin sapi dapat kawin dengan ayam karena adanya halangan reproduktif. Walaupun suatu spesies dengan spesies lain memiliki kekerabatan yang cukup dekat, bahkan cara bereproduksinya sangat mirip tetapi penghalang reproduktif bisa saja ada. Penghalang reproduktif dapat digolongkan berdasarkan waktu penghalang tadi berlangsung, yaitu pada waktu sebelum atau setelah fertilisasi.



Menghalangi fertilisasi biasanya terjadi karena adanya mekanisme biokimia yang berbeda pada organ reproduksi antar individu yang mengakibatkan sperma dari spesies A tidak dapat hidup dalam saluran telur spesies B karena saluran telur spesies B hanya dapat dilalui oleh sperma dari spesies yang sama.

Contohnya, bulu babi merah melepaskan sperma dan telurnya secara bersamaan di suatu tempat dalam habitat akuatik. Di situ gamet berfusi (menggabung) untuk membentuk zigot. Sperma bulu babi merah hanya akan membuahi telur dari bulu babi merah juga meskipun dalam waktu yang bersamaan bulu babi ungu juga tengah melepaskan telur untuk dibuahi. Sperma bulu babi merah tidak akan salah membuahi telur dari bulu babi ungu, hal ini dikarenakan protein pada permukaan telur dan sperma memiliki kekhasan yang tidak dapat berikatan satu sama lain apabila kekhasan tersebut tidak sama.

Namun apabila fertilisasi sukses, maka zigot akan berkembang menjadi janin dan janin akan mati. Tetapi ada juga janin yang dapat hidup tetapi lahir dengan cacat dan mati sesaat setelah dilahirkan atau dapat hidup tetapi mandul. Contoh paling terkenal adalah *mule*, yaitu hasil dari perkawinan antara kuda dengan keledai yang berhasil dilahirkan. Mule adalah hibrida steril yang tidak dapat kawin dengan kuda maupun keledai. **Lihat gambar 3.8.**



Sumber: askleprios-seeds.de

Gambar 3.8 Mule merupakan hasil perkawinan antara kuda dan keledai yang bersifat steril



Sumber: Biologi, Campbell

Gambar 3.9 Padi yang menunjukkan penurunan kualitas dan daya hidup setelah beberapa generasi

Pada tumbuhan, perkawinan silang antar spesies dapat terjadi namun hibrida keturunan pertama memiliki kemungkinan kecil untuk bersifat fertil, akan tetapi seringkali pada keturunan generasi berikutnya mengalami kemunduran dan menjadi steril.

Contohnya hibrida tanaman kapas fertil pada generasi pertama, tetapi pada generasi selanjutnya akan terbentuk tumbuhan yang lemah dan cacat, makin sedikit membentuk biji kemudian lama kelamaan tidak membentuk biji sama sekali. Lihat [gambar 3.9](#).

2. Isolasi Habitat

Dua spesies berbeda yang mendiami habitat berbeda pada wilayah geografis yang sama bisa jadi jarang atau bahkan tidak pernah bertemu satu sama lain, padahal tidak terhalang oleh penghalang fisik yang jelas. Misalnya ular *grater* dengan genus *Thamnopsis* hidup di daerah geografi yang sama namun salah satu lebih menyukai hidup di air dan yang lain hidup di darat.



Sumber: Wikipedia,
Gambar 3.10 Ular grater sisi merah kalifornia dari genus *Thamnopsis*

3. Isolasi Perilaku

Setiap spesies memiliki perilaku yang spesifik dan khas untuk menarik perhatian lawan jenisnya. Perilaku yang ditunjukkan individu saat hendak melakukan perkawinan adalah penghalang reproduktif yang paling efektif, bahkan di antara spesies-spesies yang berkerabat. Perilaku spesifik dari individu memungkinkan pengenalan pasangan, yaitu suatu cara mengidentifikasi pasangan potensial dari spesies yang sama.

Contohnya merak jantan melakukan pemekaran ekor, membumbungkan sayap dan menegakkan kepala untuk menunjukkan warna dan pola bulunya serta pialnya yang indah. Perilaku yang dilakukan oleh merak jantan ini hanya dapat dipahami oleh spesies sejenisnya sebagai tanda kesiapan melakukan perkawinan. Hanya sesama merak jantan yang dapat memahami perilaku sesamanya sehingga dianggap sebagai saingan serta hanya merak betina yang dapat memahami bahwa perilaku seperti itu dilakukan merak jantan

sebagai usaha 'mengkode' merak betina sehingga tertarik untuk melakukan *mating* (perkawinan). Lihat [gambar 2.7](#). Walau memiliki kekerabatan dengan kalkun, perilaku kawin merak ini hanya dapat dipahami oleh sesama merak. Bagi kalkun betina, perilaku kawin dari merak jantan tidak akan menarik perhatian.

4. Isolasi Temporal

Isolasi ini terjadi karena setiap spesies memiliki waktu berbeda-beda dalam melakukan perkawinan, hal ini menyebabkan gamet-gamet antar spesies tidak dapat bersatu.

Contoh isolasi temporal adalah pada sigung. Sigung bintik timur dan sigung bintik barat tinggal di wilayah yang sama yaitu di Amerika utara. Meskipun habitat sama, tetapi kedua sigung ini memiliki waktu kawin yang berbeda, yaitu dipenghujung musim dingin dan penghujung musim panas.



Sumber: www.worldlifeexpectancy.com

Gambar 3.11 Sigung bintik timur



Sumber: calphotos.berkeley.edu, Kim A. Cabrers

Gambar 3.12 Sigung bintik barat

5. Isolasi Mekanis

Spesies yang berbeda walau berkerabat dekat gagal kawin karena perbedaan anatomi dan morfologi organ reproduktif yang berbeda.

Contohnya pola cangkang siput yang mengulir ke arah berbeda mempengaruhi bukaan genital dari siput, sehingga tidak dapat sejajar dan perkawinan tidak dapat diselesaikan.

Sumber: [bkim](#)

Gambar 3.3 Ulir pada cangkang keong yang menunjukkan letak organ genital



3. Radasi Adaptif

Evolusi keanekaragaman dari spesies-spesies yang memiliki hubungan kekerabatan dan berasal dari moyang yang sama, yang menyebar terpisah satu sama lainnya secara pasif jauh dari moyangnya dan menetap pada suatu lokasi melalui proses adaptasi disebut dengan radiasi adaptif. Radiasi adaptif memiliki dua komponen: menghasilkan spesies baru (spesiasi) dan adaptasi spesies terhadap keanekaragaman relung ekologis.

Radiasi adaptif mengakibatkan keanekaragaman makhluk hidup mengalami peningkatan. Radiasi adaptif berskala besar terjadi setelah kepunahan massal, ketika organisme yang sintas menjadi teradaptasi dengan banyak relung ekologi yang kosong.

Salah satu contoh paling umum dari teori radiasi adaptif adalah dispersi dan diversifikasi marsupial (metatherian) ke dalam ordo dan spesies yang berbeda. Marsupial telah berkembang dari satu leluhur tunggal menjadi beragam bentuk. Ini telah terjadi di benua yang sepenuhnya terputus dari pengaruh banyak spesies lain.

RANGKUMAN



Keanekaragaman makhluk hidup yang kita jumpai saat ini dapat dijelaskan secara ilmiah. Keanekaragaman ini muncul karena terbentuknya spesies baru atau yang disebut spesiasi dimana spesiasi ini juga dapat menjadi petunjuk adanya evolusi.

Spesiasi terbagi menjadi 4 cara, yaitu:

1. Spesiasi Alopatrik

Spesiasi yang terjadi karena adanya hambatan geografis yang membuat populasi induk terpisah dan aliran gen terputus. Aliran gen yang terputus ini membuat kelompok yang terpisah tadi memiliki perbedaan genetik, serta cara reproduksi yang berarti telah menjadi spesies baru yang terpisah dengan induk



2. Spesiasi Simpatrik
Spesiasi yang terjadi karena perbedaan waktu atau cara bereproduksi meskipun berada dalam satu wilayah geografis yang sama.
3. Spesiasi Perapatrik
Spesiasi yang terjadi karena sebagian kecil populasi organisme menjadi terisolasi dalam lingkungan baru. Spesies yang lepas dari populasi spesies induk yang tinggal di daerah perbatasan dan membentuk spesies baru.
4. Spesiasi parapatrik
Spesiasi yang terjadi jika aliran gen antara populasi yang terletak berdekatan dengan tekanan selektif yang berbeda lebih lemah daripada seleksi terhadap kombinasi gen yang berbeda

Isolasi dapat menyebabkan terbentuknya spesies, yaitu:

1. Isolasi Reproduksi
2. Isolasi Habitat
3. Isolasi perilaku
4. Isolasi temporal
5. Isolasi mekanis

Selain spesiasi dan isolasi, spesies dapat terbentuk karena radiasi adaptif.

Tugas Mandiri



1. Buatlah *mind-map* mengenai mekanisme pembentukan spesies (spesiasi dan isolasi) untuk menjelaskan asal-usul spesies!
2. Di suatu pulau bernama A, terdapat populasi pohon pisang yang berbuah manis. Pisang yang manis merupakan habitat yang sangat disukai oleh lalat buah *Drosophilla*. Populasi *Drosophilla* hidup dan bereproduksi pada buah-buah pisang yang masak. Suatu ketika, terjadi badai yang cukup kencang dan membuat beberapa individu *Drosophilla* terbawa ke pulau lain, bernama pulau B. Isolasi apa sajakah yang terjadi diantara populasi *Drosophilla* yang ada pulau A dengan *Drosophilla* yang terhempas badai? Mengapa isolasi tadi dapat terjadi?

Beberapa puluh tahun kemudian, sebuah pisang hanyut dari pulau A dan sampai di pulau B, ternyata ada individu *Drosophilla* dari pulau A terbawa oleh pisang tadi. Kemudian, individu *Drosophilla* tadi kawin dengan *Drosophilla* pulau B dan keturunannya selalu mati. Dari masalah tersebut, apakah dapat dikatakan bahwa *Drosophilla* pulau B telah menjadi spesies yang terpisah dari *Drosophilla* pulau A? Mengapa demikian?



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
 Gambar 4.1 Tiruan fosil kerbau (*Bubalus palaeokarabau*) berusia 1.2 juta tahun lalu yang ditemukan di Situs Sangiran

Setelah mempelajari banyak hal dari bab-bab sebelumnya, kini kita telah sampai pada kesepakatan bahwa evolusi benar-benar terjadi. Evolusi yang terjadi sejak dahulu hingga saat ini menggiring kita untuk kembali bertanya, apa bukti terjadinya evolusi?

Fosil merupakan bukti evolusi yang paling akrab didengar masyarakat. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, fosil terus ditemukan dan semakin lengkap bagian-bagiannya sehingga fosil memberikan kekuatan terhadap kebenaran terjadinya evolusi. Tetapi fosil bukan satu-satunya bukti evolusi, untuk mengetahui lebih lengkap mari kita pelajari pembahasan pada BAB ini.

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, kita dapat:

1. Menguraikan macam-macam bukti evolusi dengan benar
2. Menemukan urutan temuan fosil hominin di Situs Sangiran untuk mengetahui perkembangan hominin di Indonesia dengan benar
3. Mengaitkan lapisan-lapisan tanah yang ada di Sangiran untuk menjelaskan evolusi lingkungan dengan benar

Kata Kunci

Fosil
 Biokimia
 Embriologi
 Vestigial
 Homologi
 Analogi
 Hominin
 Ras



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.2 Cetakan fosil daun yang ada di Museum Purbakala Sangiran

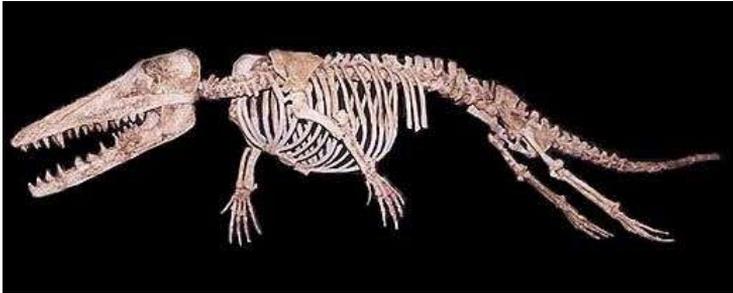
1. Fossil

Rekaman geologik dan paleontologik merupakan suatu hal yang selalu diyakini sebagai bukti evolusi sejak pertama kali teori evolusi dicetuskan hingga berkembangnya ilmu pengetahuan pada masa sekarang. Para ahli paleontologis menjadikan catatan fosil sebagai bukti kebenaran terjadinya evolusi. Sebelum lebih jauh mempelajari fosil sebagai bukti evolusi, sebelumnya marilah kita memahami yang dimaksud sebagai fosil dan bagaimana fosil dapat terbentuk.

Fosil berasal dari bahasa latin *fossilis* yang berarti menggali. Secara lebih luas, fosil diartikan sebagai sisa-sisa hewan dan tumbuhan yang telah membatu. **Fosilisasi** terjadi ketika organisme yang telah mati mengalami penguraian oleh organisme pengurai secara sempurna hingga menyisakan bagian tubuh yang tidak bisa diurai oleh pengurai tersebut, bagian tadi kemudian tertutup sedimen dengan rapat dalam jangka waktu yang lama. Mineral pada sisa organisme yang tidak dapat diurai, misalnya tulang, akan tergantikan oleh mineral sedimen yang menutupinya sehingga sisa tubuh tadi berubah menjadi berstruktur mirip batu atau dikenal dengan istilah memfosil. Fosilisasi juga terjadi ketika cangkang atau tulang yang lengkap tertanam di dalam lapisan sendimen di bawah permukaan air. Fosil tersebut kemudian meninggalkan bekas bentuk atau cetakan dari organisme tersebut. Lihat [gambar 4.2](#).

Pendapat ahli evolusi mengenai kebenaran evolusi didukung dengan ditemukannya fosil transisi yang menunjukkan bahwa organisme mengalami evolusi seiring dengan kondisi ataupun perubahan alam yang terjadi pada masa organisme-organisme tadi hidup.

Organisme yang hidup pada masa lalu sangat melimpah. Informasi ini tidaklah didapatkan dari catatan fosil, sebab catatan fosil yang berhasil dikumpulkan oleh para ahli tidaklah lengkap.



Sumber: E. John

Gambar 4.3 Fossil Ambulocetus (atau "paus pejalan"), yaitu cetacean awal yang mampu berjalan dan juga berenang. Temuan fosil ini dianggap sebagai bentuk transisi dari nenek moyang paus dengan paus yang kita temui saat ini

Ada beberapa alasan catatan fosil tidak lengkap, yaitu:

1. Banyak organisme yang susah terfosilisasi karena tersusun atas bagian tubuh yang mudah hancur, sehingga saat terjadi kepunahan terhadap organisme tersebut tidak ada bagian tubuh yang tersisa dan dapat terfosilisasi. Akhirnya organisme tadi tidak meninggalkan jejak untuk diteliti, dengan kata lain banyak organisme yang hidup pada masa lalu yang tidak dapat terlacak.
2. Sedimen pada suatu wilayah tertentu umumnya terbentuk secara periodik tetapi wilayah tersebut umumnya hanya berisi sedikit spesies.
3. Sedimen yang sebenarnya berisi fosil dan telah membatu sempurna mengalami erosi karena perubahan cuaca selama jutaan tahun, sehingga fosil yang terkandung di dalamnya menjadi hancur dan batuan sedimen tadi nampak sebagai pecahan batu biasa.

Menambah wawasan yuk

Bentuk transisi yang menunjukkan terjadinya evolusi dapat kita pelajari lebih lengkap dalam buku Biologi karya Campbell jilid ke-3 pada BAB Sejarah Kehidupan di Bumi konsep 25.3.

Atau baca artikel mengenai temuan fosil transisi paus pada link
<https://www.bbc.com/indonesia/majalah-47823281>

<https://www.amnh.org/explore/news-blogs/news-posts/walking-whale-ambulocetus>



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.4 Fosil kepala *Bubalus palaeoarabau* yang masih menempel pada tanah tempat ditemukan di Situs Sangiran

1.1

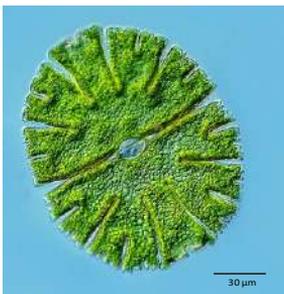
Asal Mula Keanekaragaman Tumbuhan dan Fosilnya

Kamu tahu tidak?

Charophyta hidup dengan seluruh bagian tubuhnya terendam dalam air tawar dan air payau. Penelitian terhadap fosil spora Charophyta menunjukkan kemiripan dengan spora tanaman darat. Sistem klasifikasi mengelompokkan Charophyta dalam kelompok gyrogonits. Pada Era Paleozoikum, catatan fosil Charophytes menunjukkan bahwa alga hijau ini muncul pada akhir masa Silur (400 juta tahun lalu)

Sumber:

<https://www.sciencedirect.com/topic/s/biochemistry-genetics-and->



Sumber: Earthling nature, Piter Kehoma Boll

Gambar 4.5 Satu individu spesies *Micrasterias denticulata* dari divisi Charophyta

Bukti bahwa bumi telah dihuni oleh suatu makhluk hidup adalah keberadaan sianobakter yang hidup pada 1.2 milyar tahun lalu. Hewan mulai muncul pada 500 juta tahun terakhir, sedangkan tumbuhan baru muncul 130 juta tahun kemudian. Tumbuhan purba tidak seperti yang kita lihat saat ini. Semua tumbuhan yang kini kita temukan di daratan berasal dari tumbuhan laut, walau pada proses evolusinya tidak semua tumbuhan laut menjadi tumbuhan darat. Hal ini dibuktikan dengan masih adanya tumbuhan yang hidup di laut dan perairan lain. Tumbuhan merupakan organisme yang hidup hampir di seluruh bagian bumi, tetapi ada beberapa tempat di mana keberadaan tumbuhan sangat langka atau bahkan tidak ada seperti di kutub, gurun pasir, dan beberapa puncak gunung.

Berdasarkan filogeni, kingdom tumbuhan mengalami pemisahan cabang dengan alga dari moyang yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa alga memiliki kekerabatan dengan tumbuhan. Kekerabatan ini ditunjukkan dengan beberapa ciri yang sama, yaitu sifat multiseluler, prokariotik, dan fotosintetik autotrof milik tumbuhan yang mirip dengan beberapa jenis alga (alga merah, alga coklat, dan alga hijau). Kemungkinan adanya kekerabatan ini semakin didukung sejak ditelitinya *charophyta* (salah satu kelompok dari alga hijau selain *chlorophyta*) yang memiliki ciri khas sebagaimana tumbuhan darat, yaitu memiliki dinding sel yang tersusun atas selulosa, memiliki enzim peroksisom, struktur sperma berflagela, dan terjadinya pembentukan fragmoplas. Berdasarkan ciri yang telah disebutkan diatas, para ahli kemudian menyepakati bahwa **tumbuhan darat merupakan evolusi dari alga hijau.**

Lalu bagaimana alga hijau dapat berevolusi menjadi tumbuhan darat yang saat ini mendominasi daratan?

Alga hijau merupakan organisme yang berhabitat di perairan dan danau. Pada periode Ordovisium, kekeringan sering terjadi di daerah tinggal alga hijau. Keadaan yang seperti ini membuat mekanisme evolusi yaitu seleksi alam bekerja terhadap individu alga hijau yang paling bisa bertahan hidup saat habitat tinggalnya sedang tidak terendam oleh air.

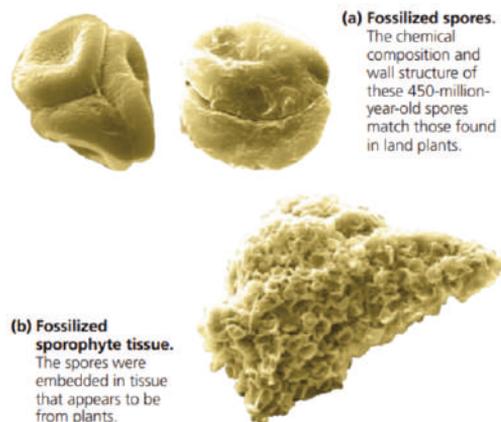
Keadaan ini akhirnya membuat keturunan *charophyta* mampu hidup secara permanen pada daerah perbatasan air. Perubahan alam yang menyebabkan alga hijau harus beradaptasi untuk bertahan hidup dan melakukan pergiliran keturunan ini merupakan mekanisme evolusi pada alga hijau hingga menjadi organisme baru yaitu tumbuhan darat yang saat ini kita ketahui sangat beraneka ragam.

Fosil pertama yang diduga dari kingdom tumbuhan ditemukan pada tahun 1970 berupa spora yang berasal dari periode Ordovisium berusia sekitar 475 juta tahun. Spora yang memfosil ini memiliki ciri yang sama dengan spora pada tumbuhan saat ini, tetapi juga memiliki perbedaan yang mencolok.



Sumber: Kharisma Diah T.K

Gambar 4.7 Spora dalam sporangium tumbuhan paku *Lygodium* sp.



(a) Fossilized spores.

The chemical composition and wall structure of these 450-million-year-old spores match those found in land plants.

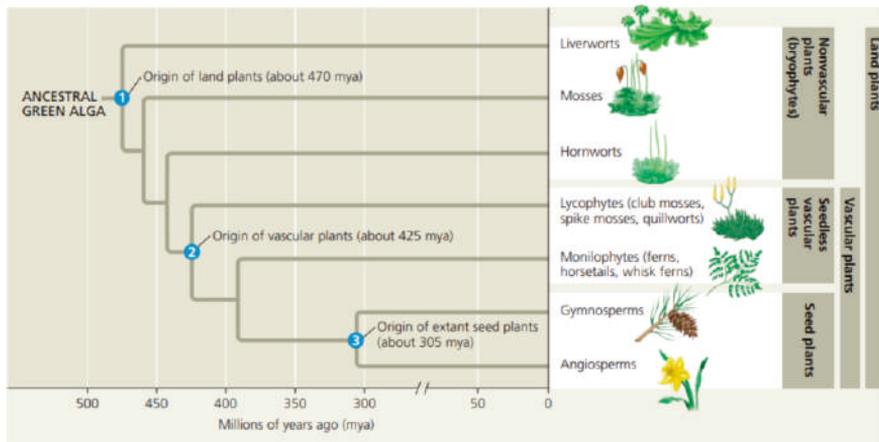
(b) Fossilized sporophyte tissue.

The spores were embedded in tissue that appears to be from plants.

Sumber: Biologi, Campbell

Gambar 4.6 Fosil spora dan jaringan tumbuhan purba berumur 475 juta tahun lalu

Misalnya, pada spora tumbuhan saat ini biasanya penyebaran terjadi pada spora butiran tunggal, tetapi fosil tadi menunjukkan bahwa spora memiliki empat butir yang berfusi bersama. Perbedaan ini kemudian oleh peneliti disepakati bahwa fosil yang diduga spora tumbuhan tadi bukanlah spora milik tumbuhan, akan tetapi milik alga purba yang memiliki kekerabatan dengan tumbuhan purba pada masa itu.



Sumber: Biologi, Campbell

Gambar 4.8 Fiologi pada Kingdom Plantae yang menunjukkan bahwa kelompok lumut hadir lebih dahulu di bumi sebelum paku dan spermatophyta. Cara membaca pohon filogeni adalah sebagai berikut: nenek moyang tumbuhan yaitu alga hijau berevolusi menjadi nenek moyang bersama ① muncul pada 470 juta tahun lalu dari kelompok lumut hati (liverworts), lumut daun (mosses), lumut tanduk (hornworts) dan nenek moyang bersama ② muncul pada 425 juta tahun lalu dari kelompok paku Lycophytes, paku monilophytes serta nenek moyang bersama ③ muncul pada 305 juta tahun lalu dari kelompok tumbuhan berbiji terbuka (gymnospermae) dan kelompok tumbuhan berbiji tertutup (angiospermae)

Tumbuhan dibedakan berdasarkan ada tidaknya jaringan pembuluh pada strukturnya. Keberadaan jaringan pembuluh ini membuat tumbuhan terbagi menjadi dua kelompok besar, yaitu tumbuhan berpembuluh atau **tumbuhan vaskuler** dan tumbuhan tidak berpembuluh atau **tumbuhan briofit**. Hampir 93% dari total tumbuhan yang ada di bumi merupakan tumbuhan vaskuler. Tumbuhan vaskuler merupakan kelompok tumbuhan yang modern daripada tumbuhan non vaskuler. Hal ini dapat dilihat dari pohon filogeni tumbuhan sebagaimana yang ditunjukkan pada **gambar 4.8**.

Tumbuhan air yang telah berhasil menguasai daratan tidak serta merta dapat hidup dengan sukses begitu saja. Banyak hambatan yang harus dihadapi untuk terus dapat bertahan hidup. Meskipun kehidupan darat seperti sangat menjanjikan kelayakan seperti yang sudah kita bahas sebelumnya tetapi tidak semua bagian bumi memberikan kebutuhan tumbuhan dengan mudahnya. Tumbuhan lagi-lagi dituntut untuk mampu beradaptasi dengan lingkungan tinggalnya.

Misalnya tumbuhan yang hidup di gurun pasir yang gersang, tentu tidaklah sama dalam hal usaha bertahan hidup dan meneruskan generasi seperti yang dilakukan oleh tumbuhan yang hidup di hutan hujan tropis.

Contoh adaptasi adalah pada tumbuhan kaktus. Kaktus merupakan tumbuhan yang umumnya hidup di daerah gurun pasir yang memiliki tingkat ketersediaan air tanah yang sangat rendah. Demi memenuhi kebutuhan air, kaktus harus melakukan pemanjangan akar agar dapat mencapai air tanah yang terletak pada lapisan tanah yang dalam. Batang kaktus juga harus memiliki lapisan kutikula (lapisan lilin) yang dapat meminimalkan penguapan berlebih sehingga kaktus dapat memiliki kandungan air yang cukup bagi metabolismenya. Kaktus yang tinggal di daerah yang tidak seekstrim kaktus lain tentu tidak perlu memiliki akar yang sama panjang dan lapisan kutikula yang sama tebal dengan kaktus yang hidup di padang pasir tadi. Perlu kita ingat kembali bahwa karakteristik suatu organisme bisa jadi menguntungkan pada suatu kondisi tetapi justru merugikan pada kondisi lain. Ingat, seleksi alam tidak berlaku pada organisme terhebat dan terkuat tetapi kepada organisme yang memiliki karakteristik menguntungkan pada situasi tertentu.

Sumber: Kharisma Diah TK

Gambar 4.10 Kaktus merupakan tumbuhan yang menunjukkan kemampuan adaptasi tinggi terhadap lingkungan yang ekstrim



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.9 Fosil pecahan batang pohon yang ditemukan di Situs Sangiran

Pinus Bristlecone Great Basin (*Pinus Longaeva*) merupakan pohon yang diakui sebagai pohon tertua di dunia, yaitu berusia 5000 tahun. Pohon ini ditemukan di pegunungan tinggi California, Nevada, dan Utah.



Sumber: <https://conifersociety.org/conifers/pinus-longaeva/>



1.2 Asal Mula Keanekaragaman Hewan dan Fosilnya



Sumber: Wikipedia, Verisimilus

Gambar 4.11 Cetakan fosil edikara



Sumber: Ishadiyanto Salim,

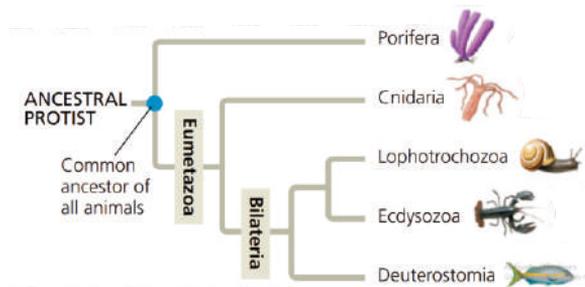
Gambar 4.12 Cetakan fosil capung yang ada di Museum Purbakala Sangiran Klaster Krikilan

Kingdom hewan atau kingdom animalia yang kita kenal tidak hanya berisi hewan-hewan yang kita jumpai saat ini, tetapi juga hewan-hewan yang telah punah ratusan hingga jutaan tahun lalu. Para ilmuwan melakukan penelitian terhadap fosil untuk mengetahui nenek moyang hewan dan hasilnya adalah data molekuler dari catatan fosil yang menunjukkan bahwa fosil-fosil tadi merupakan sebuah kelompok eukariota. Catatan fosil yang diidentifikasi menunjukkan bahwa hewan yang pertama kali muncul adalah hewan mikroskopik bernama Edikara. Fosil mikroskopik ini ditemukan pada bebatuan Neoprotozoikum (1 milyar-542 juta tahun lalu).

Pada era Paleozoikum setelah ledakan kambrium yang menyebabkan terjadinya peningkatan populasi makhluk hidup, keanekaragaman hewan semakin meningkat. Invertebrata atau hewan tidak bertulang belakang adalah hewan yang dalam filogeni hewan merupakan kelompok hewan yang paling primitif dan telah hidup sejak masa setelah ledakan kambrium terjadi, kemudian diikuti dengan munculnya kelompok vertebrata. Keanekaragaman kedua filum ini semakin meningkat pada periode Ordovisium, Silur dan Devon.

Keanekaragaman hewan tidak terbatas kepada manusia dan hewan-hewan yang dapat kita lihat saat ini, akan tetapi juga spesies yang telah punah dan jumlahnya sangat banyak.

Sumber: Biologi, Campbell
Gambar 4.13 Filogeni hewan invertebrata



Moluska yang terdiri dari gastropoda dan bivalvia adalah hewan kelompok invertebrata yang hidup pada habitat air. Di Sangiran fauna ini ditemukan pada lapisan lempung biru Formasi Kalibeng berumur 2,4-1,8 juta tahun silam yang mengindikasikan bahwa Sangiran pernah mengalami masa dengan kondisi lingkungan berupa laut. Fosil-fosil tersebut terdistribusi secara vertikal dalam perlapisan tanah yang menunjukkan habitat hidup yang berbeda. Tidak hanya ketika Sangiran berada di lingkungan berair asin (laut).



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.14 Cetakan fosil *Eurypterus lacustris* yang ditampilkan di Museum Purbakala Sangiran Klaster Krikilan



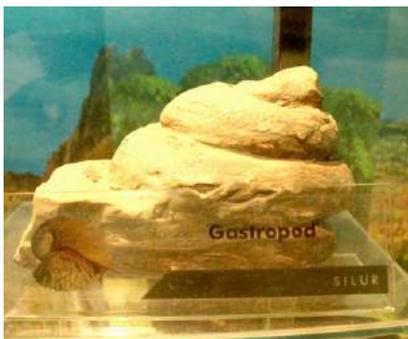
Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.15 Cetakan fosil *Pachops rana* yang ditampilkan di Museum Purbakala Sangiran Klaster Krikilan



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.17 Fosil kerang yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.16 Replika fosil cangkang salah satu spesies dari kelas Gastropoda yang di tampilkan di Museum Purbakala Sangiran Klaster Krikilan



Sumber: Nur Aini

Gambar 4.18 Fossil kerang yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini

Gambar 4.19 Fossil kerang yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini

Gambar 4.20 Fossil kerang yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini

Gambar 4.21 Fossil kerang yang ditemukan di Situs Sangiran

460 juta tahun lalu, ikan merupakan vertebrata yang menjadi predator yang paling ganas pada jaring-jaring makanan kehidupan laut, dan invertebrata pada kelas arthropoda mulai beradaptasi di habitat daratan. Vertebrata mulai menyusul arthropoda untuk menguasai daratan sekitar 360 juta tahun lalu. Vertebrata beradaptasi menjadi berbagai jenis untuk dapat hidup di habitat terrestrial, akan tetapi hanya ada dua jenis yang dapat bertahan hingga saat ini, yaitu kelompok amfibi (katak dan salamander) dan amniota (reptilian dan mamalia).

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.22 Cetakan fosil ikan coelacanth yang ada di Museum Purbakala Sangiran Klaster Krikilan



360 juta tahun lalu saat vertebrata mulai menguasai daratan, sirip dari beberapa hewan sirip-daging berevolusi menjadi tungkai dan kaki tetrapoda (istilah yang digunakan untuk kelompok hewan yang memiliki empat kaki). Awalnya semua vertebrata memiliki anatomi dasar mirip ikan, saat mencapai daratan mereka memperoleh banyak bentuk baru untuk mendukung kemampuan hidup dan bertahan di habitat baru yaitu daratan.



Sumber: Laurent Ballesta

Gambar 4.23 Ikan coelacanth hidup yang hidup di laut dalam. Ikan ini tidak mudah untuk terlihat dan ditemukan oleh nelayan. Ikan ini pertama kali ditemukan pada tahun 1936 oleh nelayan di Afrika Selatan

Vertebrata purba yang diyakini sebagai nenek moyang semua kelompok tetrapoda (amfibi, reptil, aves, dan mamalia) merupakan ikan sirip-daging yang saat ini masih dapat kita jumpai yaitu ikan *coelacanth*. Ikan ini berhabitat di laut dalam dan diperkirakan muncul pertama kali sejak Periode Devon hingga saat ini. Kepurbaan *coelacanth* masih dapat kita temui langsung di Pantai Afrika dan Indonesia. Karena hewan purba yang merupakan nenek moyang kenekaragaman hewan ini masih hidup hingga saat ini, maka *Coelacanth* disebut sebagai **fosil hidup**. Fosil hidup adalah sebutan bagi hewan atau tumbuhan yang dianggap sudah punah dan menjadi fosil, tetapi pada kenyataannya masih hidup saat ini.

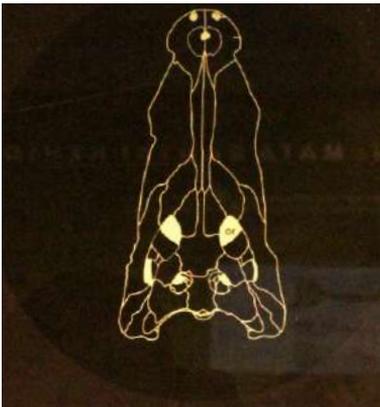
Parareptil merupakan kelompok reptil pertama yang muncul yaitu pada periode Karbon. Aligator dan buaya muncul pada akhir periode Trias dan saat ini berkembang menjadi berukuran besar, beradaptasi pada lingkungan akuatik, serta bernapas dengan nostril yang dihadapkan ke atas.

Fosil buaya ditemukan di Situs Sangiran. Fosil yang ditampilkan di Klaster Krikilan adalah buaya purba dari spesies yang berbeda. Penemuan buaya ini menunjukkan kondisi alam Sangiran pada masa buaya itu hidup, yaitu daerah dengan perairan payau (rawa) dan perairan tawar (sungai). Buaya yang pernah hidup di Sangiran adalah pada masa

Pleistosen yaitu buaya genus *Crocodyles* gambar 4.24 dan buaya genus *Gavialis* gambar 4.25. Umumnya, hewan yang masuk dalam kelas reptilia ini mampu memangsa hewan-hewan bertulang belakang karena memiliki struktur rahang yang kuat sehinggakemampuan menggigit dengan sangat kuat juga.

Ciri umum buaya adalah tipe pemangsa dengan taktik menyergap. Buaya memiliki ketenangan luar biasa saat mengintai mangsa. Seluruh bagian tubuhnya terendam air kecuali lubang hidung dan matanya yang terus mengawasi pergerakan mangsa.. Mangsa yang mendekat karena tidak menyadari keberadaan sang predator akan dikejutkan dengan serangan tiba-tiba. Rahang buaya yang kuat menggigit mangsa dan menyeretnya ke dalam air. Air adalah daerah kekuasaan buaya. Kaki-kakinya yang pendek membuatnya tidak leluasa bergerak di darat tetapi cukup berguna untuk bergerak di dalam air.

Buaya adalah hewan berdarah dingin sebagaimana reptil lain. Buaya memiliki ciri morfologi tubuh yang berbeda setiap jenisnya. Spesies buaya besar dapat mencapai panjang tubuh lebih dari 5 m dan berat tubuh melebihi 1.200 kg



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.24 Fossil buaya *Crocodyles siamensis* yang ditemukan oleh Eugene Dubois di Situs Sangiran

Crocodyles siamensis adalah spesies buaya yang fosilnya ditemukan oleh Eugene Dubois di Lapisan Pucangan yang berusia 1.8 juta tahun lalu. Buaya jenis ini merupakan buaya air payau atau berhabitat di daerah rawa, sehingga dapat diketahui bahwa pada saat buaya ini hidup Sangiran sedang memiliki kondisi lingkungan transisi dari lingkungan pantai dan mangrove ke daerah dataran rendah dengan kondisi iklim tropis.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.25 Fosil buaya *Gavialis bengawanicus* yang ditemukan oleh Eugene Dubois di Situs Sangiran

Gavialis bengawanicus merupakan buaya yang hidup di sungai. Ciri morfologi buaya jenis ini adalah moncongnya yang panjang dan kecil yang membantu untuk bergerak dengan cepat di air. Bentuk moncong ini merupakan bentuk adaptasi khusus untuk menangkap mangsa berukuran kecil dan bergerak gesit seperti ikan. Geraham atas dan bawah moncong terdiri atas ratusan gigi yang sangat runcing. Walau saat dewasa jenis buaya ini dapat berukuran besar (159-250 kg) dengan panjang 3-5 m pada jantan dan 2.7-3.75 m pada betina, namun buaya ini tidak bisa memangsa hewan yang besar sebagaimana jenis *Crocodyles*. Hal ini dikarenakan keadaan rahang yang tipis dan rapuh.

Apabila jenis *Crocodyles* menyeret mangsa ke dalam air untuk melemahkan mangsa sehingga mudah di makan, buaya jenis *Gavialis* justru menggiring ikan-ikan ke tepian sungai untuk memudahkan menangkap dan memakannya.

Kamu tahu tidak?

Ada 4 jenis buaya yang hidup di Indonesia Buaya-buaya tersebut adalah:

- Buaya Siam atau Buaya Kodok (*Crocodylus siamensis*) yang berhabitat di perairan tenang seperti rawa atau sungai yang dalam,
- Buaya Irian (*Crocodylus novaeguineae*) yang berhabitat di perairan air tawar,
- Buaya Spot/Senyulong (*Tomistoma schlegelii*) yang berhabitat di sungai,
- Buaya Muara (*Crocodylus porosus*) yang berhabitat di sepanjang hulu sungai



Sumber:

<https://bobo.grid.id/read/08161280/3/inilah-4-jenis-buaya-di-indonesia-mana-yang-paling->

Habitat buaya kelompok *Gavialis* adalah sungai yang dalam dan berarus deras. Buaya dewasa berkelompok di cekungan dalam yang ada pada belokan sungai sedangkan buaya muda memilih daerah tepi sungai atau anak sungai.

Buaya kelompok *Gavialis* muncul sejak 20 juta tahun lalu. Awal mulanya buaya ini berasal dari Himalaya, persebarannya kini telah mencapai Indonesia. Buaya ini merayap hingga Selat Sunda. Di Pulau Jawa, buaya dengan ciri khas moncong ramping dan kecil ini disebut sebagai *Gavialis bengawanicus*.

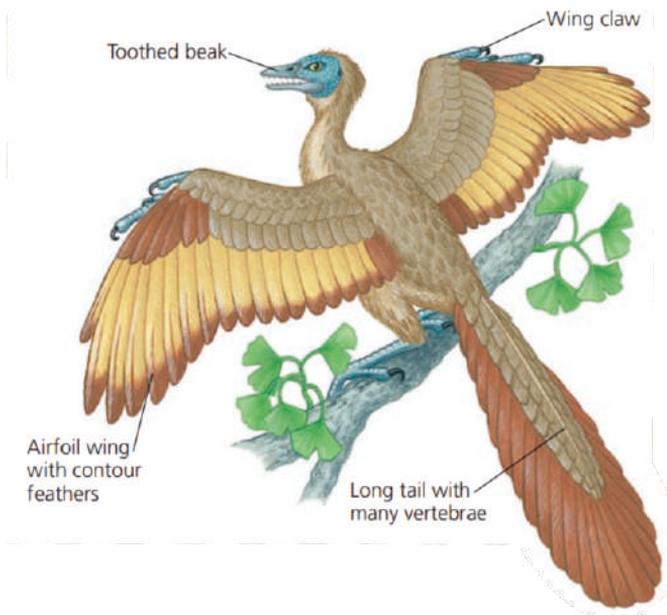


Gambar 4.26 Burung-burung modern yang bisa ditemui saat ini. **A** adalah burung Elang Ular Bido (*Spilornis cheela*) yaitu burung yang menggunakan sayapnya secara penuh sebagai organ untuk berpindah (aktif terbang) dan merupakan burung yang memiliki kecepatan terbang yang tinggi, **B** adalah burung Merak (*Pavo muticus*) yang terbang jarak pendek dan lebih banyak berjalan, **C** adalah burung Onta (*Struthio camelus*) yang tidak terbang sama sekali meskipun memiliki sayap yang akhirnya mereduksi ukurannya dan berpindah menggunakan kedua tungkainya dengan berjalan.

Penelitian yang dilakukan terhadap burung dan reptil menunjukkan bahwa burung tergolong dalam kelompok sauriskia teropod (salah satu garis keturunan dinosaurus karnivora berleher panjang yang berdiri dengan dua kaki). Bagaimana hewan *bipedal* kemudian berevolusi menjadi dapat terbang? Dinosaurius yang memiliki bulu memungkinkan bergerak dengan lebih fleksibel. Bulu mempermudah dinosaurus berukuran kecil berlari atau melompat ke udara untuk memangsa atau menghindari predator.

Dinosaurus kecil ini seringkali berlari dan melompat ke arah bukit dengan mengepak-gepakkan tungkai depan mereka yang berbulu. Kebiasaan ini lama kelamaan membuat kedua tungkai depan berbulu tadi kemudian termodifikasi menjadi sayap yang dikepakkan untuk terbang. Perilaku lain dari dinosaurus yang memungkinkan adaptasi tungkai depan menjadi sayap adalah kebiasaan dinosaurus untuk memanjat pohon tinggi dan meluncur ke bawah. Kegiatan meluncur ini diuntungkan dengan bulu-bulu yang meminimalisir gesekan dengan udara, lama kelamaan tungkai depan berbulu milik dinosaurus direntangkan untuk menjaga keseimbangan saat meluncur hingga akhirnya kedua tungkai ini termodifikasi tidak hanya sebagai alat meluncur tetapi juga alat berpindah (menjadi sayap).

Sebuah fosil berusia 150 juta tahun ditemukan di Jerman merupakan fosil teropoda berbulu yang kemudian berkembang menjadi burung yang dapat kita lihat hingga hari ini. Burung merupakan perkembangan dari *Archaeopteryx*, dinosaurus yang memiliki struktur mirip sayap dan mampu terbang. Fosil *Archaeopteryx* ditemukan di lapisan atas periode Jurasik. (gambar 4.27)



Sumber: Biologi, Campbell

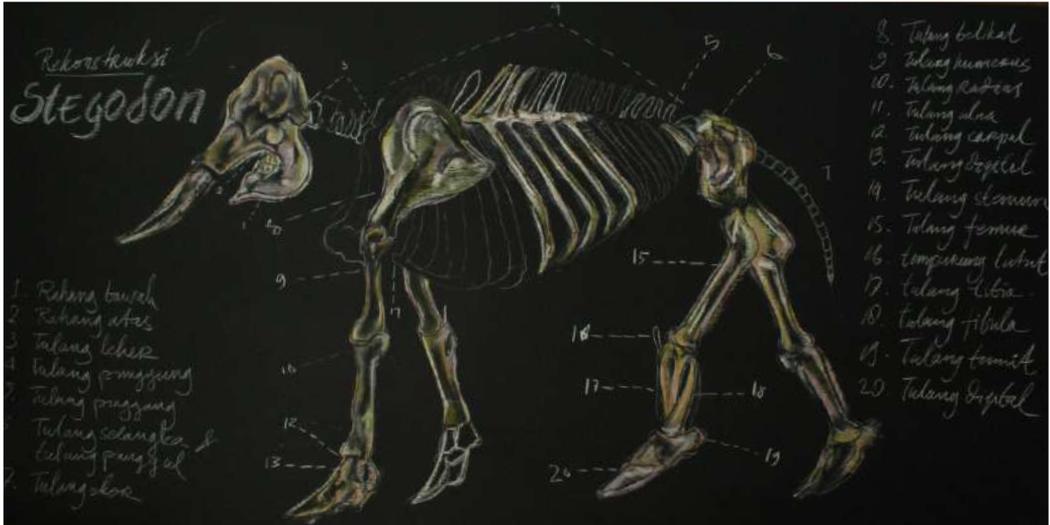
Gambar 4.27 Ilustrasi *Archaeopteryx*, dinosaurus yang diyakini sebagai nenek moyang burung

Menambah wawasan yuk

Pernahkah kamu menonton serial Jurassic Park? Film tersebut menceritakan tentang hewan-hewan pada Zaman Jura 'yang dihidupkan kembali' dari fosil-fosil dinosaurus yang ditemukan. Akan tetapi, sepanjang sejarah belum pernah arkeolog Indonesia menemukan fosil fauna yang merupakan kelompok dinosaurus. Mengapa demikian? Mari kita mencari tahu bersama!

Hewan purba ini menunjukkan ciri tubuh seperti dinosaurus, yaitu struktur gigi, jari bercakar yang dilengkapi dengan sayap serta ekor yang panjang. Beberapa burung masa kini masih memiliki sifat yang sama dengan *Archaeopteryx*, yaitu memiliki kemampuan terbang dengan kecepatan tinggi. Burung yang saat ini kita jumpai menunjukkan banyak modifikasi diri untuk mendukung kemampuan terbang, di antaranya modifikasi bentuk tengkorak, modifikasi peringantubuh, dan modifikasi pada sayap dan bulu serta kehilangan struktur tubuh nenek moyangnya yaitu dengan mereduksinya gigi pada paruh serta cakar yang tidak menonjol dari sayap. Sayap dan cakar pada *Archaeopteryx* yang tidak kita jumpai pada burung masa kini bukan disebabkan karena cakar mereduksi atau menghilang, akan tetapi cakar yang mirip tangan ini termodifikasi menjadi tulang penyusun sayap. Oleh karena itu, sayap burung secara anatomis menunjukkan homologi dengan tangan manusia sebagaimana yang akan kita bahas pada poin bukti evolusi yang lain.

Sebagaimana reptilia, mamalia merupakan satu dari dua kelompok vertebrata amniota. Amniota adalah kelompok hewan tetrapoda yang embrionya berkembang dalam sebuah struktur yang terdiri atas membran ekstraembrionik, yaitu membran yang menyediakan segala kebutuhan embrio untuk berkembang menjadi janin. Mamalia merupakan istilah bagi kelompok hewan amniota yang memiliki kelenjar susu (*glandula mammae*) yang menghasilkan susu untuk anak sehingga semua hewan induk betina mamalia menyusui bayinya. Pada Periode Jura, mamalia berkembang pesat menjadi karnivora dan herbivora dan menurunkan mamalia yang telah punah dan mamalia yang sampai saat ini dapat kita temui. Garis keturunan mamalia terbagi menjadi tiga saat awal periode Kreta, yaitu menjadi *monotremata* (mamalia bertelur), *marsupialia* (mamalia berkantong), dan *eutaria* (mamalia berplasenta).



Sumber: Nur Aini

Gambar 4.28 Sketsa anatomi Stegodon yang ada di Museum Purbakala Sangiran Klaster Ngebung



Sumber: Nur Aini

Gambar 4.29 Fosil satu individu Stegodon yang ditemukan nyaris utuh di Sangiran di rekonstruksi sehingga diketahui perkiraan ukuran Stegodon di Museum Purbakala Sangiran Klaster Ngebung

Sumber: Nur Aini

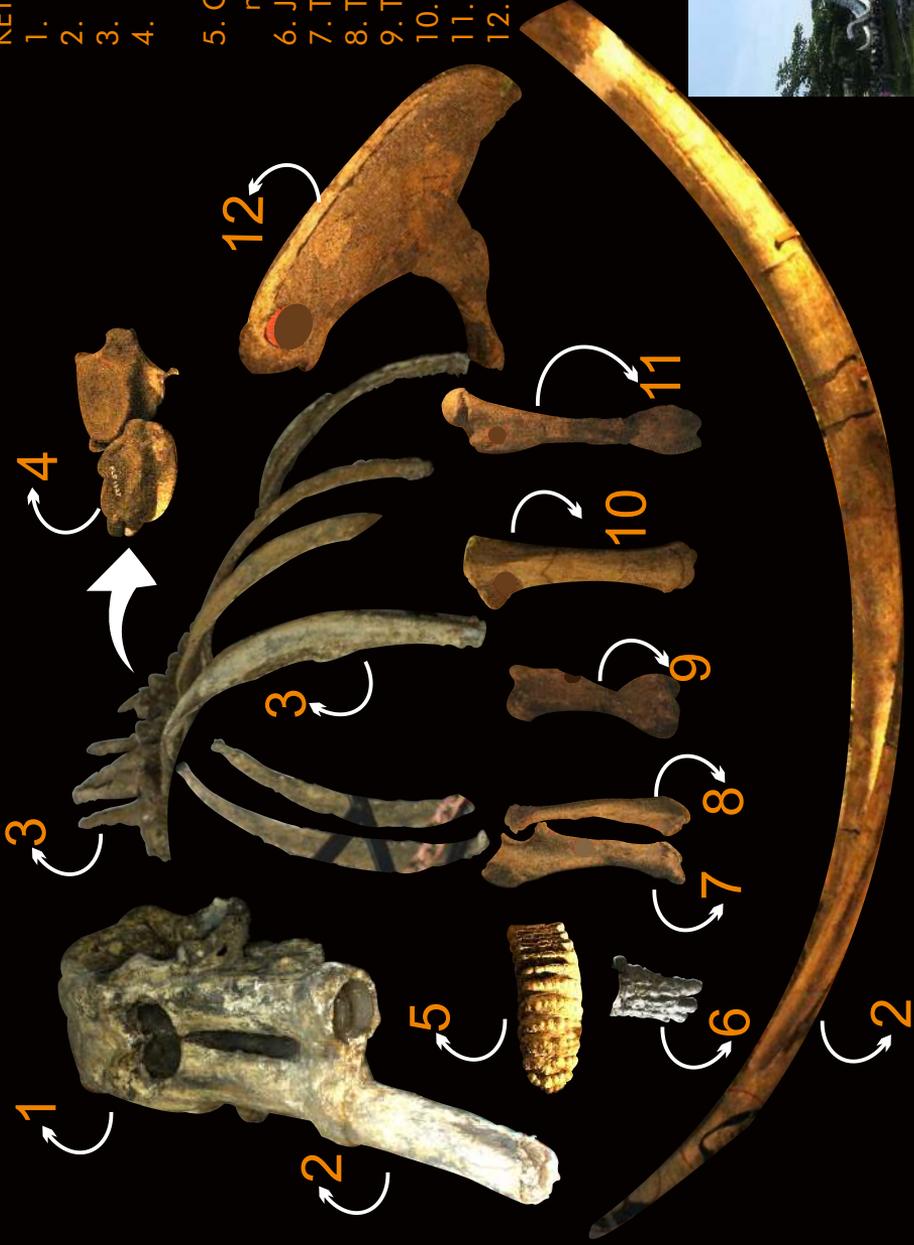
Gambar 4.30 Stegodon merupakan jenis gajah purba terbesar yang memiliki bentuk tubuh ramping dan tinggi. Perbandingan besar dan tinggi stegodon dengan manusia dewasa terlihat sebagaimana gambar di samping





FOSIL KERANGKA STEGODON

- KETERANGAN:
1. Tengkorak
 2. Gading
 3. Rusuk
 4. Ruas Tulang Belakang
 5. Gigi lepas (gigi molar)
 6. Jari-jari
 7. Tulang Pengumpil
 8. Tulang Hasta
 9. Tulang Lengan
 10. Tulang Paha
 11. Tulang Kering
 12. Tulang Pinggul



Situs Sangiran menunjukkan keanekaragaman hayati yang berbeda disetiap lapisan tanah yang tersingkap. Penyingkapan kubah tidak sekedar menunjukkan sejarah kehidupan di Sangiran dari masa ke masa, tetapi juga menyingkap harta karun yang dapat memperkaya pengetahuan kita. Fauna yang hidup di Sangiran di masa lampau dapat kita lihat dari fosil-fosil yang ditemukan. Selain meneliti karakteristik lapisan tanah, penemuan fosil fauna ini juga dapat membantu kita untuk memperkirakan keadaan lingkungan Sangiran pada masa tertentu.

a. Fauna Kelompok Herbifora

1. Gajah

Gajah merupakan maskot dari Situs Sangiran. Hal ini dikarenakan kelimpahan fosil gajah yang di temukan di sana. Ada tiga famili gajah dari ordo *Proboscidea* yang pernah hidup di Sangiran yaitu famili *Stegodon*, *Mastodon*, dan *Elephas* yang menurunkan gajah-gajah yang hidup saat ini.

a) *Stegodon*

Fosil *Stegodon trigonocephalus* merupakan fosil gajah purba yang paling banyak ditemukan di Sangiran. *Stegodon* memiliki ciri atap tengkorak yang menonjol berbentuk segitiga, hal inilah yang mendasari penamaan *trigonocephalus*. Ciri yang lain adalah gading membulat dan agak melengkung, serta gigi tipe *brachyodont* (jenis gigi yang sesuai untuk melumat dedaunan lembut). *Stegodon* Sangiran berusia 700-300 ribu tahun yang lalu dan hidup pada lapisan tanah formasi Kabuh. Habitat *stegodon* adalah hutan hujan.

Suatu penggalian di Situs Sangiran menghasilkan penemuan tulang paha yang patah (fraktur femur) dan beberapa artefak



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.31 Artefak bola batu berfaset sebagai senjata yang digunakan *Homo erectus* untuk berburu yang ditampilkan di Museum Purbakala



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.32 Fosil pecahan rahang bawah mastodon

Menambah wawasan yuk

Pernahkah kamu menonton film *Ice Age*? Salah satu tokoh pemerannya adalah Manny si Mammoth. Mastodon yang pernah hidup di Indonesia sering disebut sebagai Mammooth. Benarkah demikian? Bagaimana hubungan kekerabatan mereka? Dalam salah satu seri film tersebut, terdapat adegan Manny si Mammoth bersama teman-temannya merawat bayi manusia. Apakah artinya Mammooth hidup berdampingan dengan manusia? Atau cerita tersebut hanyalah karangan belaka? Dengan pengetahuan yang telah kamu dapatkan, ayo kemukakan pendapatmu!

diyakini milik kelompok *Homo erectus*. Penemuan dua jenis fosil ini mengarah pada pendapat bahwa *Homo erectus* hidup pada waktu yang sama dengan Stegodon, dan patah tulang pada tulang paha memiliki hubungan dengan bola batu disekitarnya yaitu *Homo erectus* berburu Stegodon untuk dimakan dagingnya menggunakan senjata berupa bola batu.

Sekitar dua juta tahun silam, keadaan Sangiran adalah laut dalam. Pengangkatan dasar laut hingga menjadi daratan terjadi 900.000 tahun yang lalu. Stegodon bermigrasi dari daratan Asia ke kawasan Sumatera, Kalimantan, Jawa, Sulawesi, hingga Nusa Tenggara Timur tatkala daerah-daerah itu masih dihubungkan oleh daratan.

b) Mastodon

Mastodon adalah jenis gajah purba paling primitive yang ditemukan di Sangiran. Ciri dari gajah jenis ini adalah memiliki empat gading. 2 gading tumbuh dengan ukuran besar pada rahang atas, sedangkan 2 yang lain berukuran kecil pada rahang bawah. Tipe gigi geraham Mastodon adalah bunodont, yaitu jenis gigi dengan puncak berbentuk bukit yang bundar dan tidak tajam tetapi sangat efektif sebagai alat penghancur, artinya Mastodon banyak mengkonsumsi jenis tumbuhan yang lebih keras daripada yang dikonsumsi oleh Stegodon.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.33 Fosil tulang paha mastodon

Mastodon adalah mamalia bergading besar dari genus *Mammot* yang banyak ditemukan di Asia, Afrika, Eropa, Amerika Utara, dan Amerika Tengah. Meskipun mastodon memiliki ukuran dan penampilan mirip gajah dan mamut, tetapi ia tidak benar-benar berkerabat dekat. Hal ini didasarkan atas bentuk gigi seperti yang telah disebutkan sebelumnya yang lebih cocok memakan dedaunan daripada rumput sebagaimana gajah pada seharusnya. Mastodon memiliki tengkorak besar dan datar tidak seperti kebanyakan mamut dan gajah (lihat gambar 4.34) serta perawakan kekar.

Gading atas Mastodon bisa mencapai panjang 5 m dan melengkung dengan ujung menghadap atas. Mastodon yang semakin modern menunjukkan gading bawah yang mereduksi ukurannya bahkan hilang sama sekali. Habitat mastodon adalah hutan lebat.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.35 fosil pecahan gading mastodon yang ditemukan di museum purbakala Sangiran

c) Elephas

Elephas merupakan jenis gajah yang paling modern. Bentuk gading *Elephas* relatif lurus dan digunakan untuk menumbangkan pepohonan yang akar dan cabangnya menjadi makanan. Gigi *Elephas* bertipe *hypsodont* yang digunakan untuk mengunyah makanan yang keras seperti rumput kering dan biji-bijian.

Elephas merupakan jenis gajah purba yang diyakini sebagai nenek moyang gajah yang kita temui hingga hari ini. *Elephas* memiliki kekerabatan yang dekat dengan mamut. *Elephas*



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.34 Perbedaan bentuk tengkorak pada Mastodon (1), Stegodon (2) dan Elephas (3)



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.36 Fosil rahang bawah bearta gigi lepas (molar) *Elephas* yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.37 Fosil gigi lepas (molar) milik *Elephas* yang ditemukan di Situs Sangiran

masuk dalam famili Elephantidae bersama genus lain yaitu *Loxodonta*. *Elephas* banyak hidup di Asia, sedangkan *Loxodonta* di Afrika.

Elephas yang masih hidup dari Indonesia saat ini adalah *Elephas maximus sumatranus* yang berhabitat di Sumatra sehingga sering disebut Gajah Sumatra. Habitat umum Gajah Sumatra adalah dataran rendah di bawah 300 mdpl, terkadang sering ditemukan merambah ke dataran yang lebih tinggi.

Jenis hutan yang disukainya adalah kawasan rawa dan hutan gambut. Alasan utama gajah suka hidup di lahan gambut atau daerah rawa adalah karena kebutuhannya terhadap air yang tinggi. Sekali minum gajah bisa menghabiskan 20-50 liter per hari. Lahan gambut yang kaya akan air digunakan gajah untuk mandi dan berkubang dalam usaha menjaga suhu tubuhnya agar stabil.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.38 Fosil tulang pinggul *Elephas*

2. Bovidae

Situs Sangiran mengungkapkan sejarah lewat lapisan tanahnya bahwa pada zaman dahulu pernah hidup beberapa jenis hewan purba dari Famili Bovidae (Sapi-sapian) yaitu kerbau purba (*Bubalus palaeokarabau*), banteng purba (*Bibos palaeosondaicus*), serta antelop (*Duboisia santeng*).

a) Kerbau Purba (*Bubalus palaeokarabau*)

Kerbau purba Sangiran (lihat **gambar 4.1**) hidup pada zaman Pleistosen awal hingga Pleistosen akhir (1.7 juta tahun lalu). Ciri hewan ini adalah tanduk permanen yang tengahnya berongga dengan bentuk memanjang dari samping tengkorak (**gambar 4.4**). Panjang tanduk kerbau purba bisa mencapai 1.5 m dan mulai tumbuh tidak lama setelah lahir dari induk serta terus mengalami pertumbuhan besar dan panjang hingga mati.

Habitat *Bubalus palaeokarabau* adalah *intermediate habitat* atau habitat peralihan, yaitu habitat yang berupa padang rumput terbuka dengan sebagian berupa semak, rerumputan tinggi dan lingkungan rawa-rawa. Tinggi fauna ini bisa mencapai 1.5-2 m dengan berat badan antara 400-900 kg bahkan dapat mencapai 1.200 kg. Kebiasaan *Bubalus* adalah berendam dalam kubangan air berlumpur atau rawa dan cara hidupnya adalah dengan membentuk kelompok-kelompok.

b) Banteng Purba (*Bibos palaeosondaicus*)

Banteng purba hidup berdampingan dengan kerbau purba pada zaman Pleistosen awal hingga Pleistosen akhir (1.7 juta tahun lalu). Ciri khas banteng purba adalah tanduk dengan bentuk membulat melengkung ke arah atas. Tinggi hewan ini mencapai 160 cm, panjang badan 190-225 cm dengan berat antara 600-800 kg. Berdasarkan kisaran tersebut, dapat kita ketahui bahwa *Bibos palaeosondaicus* berukuran lebih kecil daripada *Bubalus palaeokarabau*.

Habitat banteng purba adalah hutan bersemak dan merupakan herbivora sejati yang memakan rerumputan, dedaunan, dan buah-buahan. Sama seperti *Bubalus*, *Bibos* suka hidup secara berkelompok.

Menambah wawasan yuk

Jaman Pra-Kambria (4.5-600 juta tahun lalu) adalah masa disaat kerak bumi terbentuk. Uap air yang mengembang di atmosfer menjadi air yang terkumpul sebagai lautan yang amat luas. Daratan yang ada lebih menyerupai gurun tandus dengan gejala vulkanisme. Belum ada kehidupan di darat. Makhluk bersel tunggal seperti ganggang (*algae*) dan bakteri hidup di lautan. Kemudian muncul ubur-ubur, binatang karang, dan cacing di perairan yang hangat.

Sumber:
Museum Purbakala Sangiran
Klaster Krikilan



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.39 Fosil tengkorak dan tanduk banteng yang ditemukan di

Menambah wawasan yuk

Jaman Kambria (600-510 juta tahun yang lalu). Benturan berkali-kali antara kerak bumi akhirnya menghasilkan benua besar yang pertama bernama Gondwana. Iklim bumi cenderung dingin dan banyak terjadi aktivitas vulkanisme, terutama di lautan.

Di daratan tetap belum ada kehidupan, tetapi lautan mulai banyak dihuni oleh flora dan fauna. Hewan tak bertulang belakang terutama yang bercangkang dan arthropoda menonjol. Yang sangat dominan di masa ini adalah jenis-jenis trilobita.

Sumber:
Museum Purbakala Sangiran
Klaster Krilikan

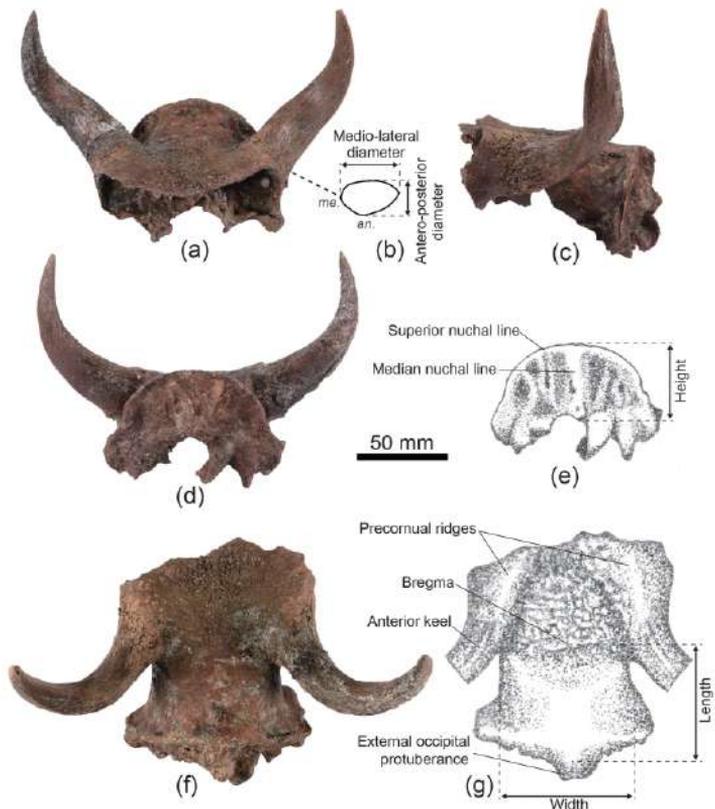
Sumber: Yuichiro Nishioka dan Chavalit Vidthayanon

Gambar 4.40 Fosil tengkorak dan tanduk antelop yang ditemukan di Thailand menunjukkan kemiripan dengan milik *Duboisia*

c) Antelop (*Duboisia santeng*)

Antelop memiliki kemiripan dengan kambing. Pada masa Pleistosen, Sangiran dipenuhi oleh hewan jenis ini. Fosil pertama antelop ditemukan oleh Eugene Dubois di Sangiran berupa pangkal tanduk dan gigi geligi. Jenis antelop lain yang pernah hidup di Sangiran adalah *Epileptobos groencoveldtii*. Awalnya, antelop *Duboisia santeng* dianggap sebagai hewan endemic asli Sangiran, namun penelitian terbaru pada tahun 2018 bahwa ditemukan fosil antelop dari spesies yang sama di Thailand.

Ciri khas antelop adalah tanduknya yang pendek pada *Duboisia santeng* dan tanduk panjang pada *Epileptobos groencoveldtii*. Tanduk hanya dimiliki oleh antelop jantang. Panjang tubuh antelop sekitar 1.2 m dengan panjang ekor 17.8 cm, tinggi tubuh 81.2 m, serta berat badan 73 kg.



3. Cervidae

Anggota dari Famili Cervidae (rusa-rusaan) yang pernah hidup di Sangiran adalah rusa atau menjangan (*Cervus* sp.) dan kijang (*Muntiacus muntjak*). Fauna ini hidup melimpah di Sangiran pada masa Plestosen awal hingga Plestosen bawah (2.5-2 jt tahun lalu pada lapisan Kabuh dan Pucangan). Menjangan juga memiliki tanduk sebagaimana rusa. Tubuh menjangan jantan lebih besar dari betina.

Ciri khas kedua fauna ini adalah tanduk yang bercabang atau disebut ranggah. Ranggah berasal dari pertumbuhan tulang yang terjadi setiap tahun, biasanya pada musim panas dan hanya terjadi pada pejantan. Ranggah mulai tumbuh pada anak jantan saat berusia 8 bulan dan terus tumbuh hingga dewasa dan menjadi sempurna yang ditandai dengan adanya tiga ujung runcing pada ranggah tersebut



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.41 Fosil ranggah rusa yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.42 Fosil tengkorak rusa purba yang ditemukan di Situs Sangiran

Menambah wawasan yuk

Jaman Ordovisi (510-440 juta tahun yang lalu) masa disat gunung-gunung terbentuk dan daratan berubah-ubah. Banyak terbentuk batu lempeng (silt). Cikal Bakal Lautan Atlantik menyempit ketika daratan yang ada semakin mendekat. Trilobit masih sangat banyak, namun terumbu karang, teratai laut (crinoids) dan sejenis akar bahar mulai muncul. Ikan tak berahang perisai yang merupakan hewan bertulang belakang pertama mulai muncul.

Sumber:
Museum Purbakala Sangiran
Klaster Krikilan

4. Badak

Rhinoceros sondaicus merupakan jenis badak yang pernah hidup di Sangiran. *Rhinoceros* merupakan anggota dari Famili Perissodactyla (hewan berkuku ganjil). Ciri utama dari hewan ini adalah tanduk pada hidungnya dengan ukuran panjang tubuh 3.1-3.2 m, tinggi 1.4-1.7m dan berat 900-2.300 kg.

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.43 Fosil *Rhinoceros sundanicus* yang ditemukan di Situs Sangiran



Berdasarkan letak temuan fosil badak, *Rhinoceros sundanicus* hidup pada Lapisan Kabuh yang berusia 700.000 tahun yang lalu. Bagian tubuh badak yang telah memfosil dan berhasil ditemukan di Sangiran adalah fragmen gigi, rahang bawah dan rahang atas serta fragmen tulang khaki. Habitat badak adalah padang rumput terbuka dengan semak pohon-pohon yang tidak terlalu besar dan terdapat kolam lumpur serta air asin. Badak hidup secara soliter (tidak berkelompok) kecuali dengan anaknya. Tetapi terkadang hidup berkelompok saat sedang berkubang di dalam lumpur. Tujuan badak berendam dalam lumpur adalah untuk mencegah serangan parasit pada kulitnya yang sangat tebal

b. Fauna Kelompok Omnivora

1. Kuda nil

Ada dua jenis kuda nil yang pernah hidup di Sangiran, yaitu *Hexaprotodon* dan *Hippopotamus*. Dalam suatu penelitian ditemukan fosil Hippopotamus dari Situs Bukuran (Sangiran) pada tahun 1998. Sebanyak 109 fragmen tulang-tulang kuda nil ini terendap di dalam endapan lempung hitam Formasi Pucangan, berusia 1,2 juta tahun silam ketika lingkungan Sangiran dikelilingi oleh rawa-rawa.

Kuda nil sering disebut sebagai kuda sungai. Ciri dari fauna ini adalah tubuh besar, mulut dan gigi yang besar, serta empat buah kaki yang pendek dan gemuk.

Menambah wawasan yuk

Jaman Siluria (440-410 juta tahun lalu) permukaan air laut naik turun. Batu kapur dan batu pasir banyak terbentuk. Kehidupan mulai merambah ke daratan dengan munculnya tanaman sederhana yang disebut psilophytes dengan sistem sirkulasi air.

Hewan sejenis kalajengking juga mulai hidup di daratan. Trilobit berkurang, tetapi koral, cephalopods, dan ikan berahang bertambah banyak.

Sumber:
Museum Purbakala Sangiran
Klaster Krikilan



Gigi seri besar dan taringnya tumbuh besar menyerupai tanduk, di mana taringnya berukuran lebih besar daripada gigi-gigi yang lain. Saat ini kuda sungai sering kita temui tengah berendam dalam air atau lumpur, hal ini dikarenakan kuda sungai memiliki lapisan kulit yang tipis dengan sedikit kelenjar minyak dan keringat sehingga rentan terhadap dehidrasi. Berendam dapat membantu kuda sungai untuk meminimalisir kekurangan cairan karena panas matahari yang membuat cairan tubuh keluar berupa keringat.

Walupun berukuran tubuh besar dengan berat badan mencapai 3 ton, nyatanya kuda sungai dapat berlari hingga 30 km/jam. Kuda sungai hidup berkelompok dan memiliki batas teritorial (batas yang tidak boleh dimasuki kawanan kuda sungai lain) tetapi hanya saat di daerah air, ketika sudah di darat mereka tidak berkelompok dan tidak memiliki daerah teritorial.

Menambah wawasan yuk

Jaman Devonian (410-365 juta tahun) masa disaat daratan bertambah, diikuti dengan pembentukan gunung-gunung. Batu sabak dan batu pasir banyak terbentuk. Daratan mulai ditumbuhi tanaman besar sejenis sikas dan pakis.

Dikenal pula sebagai Jaman Ikan, karena ketika itu hewan berjenis ikan berkembang amat luas, di air laut maupun air tawar. Ada ikan tidak berahang, berahang seperti perisai, hi purba, dan ikan bertulang. Beberapa ikan mulai naik dan hidup di daratan bersama serangga. Ikan bertulang itulah yang nantinya berembang menjadi amfibi awal *ichthyostega*.

Sumber:
Museum Purbakala Sangiran
Klaster Krikilan



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.44 Fosil fragmen rahang bawah kuda sungai yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.45 Fosil rahang bawah kuda sungai yang ditemukan di Situs Sangiran

2. Babi

Babi purba yang pernah hidup di Sangiran adalah spesies *Sus macrognathus*, *Sus brachygnathus*, *Sus terhaari* dan *Sus stremmi*. Temuan fosil babi purba adalah pada Lapisan Kabuh dengan perkiraan usia 780.000 tahun yang lalu.

Ciri babi purba adalah ukuran tubuh dengan panjang 90-200 cm, tinggi 55-110 cm dan berat 50-90. Sebagaimana babi saat ini, babi purba juga suka hidup berkelompok.

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.46 Fosil rahang atas dan bawah babi purba yang ditemukan di Situs Sangiran



Menambah wawasan yuk

Jaman Karbon (365-290 juta tahun) disebut jaman batu bara, karena pada bagian awal jaman ini banyak tanaman yang mati, membusuk, menjadi gambut dan akhirnya menjadi batu bara. Pada tahap berikutnya banyak daratan yang turun sehingga terbentuk rawa-rawa atau laut dangkal. Di tempat lain, ada dasar laut yang justru terangkat menjadi daratan.

Trilobit hampir punah, sebaliknya coral teratai laut (crinoids) dan beragam molusca berkembang pesat iklim yang hangat dan lembab memicu tumbuhnya hutan lebat di rawa-rawa yang nantinya menjadi tambang batu bara di masa kini.

tanaman yang dominan antara lain pakis dan ekor kuda (angrek tanah). Hewan tersebar luas dan berevolusi menjadi reptilia, hewan bertulang belakang yang pertama hidup di daratan. Selain itu serangga bersayap berukuran raksasa seperti capung mulai muncul.

Sumber:
Museum Purbakala Sangiran
Klaster Krikilan

c. Fauna Kelompok Karnifora

1. Harimau

Fosil harimau merupakan salah satu fosil yang sangat jarang dan langka yang pernah di temukan di Sangiran. Temuan bagian tubuh harimau adalah fosil tulang hasta dan fosil tulang paha yang ditemukan pada tahun yang berbeda tetapi pada satu lokasi. Anggota tubuh dari harimau juga ditemukan seiring berjalannya waktu, yaitu tengkorak dan gigi taring.

Harimau yang pernah hidup di Sangiran adalah harimau spesies *Panthera tigris* yang hidup pada lapisan Kabuh dan Notopuro (700.000 tahun lalu). Ciri harimau jenis ini adalah taringnya yang besar dan tajam. Panjang harimau berdasarkan penaksiran terhadap fosil-fosilnya adalah sekitar 2.3-3.3 m, dan berat 120-320 kg.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.47 Fosil pecahan tengkorak harimau yang ditemukan di Situs Sangiran



2. Buaya

Predator akuatik yang pernah hidup di Sangiran adalah buaya. Fosil buaya ditemukan di Situs Sangiran. Fosil yang ditampilkan di Klaster Krikilan adalah buaya purba dari spesies yang berbeda. Penemuan buaya ini menunjukkan kondisi alam Sangiran pada masa buaya itu hidup, yaitu daerah dengan perairan payau (rawa) dan perairan tawar (sungai). Buaya yang pernah hidup di Sangiran adalah pada masa Pleistosen yaitu buaya genus *Crocodyles* dan buaya genus *Gavialis*.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.48 Fosil pecahan rahang atas buaya *Crocodyles* sp. yang ditemukan di Situs Sangiran

1.3 Primata dan Manusia serta Catatan Fosilnya

Mamalia beplrasenta atau Eutaria menurunkan beberapa ordo, salah satunya ordo Primata. Primata merupakan kelompok yang sebagian besar dapat dibedakan dari hewan menyusui lainnya karena kecerdasannya yang tinggi. Primata paling awal merupakan penghuni pohon-pohon (arboreal) dan banyak karakteristik tubuh primata merupakan adaptasi terhadap kebutuhan kehidupan di pohon. Saat ini terdapat tiga kelompok primata yang masih dapat kita temui, yaitu lemur-lemur yang ada di Madagaskar, tarsius di Asia tenggara, dan antropoid yang mencakup kera dan monyet di seluruh dunia.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.49 Rekonstruksi wajah manusia purba yang ada di Museum Purbakala Sangiran

Antropoid merupakan sebutan lain bagi kera yang mencakup genus *Hylobates* (owa), *Pongo* (orang utan), *Pan* (simpanse dan bonobo), serta *Homo* (manusia). Kera dibandingkan dengan primata lain memiliki otak yang lebih besar daripada ukuran tubuhnya yang lain serta memiliki perilaku yang fleksibel. Kedua hal ini membuat kera mirip dengan manusia, sehingga muncul istilah **hominin**.

Kamu Tahu Tidak?

Jaman Permian (290-245 juta tahun). Jaman ini daratan mulai tergabung menjadi satu benua besar bernama Pangea, di sebelah benua Amerika terbentuk benua Appalachians. Gurun-gurun pasir berkembang meluas, karena iklim bumi mulai panas dan kering.

Tanaman mirip sikas dan cemara muncul di belahan bumi utara menggantikan hutan pohon batubara. Penggabungan daratan mengakibatkan kepunahan besar-besaran bagi kehidupan laut. Trilobit, ikan besar dan karang banyak yang lenyap pada akhir Era Paleozoik ini.

Sebagian reptilia mengembangkan tubuh menjadi reptilia raksasa dengan sirip punggung besar

Sumber:
Museum Purbakala Sangiran
Klaster Krikilan

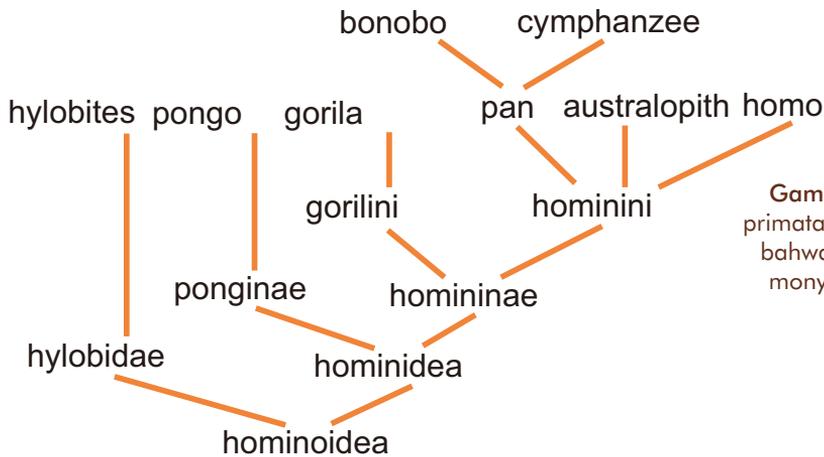
Penelitian terhadap asal mula manusia dilakukan oleh para paleoantropologi. 20 fosil yang telah punah yang berhasil digali oleh para paleoantropolog menunjukkan struktur organisme yang memiliki kecocokan lebih besar dengan manusia daripada dengan simpanse. Spesies temuan dengan ciri seperti ini kemudian dikenal dengan nama hominin (beberapa ahli hingga saat ini menggunakan istilah lama yaitu *hominid*). Temuan fosil hominin pertama dan terpurba adalah spesies *Sahelanthropus tchadensis* berusia 6-7 juta tahun lalu di Chad, Afrika Barat. *Sahelanthropus tchadensis* memiliki beberapa struktur tubuh yang menunjukkan karakter turunan manusia, yaitu gigi taring yang tereduksi sehingga berukuran kecil (tidak seperti pada hewan), wajah yang pipih, badan lebih tegak daripada kera, dan *bipedal*.

Sumber: Australianmuseum
Gambar 4.50 Fosil tengkorak *Sahelanthropus tchadensis*



Darwin merupakan penggagas teori evolusi yang sangat berani. Pemikirannya mengenai evolusi berkembang jauh lebih maju daripada keadaan ilmu pengetahuan pada masa itu. Akhirnya gagasan Darwin dianggap sebagai suatu khayalan belaka. Terlebih lagi, saat Darwin menyampaikan gagasannya mengenai hubungan kekerabatan antara manusia dengan kera. Menurut Darwin apabila manusia dan kera memang memiliki pertalian maka tentunya harus ada spesies yang menunjukkan transisi antara manusia dan kera. Spesies inilah yang kemudian disebut sebagai *missing link*. Namun pada masa itu, fosil yang merupakan penghubung pertalian manusia dan kera tidak dapat ditemukan, membuat Darwin semakin diolok-olok. *Missing link* tidak terletak antara kera dan manusia, tetapi jauh mendahului

keduanya yang kelak dikemudian hari terbukti kebenarannya dalam jalur evolusi ketika fosil-fosil manusia mulai ditemukan.



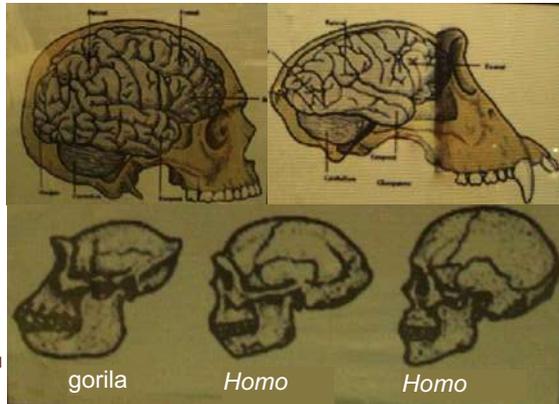
Gambar 4.51 Filogeni primata yang menunjukkan bahwa manusia dengan monyet dan sejenisnya

Seringkali terjadi kesalahpahaman mengenai simpanse dengan hominin. Pertama adalah dengan menganggap bahwa hominin terdiri dari kera saja. Padahal hominin merupakan tingkatan taksa famili yang di dalamnya terdiri dari kelompok pan, homo dan australopithecina (gambar 4.51). Hominin juga merupakan istilah bagi kelompok yang didalamnya adalah homo dan australopith saja.

Kesalahan kedua adalah mengenai anggapan bahwa manusia berevolusi dari dari sejenis kera. Konsep nenek moyang manusia berevolusi menjadi kera kemudian berevolusi menjadi *Homo sapiens* (manusia) merupakan konsep yang salah. Perhatikan kembali filogeni diatas! Bukankah kera memiliki garis evolusioner yang berbeda dengan manusia? Lantas bagaimana bisa manusia dianggap sebagai keturunan dari kera? Perlu kita ingat kembali prinsip pohon filogeni atau pohon evolusi, percabangan ke atas atau kesamping menunjukkan keanekaragaman dan hubungan kekerabatan dari moyang yang sama, bukan menunjukkan silsilah keturunan. Hubungan antara manusia dan kera menunjukkan kesejajaran sebagai dua sepupu, bukan hubungan vertikal antara kakek dan cucu.

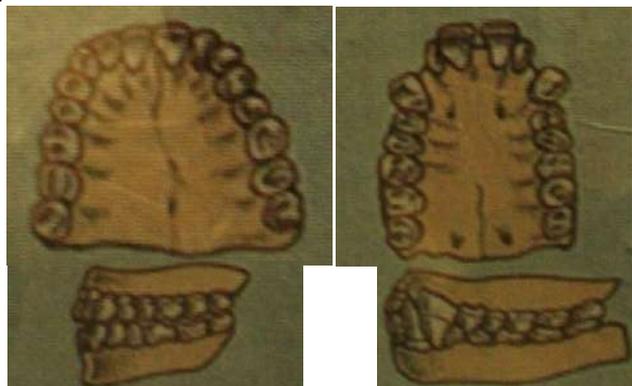
Kera dan manusia merupakan spesies yang berbeda, dan tidak memiliki hubungan 'keturunan'. Kera dan manusia memiliki garis keturunan yang berbeda meskipun berkerabat karena memiliki kesamaan DNA sebesar 96%. Perbedaan kera dan manusia adalah sebagai berikut:

- a. Tengkorak manusia berbentuk membulat untuk menopang otak yang besar (1300cc) dengan wajah yang datar dan dagu yang terlihat jelas. Kera memiliki tengkorak yang menonjol kebelakang dan ukurannya jauh lebih kecil karena menopang otak sebesar 400cc dengan wajah yang menonjol keluar dan kening menonjol



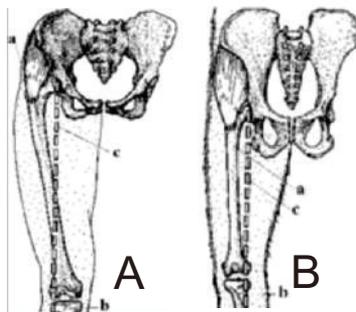
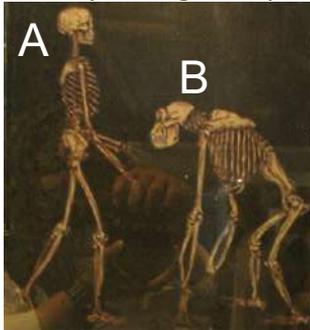
Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.52 Perbedaan volume otak, bentuk kepala, bentuk rahang, bentuk kening, dan gigi manusia (A) dan primata (B)

- b. Gigi kera teradaptasi sebagai senjata dengan taring yang tampak mendominasi karena rahangnya menonjol keluar dan berukuran besar daripada gigi yang lain. Gigi manusia lebih kecil dan berukuran relatif sama dengan rahang yang banyak tereduksi



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.53 Perbedaan bentuk rahang dan susunan gigi manusia (A) dan primata (B)

- c. Ujung tulang belakang menempel pada *foramen magnum*. *Foramen magnum* manusia terletak ditengah pada tengkorak bagian bawah yang membuat tulang belakangnya menjadi tegak sehingga mendukung posisi bipedal yang tegak. *Foramen magnum* kera terletak agak ke belakang sehingga tulang belakang membuat kera lebih membungkuk dengan kepala yang tetap menghadap depan ketika berjalan



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.54 Perbedaan letak *foramen magnum* dan panggul manusia (A) dan primata (B) yang mendukung berdiri tegak

- c. Panggul manusia berbentuk agak memlingkar dan lebar yang teradaptasi untuk bipedal dan berjalan jauh. Panggul kera berbentuk lebih panjang dan sempit (**gambar 5.4**). Letak panggul dan tulang belakang ini membuat tungkai atas (lengan) kera menjuntai kebawah sehingga nampak lebih panjang daripada kakinya.
- d. Tungkai bawah manusia (kaki) memiliki struktur yang disebut telapak kaki dengan ibu jari sejajar dengan jari lain yang mendukung berdiri tegak sedangkan tungkai bawah kera memiliki struktur jari kaki yang saling berhadapan yang digunakan untuk memegang dan melangkah

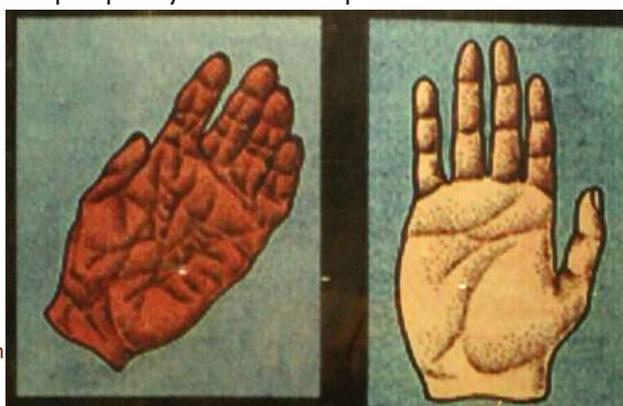


Telapak kaki primata

Telapak kaki manusia

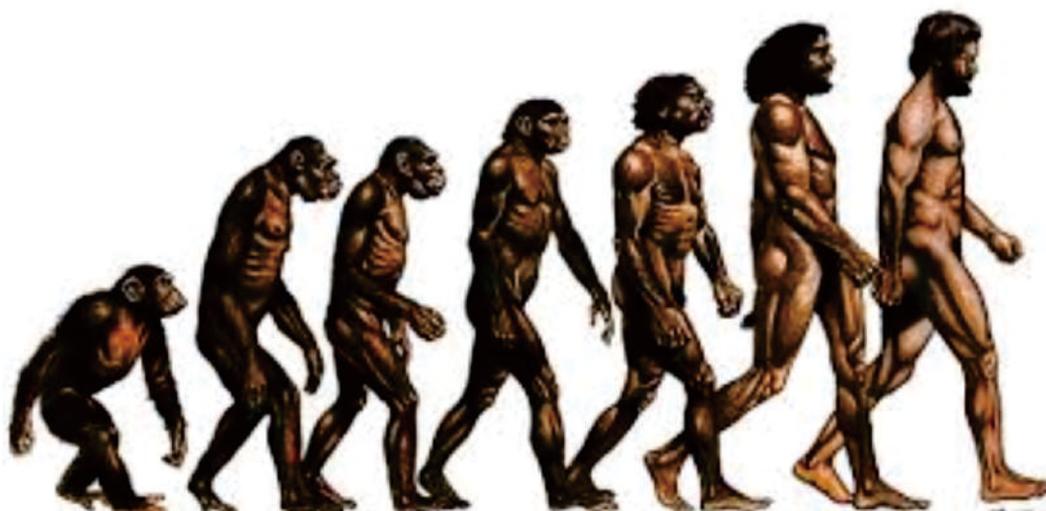
Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.55 Perbandingan telapak kaki antara primata dan manusia yang mempengaruhi kemampuan berdiri tegak

- e. Kera berjalan menggunakan buku-buku jari sedangkan manusia berjalan menggunakan kedua kaki dengan telapak kaki sebagai tumpuan
- f. Ibu jari tangan manusia bersifat prehensile (dapat melingkari objek) sehingga dapat menggenggam. Jari-jari kera baik pada tungkai atas atau tungkai bawah saling berhadapan dan ibu jarinya tidak bersifat prehensile sehingga mendukung fungsi memegang dan melangkah. Saat menggantung di dahan, kera tidak menggenggam ranting tetapi memegangnya menggunakan buku-buku jari pada empat jarinya selain ibu jari.



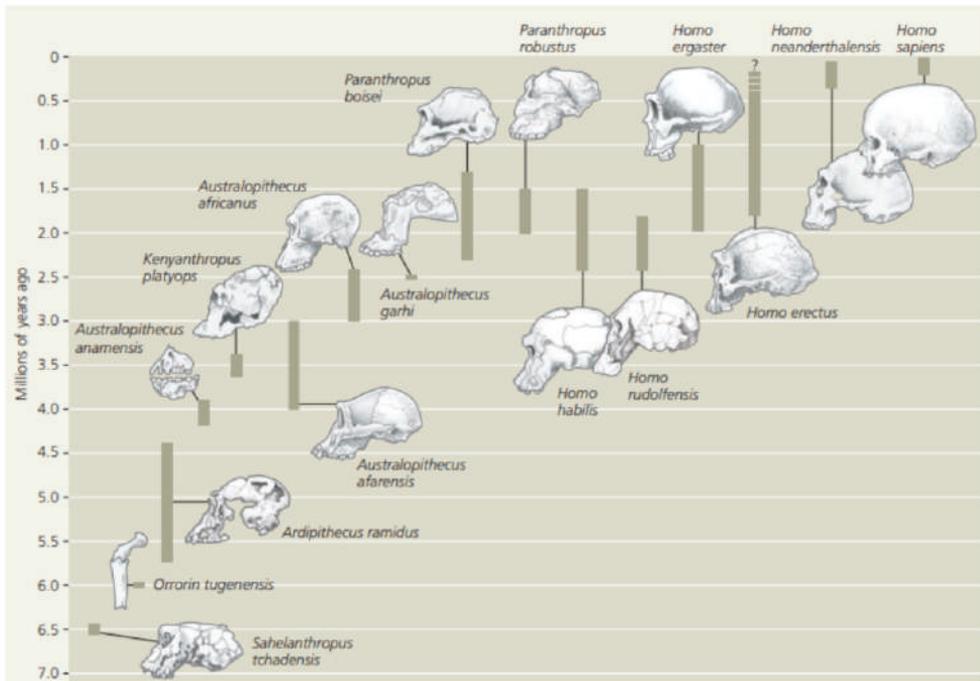
Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.56 Perbedaan bentuk jari-jari pada tangan manusia (A) dan primata (B)

- g. Manusia memiliki budaya, sedangkan kera tidak



Sumber: Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.57 Ilustrasi yang menggambarkan manusia berasal dari kera yang mengalami evolusi menjadi manusia

Ilustrasi diatas seringkali dijadikan gambaran peristiwa evolusi suatu spesies hingga menjadi manusia. Apabila dilihat sekilas, ilustrasi ini seakan menunjukkan kebenaran bahwa kita merupakan spesies hasil evolusi dari kera karena secara kasat mata nampak terlihat adanya perubahan. Tetapi apabila dipahami lebih mendalam dan didasarkan atas pengetahuan yang kuat, anggapan ini justru menjadi lelucon belaka. Apabila hendak diilustrasikan seperti gambar diatas, tentu ilustrasi tidak dapat serapi itu karena pada perkembangannya banyak kelompok yang memisahkan diri untuk menjelajahi jalur evolusi yang lain, kadang terdapat beberapa spesies hominin yang muncul dalam rentang waktu bersamaan tetapi berada di tempat yang berlainan. Coba perhatikan diagram waktu dibawah!



Sumber: Biologi, Campbell

Gambar 4.58 Diagram waktu yang menunjukkan rentang waktu kehidupan hominin

Diagram waktu diatas menunjukkan beberapa spesies hominin yang muncul pada waktu yang nyaris bersamaan. Artinya pendapat bahwa munculnya satu spesies hominin sebagai pengganti

Kamu Tahu Tidak?

Jaman Triasik (235-208 juta tahun) merupakan awal era Mesozoik yang ditandai dengan munculnya kembali benua besar Gondwana, ketika Pangea terbelah menjadi Laurasia di utara dan Gondwana di Selatan. Kehidupan pada jaman ini mengalami perubahan cukup besar. Pohon Sikas, sejenis cemara, dan ginkgo merupakan tanaman yang paling banyak. Sementara, fauna reptilia seperti dinosaurus dan kura-kura serta mamalia mulai muncul.

Sumber:
Museum Purbakala Sangiran
Klaster Krikilan

hominin sebelumnya yang telah punah tidak sepenuhnya benar. Sebagai contoh, hominin *Paranthropus boisei* hidup pada rentang waktu 1,2 hingga 2,3 juta tahun lalu dan *Paranthropus robustus* hidup pada rentang waktu 1.5 hingga 2 juta tahun lalu.

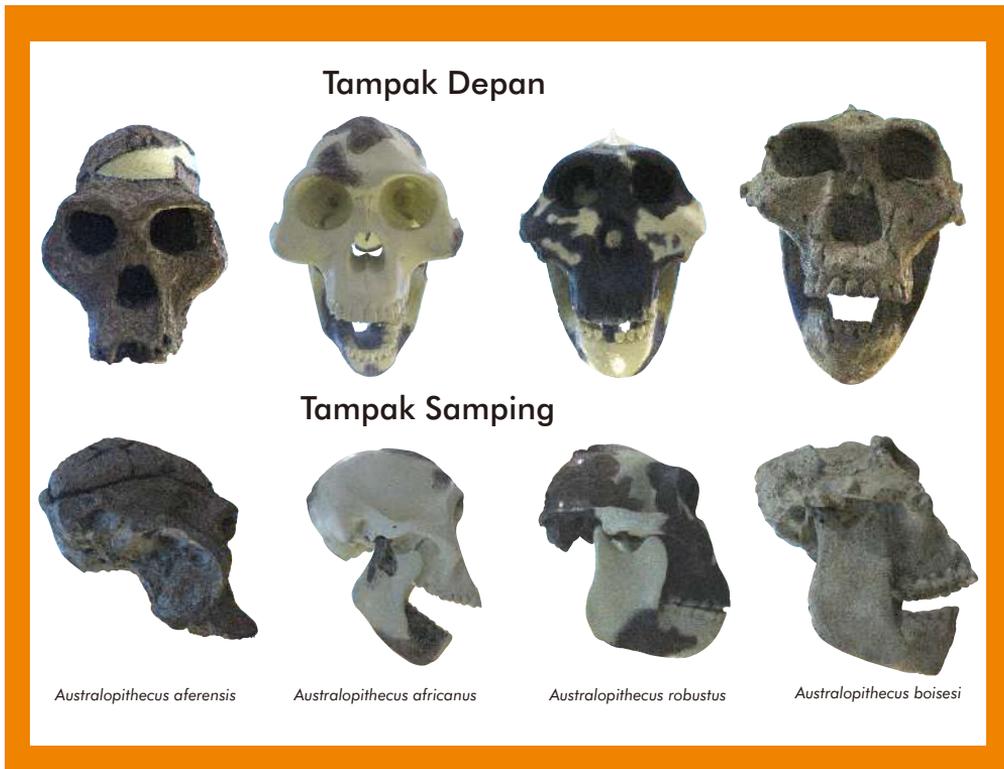
Keterangan waktu hidup ini menunjukkan bahwa kemunculan *P. robustus* bukanlah menggantikan *P. boisei*, akan tetapi kedua hominid ini hidup dalam waktu yang bersamaan, meskipun kemunculan *P. robustus* lebih akhir dan kepunahannya lebih cepat daripada *P. boisei*. Kesemua hominid mengalami kepunahan sehingga tidak dapat kita jumpai saat ini selain fosilnya tetapi menyisakan satu garis keturunan yang hingga kini masih ada dan semakin menguasai bumi, yaitu garis keturunan *Homo sapiens*.

Sahelanthropus tchadensis merupakan temuan hominid pertama yang oleh beberapa ahli diakui sebagai nenek moyang dari kelompok homo, tetapi ahli lain lebih mengakui bahwa hominid ini memiliki struktur tubuh yang jauh lebih mirip dengan kera. Para ahli ini menyepakati bahwa hominid yang paling mirip dengan manusia adalah *Australopithecus afarensis*. Untuk mengetahui lebih jelas mengenai hominid yang pernah hidup di bumi ini, perhatikan ulasan dibawah!

a. Australopith

Hominid mulai muncul dan meledak menjadi spesies yang mendominasi sejak 4 hingga 2 juta tahun lalu. Kebanyakan hominid yang ditemukan disepakati oleh para ahli sebagai kelompok Australopith. Sebelum hominid Australopith muncul, *Ardipithecus ramidus* merupakan hominid tertua kedua setelah *Sahelanthropus tchadensis* yang berusia 4.5 juta tahun dengan perkiraan bobot seberat 40 kg, gigi relatif besar dan rahang bawah yang menonjol dibandingkan bagian atas wajahnya. Sebagaimana *Sahelanthropus tchadensis*, *Ardipithecus ramidus* lebih menunjukkan kemiripan dengan kera.





Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.59 Perbandingan fosil tengkorak hominin kelompok *Australopithecus* yang ditemukan di Situs Sangiran

Australopithecus merupakan fosil berjalan tegak yang pertama kali ditemukan dari masa Pliosen. Penemuan *Australopithecus* menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan yang cukup besar pada primata yang hidup pada masa Meiosen hingga masa Pliosen, yaitu dari primata arboreal menjadi primata terestrial (hidup di atas tanah). Primata arboreal diduga sebagai primata tertua dari segala jenis primata yang kita temui hari ini. Primata ini menghabiskan seluruh hidupnya di atas pohon, berpindah dari satu dahan ke dahan lain dengan menggelayut. Temuan fosil tertua primata arboreal *Aegyptopithecus* dan *Propliopithecus* berusia 31 juta tahun lalu yang ditemukan 100 kilometer di sebelah barat laut Kairo. Selanjutnya penemuan fosil pecahan rahang *Ramapithecus* berusia 14 juta tahun lalu dari Masa Miosen dianggap oleh para ahli sebagai primata yang lebih modern merupakan



Sumber: Alamendah

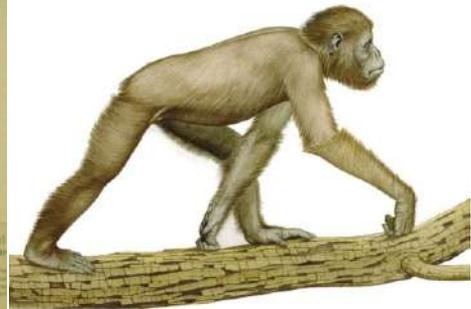
Gambar 4.60 Owa-owa Kalimantan (*Hylobates albibarbis*) merupakan primata yang menghabiskan seluruh hidupnya dengan menggelayut di dahan pepohonan

spesies peralihan dari primata arboreal menjadi primata terrestrial meskipun belum dapat disepakati apakah *Ramapithecus* masih hidup di atas pohon atau sudah turun ke tanah atau bahkan hidup dengan kombinasi keduanya.



Sumber: Wikipedia

Gambar 4.61 Fosil tengkorak *Ramapithecus*



Sumber: Wikipedia

Gambar 4.62 Ilustrasi *Ramapithecus* yang diduga hidup di pepohonan dan kadang turun ke tanah

Primata yang turun ke tanah didasarkan atas kebutuhan dan kesempatan mereka mendapatkan bahan makanan yang lebih banyak daripada yang mereka dapatkan dari pepohonan seperti biji-bijian, umbi-umbian, serangga, dll. Turunnya primata arboreal ke tanah bukan merupakan kegiatan yang sekali dan seterusnya dilakukan dengan mudah, tetapi butuh pengulangan berkali-kali hingga mereka terbiasa dan struktur tungkai belakang mereka dapat menjejak tanah dengan baik. Awalnya tungkai primata arboreal benar-benar tidak dapat menapak tanah karena struktur jarinya hanya memungkinkan menggenggam dahan untuk menggelayut. Kemampuan primata untuk dapat berdiri tegak dengan tungkai belakangnya atau disebut dengan *bipedal* tidak hanya bergantung kepada struktur tungkai belakang saja, tetapi juga bentuk telapak kaki beserta komposisi susunan jari, bentuk panggul, dan bentuk tulang belakang. Perubahan yang ditunjukkan dari primata menggelayut menjadi bipedal ini merupakan bentuk evolusi yang nyata.

Bipedal pada *Australopithecus* juga menunjukkan perubahan kedua tungkai depan menjadi berfungsi sebagai tangan, dengan kedua tangan ini hominin *Australopithecus* mulai menggunakan atau membuat alat dari lingkungannya untuk membantunya bertahan hidup.



Sumber: Wikipedia

Gambar 4.63 Orangutan (*Pongo* sp.) merupakan primata yang menghabiskan seluruh hidupnya dengan menggelayut di dahan pepohonan dan juga di atas tanah



Sumber: Wikipedia

Gambar 4.64 Gorila (*Gorilla* sp.) merupakan primata yang menghabiskan seluruh hidupnya di dahan pepohonan dan juga di atas tanah

a. *Australopithecus aferensis*



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.66 Bentuk wajah *Australopithecus aferensis* yang direkonstruksi dari beberapa kepingan fosil yang di temukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini

Gambar 4.64 Fosil 'Lucy' yang ditemukan



Sumber: Biologi, Campbell

Gambar 4.65 Jejak *Australopithecus africanus*

Australopithecus africanus merupakan hominin tertua dari Afrika. Penemuan fosil hominin ini terjadi pada tahun 1974 di endapan Pliosen berusia 4 juta tahun lalu oleh D. Johanson, M. Taieb, dan Y. Coppens. Saat ditemukan, fosil ini diberi nama 'Lucy' sehingga *Australopithecus africanus* sering disebut fosil Lucy. Fosil Lucy merupakan temuan fosil paling lengkap yang menunjukkan 40% bagian tubuh antara lain komponen tengkorak, rahang bawah, tulang anggota badan (tangan dan kaki), tulang belakang, tulang rusuk, dan tulang pinggul. Lucy adalah hominin wanita dengan tinggi badan 1,2 m.

Penemuan fosil *Australopithecus africanus* membuat para ahli bersepakat bahwa fosil ini merupakan spesies percabangan pertama dari kera ke manusia. Tulang pinggul dan tulang paha menunjukkan berdiri dengan dua kaki (bipedal) dan semakin diyakini sebagai suatu kebenaran saat ditemukannya jejak kaki dari tiga individu *Australopithecus africanus* di lapisan abu ledakan Gunung Sadiman, Tanzania yang telah terkristalisasi sempurna. Jejak kaki ini adalah jejak kaki *Australopithecus africanus* laki-laki dewasa, wanita dewasa, dan anak-anak yang memperlihatkan sebuah keluarga. Ciri hominin adalah volume otak 425 cc, muka besar dan menjorok kedepan, tangan lebih panjang daripada kaki, dan tinggi 1,2 m

b. *Australopithecus africanus*

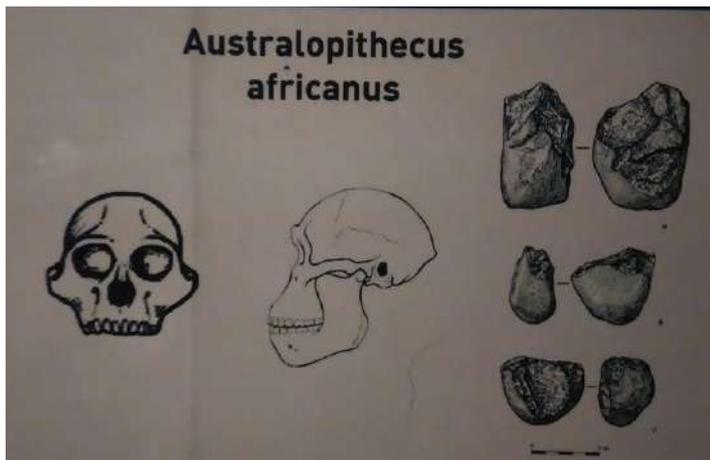


Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.67 Bentuk wajah *Australopithecus africanus* yang direkonstruksi dari beberapa kepingan fosil yang di temukan di Situs Sangiran

Fosil tengkorak *Australopithecus africanus* ditemukan pertama kali pada tahun 1924 pada endapan karst/ gua di Taung, Afrika Selatan. Temuan fosil ini diidentifikasi oleh profesor anatomi Universitas Johannesburg dan didapatkan kesimpulan bahwa dari pecahan tengkorak tadi dapat direkonstruksi susunan gigi yang menunjukkan kemiripan dengan struktur gigi manusia saat ini. Fosil *Australopithecus africanus* pertama yang diamati ini adalah fosil anak-anak berusia 5 tahun. Catatan bagian tubuh fosil *Australopithecus africanus* individu lain semakin lengkap ditemukan mulai tahun 1930-an.

Catatan fosil ini menunjukkan ciri spesies *Australopithecus africanus*, yaitu volume otak sekita 550 cc, muka lebih lebar daripada ruang tengkorak, dahi yang landai, dan tonjolan kening yang jelas. Tinggi individu laki-laki berkisar 1,65 m dan individu perempuan berkisar 1,4 m dengan berat badan sekitar 50 kg.



Australopithecus africanus berusia 3 hingga 2 juta tahun lalu, artinya lebih muda daripada *Australopithecus aferensis* sehingga para ahli saat ini menganggap *Australopithecus africanus* merupakan turunan langsung dari *Australopithecus aferensis*. Nama *Australopithecus africanus* sendiri berarti

Kamu Tahu Tidak?

Jaman Jurasik (208-145 juta tahun lalu). Ketika benua besar Gondwana terbelah. Laut Atlantik utara melebar dan Atlantik Selatan terbentuk. Dinosaurius menguasai daratan, reptilia laut seperti Ichtyosaurus berkembang pesat. Jenis jenis kepiting laut dan lobster mulai berevolusi. Burung primitif yang pertama kali muncul antara lain *Archaeopteryx*. Terumbu karang mulai banyak terbentuk di laut dangkal

Sumber:
Museum Purbakala Sangiran
Klaster Krikilan

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.68 Sketsa tengkorak serta sektsa alat batu yang digunakan *Australopithecus africanus* yang ada di Museum Purbakala Sangiran

Kamu Tahu Tidak?

Jaman Kapur atau Cretaceous (165-45 juta tahun lalu). Masa ini memiliki iklim yang lebih hangat dari sekarang. Samudra Atlantik mengembang karena Amerika bergerak perlahan ke barat. Tyranosaurus Rex atau T-Rex mendominasi ceruk predator. Mamalia Eutheria muncul dan menjadi dominan. Pada masa ini terjadi kepunahan besar-besaran dimana dinosaurus punah dan mamalia serta burung berada diambang kepunahan.

Sumber:
Museum Purbakala Sangiran
Klaster Krikilan

manusia kera dari Afrika Selatan, pemberian nama ini disesuaikan dengan lokasi penemuan *Australopithecus africanus* pertama kali. *Australopithecus africanus* merupakan pemburu pertama pada kelompok *Australopith*.

Struktur gigi dan rahang spesies ini menunjukkan bahwa selain tumbuh-tumbuhan dan buah-buahan, daging merupakan jenis makanan yang dikonsumsi. Struktur tubuh *Australopithecus africanus* menunjukkan bahwa mereka telah melakukan perburuan. Selain struktur gigi, rahang dan tubuh, bukti bahwa spesies ini melakukan perburuan binatang besar adalah ditemukannya banyak fragmen atau pecahan tulang hewan purba yang nampak sengaja dipecahkan dengan alat serta artefak alat batu disekitar tempat fosil *Australopithecus africanus* ditemukan. Kebanyakan hominin ini ditemukan dalam gua-gua.

c. *Australopithecus robustus*

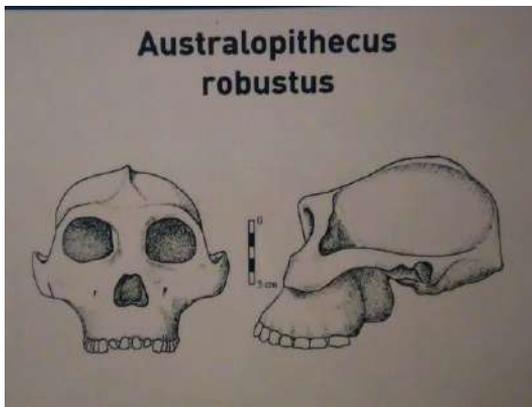


Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.70 Bentuk wajah *Australopithecus robustus* yang direkonstruksi dari beberapa kepingan fosil yang di temukan di Situs Sangiran

Lain halnya dengan *Australopithecus aferensis* dan *Australopithecus africanus* yang ramping, *Australopithecus robustus* merupakan spesies *Australopith* berbadan kekar yang vegetarian. Temuan fosil *Australopithecus robustus* pertama kali oleh Robert Broom di Kromdraai dan Swartkans, Afrika selatan.

Usia *Australopithecus robustus* berkisar antara 2-1 juta tahun lalu. Volume otak 410-530 cc. Badan kekar dengan tinggi 110-132 cm *Australopithecus robustus* merupakan hasil identifikasi dari tengkoraknya yang memiliki igir memanjang kebelakang yang merupakan pertautan dari otot utama pengunyah dan atap tengkorak, rahang dan gigi yang besar serta muka yang lebih lebar dan datar yang menunjukkan bahwa spesies ini pasti pengunyah yang kuat dan berbadan tinggi, besar dan kekar. Perawakan yang besar dan kekar ini kemudian dijadikan sebagai nama spesies ini, yaitu *robust* yang berarti kekar.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.71 Sketsa tengkorak serta sketsa a *Australopithecus robustus* yang ada di Museum

Menurut para ahli, tipe badan kekar menunjukkan vegetarian sejati yang mana dalam mengolah makanannya diperlukan komponen tubuh yang kuat. Dugaan bahwa *Australopithecus robustus* merupakan vegetarian juga didukung oleh keadaan alam pada saat spesies ini hidup, yaitu lingkungan alam yang lebih basah dan hijau. Hal ini diketahui dari lapisan breksi dimana fosil-fosil spesies ini ditemukan. Kebutuhan pangan *Australopithecus robustus* tersedia dengan melimpah di alam, akibatnya *Australopithecus robustus* tidak perlu memiliki keahlian membuat perkakas sebagaimana yang dilakukan *Australopithecus africanus*. Ketidakmampuan ini membuat *Australopithecus robustus* tidak dapat mempertahankan populasinya lebih lama alias punah terlebih dahulu daripada *Australopithecus africanus* yang lebih dahulu ada.

Menambah wawasan yuk

Kita sudah mempelajari mengenai hominin-hominin yang ada dalam kelompok *Australopith*. Nah, agar lebih paham ayo sebutkan ciri masing-masing anggota kelompok *Australopith* tersebut!

Berdasarkan modul ini, ada empat anggota kelompok *Australopith*. Benarkah hanya empat spesies saja? Coba kemukakan pendapatmu berdasarkan pencarianmu di internet!

Selanjutnya, apakah *Australopith* satu-satunya kelompok yang ada sebelum kemunculan kelompok *Homo*? Ayo kemukakan pendapatmu berdasarkan pencarianmu di internet dan sumber lain!

d. *Australopithecus boisei*



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.72 Bentuk wajah *Australopithecus boisei* yang direkonstruksi dari beberapa kepingan fosil yang di temukan di Situs Sangiran

Penemuan fosil yang kemudian diberi nama *Australopithecus boisei* sebenarnya melalui perdebatan yang panjang. Beberapa ahli menyatakan bahwa *Australopithecus boisei* dan pendahulunya, *Australopithecus robustus*, bukan merupakan hominin yang bisa dimasukkan dalam kelompok *Australopith*, tetapi merupakan hominin yang membentuk kelompok baru yaitu kelompok *Paranthroph*.

Oleh karena itu, baik *Australopithecus boisei* maupun *Australopithecus robustus* sering juga disebut sebagai *Paranthropus boisei* dan *Paranthropus robustus*.

Ciri fisik *Australopithecus boisei* mirip dengan *Australopithecus robustus* yaitu perwakan yang kekar dengan tinggi badan 140 cm pada jenis kelamin laki-laki dan 130 cm pada jenis kelamin perempuan. Volume otak 450-600 cc. *Australopithecus boisei* hidup di Afrika bagian timur, sedang *Australopithecus robustus* hidup di Afrika bagian barat. Kedua hominin ini bukan merupakan spesies yang menghasilkan manusia saat ini.

A. robustus dan *A. boisei* mengalami kepunahan karena perubahan lingkungan, juga karena ketidakmampuan mereka dalam membuat dan menggunakan perkakas batu tidak seperti kelompok hominin lain yaitu *Homo*.

PERBANDINGAN FOSIL TENGGORAK KELOMPOK HOMO

Tampak Depan



Tampak Samping



Homo habilis

Homo rudolfensis

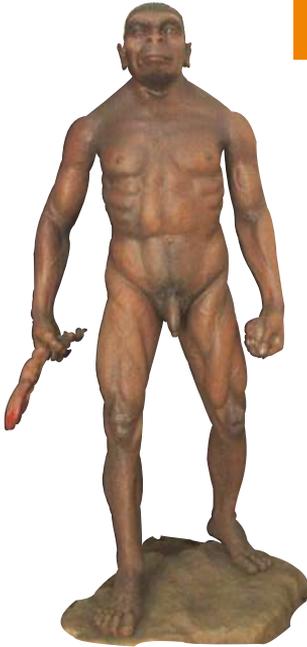
Homo erectus

Homo sapiens

Homo neanderthalensis

Cro-magnon

b. Homo



Sumber: Nur Aini

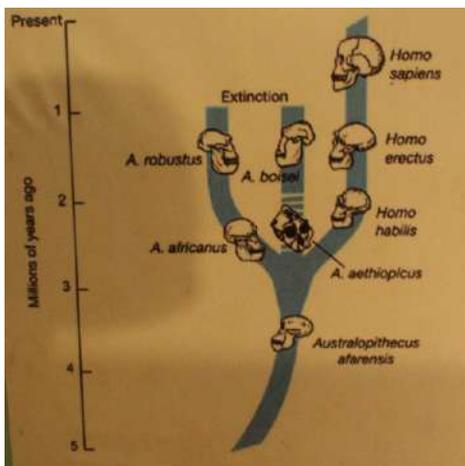
Gambar 4.73 Patung *Pithecanthropus erectus* yang direkonstruksi berdasar temuan fosilnya di Situs Sangiran

Kemunculan kelompok *Homo* berawal dari temuan fosil di Tanzania yang tidak menunjukkan kemiripan dengan fosil-fosil *Australopith* yang sudah ditemukan sebelumnya. Fosil ini justru menunjukkan kemiripan dengan manusia modern. Temuan-temuan selanjutnya lagi-lagi menunjukkan kemiripan dengan fosil Tanzania daripada kelompok *Australopith*. Akhirnya para ahli menyepakati bahwa fosil-fosil dari individu berbeda tadi masuk dalam kelompok *Homo*.

Homo berdasarkan taksonomi berada pada tingkatan genus yang menaungi kelompok manusia yang hidup saat ini manusia modern (*Homo sapiens*) dan beberapa kelompok manusia yang telah punah (seperti *Homo habilis*, *Homo erectus*, *Homo ergaster*, dll).

Gambar 4.51 menunjukkan bahwa primata dan manusia (*Homo sapiens*) memiliki garis keturunan yang sama tetapi bukan dalam kelompok yang sama. Garis keturunan manusia terpisah dengan kelompok simpanse, artinya kelompok primata dan manusia tidak memiliki hubungan apa-apa selain kedekatan kekerabatan yang ditunjukkan oleh penelitian DNA.

Apabila melihat **Gambar 4.51**, garis keturunan kelompok simpanse dan manusia terpisah tanpa diketahui siapa nenek moyang bersama kedua kelompok ini. Pada **Gambar 4.74** dapat dilihat bahwa kelompok *Homo sapiens* memiliki garis keturunanan yang sama dengan *Homo habilis* dan *Homo erectus* setelah pemisahan percabangan dengan *Australopithecus boisei* dan *Australopithecus africanus* serta *Australopithecus robustus* dari nenek moyang bersama yaitu *Australopithecus aferensis*.



Sumber: Biologi, Campbell

Gambar 4.74 Filogeni hominin yang menunjukkan bahwa moyang bersama kelompok homo dan australopith adalah *Australopithecus aferensis*

ALAT-ALAT BATU DAN TULANG YANG DIGUNAKAN OLEH KELOMPOK HOMO



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.75 Bola batu berfaset yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.76 Bola batu yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.77 Kapak penetak yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.78 Kapak Perimbas yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.79 Kapak genggam yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.80 Gurdi yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.81 Bahan alat batu yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.82 Bilah yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.83 Kerakal pangkas yang ditemukan di Situs Sangiran

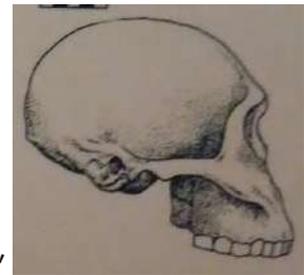


Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.84 Alat batu serut yang ditemukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.85 Alat tulang yang ditemukan di Situs Sangiran

1. *Homo habilis*



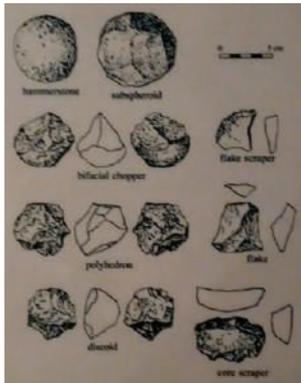
Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.86 Bentuk wajah *Homo habilis* yang direkonstruksi dari beberapa kepingan fosil yang ditemukan di Situs Sangiran

Temuan fosil pada tahun 1959 di Tanzania, Afrika Timur rupanya tidak memiliki kemiripan dengan fosil yang ditemukan sebelumnya dalam kelompok *Australopith*. *Homo habilis* adalah nama yang diberikan kepada fosil ini. Nama ini berarti manusia tangkas dan terampil yang merujuk kepada ciri-ciri yang ditunjukkan oleh fosil ini.

Homo habilis memiliki kapasitas tengkorak yang lebih besar yang menampung otak sekitar 650 cc, gigi yang lebih kecil, dan atap tengkorak lebih tinggi dengan bagian belakang lebih bundar. Pada lapisan pertama fosil ini ditemukan, ditemukan pula kumpulan alat batu yang berjumlah cukup banyak dengan ciri pemangkasan sederhana. Karena kemampuan membuat alat sederhana ini maka ahli evolusi menamainya *habilis* yang berarti tangkas, dan dimasukkan dalam kelompok *Homo* karena menunjukkan manusia yang paling purba bukannya kera.

Homo habilis merupakan pemakan segala dan merupakan jenis pertama dalam kelompok *Homo* dan memiliki ketangkasan dan mampu mencipta serta memakai alat batu dengan terampil. Usia *Homo habilis* adalah 2,5-1,8 juta tahun.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.87 Sketsa tengkorak dan artefak *Homo habilis* yang ditemukan di Situs Sangiran

Homo habilis pertama kali membuat alat dari batu sebagai senjata menghadapi binatang buas. Alat batu yang dibuat sangat sederhana, yaitu batu kerakal sebesar genggam tangan dipangkas salah satu mukanya untuk mendapatkan sisi yang tajam, alat batu ini disebut sebagai batu kerakal. Alat batu kerakal digolongkan dalam kapak perimbas sederhana.

Keturunan *Homo habilis* lama kelamaan mengembangkan kemampuannya mencipta alat batu dengan berbagai tipe pangkasan. Tipe pangkasan ini kemudian memunculkan berbagai tipe alat seperti kapak perimbas, kapak penetak tipe alat seperti kapak genggam, kapak pembelah, dll.

2. *Homo rudolfensis*



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.88 Bentuk wajah *Homo rudolfensis* direkonstruksi dan di tampilkan di Museum Purbakala

Homo rudolfensis adalah sebutan untuk temuan spesimen yang ditemukan di Koobi Fora, Kenya pada tahun 1972. Awalnya spesimen ini bernama KNM-ER 1470. Penggantian nama menjadi *Homo rudolfensis* diberikan V.P Aleexev pada tahun 1986 karena letak temuan spesimen ini dekat dengan sebuah danau bernama Danau Rudolf.

Homo rudolfensis hidup 1.9 juta tahun lalu pada masa Pliosen, sama dengan masa saat *Homo habilis* hidup. Oleh karena itu, beberapa ahli menganggap bahwa *Homo rudolfensis* adalah *Homo habilis* yang hidup terpisah dari kelompoknya di Afrika. *Homo rudolfensis* memiliki ciri badan yang kekar, muka yang lebar dan kapasitas otak sebesar 750 cc.

3. *Homo ergaster*

Pada 1.9 hingga 1.5 juta tahun lalu, hidup sekelompok *hominin* yang disebut *Homo ergaster*. *Homo ergaster* memiliki otak dengan volume sekitar 900 cc. Kaki yang panjang serta pinggul yang ramping membuat *Homo ergaster* dapat berjalan dengan jarak yang jauh. Jari-jari tangannya relative pendek dan lurus menandakan *Homo ergaster* tidak menggunakan tangannya untuk memanjat atau bergelantung di pohon.

Lingkungan hidup *Homo ergaster* tergambar dari tempat *hominin* ini ditemukan yaitu daerah yang jauh lebih kering. Alat batu yang ditemukan disekitar fosil menunjukkan bahwa *Homo ergaster* lebih terampil dan kreatif karena alat batu lebih bervariasi bentuknya yang menunjukkan kegunaan yang berbeda pula. Berdasarkan temuan gigi *Homo ergaster* yang berukuran kecil, dapat diketahui bahwa *hominin* ini menyantap lebih banyak daging dan lebih sedikit tumbuhan.

Ukuran gigi ini juga menandakan bahwa *Homo ergaster* mengolah sebagian makanannya terlebih dahulu dengan dimasak atau ditumbuk sebelum dimakan, sehingga tidak perlu mengunyah terlalu kuat sebagaimana *hominin* sebelumnya.

Kehidupan sosial *Homo ergaster* menunjukkan peradaban yang lebih maju. Dibandingkan pejantan primata yang berukuran dua kali lebih besar dari betinanya, *Homo ergaster* berjenis kelamin laki-laki memiliki ukuran tubuh yang tidak berbeda jauh dengan wanitanya.



Sumber: Biologi, Campbell

Gambar 4.89 Fosil *Homo ergaster* berjenis kelamin laki-laki yang ditemukan di Kenya

Pejantan primata cenderung bertarung dengan usaha besar untuk mengawini betina yang diinginkan, namun *Homo ergaster* laki-laki dan perempuan telah menjalin ikatan pasangan yang lebih baik seperti manusia modern pada umumnya daripada *hominin* yang tersahulu apalagi dibandingkan dengan primata. Hal ini salah satunya ditunjukkan dengan perilaku mengasuh anak pada kelompok *Homo ergaster* sebagaimana yang dilakukan manusia modern saat ini, seperti memberikan perlindungan dan mencari makan walau dengan sederhana.

4. *Homo erectus*

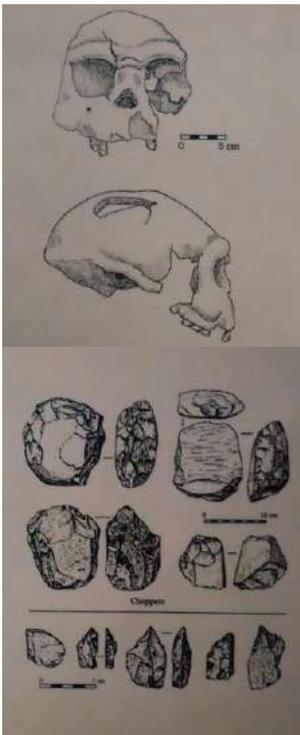


Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.90 Bentuk wajah *Homo erectus* yang direkonstruksi dari beberapa kepingan fosil yang di temukan di Situs Sangiran

Homo erectus merupakan keturunan langsung dari *Homo habilis*. *Homo erectus* menduduki peran penting dalam evolusi manusia karena merupakan pendahulu langsung dari manusia modern saat ini, *Homo sapiens*. Fosil *Homo erectus* ditemukan tersebar di berbagai tempat, hal ini menunjukkan bahwa *Homo erectus* telah melakukan migrasi keluar daerah aslinya sejak pertama kali muncul pada 1.8 hingga 0.3 juta tahun lalu.

Tidak seperti anggota kelompok *Homo* lain, *Homo erectus* merupakan *homo* pertama yang ditemukan diluar Afrika. *Homo erectus* ditemukan di daerah yang mengalami perubahan Zaman es yang menunjukkan kemampuan *Homo erectus* untuk beradaptasi, hingga ditemukan di pulau Jawa. *Homo erectus* memiliki sebaran geografis di Pulau Jawa bagian timur.



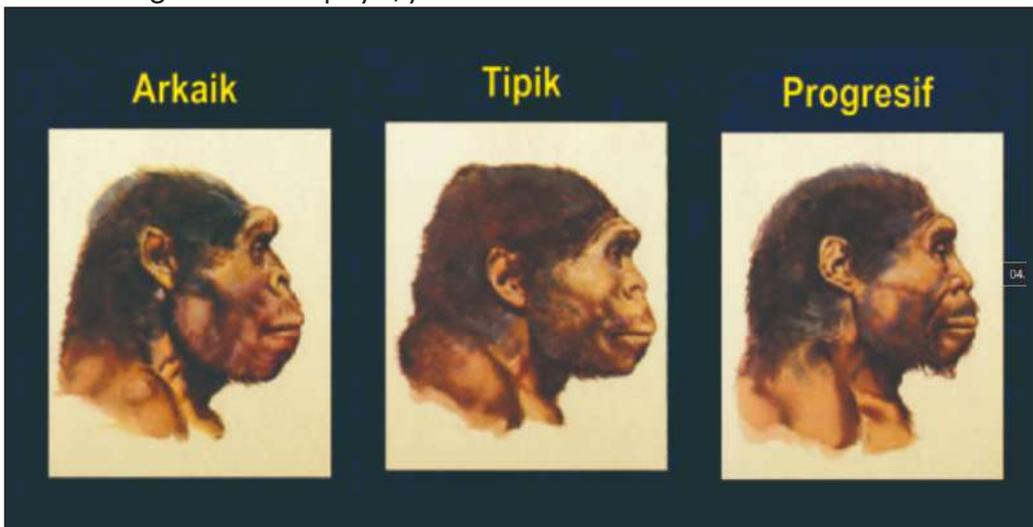
Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.89 Sketsa tengkorak dan alat batu yang digunakan *Homo erectus* yang ditemukan di Situs

Homo erectus menunjukkan dirinya sebagai spesies antara *Homo habilis* dengan *Homo sapiens* dari ciri-cirinya yang sebagai berikut:

1. *Homo erectus* memiliki volume otak 1.000 cc, yaitu volume otak antara volume otak *Homo habilis* (650 cc) dan volume otak *Homo sapiens* (1.200 hingga 1.400 cc).
2. Tulang kening sangat menonjol
3. Dahi datar
4. Bentuk atap tengkorak pendek dan memanjang ke belakang
5. Muka pendek dan menjorok kedepan
6. Tulang pipi menonjol
7. Gigi besar dengan rahang kekar
8. Tidak memiliki dagu
9. Anggota badan menunjukkan kemiripan tinggi dengan anggota badan manusia modern
10. Tinggi tubuh sekitar 165 cm.

Homo erectus terbagi atas tiga kelompok berdasarkan usia dan rentang waktu hidupnya, yaitu:



Sumber: BPSMP Sangiran

Gambar 4.91 Perbandingan bentuk kepala dan wajah *Homo erectus* Arkaik, Tipik dan Progresif

1) *Homo erectus* arkaik

Homo erectus arkaik merupakan *Homo erectus* yang paling tua atau terpruba. Ciri dari *hominin* kelompok ini adalah tengkorak yang rendah dan panjang yang melebar dibagian bawah, kening menonjol dengan jelas, bentuk muka sangat tonggos, tidak memiliki dagu.

Di Sangiran, *Homo erectus* arkaik ditemukan pada lapisan lempung hitam Formasi Pucangan dan grenzbank. Tipe tubuh *hominin* jenis ini adalah kekar dengan volume otak berkisar 800-900 cc.

Homo erectus arkaik yang ditemukan di Desa Glagahomobo pada tahun 1938 diberi nama Sangiran 4 (S4). Bagian tubuh S4 yang ditemukan telah memfosil adalah tengkorak bagian belakang dan fragmen maxilla dengan 10 buah gigi (rahang atas). Penentuan kelompok fosil ini sehingga dimasukkan dalam kelompok *Homo erectus* arkaik adalah ketebalan tulang tengkoraknya. Semakin tebal berarti semakin purba. Selain S4, beberapa fosil *Homo erectus* arkaik juga ditemukan di Indonesia diantaranya adalah Sangiran 31 (S31) berupa fragmen tengkorak bagian belakang dan sebagian bagian atas tengkorak pada tahun 1980 di Formasi Pucangan dengan volume otak antara 800-900 cc dan lain-lain.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.92 Tiruan fosil fragmen tengkorak bagian belakang (A), fragmen maxilla dengan 10 gigi (B) dari individu S4 (Sangiran 4) yang di temukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.94 Fosil fragmen rahang bawah individu S9 (Sangiran 9) atau *Pithecanthropus* yang di temukan di Situs Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.93 Fosil fragmen tengkorak bagian atas individu S31 (Sangiran 31) yang di temukan di Situs Sangiran

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.95 Fosil fragmen tengkorak bagian atas anak-anak individu P1 (Perning 1) yang di temukan di Situs Perning, Mojokerto

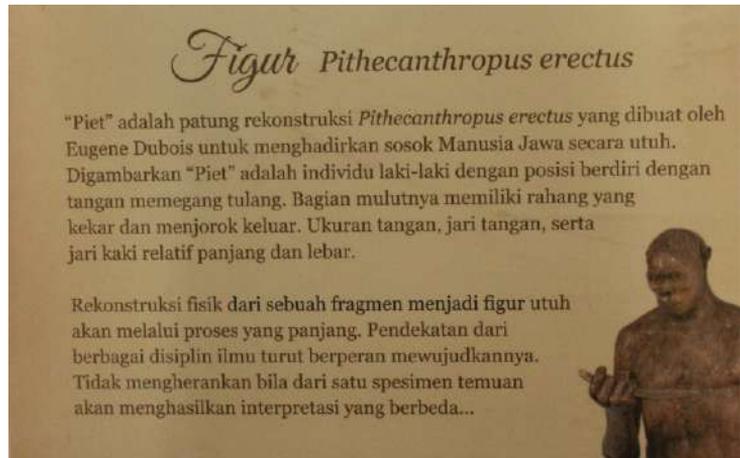


2) *Homo erectus tipik*

Homo erectus tipik adalah tipe kedua pada kelompok *Homo erectus*. Ciri dari *Homo* ini adalah tengkoraknya yang ramping, dahi masih agak menonjol, bentuk muka agak tonggos, dan volume otak 1000 cc. *Homo erectus tipik* merupakan jenis *homo* yang fosilnya paling banyak ditemukan di Indonesia. Sebagian besar ditemukan di Sangiran dan sebagian lagi tersebar di Trinil (Ngawi), Kedungbrubus (Madiun), Patiyam (Kudus), dan Semedo (Tegal).

Eugene Dubois merupakan peneliti yang berfokus pada penelitian *hominid* di Indonesia. Temuan fosil pertama oleh Dubois adalah gigi geraham ketiga dan atap tengkorak pada tahun 1891. Satu tahun kemudian, Dubois berhasil

menemukan fosil paha kiri dari spesies yang sama yang terfosilisasi dengan baik. Dubois memberi nama temuannya yaitu *Pithecanthropus erectus* (lihat gambar 4.73 yang berarti manusia-kera yang berdiri tegak).



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.96 Figur 'Piet' atau *Pithecanthropus erectus* yang ada di Museum Purbakala Sangiran

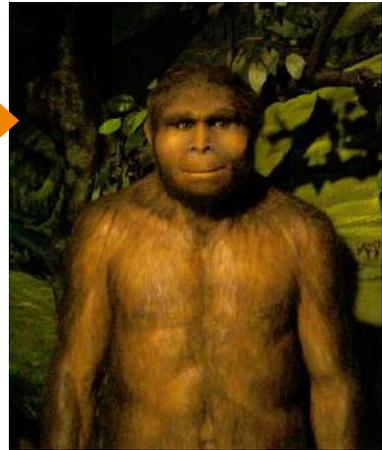
Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, temuan fosil *hominin* yang semakin banyak, dan pengelompokkan *hominin* dengan benar (kelompok *Australopith* dan *Homo*), maka para ahli menyepakati bahwa *Pithecanthropus erectus* merupakan individu dari kelompok *Homo erectus*.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.97 Fosil tengkorak S17 yang ditemukan di Situs Sangiran

Pithecanthropus erectus atau dikenal sebagai Sangiran 17 (S17) merupakan *Homo erectus* tipe tipik. S17 merupakan *masterpiece* di Sangiran karena fosilnya yang ditemukan termasuk dalam hitungan lengkap sehingga dapat digunakan untuk merekonstruksi bentuk wajah dan tubuh dari *Homo erectus*. S17 ditemukan oleh Towikromo pada tahun 1969. Fosil S17 yang ditemukan adalah bagian tengkorak yang relatif lengkap dengan maxilla bersama 5 gigi yang tertanam di rahang.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.98 Fossil tengkorak S17 yang ditemukan di Situs Sangiran terhitung lengkap sehingga dapat direkonstruksi

Selain S17, ada juga Sangiran 2 (S2) yang mewakili *Homo erectus* tipik berjenis kelamin perempuan. Struktur fisik tengkorak relatif halus karena insersi otot pada tengkorak tidak berkembang dan bentuk tengkorak Sangiran 2 memiliki bangun tengkorak yang lebih ramping dibandingkan dengan tengkorak individu laki-laki.

S2 ditemukan pada tahun 1937 dan berusia 1.51-1.47 juta tahun yang lalu. Seperti S17, sebelum kesepakatan nama *Homo erectus* ada, S2 juga digolongkan sebagai individu *Pithecanthropus erectus*. Saat ini fosil asli S2 disimpan di Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum, Frankfurt, Jerman.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.99 Tiruan fosil tengkorak S2 yang ditampilkan di Museum Purbakala Sangiran mewakili *Homo erectus* berjenis kelamin perempuan. Fosil aslinya ditemukan di Sangiran kemudian disimpan di Jerman

3) *Homo erectus* progresif

Homo erectus progresif merupakan *Homo erectus* yang paling menunjukkan ciri modern daripada *Homo erectus* arkaik dan tipik. Ciri dari *Homo* ini adalah atap tengkorak yang lebih tinggi dan lebih membundar dengan volume otak mencapai 1.100 cc.

Homo erectus progresif di temukan pada endapan alluvial di Ngandong (Blora), selopuro (Ngawi), dan pada endapan vulkanik di Sambungmacan (Sragen).

Temuan individu fosil *Homo erectus* progresif paling banyak adalah di sebuah desa tepi Bengawan Solo, Blora berupa sebelas tengkorak manusia pada tahun 1931-1933 oleh Von Koeningswald. Fosil ini kemudian diberi nama *Homo soloensis* dengan ciri yang agak berbeda dengan fosil yang ditemukan di Trinil dan Sangiran yaitu tengkoraknya memiliki atap yang lebih bundar dan lebih tinggi sehingga volume otaknya lebih besar yaitu 1.100 cc.

Temuan fosil lain yang termasuk dalam *Homo erectus* progresif adalah di Sambungmacan, tepi Bengawan Solo. Fosil yang ditemukan adalah tiga tengkorak dan satu tulang kaki dari empat individu berbeda. Ciri fisik keempat fosil memiliki kemiripan dengan temuan di Ngandong sebelumnya, tetapi atap tengkorak lebih membundar dan lebih tinggi.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.100 Tiruan fosil fragmen tengkorak bagian atas Ngandong 12 (Ng12) yang ditampilkan di Museum Purbakala Sangiran



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.101 Tiruan fosil fragmen tengkorak bagian atas Sambungmacan 1 (Sm1) yang ditampilkan di Museum Purbakala Sangiran

5. *Homo neanderthalensis*



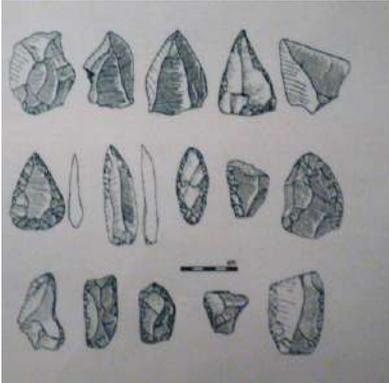
Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.102 Bentuk wajah *Homo neanderthalensis* yang direkonstruksi dan di tampilkan di Museum Purbakala Sangiran

Homo neanderthalensis merupakan nama yang diberikan kepada fosil-fosil *hominin* yang ditemukan di sebuah gua di Lembah Neander. Usia fosil-fosil ini jauh lebih muda daripada fosil *hominin* lain yang sebelumnya ditemukan, yaitu 200.000-40.000 tahun. Ciri yang ditunjukkan individu *Homo neanderthalensis* adalah volume otak 1.200-1.650 cc (mirip dengan manusia saat ini), badan yang tinggi besar karena tulang yang tebal dan dahi menonjol.

Gua tempat ditemukannya *Homo neanderthalensis* menunjukkan bahwa *hominin* ini memiliki kebudayaan yang jauh lebih maju daripada *hominin* sebelumnya dengan ditemukannya peralatan kayu dan batu, penggunaan api secara maksimal (memasak, penerangan, menghalau binatang buas), bahkan telah mengenal upacara penguburan jenazah.

Melalui pendekatan molekuler melalui DNA, diketahui bahwa *H. neanderthalensis* memiliki kesamaan dengan *Homo sapiens*. Artinya *H. neanderthalensis* merupakan



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.103 Sketsa tengkorak dan alat batu yang digunakan *Homo neanderthalensis* yang ditemukan di Situs Sangiran

Homo sapiens dengan perawakan yang khas dan telah punah, bukannya *hominin* kelompok lain. Para ahli menyepakati bahwa *hominin* merupakan subspecies dari *Homo sapiens* yang kita kenal sebagai ras.

Apabila melihat dari kemampuan adaptasi *H. neanderthalensis* serta kemajuan budayanya, mengapa *H. neanderthalensis* dapat punah? Belum diketahui alasan pasti mengapa *H. neanderthalensis* tidak dapat bertahan hidup. Namun dugaan para ahli bahwa kepunahan *H. neanderthalensis* disebabkan karena perubahan iklim yang terjadi secara ekstrim yaitu dari iklim dingin tetapi kering dan terang yang mendukung kehidupan organisme menjadi iklim yang semakin hangat dan lembab sehingga hutan rimba berkembang pesat dan mengancam kehidupan organisme termasuk *H. neanderthalensis*

6. Cro-magnon



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.104 Bentuk wajah Cro-magnon yang direkonstruksi dan di tampilkan di Museum Purbakala Sangiran

Cro-magnon adalah nama yang diberikan kepada fosil yang memiliki kemiripan tinggi dengan manusia yang ditemukan di dalam gua dangkal dekat Eyzis-de-Tayac, Perancis Selatan tahun 1868. *Cro-magnon* berusia 45.000 tahun dengan ciri yang terkesan sangat modern.

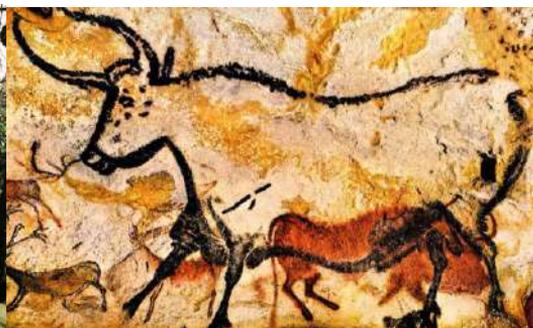
Tinggi badan *Cro-magnon* sekitar 165-171 cm, tengkorak yang tinggi dengan atap membundar yang menampung otak berkapasitas 1.400 cc. Kening menonjol yang ditunjukkan fosil-fosil sebelumnya tidak nampak pada *Cro-magnon*, dahinya vertical dengan muka datar tanpa ada penonjolan bagian mulut seperti yang ditunjukkan oleh simpanse. Ketiadaan tonjolan mulut ini dikarenakan rahang dan gigi geliginya telah mengalami penyusutan ukuran. Ciri-ciri yang ditunjukkan *Cro-magnon* menunjukkan kemiripan yang tinggi dengan ciri manusia moder

Cro-magnon juga terkenal dengan kebudayaannya yang sangat maju. Fosil yang ditemukan pada lapisan teratas gua ini menunjukkan bahwa *Cro-magnon* merupakan penguni gua dan telah dapat mendirikan tenda. Alat batu yang dibentuk tidak lagi digunakan sekedar untuk berburu atau meramu makanan, tetapi juga sebagai aksesoris. Pada jamannya, *Cro-magnon* dikenal sebagai 'artist' yang handal. Hal ini dibuktikan dengan ditemukannya lukisan-lukisan di dinding gua tempat *Cro-magnon* tinggal.



Sumber: wikipedia.org

Gambar 4.105 Gua tempat tinggal Cro-magnon



Sumber:

Gambar 4.106 Lukisan Cro-magnon yang ada di dinding gua tempat tinggal Cro-magnon

Lukisan yang dibuat *cro-magnon* menggambarkan kehidupannya, entah bagaimana *Cro-magnon* seakan tahu bahwa kelompoknya akan punah dan perlu menceritakan kepada kita mengenai bagaimana mereka hidup. *Cro-magnon* melukis gambar anak-anak, lelaki, perempuan, perempuan yang sedang hamil, hewan-hewan yang hidup berdampingan dengan mereka, bahkan prosesi pemakaman yang mereka lakukan sebagaimana *Homo neanderthalensis* lakukan. Alat-alat batu, senjata, hingga lukisan yang dibuat oleh *Cro-magnon* menunjukkan bahwa *Cro-magnon* bukanlah kelompok primitif sebagaimana kelompok-kelompok lain yang ditemukan sebelumnya. *Cro-magnon* menunjukkan kemajuan peradaban yang sangat pesat, bahkan beberapa ahli mengatakan bahwa *Cro-magnon* merupakan nenek moyang pelukis hebat di dunia seperti Da Vinci, Goya, dsb.

7. *Homo Sapiens*



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 4.107 Tengkorak *Homo sapiens* yang ditampilkan di Museum Purbakala Sangiran

Beberapa di antara kita mungkin pernah bertanya-tanya, bagaimana kita, *Homo sapiens*, muncul dan menyebar ke seluruh dunia? Mengapa kita dimasukkan dalam kelompok *Homo sapiens*?

Homo sapiens memiliki arti manusia yang bijaksana. Penamaan ini didasarkan atas kemampuan berpikir manusia yang jauh lebih maju dibandingkan semua makhluk hidup yang pernah atau tengah ada di dunia ini, di mana kemampuan berpikir ini membuat manusia dapat memanipulasi lingkungannya menjadi apa yang mereka inginkan. *Homo sapiens* merupakan spesies yang masuk dalam genus *Homo* yang merupakan satu-satunya spesies yang tidak mengalami kepunahan. Pemberi nama *Homo sapiens* adalah Linnaeus pada tahun 1785

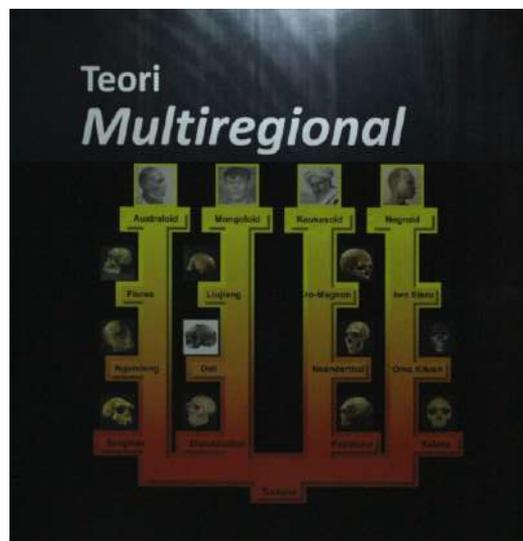
Penemuan fosil pertama *Homo sapiens* yang kemudian dilanjutkan dengan penelitian DNA membuktikan bahwa nenek moyang orang-orang Eropa dan Asia tergolong baru, di mana nenek moyang-nenek moyang ini adalah percabangan daru garis keturunan manusia Afrika. Bukti ini semakin diperkuat dengan hasil analisis DNA mitokondria dan kromosom Y dari anggota-anggota berbagai populasi di dunia yang hasilnya menunjukkan bahwa nenek moyang bersama seluruh manusia di dunia adalah *Homo sapiens* dari Afrika.

Persebaran *Homo sapiens*

Mengapa kita saat ini kita ketahui bahwa manusia tersebar diberbagai belahan dunia jika nenek moyang kita berasal dari Afrika? Bukankah berbagai negara terpisah satu sama lain bahkan ada yang dipisahkan oleh samudra? Pertanyaan ini dapat terjawab oleh dua teori dibawah ini:

1) Out of Africa theory atau Replacement Theory

Homo sapiens yang menyebar diberbagai daerah di seluruh dunia merupakan evolusi dari *Homo erectus* yang melakukan migrasi ke berbagai tempat kurang lebih 200.000-100.000 tahun lalu. *Homo erectus* melakukan perkembangan awal di Afrika kemudian keturunannya melakukan persebaran ke berbagai daerah. Keturunan *Homo erectus* ini kemudian berevolusi menjadi *Homo sapiens* dan menggantikan populasi yang telah ada sebelumnya. Teori ini didukung oleh bukti bahwa fosil-fosil yang menunjukkan bentuk peralihan dari *Homo erectus* menjadi *Homo sapiens* hanya ditemui di Afrika. *Homo sapiens* lain diluar Afrika hanya dianggap sebagai spesies terpisah yang kemudian punah dan digantikan oleh *Homo sapiens* asal Afrika. Dengan demikian, manusia modern termasuk kita merupakan *Homo sapiens* asal Afrika yang menggantikan *Homo sapiens* asli dari daerah yang kita tinggali saat ini.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 4.108 Multi regional theory merupakan teori yang menjelaskan munculnya berbagai macam kelompok manusia yang dikenal sabagai ras

2) *Multy regional theory*

Teori ini menjelaskan mengenai terbentuknya populasi *Homo sapiens* yang hidup hingga saat ini dikarenakan adanya perkawinan *Homo erectus* yang bermigrasi dengan *Homo erectus* asli daerah tersebut.

Model teori ini juga disebut sebagai 'kelangsungan regional' yaitu teori yang bertolak dari argumentasi bahwa terjadi proses evolusi secara terus menerus dari *Homo erectus* sejak awal Plestosen Bawah (1.8 juta tahun lalu) menuju pada perwujudan berbagai populasi manusia yang lebih modern berkat percampuran genetik yang tidak terputus. *Homo erectus* dianggap sebagai pendahulu dan akhirnya memberikan *Homo sapiens* di masing-masing lokasi penemuan.

Ras manusia

Setelah mengetahui bahwa nenek moyang kita berasal dari Afrika, kini kita dihadapkan dengan pertanyaan: mengapa tidak semua manusia di seluruh dunia menunjukkan ciri sebagaimana orang Afrika? Mengapa orang China bermata sipit sedang orang India bermata lebar? Mengapa orang Jawa berambut lurus sedangkan orang Papua berambut keriting? Perbedaan yang ada ini menunjukkan bahwa kelompok manusia tidak berhenti hanya pada tingkatan spesies *Homo sapiens*, tetapi mengerucut pada kelompok yang lebih kecil lagi yaitu pada tingkat subspecies yang disebut dengan istilah ras.

Ras berasal dari Bahasa Latin yaitu radix yang berarti akar. Secara lebih luas, **ras berarti suatu sistem klasifikasi yang digunakan untuk meng-kategorikan manusia dalam populasi atau kelompok besar dan berbeda melalui ciri fenotipe, asal-usul geografis, penampakan jasmani dan kesukuan yang terwarisi.**

Menambah wawasan yuk

Selain Out of Africa dan Multyregional theory, para ahli juga mengemukakan pendapat tentang asal-usul manusia. Yuk kita cari teori-teori itu dan saling melengkapi informasi dengan teman!

Gunakan smartphonemu untuk browsing ya!



Ras dapat terjadi karena adanya perbedaan proporsi gen yang signifikan antar organisme dalam populasinya. Ada lima faktor pembentuk ras:

1) Mutasi

Merupakan perubahan pada gen-gen manusia. Misalnya, jika orang tua berambut bergelombang, anak-anak mereka dapat saja berambut lurus, begitu juga dengan warna kulit.

2) Seleksi

Alam berlaku sebagai selektor, atau agen penyeleksi. Contohnya kelompok manusia yang hidup di daerah kutub lama kelamaan memiliki bentuk tubuh dan cara hidup yang menyesuaikan dengan keadaan kutub, manusia yang tidak mau atau tidak bisa beradaptasi akan mati karena tidak dapat bertahan hidup.

3) Adaptasi

Adaptasi adalah menyesuaikan diri dengan keadaan alam di sekelilingnya. Pengaruh lingkungan ini akan menimbulkan faktor yang penting terhadap pertumbuhan badan manusia, unsur-unsur dari lingkungan alam terutama iklim, tumbuhan, dan hewan.

4) Isolasi

Isolasi merupakan pemencilan/pengucilan. Sifat-sifat ras yang diperoleh melalui mutasi, seleksi dan adaptasi akan diturunkan dan diwariskan pada generasi berikutnya apabila kelompok tersebut mengalami isolasi.

5) Migrasi

Migrasi adalah perpindahan. Percampuran dengan ras-ras lain

atau lingkungan baru dapat menimbulkan sifat-sifat atau ciri-ciri jasmani baru, sehingga akhirnya akan menimbulkan ras yang baru.

Para ahli memiliki pandangan berbeda-beda mengenai pembagian ras, ada yang didasarkan atas penampakan fisik, tempat tinggal, kebiasaan, dsb. Secara umum, ras terbagi menjadi 4, yaitu:

1) Mongoloid

Ras mongoloid menunjukkan ciri fisik kulit yang putih, perawakan yang tidak tinggi tidak juga besar, serta mata yang kecil dan sipit. Orang-orang ras mongoloid menyebar di Asia dan Amerika. Bangsa yang termasuk dalam ras mongoloid diantaranya adalah bangsa:

- a) Asiatic Mongoloid (Asia Tengah, Asia Timur, dan Asia Utara)
- b) Malayan Mongoloid (Asia Tenggara, beberapa daerah di Indonesia, Malaysia, dan Filipina)
- c) American Mongoloid (orang-orang Eksimo di Amerika Utara dan Terra del Fugo di Amerika Selatan)

2) Kaukasoid

Umumnya orang-orang yang tergolong dalam ras ini memiliki kulit yang putih, mata berwarna biru, dan badan yang tinggi besar. Orang-orang yang termasuk dalam ras kaukasoid mendiami hampir seluruh wilayah Eropa. Bangsa yang termasuk dalam ras kaukasoid diantaranya bangsa:

- a) Nordic (Eropa utara)
- b) Alipine (Eropa tengah dan Eropa timur)
- c) Mediteran (negara-negara di sekitar Laut Tengah, Afrika Utara, Amerika, Armenis, Arab, dan Iran)



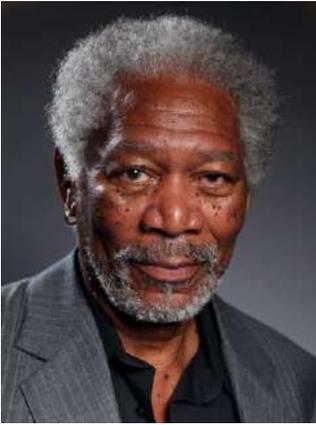
Sumber: Clifford Coonan,
hollywoodreporter.org

Gambar 4.109 Jackie Chan merupakan salah satu manusia dari ras Mongoloid tipe Asiatic Mongoloid



Sumber: hollywoodreporter.org

Gambar 4.110 Leonardo diCaprio merupakan salah satu manusia dari ras Kaukasoid tipe Mediteran



Sumber: holywoodreporter.org

Gambar 4.111 Morgan Freeman merupakan salah satu manusia dari ras Negroid tipe Negrito



Sumber: holywoodreporter.org

Gambar 4.112 Ras Ainu adalah ras yang diduga sebagai pribumi Jepang

3) Negroid

Orang-orang dengan ras Negroid dicirikan dengan kulit yang hitam dan rambut yang keriting. Negroid sebagian besar berasal dan mendominasi Afrika. Bangsa yang tergolong dalam ras ini diantaranya bangsa:

- a) African negroid (seluruh wilayah benua Afrika)
- b) Negrito (Afrika Tengah, Semenanjung Melayu, dan Filipina)
- c) Melanesian (Papua dan Melanesia)

4) Ras khusus

Ras khusus merupakan golongan/kelompok manusia yang tidak termasuk dalam tiga golongan ras yang telah disebutkan di atas dan memiliki cirinya sendiri. Kelompok ras khusus biasanya memiliki jumlah anggota yang lebih sedikit. Ras khusus umumnya terjadi karena perkawinan individu antar ras yang berbeda. Ras khusus antara lain:

- a) Ras Bushman, ras yang mendiami daerah Gurun Kalahari di Afrika Selatan
- b) Ras Vedoid, kelompok masyarakat yang mendiami daerah pedalaman Sri Lanka dan Sulawesi Selatan, Indonesia.
- c) Ras Australoid, ras yang merupakan penduduk asli negara Australia atau yang dikenal dengan bangsa Aborigin
- d) Ras Polynesia, ras yang mendiami daerah Kepulauan Melanesia dan Mikronesia.
- e) Ras Ainu, ras yang mendiami Pulau Kurofoto dan Hokkaido di Jepang.

2. Perbandingan Anatomi

Evolusi merupakan proses penurunan dengan modifikasi, artinya karakteristik dari nenek moyang diturunkan kepada keturunannya dengan perubahan sebagaimana kondisi alam yang dihadapi oleh keturunan tersebut. Oleh karena itu, spesies yang berkerabat bisa jadi memiliki kesamaan karakteristik yang mendasar meskipun memiliki fungsi yang berbeda. Pewarisan dengan modifikasi sangat jelas terlihat pada kemiripan anatomi antara spesies yang dikelompokkan ke dalam kategori taksonomi yang sama.

Kekerabatan suatu organisme ditentukan dengan kesamaan ciri yang dimiliki. Sejumlah kesamaan ciri sangat berarti dalam kajian evolusi. Hal ini karena ciri yang mirip dengan ciri yang dimiliki moyangnya menunjukkan bahwa organisme tadi berevolusi. **Kemiripan dalam ciri khusus yang dihasilkan dari leluhur yang sama disebut homologi**, dan tanda-tanda anatomis seperti itu disebut dengan struktur homolog.

Karakteristik homolog umumnya memiliki kesamaan genetik dan dasaran yang berkembang, meskipun karakteristik dasar ini telah mengalami perubahan besar pada tiap spesies. Menentukan apakah suatu bagian dari kedua makhluk hidup merupakan homologi tidaklah mudah. Kriteria yang paling mudah untuk menentukan karakteristik yang homolog antar dua organisme adalah dengan mencocokkan posisi pada tubuh dan struktur dari bagian tubuh yang dianggap homolog tadi.

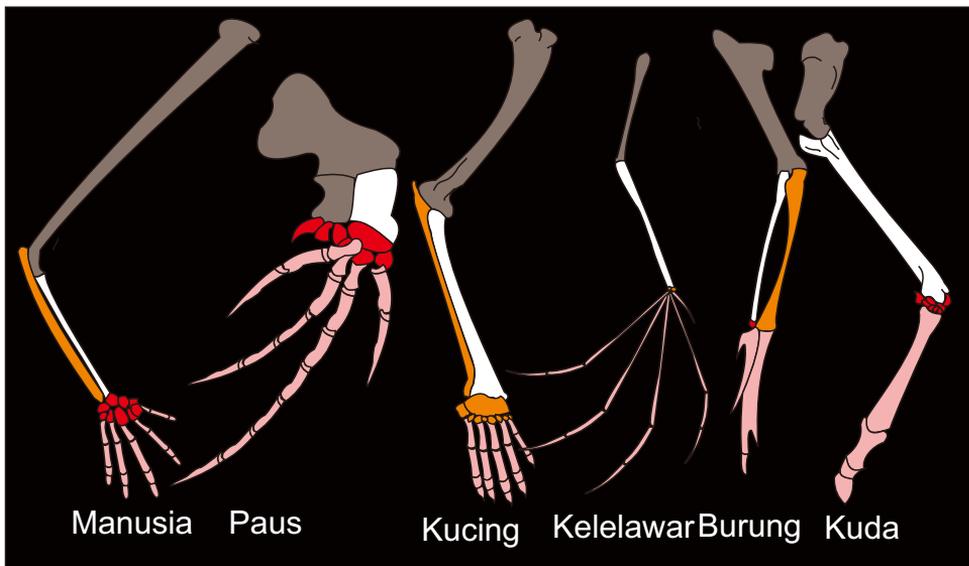
Akan tetapi kedua pendekatan ini tidak dapat dijadikan patokan utama apakah suatu bagian tubuh suatu organisme merupakan homologi dari bagian tubuh



organisme lain. Para ahli menyepakati bahwa penentuan struktur homolog akan valid apabila mempelajari struktur embriologi organisme yang bersangkutan.

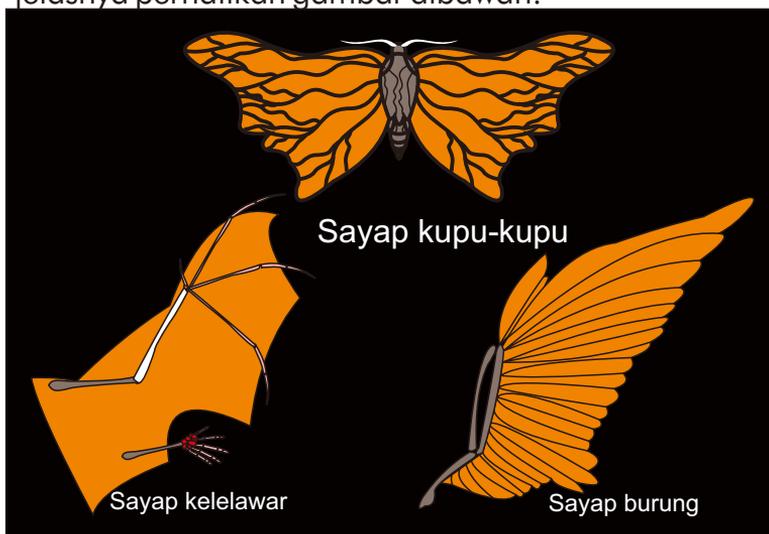
Misalnya untuk menentukan apakah kaki burung dengan kaki buaya merupakan struktur homolog dilakukan dengan melakukan penelitian pada kedua organisme ini saat mereka masih embrio. Hal ini dikarenakan tulang-tulang burung saat mereka dewasa kebanyakan mengalami fusi (menggabung) satu sama lain sehingga sulit dideteksi struktur awalnya.

Organ homologi menunjukkan kesamaan susunan struktur tetapi memiliki fungsi yang berlainan pada setiap spesies. Struktur yang sama merupakan 'hadiah' dari nenek moyang bersama sedangkan fungsi yang berlainan ini disebabkan oleh adaptasi yang dilakukan oleh spesies yang bersangkutan dengan kondisi habitat tinggalnya. Adaptasi yang dilakukan misalnya adaptasi untuk berenang atau adaptasi terbang. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar dibawah!



Gambar 4.113 Contoh homologi adalah pada struktur tulang penyusun tungkai depan (tangan) atau sayap pada manusia, kuda, kucing, kelelawar, burung dan paus. Warna yang sama pada tulang-tulang penyusun tungkai depan (tangan) atau sayap spesies-spesies tersebut menunjukkan posisi yang sama.

Beberapa organisme menunjukkan tingkah laku yang sama dengan penggunaan organ yang mirip. Organisme ini tidak bermoyang sama tetapi memiliki organ yang menunjukkan fungsi yang sama tetapi dilihat secara anatomis memiliki struktur yang berlainan. Ciri khusus ini disebut analogi, dan tanda-tanda anatomis seperti itu disebut dengan struktur **analog**. Fungsi yang sama pada organ dari spesies berlainan ini merupakan bentuk tanggapan terhadap kondisi lingkungan yang sama. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar dibawah!



Gambar 4.114 Contoh analogi adalah sayap kupu dengan sayap burung. Sayap kedua spesies ini memiliki fungsi yang sama yaitu untuk terbang, tetapi tidak memiliki struktur penyusun yang sama karena tidak memiliki hubungan evolusioner dan hubungan kekerabatan

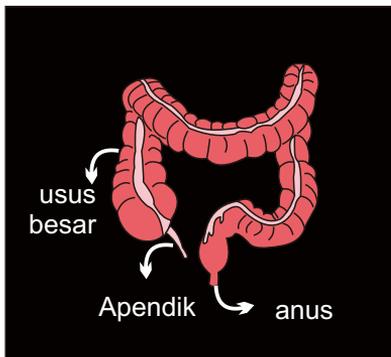
Homologi tidak hanya terjadi pada organ tubuh yang nampak secara kasat mata saja, tetapi juga terjadi pada tingkat molekuler. Bahasa genetika yang digunakan pada semua bentuk kehidupan adalah DNA dan RNA dengan kode genetik didalamnya yang bersifat universal, oleh karena itu beberapa spesies mungkin merupakan keturunan bersama dari satu nenek moyang. Homologi tingkat molekuler ini akan kita pelajari lebih lengkap dalam bab bukti evolusi poin selanjutnya yaitu mengenai perbandingan biokimia.

3. Alat Tubuh yang Tersisa

Organ yang tersisa dan dapat ditemui pada makhluk hidup yang saat ini dapat kita temui adalah salah satu petunjuk evolusi. Organ tubuh yang tersisa atau disebut sebagai *vestigial* merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan bagian tubuh suatu organisme yang diduga tidak mengalami perubahan sejak dimiliki nenek moyangnya hingga saat ini. Sejahter perkembangan ilmu pengetahuan, organ tadi tidak memiliki fungsi yang nyata, tetapi keberadaannya benar-benar ada. Gagasan organ vestigial pertama kali dikemukakan seabad yang lalu oleh R. Weidersheim. Contoh *vestigial* pada manusia adalah selaput mata bagian dalam, otot penggerak telinga, tulang ekor, gigi taring yang runcing, geraham ke tiga, rambut di dada, mammae pada laki-laki, serta *musculus piramidalis*.

Organ *vestigial* merupakan struktur homolog yang merupakan sisa historis dan memiliki fungsi penting pada moyang suatu organisme tetapi tidak lagi memiliki fungsi pada keturunannya dimasa sekarang. Organ *vestigial* mendukung konsep Lammarck mengenai *use dan disuse organ* serta merupakan bukti evolusi yang terjadi karena seleksi alam.

Perlu kita ingat kembali bahwa seleksi alam berlaku terhadap organ yang tidak memberi keuntungan (*disuse organ*) bagi suatu organisme. Suatu organ yang berguna pada individu pada suatu masa kehilangan fungsinya seiring dengan perubahan masa tadi tidak terjadi secara serta merta. Para ahli menjelaskan bahwa kehilangan fungsi bahkan mereduksinya struktur pada organ *vestigial* dikarenakan tubuh secara otomatis mengurangi asupan darah, zat-zat



Gambar 4.115 Umbai cacing adalah organ tinggalan nenek moyang yang masih ada hingga saat ini dan tidak diketahui pasti fungsinya

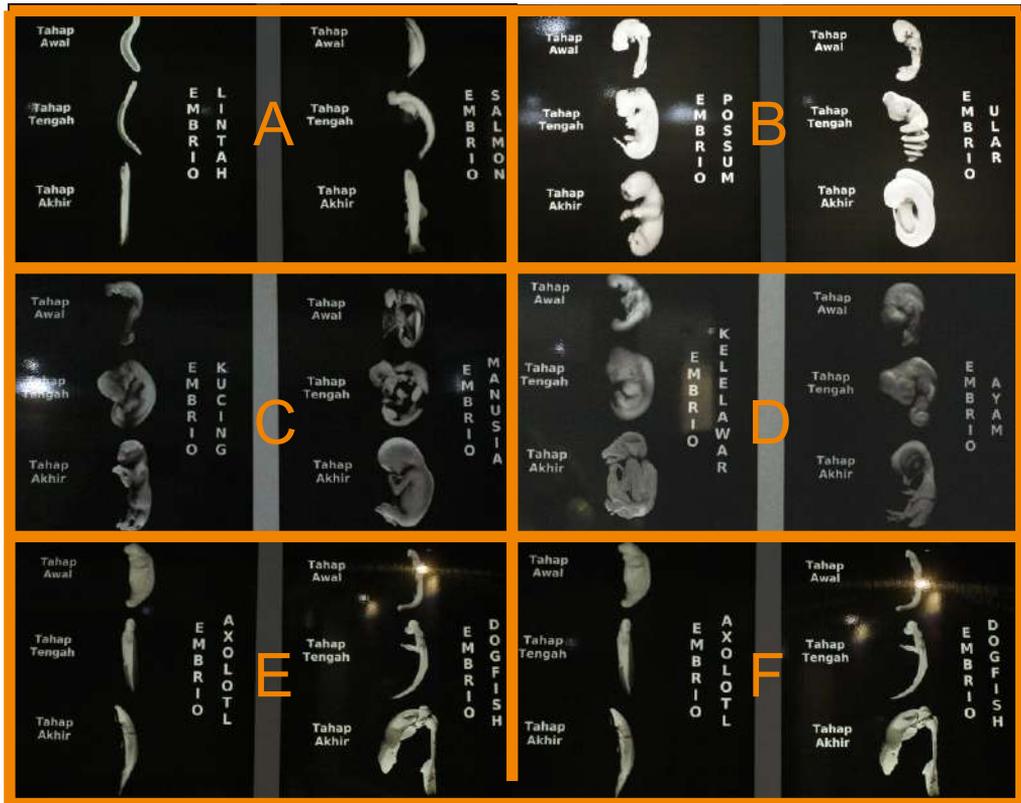
makanan, dan mempersempit ruang bagi organ yang tidak lagi memiliki fungsi penting. Akhirnya perubahan struktur (seperti adaptasi ekor sebagai suatu struktur pendorong utama dan reduksi tungkai belakang pada paus) melibatkan pola ekspresi gen selama perkembangan embrio. Karena berbagai proses yang terjadi pada perkembangan embrio mempengaruhi fungsi organisme dewasa, maka organisme itu sendiri merupakan pokok dari proses seleksi alam. Organ vestigial mewakili perubahan dalam perkembangan embrio organisme yang ditempa atau dibentuk oleh seleksi alam.

4. Perbandingan Embriologi

Ernst Haeckel adalah tokoh evolusi yang menunjukkan bukti evolusi berupa perbandingan perkembangan embriologi. Tahapan perkembangan organisme yang memiliki hubungan kekerabatan dekat akan menunjukkan kesamaan. Semua anggota vertebrata akan menunjukkan tahapan perkembangan embrio yang sama sebagaimana yang ditunjukkan pada anggota-anggota pada kelompok invertebrata. Perkembangan embrio melewati tahapan yang sama hingga akhirnya mencapai tahap terjadinya variasi yang akan membuat organisme tersebut memiliki ciri khas sehingga digolongkan dalam kelas tertentu. Pewarisan dengan modifikasi yang merupakan gagasan Darwin terbukti dengan ditelitinya tahapan perkembangan organisme. Pewarisan ditunjukkan dengan kesamaan tahapan perkembangan diawal-awal perkembangan embrio dan modifikasi ditunjukkan pada tahapan dimana embrio mulai menunjukkan kekhasan dengan mereduksi atau

mempertahankan struktur yang sama yang mereka miliki sejak awal perkembangan embrio.

Perhatikan gambar dibawah!



Sumber: brilio.net

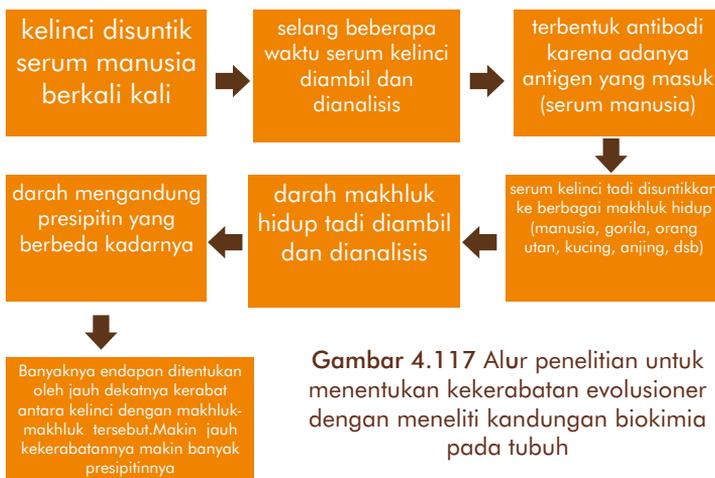
Gambar 4.116 Perbandingan embriologi antar dua spesies yang secara filogeni tidak memiliki hubungan kekerabatan yang dekat tetapi pada tahap tertentu perkembangannya menunjukkan kemiripan

5. Perbandingan biokimia

Bukti evolusi seiring berkembangnya ilmu pengetahuan tidak lagi ditunjukkan dengan hal yang bersifat 'fisik' atau nampak secara kasat mata. Genetika modern memberikan bukti kuat adanya evolusi, para ahli telah melakukan penelitian kandungan biokimia pada suatu organisme untuk membuktikan kebenaran teori evolusi.

Ahli biokimia melihat hubungan organisme terhadap nenek moyang mereka yang tercerminkan dalam DNA dan proteinnya (gen dan produk gen). Ahli biokimia membandingkan urutan asam amino dari protein yang ditemukan pada organisme yang berbeda. Urutan asam amino yang sama dalam protein suatu organisme yang berkerabat dekat umumnya sama. Apabila dua paragraf panjang yang berisi urutan protein pada dua individu berbeda memiliki perbedaan pada satu atau dua huruf di beberapa tempat, tentunya dapat disimpulkan bahwa kedua individu tadi berasal dari moyang sama. Demikian pula bagi organisme berkerabat jauh, urutan asam amino dari proteinnya memperlihatkan banyak perbedaan.

Contoh perbandingan biokimia untuk membuktikan evolusi adalah sebagaimana yang dilakukan oleh Natael yaitu Uji Presipitin. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengetahui tingkat kekerabatan berbagai organisme. Penelitian ini didasari oleh adanya presipitin atau endapan pada suatu reaksi antigen antibodi. Sedikit atau banyaknya endapan yang terbentuk dapat digunakan untuk menentukan jauh dekatnya kekerabatan organisme yang diuji. Percobaan dilakukan Natael terhadap kelinci.



Gambar 4.117 Alur penelitian untuk menentukan kekerabatan evolusioner dengan meneliti kandungan biokimia pada tubuh

Tabel 4.1 Data Kecenderungan Biokimia Mengenai Evolusi

Asal Serum	Organisme	Jumlah Presipitasi Reaksi
Primata	Manusia	100
	Gorila	64
	Orang Utan	42
	Baboon	29
Karnivora	Kucing	3
	Anjing	3
Ungulata	Banteng	10
	Kambing	7
	Kuda	2
	Babi Hutan	0
Rodentia	Marmut	0
	Kelinci	0

6. Biogeografi

Biogeografi merupakan distribusi geografis dari spesies. Bukti biogeografis menunjukkan persebaran spesies pada berbagai wilayah. Spesies yang tersebar ini terjadi karena adanya hanyutan benua (*continental drift*), yaitu pergerakan lambat benua di Bumi seiring waktu. Pada 250 juta tahun yang lalu, Bumi hanya terdiri atas air dengan satu benua besar bernama Pangea, yaitu superbenua yang terbentuk karena adanya pergerakan lambat daratan-daratan di Bumi. Superbenua Pangea mulai mengalami keretakan dan membelah 50 juta tahun kemudian sehingga membentuk dua superbenua yaitu Laurasia dan Gondwana. Laurasia dan Gondwana pada 20 juta tahun lalu juga mengalami pemecahan daratan lagi hingga kini kita dapat melihat adanya banyak benua di Bumi. Benua Asia, Amerika Utara dan Eropa adalah pecahan dari superbenua Laurasia, sedangkan superbenua Gondwana memecah menjadi benua yang ada di bagian selatan yaitu Afrika, Amerika Selatan, Australia, Antartika, Pulau Irian, Selandia Baru, Kaledonia Baru, Balkan, dan Madagaskar.

Letak fosil dapat diperkirakan dengan mempelajari hubungan evolusi dengan hanyutan benua. Para ahli membuat pohon evolusi berdasarkan pada data anatomis dari seluruh organisme yang telah berhasil diidentifikasi. Data anatomis ini dapat menunjukkan kekerabatan bagi spesies yang bisa jadi ditemukan di benua yang berbeda. Contohnya berdasarkan penelitian terhadap temuan fosil, kuda saat ini pertama kali muncul pada 5 juta tahun yang lalu di Amerika Utara. Tidak seperti saat ini, Amerika utara dan Amerika selatan

pada masa itu memang berdekatan tetapi tidak terhubung karena dibatasi oleh lautan. Oleh karena itu peneliti meyakini bahwa fosil tertua dari kuda pasti hanya akan ditemukan di Amerika Utara saja karena pada masa itu kuda tidak mungkin bisa berpindah dari Amerika Utara ke Amerika Selatan.

Penelitian mengenai persebaran hewan dan tumbuhan telah dimulai sejak tahun 1800-an oleh Wallace. Wallace menyebutkan suatu daerah geografi yang memiliki flora dan fauna yang khas umumnya tidak dimiliki oleh daerah geografi yang lain. Beberapa pulau-pulau memiliki tumbuhan dan hewan yang tidak dimiliki oleh pulau lain, organisme ini kemudian dikenal dengan sebutan endemik.

Suatu spesies dari pulau tertentu pasti memiliki kemiripan dengan spesies yang hidup di daratan utama wilayah tersebut. Suatu pulau mungkin memiliki kemiripan dengan pulau lain di benua yang berbeda, tetapi penghuni kedua pulau tersebut bukanlah organisme yang berkerabat dekat sebab organisme pulau tersebut lebih mirip dengan organisme daratan utama. Hal ini menunjukkan bahwa organisme pulau tadi merupakan spesies baru yang terbentuk karena organisme daratan induk melakukan adaptasi dengan lingkungan baru yaitu pulau tadi atau dengan kata lain peristiwa ini menunjukkan adanya spesiasi.



Sumber: Wikipedia

Gambar 4.118 Komodo dan koala adalah dua hewan yang endemik karena hanya dapat ditemui di habitat aslinya yaitu Pulau Komodo dan Australia

7. Domestikasi

Domestikasi adalah proses penjinakan makhluk hidup dari alam bebas menuju habitat terbatas. Habitat terbatas yang dimaksud adalah habitat yang dibuat oleh manusia dalam rangka membuat suatu organisme dapat memberi manfaat bagi manusia yang dapat menghilangkan sifat asli yang dimiliki saat hidup di alam liar. Pada buktinya, Darwin menjadikan bebek sebagai contoh: bebek liar selalu menggunakan sayapnya sebagai salah satu alat mobilitasi selain kakinya, sedangkan bebek yang telah didomestikasi dalam kandang dan lingkungan yang sempit maka kedua kaki bebek lebih sering digunakan daripada sayapnya. Kebiasaan bebek domestic untuk berjalan ini membuat tulang kaki lebih berat daripada tulang kaki bebek liar, serta tulang sayap yang lebih ringan daripada tulang sayap bebek liar. Kedua perbedaan ini menunjukkan porsi keterlibatan anggota tubuh yang berbeda pada dua individu bebek yang hidup dalam lingkungan domestikasi dan alam liar.

Domestikasi mengakibatkan terbentuknya jenis-jenis hewan atau tumbuhan baru yang menyimpang dari aslinya, yang mengarah kepada terbentuknya spesies baru. Peristiwa persilangan dari dua varietas tanaman/hewan sejenis juga dapat menyebabkan terbentuknya variasi baru yang berbeda dari induknya yang dapat menyebabkan terjadinya spesies baru.

Domestikasi pada tanaman juga berlaku sebagaimana yang berlaku pada hewan. Struktur pada bagian-bagian tanaman akan mengalami perubahan dari aslinya seiring dengan habitat baru yang ia tempati.

Misalnya pada pakis ditemukan daun-daun yang sangat berbeda pada varietas yang berbeda tetapi memiliki bunga yang sangat mirip. Contoh lain yang diungkapkan Darwin

adalah munculnya tunas-tunas pada tanaman yang didomestikasi yang sangat jarang ditemukan pada tanaman spesies yang sama di alam. Tunas-tunas ini muncul sebab perilaku domestikasi berupa cangkok, okulasi, dan sebagainya.

RANGKUMAN



Kebenaran terjadinya evolusi didukung oleh bukti-bukti yang telah ditemukan oleh ilmuwan. Bukti-bukti tersebut adalah:

1. Fossil
Fossil yang ditemukan oleh para arkeolog adalah fosil tumbuhan, hewan dan homini. Fossil maupun artefak yang ditemukan ini dapat digunakan untuk merekonstruksi kehidupan organisme yang bersangkutan pada masa lalu.
2. Perbandingan anatomi
Perbandingan anatomi merujuk pada struktur homologi dan analogi makhluk hidup. Homologi adalah kemiripan struktur karena kesamaan garis keturunan sedangkan analogi merupakan kemiripan struktur karena fungsi yang sama.
3. Alat tubuh yang tersisa
Alat tubuh yang tersisa merupakan alat tubuh yang diduga dimiliki oleh nenek moyang dan masih ada pada organisme yang bersangkutan yang masih hidup sampai saat ini
4. Perbandingan embriologi
Pada tahapan tertentu perkembangan embrio beberapa organisme menunjukkan kemiripan satu sama lain.
5. Perbandingan biokimia
Kandungan biokimia dalam DNA pada beberapa hewan memiliki kemiripan yang dapat menunjukkan hubungan kekerabatan
6. Biogeografi
Biogeografi menunjukkan persebaran spesies pada berbagai wilayah. Biogeografi memunculkan spesies di suatu wilayah yang tidak dapat ditemui di wilayah lain sehingga disebut spesies endemik.
7. Domestikasi
Domestikasi menunjukkan bahwa organisme yang diambil dari alam liar kemudian dikandangkan sifat-sifatnya dapat berubah dan mengalami modifikasi mengikuti lingkungan barunya. Domestikasi merupakan bukti proses adaptasi yang merupakan salah satu cara organisme berevolusi (lewat seleksi alam)



Tugas Mandiri

1. Salah satu bukti evolusi adalah perbandingan embriologi. Perbandingan embriologi menunjukkan bahwa ayam ternyata memiliki kekerabatan dengan kelelawar. Bagaimana alasan yang mendasari fakta tersebut?
2. Organ sisa tubuh manusia yang menunjukkan bukti peristiwa evolusi adalah umbai cacing, tulang ekor, rambut pada daun telinga dan sebagainya. Hewan moderen juga menunjukkan adanya organ sisa seperti mata yang dimiliki oleh ikan yang berhabitat di dasar laut yang gelap total. Bagaimana organ-organ tersebut pada organisme yang bersangkutan di masa lalu dapat muncul? Mengapa hingga saat ini masih ada meskipun tidak diketahui fungsinya?
3. Dapatkah kita menilai organ-organ pada beberapa hewan yang menunjukkan kemiripan sebagai organ yang homolog? Mengapa demikian?
4. Urutkan temuan fosil *hominin* yang ditemukan di Situs Sangiran! Dengan urutan tersebut, jelaskan secara sederhana perkembangan/evolusi dari *hominin-hominin* tadi menggunakan bahasa anda!



TES FORMATIF



Pilihlah satu jawaban yang tepat!

1. Darwin mengemukakan pendapatnya bahwa evolusi terjadi karena....
 - a. Adaptasi
 - b. Seleksi alam
 - c. Mutasi
 - d. Variasi genetik
 - e. Pengaruh lingkungan
2. Kesamaan teori Darwin dengan Lamarck adalah mengenai....
 - a. Seleksi alam
 - b. Pewarisan sifat yang diturunkan
 - c. Perubahan genetik
 - d. Adaptasi terhadap lingkungan
 - e. Perubahan yang dimodifikasi
3. Tokoh pendukung evolusi adalah....
 - a. Charles Darwin dan Malthus
 - b. Cuvier dan Richard Dawkins
 - c. Harun Yahya dan Weismann
 - d. Linnaeus dan Lamarck
 - e. Weisman dan Scott V. Edwards
4. Perhatikan beberapa pernyataan yang mendukung teori Evolusi.
 - 1) Tikus berekor panjang dipotong ekornya beberapa generasi ekornya tetap panjang.
 - 2) Perubahan suatu organisme disebabkan adanya perubahan faktor dalam yang menurun.
 - 3) Mutasi merupakan salah satu mekanisme dalam evolusi.
 - 4) Proses evolusi merupakan perubahan yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan.
 - 5) Jerapah berleher pendek menjadi jerapah berleher panjang.Pernyataan yang mendukung teori Evolusi Lamarck adalah ..
 - a. 1) dan 2)
 - b. 3) dan 5)
 - c. 1) dan 4)
 - d. 4) dan 5)
 - e. 2) dan 3)
5. Pernyataan yang mendukung teori evolusi....
 - a. Semua sifat yang dimiliki induk diwariskan



- b. Susunan gen pada setiap spesies bersifat tetap
 - c. Spesies terkuat adalah yang dapat lolos seleksi alam
 - d. Mutasi bersifat alami dan umumnya merugikan
 - e. Evolusi merupakan peristiwa bertahap yang berlangsung lama
6. Fakta yang mendasari pernyataan Darwin tentang evolusi terjadi karena seleksi alam adalah
- a. kelangsungan hidup yang bervariasi
 - b. suatu populasi organisme yang stabil tidak mengalami perubahan
 - c. kekuatan-kekuatan lingkungan menyebabkan perubahan struktur tubuh secara bertahap
 - d. suatu populasi organisme dapat bertahan hidup jika mampu beradaptasi dengan lingkungan
 - e. pewarisan sifat individu dipengaruhi oleh faktor lingkungan
7. Faktor yang memengaruhi mikroevolusi adalah....
- a. Adaptasi dan mutasi
 - b. Mutasi dan rekombinasi genetik
 - c. Gene flow dan adaptasi
 - d. Seleksi alam dan genetic drift
 - e. Seleksi alam dan adaptasi
8. Mutasi tidak selamanya diwariskan karena....
- a. Mutasi yang diturunkan hanya pada sel kelamin
 - b. Mutasi yang diturunkan hanya pada sel tubuh
 - c. Mutasi kemungkinan besar menurunkan
 - d. Mutasi berpeluang kecil diturunkan
 - e. Mutasi hilang seiring dewasanya individu
9. Apabila frekuensi gen pada lingkungan gen suatu populasi bersifat tetap, maka dalam populasi....
- a. terjadi migrasi
 - b. terjadi perkawinan tidak acak
 - c. terjadi mutasi
 - d. terjadi evolusi
 - e. tidak terjadi evolusi
10. Faktor penting terjadinya Hukum Hardy-Weinberg adalah....
- a. Populasi berukuran kecil dan perkawinan acak
 - b. Adanya migrasi spesies dan populasi besar
 - c. Perkawinan acak dan tidak ada mutasi

- d. Tidak terjadi mutasi dan populasi kecil
- e. Populasi besar dan terjadi mutasi
11. Dari suatu survey pada 500 orang laki-laki di suatu daerah, 20 orang menderita hemofilia. Frekuensi gen normal dalam populasi tersebut adalah....
- 0.04
 - 0.02
 - 0.08
 - 0.96
 - 0.48
12. Spesiasi yang terjadi karena adanya hambatan geografis adalah spesiasi....
- Simpatrik
 - Parapatric
 - Peripatrik
 - Habitat
 - alopatrik
13. Dua individu ular dari spesies yang sama hidup di suatu daerah yang sama. Akan tetapi salah satu berhabitat di dalam air dan yang lain hidup di darat. Isolasi seperti ini disebut....
- Isolasi habitat
 - Isolasi temporal
 - Isolasi mekanik
 - Isolasi perilaku
 - Isolasi reproduksi
14. Nenek moyang tumbuhan adalah....
- Charophyta*
 - Cnidaria*
 - Chlorophyta*
 - Pteridophyta*
 - Edikara*
15. *Elephas* merupakan kelompok gajah yang hidup saat ini. Beberapa tahun lalu ditemukan fosil gajah yang mirip dengan ciri gajah masa kini. Kemiripan ini menunjukkan bahwa....
- Kemiripan gajah purba dan gajah saat ini adalah kebetulan
 - Fosil yang ditemukan sebenarnya kerangka gajah saat ini
 - Gajah purba mengalami evolusi menjadi gajah saat ini
 - Fosil dan gajah masa kini sebenarnya hanya memiliki sedikit kemiripan
 - Gajah saat ini sebenarnya sudah hidup sejak dahulu kala
16. Populasi *Biston betularia* sesudah revolusi industri
- yang bersayap cerah populasinya lebih besar daripada yang bersayap gelap
 - yang bersayap gelap populasinya tetap
 - yang bersayap gelap populasinya lebih kecil dibanding yang bersayap cerah



- d. yang bersayap cerah populasinya tetap
- e. yang bersayap cerah populasinya lebih kecil daripada yang bersayap gelap

17. Organ-organ tubuh berikut memiliki fungsi serta bentuk asal tertentu.

- 1) Tangan manusia
- 2) Kaki depan pesut
- 3) Sayap burung
- 4) Sirip dada ikan
- 5) Sayap serangga

Di antaranya ada homolog dan ada yang analog, pernyataan yang benar adalah....

- a. 1 dan 3 homolog; 3 dan 4 analog
- b. 1 dan 4 homolog; 3 dan 5 analog
- c. 1 dan 2 homolog; 4 dan 5 analog
- d. 2 dan 5 homolog; 1 dan 4 analog
- e. 3 dan 5 homolog; 2 dan 4 analog

18. Penemu manusia purba pertama di Indonesia adalah....

- a. Van Es
- b. Toto Marsono
- c. Koeningswald
- d. Eugene Dubois
- e. Darwin

19. *Homo sapiens* pertama kali yang ditemukan di Indonesia adalah di....

- a. Sangiran
- b. Wajak
- c. Bengawan Solo

- d. Gilimanuk
- e. Plawangan

20. Perbandingan embriologi yang paling menunjukkan kemiripan adalah....

- a. Tahap tengah embrio ayam dan kelelawar
- b. Tahap akhir embrio kucing dengan embrio ular
- c. Tahap tengah embrio manusia dengan embrio dogfish
- d. Tahap awal embrio lintah dengan embrio ular
- e. Tahap akhir embri axolotl dengan embrio salmon



B Jawablah pertanyaan berikut!

1. Bagaimanakah pandangan Lamarck dan Darwin mengenai evolusi jerapah? Menurut anda, manakah pandangan yang benar dan sesuai dengan konsep evolusi?
2. Anda telah mengetahui berbagai pandangan ahli mengenai evolusi, macam mekanisme evolusi, bagaimana spesies dapat terbentuk, serta bukti-bukti evolusi. Jelaskan peristiwa evolusi berdasarkan pemahaman yang telah anda miliki! Bandingkan dengan pemahaman yang telah anda ungkapkan sebelum mempelajari modul ini!
3. Suatu daerah terdapat 900 laki-laki yang buta warna dari 10.000 penduduk yang ada. Hitunglah presentase serta jumlah wanita buta warna dan wanita pembawa sifat buta warna (*carrier*)!
4. Bagaimanakah seleksi alam, *gene flow*, genetic drift, dan mutasi dapat mempengaruhi frekuensi alel pada *gene pool*?
5. Bagaimanakah Hukum Hardy-Weinberg dapat mendeteksi suatu populasi mengalami evolusi atau tidak?
6. Dari bab 'Tentang Sangiran' kita telah mempelajari macam lapisan tanah yang ada di Sangiran, serta pada bab bukti evolusi kita telah mempelajari fosil-fosil yang ditemukan di Sangiran. Buatlah alur sederhana evolusi lingkungan beserta makhluk hidup yang pernah hidup di Sangiran dari masa ke masa!
7. Simpanse merupakan hewan yang cerdas. Simpanse mampu bermain musik, menari, berpakaian dan berjalan dengan dua tungkai belakang seperti manusia. Pada beberapa kasus simpanse sakit, dokter memberikan obat yang biasa dikonsumsi manusia dan ternyata simpanse tadi sembuh. Fakta-fakta yang telah disebutkan menunjukkan bahwa simpanse mirip dengan manusia. Setujukan anda apabila simpanse merupakan kerabat dekat manusia? Bagaimana apabila simpanse dikelompokkan dalam kelompok taksonomi yang sama dengan manusia? Sampaikan pendapat anda menggunakan pengetahuan yang telah anda pelajari sebagai landasan berpikir!
8. *Homo erectus* merupakan hominin yang berasal dari Afrika dan diyakini merupakan nenek moyang manusia modern. Mengapa manusia modern kini tidak hanya ditemukan di Afrika bahkan mendiami hampir seluruh belahan dunia?
9. Jelaskan alasan Sangiran 17 merupakan temuan yang paling berharga bagi kajian evolusi!
10. Jelaskan alasan perbandingan embriologi dapat menjadi bukti evolusi!

EKSKAVASI DI SITUS SANGIRAN



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5. 1 Ilustrasi kegiatan ekskavasi yang dilakukan oleh Museum Purbakala Sangiran

Fosil tertanam dalam tanah, tidak tergeletak di permukaan seperti bebatuan. Menemukan fosil tidak sesederhana menggali lubang pada tanah secara acak. Keberadaan fosil jauh di dalam tanah, bahkan bisa jauh berlapis-lapis dari permukaan tanah. Beberapa hal memungkinkan fosil untuk mudah ditemukan, salah satunya adalah terkikisnya lapisan tanah yang menutupi fosil oleh faktor alam sebagaimana yang terjadi pada kubah Sangiran.

Ekskavasi merupakan kegiatan penggalian tanah untuk mengambil fosil yang ada di dalamnya yang dilakukan secara sistematis, terkendali, dan terdokumentasi. Terdapat dua alasan dilakukannya ekskavasi pada Situs Sangiran, yaitu penggalian untuk melakukan penyelamatan fosil, penggalian yang dilakukan dalam tujuan penelitian untuk menemukan fosil dan penelitian lain yang terkait.

Kegiatan penyelamatan yang dilakukan oleh Museum Purbakala Sangiran adalah penyelamatan terhadap fosil yang masih tertanam dalam tanah dan ditemukan secara tidak sengaja saat tengah menggarap sawah atau saat berkegiatan lain. Ekskavasi kemudian dilakukan oleh pihak museum di lokasi tersebut. Selanjutnya penyelamatan juga dilakukan dengan 'menjemput' fosil yang berada di

rumah warga karena telah diambil warga dari tanah, atau di tempat lain di mana fosil berhasil diamankan dari kegiatan jual beli fosil yang ilegal. Penyelamatan dilakukan sejak fosil ditemukan pertama kali di Sangiran ataupun dari kegiatan menjual fosil kepada pembeli asing (luar negeri) yang dilakukan oleh oknum tidak bertanggung jawab di pasar gelap.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

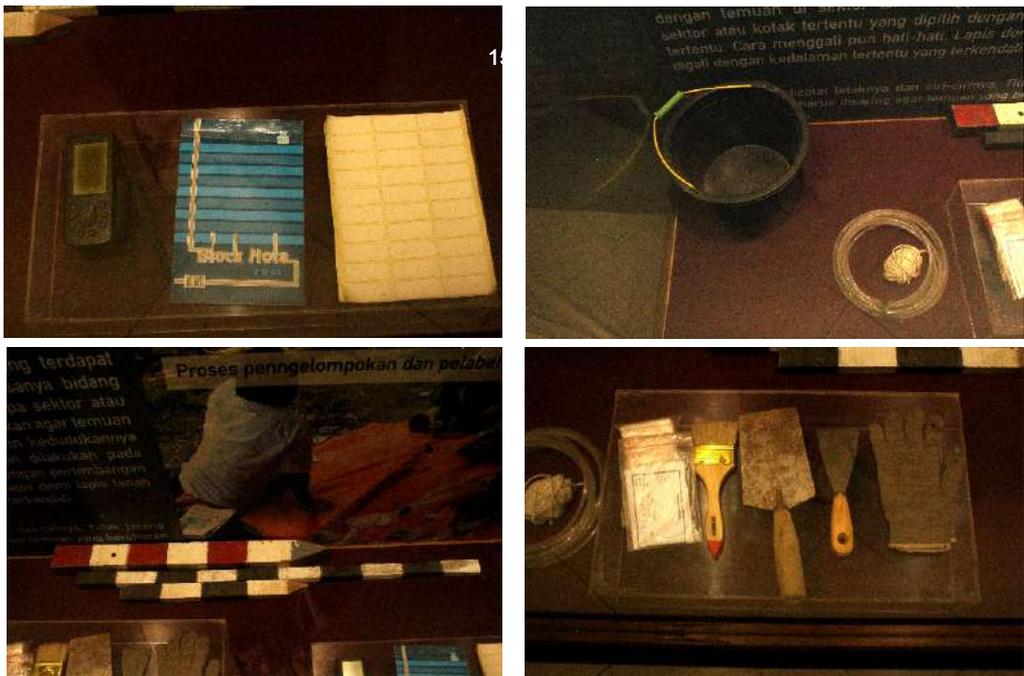
Gambar 5. 2 Ilustrasi penentuan lokasi ekskavasi yang dilakukan oleh Museum Purbakala Sangiran

Sebagaimana yang dilakukan Koeningswald saat melakukan pencarian fosil, hingga saat ini Museum Purbakala Sangiran menggunakan masyarakat sebagai informan utama di mana fosil dapat ditemukan. Hal ini dikarenakan masyarakat Sangiran yang kebanyakan berprofesi sebagai petani inilah yang bersinggungan langsung dengan media melekatnya fosil, yaitu tanah. Ekskavasi yang berkaitan dengan kegiatan penelitian biasanya dilakukan pada daerah di mana sebelumnya pernah ditemukan

fosil.

Kegiatan ekskavasi yang dilakukan bukan karena penyelamatan umumnya atas dasar penelitian yang memang direncanakan untuk dilakukan. Situs Sangiran memiliki banyak data dan rekam jejak dari peneliti yang melakukan kegiatan penelitian pada waktu-waktu sebelumnya. Proses ekskavasi non-penyelamatan diawali dengan penentuan lokasi ekskavasi. Lokasi ditentukan dengan beberapa kriteria, yaitu yang pertama pada area ekskavasi sering ditemukan tinggalan masa silam, kedua di area lokasi pernah dilakukan ekskavasi sebelumnya dan menemukan tinggalan masa silam, ketiga jenis lapisan tanah lokasi merupakan jenis lapisan tanah yang banyak mengandung tinggalan masa silam, dan yang terakhir di permukaan arela lokasi telah tampak/muncul tinggalan masa silam yang diinginkan.

Kegiatan ekskavasi oleh Museum Purbakala Sangiran diawali dengan menyiapkan personil dan alat-alat. Personil terdiri atas arkeolog sebagai pemimpin tim, ahli biologi, ahli geologi, serta orang-orang lain baik pegawai museum, relawan, maupun masyarakat sekitar. Alat-alat yang dibutuhkan diantaranya adalah GPS, kompas, cangkul, sabit, sudip kayu, kuas, rafia, dan *total station*.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5. 3 Alat-alat yang digunakan untuk kegiatan ekskavasi yang dilakukan oleh

Titik galian ekskavasi dibuat dengan ukuran sesuai kebutuhan, misalnya berbentuk kotak 2X2 (grid), parit, atau terasiring apabila tanahnya bergelombang. Pada sistem grid, kotakan ekskavasi diberi nama berdasarkan pada urutan kotak diantara kotak-kotak ekskavasi yang ada di lokasi tersebut dan di dasarnya pada sistem tata letak yang di pakai. Perhatikan gambar di bawah!

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5. 4

Penggalian sistem terasisring dilakukan pada lokasi ekskavasi yang miring seperti dipinggir jurang



**TP/SNG/2
015/P**

Keterangan:

- TP : nama kotak
- SNG : lokasi ekskavasi
- 2015 : tahun ekskavasi

	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4					

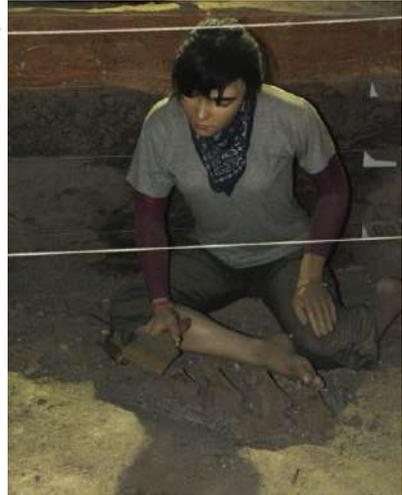
Warna merah adalah posisi kotak c3 dalam tata letak ekskavasi yang menggunakan sistem grid

Pendokumentasian permukaan ekskavasi merupakan hal yang penting. Pendokumentasian dilakukan dengan pengukuran ketinggian permukaan, pemotretan, serta pengambilan video. Kotak ekskavasi didokumentasikan salah satunya dengan pemberian label yang mengandung informasi nama kotak ekskavasi, lokasi ekskavasi, tahun ekskavasi, dan nama permukaan.

Apabila sudah ditentukan bentuk galian, dilakukan penggalian. Penggalian dilakukan dengan dua cara, cara yang pertama bernama sistem spit, yaitu menggali sedikit demi sedikit misalnya 10 cm. Galian dipastikan memiliki kedalaman yang sama rata diseluruh bagian kotakan, kemudian galian diperdalam berapa senti hingga fosil tersingkap secara utuh. Penggalian bertahap ini dilakukan untuk meminimalisir kerusakan pada fosil akibat terkena alat penggali. Apabila dalam proses penggalian bertahap fosil mulai tersingkap sedikit, selanjutnya fosil disapu dengan kuas untuk mengikuti alur bentuk fosil sehingga penggalian selanjutnya dapat dilakukan dengan lebih mudah.

Cara penggalian kedua adalah sistem layer yaitu dengan mengikuti kedalaman setiap lapisan tanah. Langkah pertama adalah membuat sayatan vertikal untuk mengetahui lapisan tanah pada lokasi galian kemudian mulai menggali per lapisan tanah. Cara ini membuat kedalaman galian berbeda-beda dalam satu kotakan karena lapisan tanah mungkin saja bergelombang. Penggalian menurut lapisan tanah dapat menunjukkan pada lapisan mana fosil ditemukan sehingga dapat memperkirakan pada masa apa pemilik fosil yang bersangkutan hidup.

Selama melakukan penggalian kotak, anggota tim lain dapat melakukan pemetaan terhadap lokasi dan situasi di lingkungan kotak-kotak digali. Dari pemetaan ini nantinya didapatkan gambar peta lokasi ekskavasi, peta keletaan kotak-kotak ekskavasi, dan peta yang menggambarkan kondisi geografis lingkungan lokasi kotak ekskavasi. Pemetaan dilakukan menggunakan alat ukur yang disebut *Total Station*.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5. 5 Ilustrasi pembersihan fosil yang mulai tersingkap menggunakan kuas



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5. 6 Polyuretan yang digunakan untuk menjaga fosil agar tidak semakin hancur karena

Fosil yang telah tersingkap dari tanah yang menutupi kemudian diteliti oleh tim sebelum diangkat, apakah fosil tersebut dalam keadaan kokoh dan kuat untuk diangkat atau rapuh dan tidak memungkinkan diangkat begitu saja karena akan hancur. Apabila fosil dalam keadaan kuat, maka fosil diangkat dari lubang ekskavasi dan dibawa ke laboratorium untuk diteliti lebih lanjut. Akan tetapi apabila fosil rapuh atau retak, maka tim harus memperkuat fosil tersebut sehingga bisa diangkat dari tanah.

Penguatan fosil yang retak atau rapuh yang dilakukan di lapangan secara sederhana adalah dengan memberikan lem penguat. Tetapi apabila dirasa pemberian lem tidak cukup efektif maka ada dua cara untuk memperkuat fosil, yaitu dengan gypsum atau bahan kimia. Fosil yang berukuran besar diperkuat dengan pemberian gypsum, saat gypsum sudah mengering fosil dibawa ke laboratorium. Akan tetapi penggunaan gypsum terkadang tidak efektif dikarenakan gypsum akan menjadi berat saat kering sehingga justru membuat beban bagi fosil dan dapat membuat fosil malah semakin retak. Apabila fosil berukuran kecil dan rapuh, serta untuk menggantikan gypsum maka tim menggunakan bahan kimia bernama polyuretan. Polyuretan bersifat cair sehingga dapat masuk ke sela-sela pecahan fosil tetapi saat terkena udara akan cepat dingin dan segera mengeras dengan tekstur seperti busa tetapi padat dan ringan. Perlu diperhatikan bahwa sebelum pemberian gypsum maupun polyuretan, fosil harus dipastikan dalam keadaan bersih dari pasir yang dapat menghambat penempelan dua bahan tadi dengan fosil.

Beberapa fosil atau temuan masa silam tidak berukuran besar. Terkadang berupa serpihan saja tetapi berharga. Untuk mendapatkan serpihan tadi maka dilakukan

kegiatan pengayakan tanah hasil galian menggunakan alat pengayak pasir khusus. Sehingga serpihan fosil dapat tersaring dan diambil dengan lebih mudah.

Ekskavasi tidak memiliki batasan waktu yang baku. Apabila tidak mungkin untuk menyelesaikan ekskavasi dalam satu hari karena fosil yang berukuran besar, kondisi alam seperti hujan dan kondisi tempat temuan yang tidak strategis, atau karena hari terlalu larut malam maka ekskavasi dapat dilanjutkan pada hari setelahnya. Untuk menghindari kerusakan daerah galian maka tim akan memberi penanda seperti membuat palang informasi tengah diadakan galian serta mengelilingi kotakan dengan rafia sehingga area kotakan tidak dimasuki orang selain tim. Apabila fosil sempat tersingkap sedikit tetapi ekskavasi harus tertunda, maka fosil tadi dilindungi dari gangguan eksternal (angin, air, hewan, dll) dengan memberikan gypsum atau polyuretan untuk menutup permukaan fosil.

Kegiatan ekskavasi yang telah selesai dengan diangkatnya fosil maupun artefak dari dalam tanah akan menyisakan lubang galian. Bekas galian ini tidak ditinggalkan begitu saja oleh tim karena merusak lingkungan. Apabila fosil ditemukan di lahan warga, maka pihak Museum Purbakala Sangiran akan membuat kesepakatan dengan warga yang bersangkutan mengenai lahan tersebut.

Apabila lahan digunakan warga untuk bertani, maka keberadaan lubang akan menggangu sehingga lubang akan ditutup dan diratakan lagi dengan tanah. Oleh karena tidak semua lubang galian dapat dipertahankan dalam keadaan terbuka untuk penelitian selanjutnya yang mungkin akan dilakukan lagi, maka dokumentasi selama kegiatan ekskavasi merupakan hal yang sangat penting.

Dokumentasi meliputi dokumentasi kondisi lokasi dan kegiatan. Dokumentasi



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5. 7 Ilustrasi pengayakahn pasir/tanah yang mengandung fosil yan berukuran kecil

Lokasi sebelum penggalian dan setelah penggalian harus didokumentasikan, juga kegiatan yang dilakukan diantaranya seperti proses penggalian, pemberian gypsum atau polyuretan, pembersihan fosil, pengangkatan fosil dll. Pencatatan yang dilakukan berupa pencatatan lokasi temuan fosil secara geografis (alamat lokasi) dan astronomis (titik koordinat). Pencatatan ini sangat berguna selain untuk kelengkapan data fosil, juga untuk kegiatan galian selanjutnya apabila akan dilakukan penelitian lagi di lokasi yang sama.

Pengembangan Pengetahuan



Kerjakan soal-soal dibawah secara mandiri untuk mengembangkan pengetahuanmu!

1. Dengan diagram alir, coba tulis kembali alur kegiatan ekskavasi!
2. Teknik penggalian yang biasa dilakukan di Situs Sangiran ada dua yaitu teknik layer dan spit, menurut anda teknik manakah yang paling efektif digunakan? Mengapa?
3. Pentingkah dilakukannya penelitian mengenai fosil, artefak, maupun tinggalan masa lalu dari aspek sosial dan aspek pengetahuan khususnya biologi? Kemukakan pendapat anda!

LABORATORIUM DAN RUANG PENYIMPANAN SITUS SANGIRAN



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5.6 Rak pada storage atau ruang penyimpanan di Museum Purbakala Sangiran klaster Krikilan

Sebagai unit pelestarian dan konservasi manusia purba dan peninggalan masa silam, Museum Purbakala Sangiran memiliki laboratorium dan storage khusus untuk merawat fosil maupun artefak yang telah ditemukan. Ekskavasi adalah kegiatan lapangan sebagai pembuka, sedangkan kegiatan di dalam laboratorium merupakan kelanjutan kegiatan pelestarian dan konservasi fosil.

Kegiatan laboratorium bisa dikatakan diawali saat fosil datang untuk pertama kalinya ke Museum Purbakala Sangiran, baik fosil hasil penyelamatan dengan melakukan ekskavasi maupun fosil hasil penyelamatan dari rumah warga. Beberapa kegiatan yang dilakukan di laboratorium Sangiran adalah sebagai berikut:

1. Membersihkan fosil

Fosil yang baru masuk ke lab akan segera diidentifikasi secara sederhana sehingga diketahui informasi terkait fosil tersebut. Identifikasi awal ini mencakup nama penemu, alamat dan lokasi temuan, tanggal penemuan, tanggal penyerahan, dan status penemuan

Fosil yang baru datang biasanya masih ditempeli oleh tanah tempat fosil tersebut ditemukan. Fosil terlebih dahulu didiamkan untuk menghilangkan kotoran atau tanah yang menempel serta mengeringkan fosil yang biasanya lembab karena tertanam dalam tanah secara alami dengan angin. Setelah dirasa fosil sudah kering dan cukup dianginkan, maka fosil kemudian dibersihkan dari tanah yang melekat menggunakan kuas.

Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5.8 Form identifikasi fosil yang baru datang ke laboratorium



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5.9 Fosil dibersihkan dari sedimen yang menempel dengan kuas



Beberapa fosil yang telah dilapisi gypsum atau polyuretan sejak di lapangan dibersihkan dengan menghilangkan kedua bahan yang menempel tadi. Polyuretan yang mengeras dipotong menggunakan gergaji kecil dengan hati-hati untuk memisahkan dengan fosil.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 5.10 Fosil dibersihkan dari dari polyuretan menggunakan gergaji kecil

2. Memperkuat fosil

Fosil yang berumur ribuan bahkan jutaan tahun mungkin datang ke laboratorium dalam keadaan rapuh, patah, atau berongga pada bagian yang tidak semestinya. Saat di lapangan fosil dikuatkan dengan bantuan polyuretan, tetapi saat polyuretan dilepas di laboratorium fosil akan kembali menunjukkan kerapuhannya. Oleh karena itu, fosil dikuatkan dengan disirami cairan polaroid. Cairan polaroid ini akan masuk ke sela-sela fosil yang retak dan berongga untuk merekatkan fosil dan membuat fosil lebih padat.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 5.11 Pengukuran panjang, lebar, maupun diameter fosil



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran
Gambar 5.12 Label berisi identifikasi yang lebih rinci mengenai fosil yang bersangkutan

3. Identifikasi fosil

Fosil yang dibawa ke museum sebagai hasil penyelamatan dari rumah warga mengawali perjalanan pelestarian dan konservasi pada tahapan ini. Fosil yang sudah bersih dan cukup kuat diidentifikasi oleh ahli biologi jenisnya. Hasil identifikasi dan data lain yang berkaitan dengan fosil seperti info penemu, jenis fosil, *in situ* atau tidak, sedimen yang melekat pada fosil, tanggal waktu penyerahan dll ditulis pada kertas dan diletakkan pada bak yang sama dengan fosil yang bersangkutan.

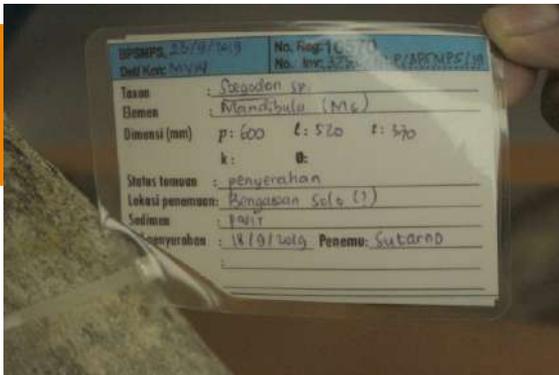
Identifikasi juga termasuk mengukur panjang, lebar, maupun diameter pada fosil. Alat ukur yang digunakan adalah penggaris, skala ukur, jangka sorong, meteran kain dan alat ukur lain yang relevan.

Umur fosil juga ditentukan pada saat identifikasi. Ada dua cara pengukuran umur pada fosil, yaitu secara relatif dan absolut. Museum Purbakala Sangiran menggunakan penanggalan relative untuk menentukan umur dari fosil yang ditemukan. Penanggalan relatif didasarkan pada tanah atau sedimen yang menempel pada fosil. Umur lapisan tanah yang telah diketahui digunakan untuk menentukan umur fosil yang terkandung di dalamnya.

4. Inventarisasi fosil

Bagian fosil yang rata dan halus diberi *tip-x* sebagai dasaran untuk menuliskan kode inventarisasi dengan spidol. Selanjutnya agar kode tersebut tidak hilang karena tersentuh tangan makan dilapisi dengan cat kuku transparan. Kode inventaris juga dituliskan pada kertas label beserta keterangan lain. Label serta identifikasi

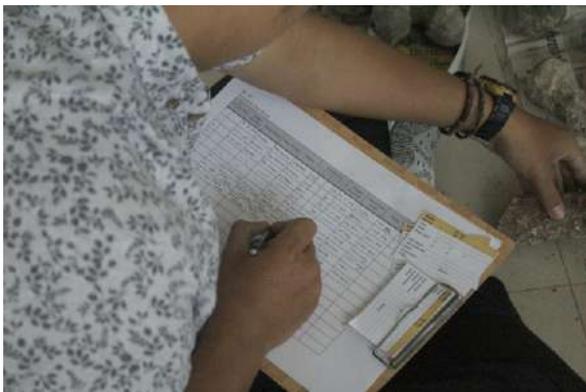
direkatkan menjadi satu dan dilaminating, kemudian diikatkan pada fosil. Inventarisasi didasarkan atas kesamaan famili dari fosil yang didapat dengan fosil-fosil lain yang telah ditemukan sebelumnya.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5.13 Label inventarisasi fosil yang direkatkan bersama label identifikasi kemudian diikat pada fosil

Kode inven yang ditulis difosil memiliki tujuan apabila label identifikasi hilang, maka kita tidak perlu mengidentifikasi ulang fosil tersebut tetapi hanya perlu mencocokkan kode yang tertulis dengan buku inven. Pada buku inven setiap kode inventaris menyertakan keterangan fosil dengan selengkap-lengkapny.



Sumber: Nur Aini, Museum Purbakala Sangiran

Gambar 5.14 Nomer inventarisasi dituliskan dalam buku inven

5. Storage atau ruang penyimpanan dan/display room

Fosil yang telah teridentifikasi dan terinventarisasi siap untuk disimpan dalam storage atau dipamerkan di ruang pameran (*display room*) Museum Purbakala Sangiran. Apabila fosil yang ditemukan merupakan fosil yang mewakili spesies atau genus baru dan memiliki tampilan yang bagus dan kokoh maka akan ditampilkan di ruang pameran, tapi bagi fosil dari kelompok yang sudah ada sebelumnya akan disimpan dalam storage.

Ruang storage berisi rak-rak besi yang berjajar rapi dengan sekat-sekat yang membatasi satu sama lain ([Gambar 5.6](#)). Setiap rak terdapat bak-bak berisi fosil yang telah teridentifikasi dan terinventarisasi. Terdapat 4 tipe rak di ruang storage, yaitu Rak A yang berisi kelompok *proboscidae* (gajah), Rak B berisi kelompok *bovidae* (sapi-sapian), Rak C yang berisi kelompok *Cervidae* (rusa-rusaan), Rak D berisi kelompok *Suidae* (babi), kelompok *Crocodyla* (buaya) dan avertebrata aquatic, serta Rak E keberisi fosil camouran hasil penelitian, hasil sitaan, dan fosil *plantae*.

Pengembangan Pengetahuan



Kerjakan soal-soal dibawah secara mandiri untuk mengembangkan pengetahuanmu!

1. Mengukur umur fosil dapat menggunakan penanggalan relatif dan penanggalan absolute. Kita telah mengetahui cara menghitung umur relatif dari suatu fosil, bagaimanakah menentukan umur absolutenya?
2. Di Indonesia, fosil ditemukan umumnya karena lapisan tanahnya yang secara tidak sengaja tersingkap. Perkembangan teknologi membantu para arkeolog di luar negeri untuk dapat mengukur umur absolute suatu fosil, lantas adakah teknologi yang dapat mendeteksi keberadaan fosil di dalam tanah? Bagaimanakah cara kerja teknologi tersebut?
3. Pentingkah dilakukannya pelestarian dan konservasi terhadap fosil, artefak, maupun tinggalan masa lalu dari aspek sosial dan aspek pengetahuan khususnya biologi? Kemukakan pendapat anda!

REFERENSI

- AlphaWolf&Co. Peacock Theory. *Pualingo*. 2008. Diunduh pada 22 Januari 2020 dari <https://www.pualingo.com/peacocking-peacock-theory/>
- Anonim. 2017. *Gen Egois*: Karya Richard Dawkins yang Melegenda. *RESPONS* 22 no. 02 (2017): 267-274.
- Bae, Christopher J. Archaic Homo Sapiens. *Nature Education Knowledge* 4 no. 8 (2013): 4.
- Blaxland, Beth. Hominid and hominin – what's the difference?. *Australian Museum*. 2-10-2018. Diunduh pada 18 Januari 2020 dari <https://australianmuseum.net.au/learn/science/human-evolution/hominid-and-hominin-whats-the-difference/>
- BPSMP Sangiran. *Cro-magnon*. 29-06-2018. Diunduh pada 17 Januari 2020 dari <https://kebudayaan.kemdikbud.go.id/bpsmpsangiran/cro-magnon/>
- BPSMP Sangiran. *Homo erectus Arkaik*. 23-06-2018. Diunduh pada 17 Januari 2020 dari <https://kebudayaan.kemdikbud.go.id/bpsmpsangiran/homo-erectus-arkaik/>
- BPSMP Sangiran. *Homo erectus Tipik*. 23-05-2018. Diunduh pada 17 Januari 2020 dari <https://kebudayaan.kemdikbud.go.id/bpsmpsangiran/homo-erectus-tipik/>
- Campbell, Neil A., Reece, Jane B., Chain, Michael L. et al. *Biology*. 10th ed. Jakarta: Erlangga, 2018.
- CDF Archive. *Geospiza fuliginosa* Gould, 1837. *Charles Darwin Foundation*. 2010. Diunduh pada 13 Januari 2020 dari <https://www.darwinfoundation.org/es/datazone/checklist?species=5095>
- Cro-Magnon. *Encyclopedia Britannica*. *Encyclopedia Britannica*. 2018. Diunduh pada 18 Januari 2020 dari <https://www.britannica.com/topic/Cro-Magnon>
- Darwin, Charles. *The Descent of Man and Selectio in Relation to Sex*. New Jersey: Princeton University Press, 2017.
- Darwin, Charles. *The Origin of Species by Means of Natural Selection*. Yogyakarta: Penerbit Narasi, 2017
- Douglas J. Futuyma. *Evolution*. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2005.

- Dvorak, Michaels. *Geospiza magnirostris* Gould, 1837. *Charles Darwin Foundation*. 2010. Diunduh pada 13 Januari 2020 dari <https://www.darwinfoundation.org/en/datazone/checklist?species=5096>
- Fara, Patricia. Erasmus Darwin. *Encyclopedia Britannica*. 2020. Diunduh pada 12 Januari 2020 dari <https://www.britannica.com/biography/Erasmus-Darwin>
- Galapagos Marine Iguana. *Quasarex.com*. 13-01-2010. Diunduh pada 13 Januari 2020 dari <https://www.quasarex.com/galapagos/animals/marine-iguana>
- George Cuvier. *Encyclopedia Britannica*. *Encyclopedia Britannica*. 2020. Diunduh pada 12 Januari 2020 dari <https://www.britannica.com/biography/Georges-Cuvier>
- Gregory, T. R. Understanding Natural Selection: Essential Concepts and Common Misconceptions. *Evo Edu Outreach* no.2 (2009) : 156-175.
- Iskanar, Djoko T. *Evolusi*. Jakarta: Universitas Terbuka, 2008
- James Hutton. *Wikipedia*. 2017. Web. Diunduh pada 13 Januari 2020 dari https://id.wikipedia.org/wiki/James_Hutton
- Laksono. Amien S. *Sejarah kehidupan: Prespektif Evolusi dan Kreasi*. Malang: UB Press, 2012.
- Lovgren, Stefan. Chimps, Humans 96 Percent the Same, Gene Study Finds. *National Geographic*. 31-08-2005. Diunduh pada 19 Januari 2020 dari <https://www.nationalgeographic.com/news/2005/8/chimps-humans-96-percent-the-same-gene-study-finds/>
- Macomber, Richard W. Charles Lyell. *Encyclopedia Britannica*. 2020. Diunduh pada 12 Januari 2020 dari <https://www.britannica.com/biography/Charles-Lyell>
- Maulipaksi, Desliana. 2017. *Mengenal Situs Manusia Purba Sangiran*. Diunduh pada 13 November 2019 dari www.kemdikbud.go.id
- Moore, R.. What Are Students Taught About Evolution? *Mcgill Journal of Education*. 42 (2007): 177-187.
- Ristasa A, Rusna. 2013. *Sejarah Perkembangan Teori Evolusi Makhluk Hidup*. Purwokerto: UPBJJ Purwokerto.
- Rowton, Megan., Moeller, Karla., Greene, Robin., Baxter, James., and Devche, Sabine. Sooty Selection. *ASU for You*. Diunduh pada 12 Januari 2020 dari <https://askabiologist.asu.edu/experiments/sooty-selection>
- Scott V. Edwards. *Edwards Laboratory OEB/MCZ*. 2016. Diunduh pada 13 Januari 2020 dari <https://edwards.oeb.harvard.edu/people/scott-v-edwards>

- Stickberger, Monroe W. *Evolution*. New York: Jones & Bartlett Learning, 1985.
- Sulloway, Frank J. Darwin and the Galapagos. *Biological Journal of the Linnaean Society* 21 (2008): 29-59.
- Widianto, Harry dan Simanjuntak, Truman. *Sangiran Answering the World*. Sangiran: BPSMP Sangiran, 2011.
- Widianto, Harry. *Human Path after Sanguran*. Sangiran: BPSMP Sangiran, 2009.
- Widianto, Harry. *Sangiran the Breath of Hominid Sites*. Sangiran: BPSMP Sangiran, 2016.
- Widianto, Harry., Simanjuntak, Truman, dan Toha, Budianto. *Laporan Penelitian Sangiran; Penelitian Tentang Manusia Purba, Budaya, dan lingkungan*. Jakarta: Pusat Penelitian Arkeologi Nasional, 1996.
- Wille, Staffan Muller. Carolus Linnaeus. *Encyclopedia Britannica*. 2020. Diunduh pada 12 Januari 2020 dari <https://www.britannica.com/biography/Carolus-Linnaeus>
- Wulandari, Sulistyoro Woro., Noviana, Moch. Indra, dan Rahardjo, Wartono. Proses Sedimentasi, Arah Arus Purba, dan Lingkungan Pengendapan Formasi Kabuh Bagiang Paling Bawah di Daerah Jagan, Desa Bukuran, Kecamatan Kalijambe, Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Sangiran* No. 5 (2016): 1-12.

GLOSARIUM

- Alel** : salah satu bentuk alternatif dari sebuah gen yang menghasilkan efek fenotipik sendiri.
- Amniota** : kelompok yang mencakup mamalia, aves dan reptil yang merupakan hewan berkaki empat. Dinamakan amniota karena karakter turunan yang penting yaitu telur amniotik yang mengandung membran-membran (termasuk amnion/rongga berisi cairan) terspesialisasi yang melindungi embrio.
- Ancestor** : sebutan lain bagi leluhur atau nenek moyang.
- Arboreal** : sebutan bagi kelompok hewan yang sebagian besar hidupnya dihabiskan di pohon
- Arkeologi** : ilmu yang mempelajari budaya manusia sepanjang zaman dengan menggabungkan sejarah dan geologi. Sebutan ahli arkeologi adalah arkeolog.
- Asam amino** : sejenis molekul organik yang memiliki gugus karboksil sekaligus gugus asam amino. Asam amino yang bergabung membentuk protein.
- Basa Nitrogen Bipedal** : molekul organik dengan atom nitrogen yang memiliki sifat kimiawi basa.
: bentuk pergerakan di darat yang mana suatu organisme bergerak dengan menggunakan dua tungkai belakang, atau kaki.
- Botani** : ilmu yang mempelajari tentang tumbuh-tumbuhan, jamur, dan alga, dengan mikologi dan fikologi berada di dalam cabang ilmu botani.
- DNA** : *deoxyribonucleic acid*, molekul asam nukleat yang berantai -ganda dan berbentuk heliks yang tersusun atas monomer -monomer nukleotida dengan gula deoksiribosa, mampu berreplikasi dan menentukan struktur terwariskan dari protein-protein suatu sel
- Endemik** : gejala yang dialami oleh organisme untuk menjadi unik pada satu lokasi geografi tertentu, seperti pulau, lungkang (*niche*), negara, atau zona ekologi tertentu. Untuk dapat dikatakan endemik suatu organisme harus ditemukan hanya di suatu tempat dan tidak ditemukan di tempat lain
- Fenotip** : karakteristik baik struktural, biokimiawi, fisiologis, dan perilaku yang dapat diamati dari suatu organisme yang diatur oleh genotipe dan lingkungan serta interaksi keduanya
- Fertil** : istilah yang digunakan pada makhluk hidup yang dapat menghasilkan keturunan
- Filogeni** : kajian mengenai hubungan di antara kelompok-kelompok organisme yang dikaitkan dengan proses evolusi yang dianggap mendasarinya.
- Flagela** : alat gerak (motile organ) berbentuk cambuk pada sejumlah organisme bersel satu.
- Fosil** : sisa-sisa atau bekas-bekas makhluk hidup yang membatu



- Fotosintesis** : proses biokimia pembentukan karbohidrat dari bahan anorganik yang dilakukan oleh tumbuhan, terutama tumbuhan yang mengandung zat hijau daun, yaitu klorofil.
- Fragmen** : pecahan dari suatu benda akibat adanya benturan atau yang lainnya
- Fragmoplas** : jejeran unsur sitoskeleton dan vesikel yang berasal dari golgi, terbentuk di sekitar bagian tengah dari sel tumbuhan yang sedang membelah
- Fraktur** : terputusnya kontinuitas tulang dan/tulang rawan yang ditentukan sesuai jenis dan luasnya yang bisa terjadi akibat trauma langsung dan trauma tidak langsung.
- Galur murni** : sebutan untuk tumbuhan yang menghasilkan keturunan dari varietas yang sama saat melakukan polinasi sendiri
- Gen** : unit pewarisan sifat bagi organisme hidup. Terdiri atas nukleotida spesifik dalam dna atau rna
- Genetika** : bidang sains yang mempelajari pewarisan sifat dan variasi yang diwariskan.
- Genotip** : susunan genetik atau perangkat alel suatu organisme.
- Genus** : kategori taksonomi di atas tingkat spesies, ditunjukkan oleh kata pertama dari nama ilmiah suatu spesies yang terdiri dari dua kata
- Geologi** : ilmu (sains) yang mempelajari bumi, komposisinya, struktur, sifat fisik, sejarah, dan proses pembentukannya.
- Hereditas** : pewarisan sifat dari satu generasi ke generasi berikutnya.
- Heterozigot** : memiliki dua alel yang berbeda bagi gen tertentu.
- Hibrid** : keturunan yang dihasilkan dari perkawinan individu-individu yang berasal dari dua spesies yang berbeda.
- Hibridisasi** : dalam genetika berarti perkawinan atau persilangan dua varietas galur murni.
- Hierarki** : suatu susunan hal (objek, nama, nilai, kategori, dan sebagainya) di mana hal-hal tersebut dikemukakan sebagai berada di "atas," "bawah," atau "pada tingkat yang sama" dengan yang lainnya.
- Hominin** : spesies pada cabang manusia dari pohon evolusi yang mencakup *homo sapiens* dan nenek moyang kita. kelompok spesies yang telah punah dan memiliki kekerabatan yang lebih dekat dengan kita daripada simpanse.
- Homologi** : kemiripan karakteristik karena berasal dari garis keturunan yang sama.
- Homozigot** : memiliki dua alel identik untuk gen tertentu.
- Intermediet** : Sifat suatu individu yang merupakan gabungan dari sifat kedua induknya yang memperoleh 50% gen dari parental (jantan) dan 50% gen dari parental (betina), gen-gen tersebut memberi penampakan sifat yang sama kuat (kodominan).
- Karst** : daerah yang terdiri atas batuan kapur yang berpori sehingga air dipermukaan tanah selalu merembes dan mengalir ke dalam tanah.
- Kromosom** : struktur di dalam sel berupa deret panjang molekul yang terdiri dari satu molekul DNA dan berbagai protein terkait yang merupakan informasi genetik suatu organisme.
- Lokus** : lokasi spesifik di sepanjang kromosom tempat gen tertentu.
- Lunggang gen** : kumpulan semua alel untuk semua lokus pada semua individu dalam suatu populasi.
kumpulan alel untuk hanya satu atau sedikit lokus dalam populasi.



- Mamalia** : anggota kelas mammalia yang merupakan amniota dengan kelenjar penghasil susu.
- Migrasi** : perubahan lokasi jarak-jarak yang terjadi secara teratur.
- Mikroba** : organisme hidup yang berukuran sangat kecil dan hanya bisa diamati dengan bantuan mikroskop.
- Multiseluler** : istilah biologi untuk organisme yang mempunyai banyak sel, kontras dengan organisme uniselular yang hanya mempunyai satu sel.
- Mutagen** : zat kimia atau fisika yang berinteraksi dengan DNA dan menyebabkan mutasi.
- Mutasi** : perubahan sekuens nukleotida dna suatu organisme akhirnya menciptakan keanekaragaman genetik. mutasi juga dapat terjadi pada DNA atau RNA virus.
- Naturalis** : orang yang mengadakan penyelidikan khusus mengenai binatang dan tumbuhan.
- Nostril** : pintu masuk yang akan membawa udara masuk lebih dalam ke rongga hidung.
- Nukleotida** : bahan pembangun asam nukleat, terdiri atas gula berkarbon lima yang berikatan secara kovalen ke sebuah basa bernitrogen dan gugus fosfat.
- Ontogeni** : mendeskripsikan asal usul dan perkembangan organisme sejak dari telur yang dibuahi ke bentuk dewasanya.
- Ordo** : kategori taksonomi di atas tingkat famili dalam klasifikasi cabang
- Ornitologi** : zoologi yang mempelajari burung.
- Paleoantropologi** : ilmu yang mempelajari asal usul dan perkembangan manusia dengan fosil manusia purba sebagai objek penelitiannya dan merupakan salah satu dari cabang ilmu biologi.
- Paleontologi** : disiplin ilmu yang mempelajari mengenai sejarah kehidupan di bumi dan tanaman serta hewan purba berdasarkan fosil yang ditemukan di bebatuan.
- Peroksisom** : organel yang mengandung enzim-enzim untuk mentransfer hidrogen dari berbagai substrat ke oksigen, menghasilkan dan kemudian mendegradasi hidrogen peroksida
- Populasi** : kelompok individu dari spesies yang sma yang hidup di wilayah tertentu dan dapat saling mengawini hingga menghasilkan keturunan yang fertil
- Prokariotik** : makhluk hidup yang tidak memiliki membran inti sel (= karyon), sedangkan eukariota memiliki membran inti sel
- Ras** : suatu sistem klasifikasi yang digunakan untuk mengkategorikan manusia dalam populasi atau kelompok besardan berbeda melalui ciri fenotipe, asal usul geografis, tampang jasmani dan kesukuan yang terwarisi.
- RNA** : *ryribonucleic acid*, molekul asam nukleat yang berantai-tunggal dan berbentuk heliks yang tersusun atas monomer -monomer nukleotida dengan gula iribosa, mampu berreplikasi dan menentukan struktur terwariskan dari protein-protein suatu sel
- Sel** : kumpulan materi paling sederhana yang dapat hidup merupakan unit penyusun semua makhluk hidup
- Selulosa** : polisakarida structural yang menyusun dinding sel tumbuhan, terdiri atas monomer glukosa yang dihubungkan oleh tautan glikosidik

Sintas	: terus bertahan hidup, mampu mempertahankan keberadaannya
Sintesis	: suatu integrasi dari dua atau lebih elemen yang ada yang menghasilkan suatu hasil baru.
Spesies	: populasi atau kelompok poluasi dengan anggota -anggota yang memiliki potensi untuk saling mengawini di alam dan menghasilkan keturunan yang fertile namun tidak menghasilkan keturunan yang fertile dan viabel apabila kawin denga kelompok lain
Spesimen	: sekumpulan dari satu bagian atau lebih bahan yang diambil langsung dari sesuatu.
Spora	: satu atau beberapa sel (bisa haploid ataupun diploid) yang terbungkus oleh lapisan pelindung sebagai alat persebaran mirip dengan biji,
Sporopelin	: termoplastik yang terbuat dari monomer propilena yang memiliki sifat kaku, tidak berbau, dan tahan terhadap bahan kimia pelarut, asam, dan basa
Steril	: istilah yang digunakan pada makhluk hidup yang tidak dapat menghasilkan keturunan
Terrestrial	: erkait dengan tanah atau permukaan tanah (<i>terra</i> , tanah). Hewan terrestrial adalah hewan-hewan yang biasa berkeliaran di atas tanah
Variasi	: perbedaan di antara anggota-anggota spesies yang sama
Varietas	: suatu peringkat taksonomi sekunder di bawah spesies
Vertebrata	: hewan kordata bertulang belakang
Viabel	: kemampuan untuk hidup di alam
Zoologi	: lmu hewan adalah cabang biologi yang mempelajari struktur, fungsi, perilaku, serta evolusi hewan

KUNCI JAWABAN

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. A | 6. D | 11. E | 16. E |
| 2. D | 7. B | 12. E | 17. A |
| 3. E | 8. A | 13. A | 18. D |
| 4. D | 9. D | 14. A | 19. B |
| 5. E | 10. C | 15. C | 20. A |



TENTANG PENULIS



Nur Aini lahir di Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lulus dari MAN 1 Yogyakarta pada tahun 2016 kemudian melanjutkan pendidikan di Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) sebagai mahasiswi Jurusan Pendidikan Biologi UNY angkatan 2016. Selama menjadi mahasiswa, aktif sebagai pengurus organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Pendidikan Biologi (HIMABIO) sebagai Sekretaris pada periode kepengurusan 2017 dan 2018, serta sebagai perintis dan pengurus Unit Kegiatan Mahasiswa Mipa

Creativepreneur Club (UKM MCC) pada tahun 2019 di FMIPA UNY.

Ketertarikan dengan kajian evolusi berawal pada tahun kedua menjadi mahasiswa dan tengah menempuh mata kuliah Evolusi. Saat itu, ia aktif membaca buku karya Darwin dan menemukan fakta bahwa yang ia temukan di buku tersebut bertentangan dengan pemahamannya mengenai evolusi selama ini. Usaha menemukan teori evolusi yang paling relevan menemukan titik terang saat melakukan studi lapangan di Museum Purbakala Sangiran ada tahun 2018. Berangkat dari pengalaman mengalami miskonsepsi dan mengetahui bahwa Museum Purbakala Sangiran sangat berpotensi untuk meluruskan miskonsepsi yang terus terjadi pada proses pembelajaran, maka disusunlah Modul Evolusi dari Museum Purbakala Sangiran ini.

Semoga yang sedikit ini dapat bermanfaat.

Salam lestari, salam konservasi!



ISBN 978-623-95821-3-5 (PDF)



9 786239 582135