



MODUL
TEMA 16

Mutasi Genetik dan Teori Evolusi

BIOLOGI PAKET C SETARA SMA/MA KELAS XII



Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
Direktorat Jenderal PAUD, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah
Direktorat Pendidikan Masyarakat dan Pendidikan Khusus
Tahun 2020



MODUL
TEMA 16



Mutasi Genetik dan Teori Evolusi

BIOLOGI PAKET C SETARA SMA/MA KELAS XII



Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
Direktorat Jenderal PAUD, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah
Direktorat Pendidikan Masyarakat dan Pendidikan Khusus
Tahun 2020

- **Penulis:** Harianto Baharuddin, S.Pd.; Idham Khalik Idrus, S.Pd.
- **Editor:** Dr. Samto; Dr. Subi Sudarto
Dra. Maria Listiyanti; Dra. Suci Paresti, M.Pd.; Apriyanti Wulandari, M.Pd.
- **Diterbitkan oleh:** Direktorat Pendidikan Masyarakat dan Pendidikan Khusus–Direktorat Jenderal Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah–Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

iv+ 60 hlm + ilustrasi + foto; 21 x 28,5 cm

Kata Pengantar

Pendidikan kesetaraan sebagai pendidikan alternatif memberikan layanan kepada masyarakat yang karena kondisi geografis, sosial budaya, ekonomi dan psikologis tidak berkesempatan mengikuti pendidikan dasar dan menengah di jalur pendidikan formal. Kurikulum pendidikan kesetaraan dikembangkan mengacu pada kurikulum 2013 pendidikan dasar dan menengah hasil revisi berdasarkan peraturan Mendikbud No.24 tahun 2016. Proses adaptasi kurikulum 2013 ke dalam kurikulum pendidikan kesetaraan adalah melalui proses kontekstualisasi dan fungsionalisasi dari masing-masing kompetensi dasar, sehingga peserta didik memahami makna dari setiap kompetensi yang dipelajari.

Pembelajaran pendidikan kesetaraan menggunakan prinsip flexible learning sesuai dengan karakteristik peserta didik kesetaraan. Penerapan prinsip pembelajaran tersebut menggunakan sistem pembelajaran modular dimana peserta didik memiliki kebebasan dalam penyelesaian tiap modul yang di sajikan. Konsekuensi dari sistem tersebut adalah perlunya disusun modul pembelajaran pendidikan kesetaraan yang memungkinkan peserta didik untuk belajar dan melakukan evaluasi ketuntasan secara mandiri.

Tahun 2017 Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan, Direktorat Jendral Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat mengembangkan modul pembelajaran pendidikan kesetaraan dengan melibatkan Pusat Kurikulum dan Perbukuan Kemdikbud, para akademisi, pamong belajar, guru dan tutor pendidikan kesetaraan. Modul pendidikan kesetaraan disediakan mulai paket A tingkat kompetensi 2 (kelas 4 Paket A). Sedangkan untuk peserta didik Paket A usia sekolah, modul tingkat kompetensi 1 (Paket A setara SD kelas 1-3) menggunakan buku pelajaran Sekolah Dasar kelas 1-3, karena mereka masih memerlukan banyak bimbingan guru/tutor dan belum bisa belajar secara mandiri.

Kami mengucapkan terimakasih atas partisipasi dari Pusat Kurikulum dan Perbukuan Kemdikbud, para akademisi, pamong belajar, guru, tutor pendidikan kesetaraan dan semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan modul ini.

Jakarta, 1 Juli 2020
Plt. Direktur Jenderal



Hamid Muhammad

Modul Dinamis: Modul ini merupakan salah satu contoh bahan ajar pendidikan kesetaraan yang berbasis pada kompetensi inti dan kompetensi dasar dan didesain sesuai kurikulum 2013. Sehingga modul ini merupakan dokumen yang bersifat dinamis dan terbuka lebar sesuai dengan kebutuhan dan kondisi daerah masing-masing, namun merujuk pada tercapainya standar kompetensi dasar.

Daftar Isi

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
MODUL 16 MUTASI GENETIK DAN TEORI EVOLUSI.....	1
Petunjuk Penggunaan Modul	1
Tujuan yang diharapkan setelah belajar modul	2
Pengantar Modul.....	2
UNIT 1 MUTASI SEBAGAI PERISTIWA PERUBAHAN GENETIK.....	4
A. Pengertian Mutasi, Mutan, dan Mutagen	5
B. Macam-macam Mutasi dan Penyebabnya.....	5
1. Mutasi Gen (Mutasi Titik)	5
2. Mutasi Kromosom	7
3. Faktor Penyebab Mutasi	12
C. Dampak Mutasi Dalam Kehidupan	14
1. Dampak Positif Mutasi	14
2. Dampak Negatif Mutasi	15
D. Mutasi dalam Mekanisme Proses Evolusi	16
Penugasan 1.1	17
Penugasan 1.2.....	18
UNIT 2 EVOLUSI SEBAGAI PROSES MENUJU PERUBAHAN DARI WAKTU KE WAKTU.....	19
A. Pengertian Evolusi	19
B. Teori - teori Evolusi	21
C. Adaptasi dan Seleksi Alam	24
D. Petunjuk Adanya Evolusi	25
E. Faktor Pendukung Terjadinya Evolusi.....	29
F. Spesiasi (Proses Pembentukan Spesies Baru)	31
G. Hardy-Weinberg Hukum.....	33
Penugasan 2.1	35
Rangkuman.....	36
Kata Kunci.....	37
Latihan Soal	38
Kriteria Pindah Modul.....	43
Rubrik Penilaian	44
Kunci Jawaban Dan Pembahasan.....	47
Saran Referensi	52
Daftar Pustaka	53
Sumber Gambar.....	54
Glosarium	56
Profil Penulis	60



Mutasi Genetik Dan Teori Evolusi



Petunjuk Penggunaan Modul

Modul mata pelajaran Biologi Paket C Tingkatan VI Setara Kelas XII ini terdiri atas 7 Modul yaitu: (1) Perjalanan Hidup Tumbuhan dan Hewan; (2) Perubahan Makanan Menjadi Energi; (3) Cetak Biru Makhluk Hidup; (4) Sel Penyusun Makhluk Hidup; (5) Misteri Pewarisan Sifat Makhluk Hidup; (6) Mutasi Genetik dan Teori Evolusi; dan (7) Bioteknologi Untuk Hidup yang Lebih Baik.

Materi masing-masing modul ini disusun secara berurutan dengan urutan materi yang terlebih dahulu perlu dikuasai sesuai dengan prinsip pembelajaran yaitu belajar dari yang konkrit ke yang semakin abstrak, dari mudah ke yang semakin sulit, dari yang dekat dengan lingkungannya ke yang semakin jauh dengan lingkungannya, Dalam setiap unit selalu disajikan beberapa kegiatan. Misalnya, kegiatan penugasan, kegiatan latihan soal, dan sebagainya.

Cepat atau lambatnya penyelesaian modul tersebut sangat tergantung pada kesungguhan Anda dalam mempelajarinya. Untuk dapat memahami modul secara baik, Ikutilah petunjuk belajar berikut ini agar Anda dapat memahami isi modul ini dengan baik.

1. Yakinkan diri Anda telah siap untuk belajar.
2. Tenangkan pikiran dan pusatkan perhatian Anda pada modul yang akan Anda pelajari.
3. Berdoalah sejenak sesuai agama dan keyakinan Anda dan sekarang Anda siap untuk belajar.

4. Baca dan pahami secara mendalam tujuan yang harus dicapai setelah melakukan pembelajaran
5. Baca dan pahami pengantar modul dengan seksama.
6. Bacalah materi modul secara seksama. tandai dan catat materi yang belum/ kurang Anda pahami.
7. Diskusikan materi-materi yang belum dipahami dengan teman, tutor/ pendidik, dan/ atau orang yang dianggap ahli dalam bidang ini.
8. Carilah beragam sumber atau bacaan lain yang relevan untuk menunjang pemahaman dan wawasan tentang materi yang sedang Anda pelajari.
9. Kerjakan semua penugasan yang ada pada modul untuk mendapatkan pemahaman mengenai materi modul dengan baik.
10. Lakukan penilaian pemahaman dengan mengisi soal-soal latihan yang disediakan di akhir modul.
11. Jika hasil Anda belum memuaskan jangan putus asa, cobalah lebih giat lagi belajar.
12. Selamat mempelajari modul ini !

Tujuan yang diharapkan setelah belajar modul

Setelah membaca dan mempelajari modul ini, Anda diharapkan memiliki kemampuan:

1. Menjelaskan perbedaan mutasi kromosom dan mutasi gen;
2. Menjelaskan beragam mutasi hasil teknologi yang dilakukan manusia;
3. Menganalisis dampak mutasi dalam kehidupan umat manusia;
4. Mengkomunikasikan hasil studi pustaka peristiwa mutasi yang menyebabkan variasi dan kelainan sifat pada makhluk hidup;
5. Menganalisis perbedaan berbagai Teori Evolusi dari para ahli;
6. Menjelaskan mekanisme terjadinya evolusi dan petunjuk pendukung terjadinya evolusi;
7. Mengkomunikasikan hasil studi pustaka tentang evolusi biologi dan kecenderungan baru tentang teori evolusi.

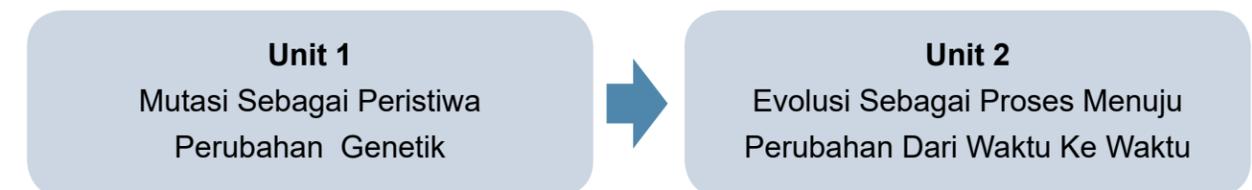
Pengantar Modul

Pewarisan sifat dari induk kepada keturunannya merupakan proses yang terjadi secara terus menerus. Namun demikian, penyimpangan dapat saja terjadi dalam pewarisan sifat tersebut sehingga DNA sel anak akan berbeda dengan DNA sel induk. Peristiwa mutasi merupakan perubahan yang terjadi pada genetik, dari tingkatan gen sampai kromosom.

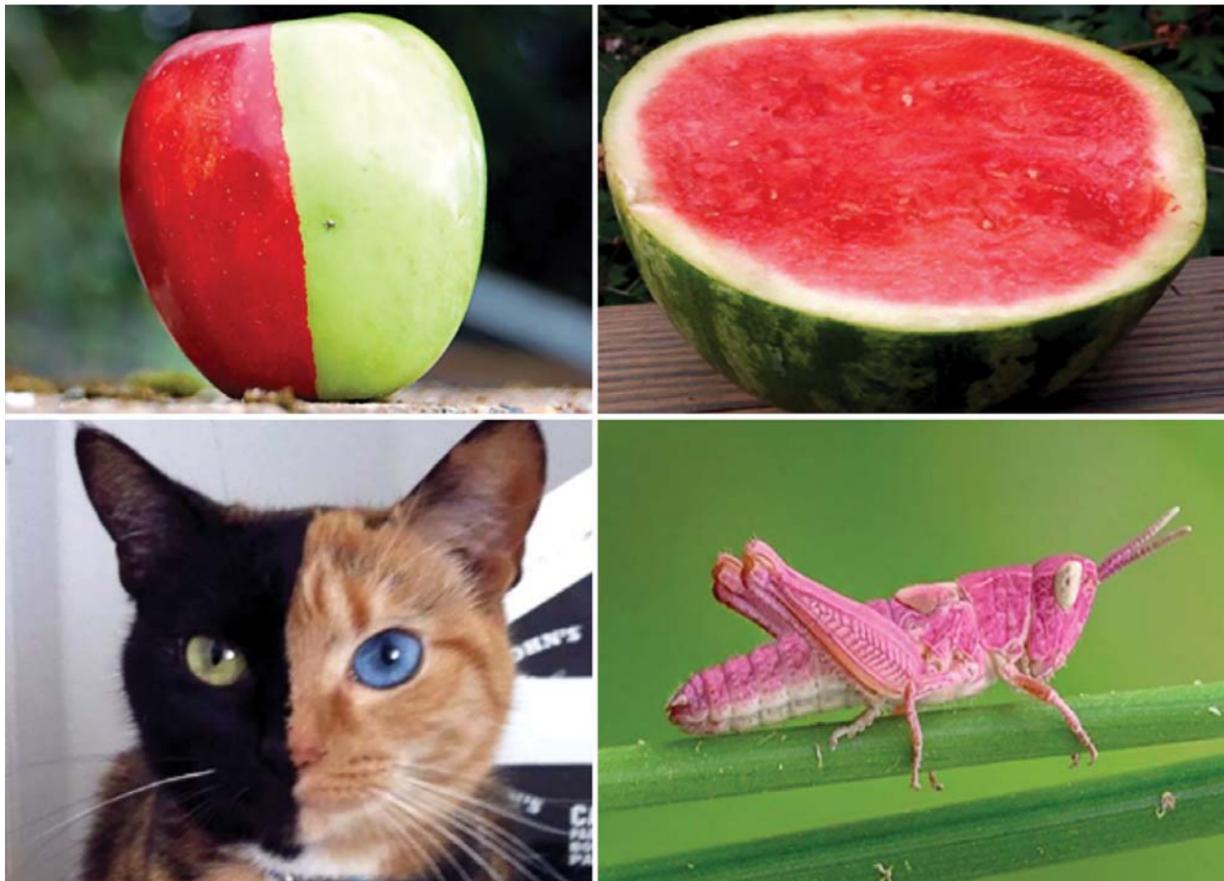
Perubahan materi genetik dapat menyebabkan perubahan sifat pada tingkatan sel atau individu, akibatnya individu terlahir berbeda dari manusia pada umumnya. Mutasi mengandung dua makna penting, yaitu perubahan materi genetik yang akan diwariskan pada keturunannya, dan bagaimana proses perubahan itu terjadi pada suatu organisme. Mutasi dapat menyebabkan kelainan bagi kehidupan manusia namun demikian, juga memberikan keuntungan. Peristiwa mutasi pada tingkat spesies seringkali memunculkan varian baru dalam suatu spesies. Oleh karena itu, beberapa ahli beranggapan bahwa mutasi merupakan sumber adanya evolusi.

Evolusi merupakan salah satu penemuan ilmiah yang sangat penting. Evolusi merupakan cabang biologi yang mempelajari sejarah asal usul makhluk hidup serta keterkaitan genetik antara makhluk hidup satu dengan yang lain. Terlepas dari perdebatan kontroversial terkait teori evolusi, penerapan dan aplikasi teori evolusi ini telah menjadi landasan para ilmuwan selama berpuluh-puluh tahun terakhir untuk implementasi ilmu pengetahuan dan teknologi. Anda akan mempelajari berbagai Teori Evolusi dari berbagai ahli, menemukan faktor-faktor dan bukti-bukti petunjuk pendukung terjadinya evolusi serta proses terjadinya spesies baru. Oleh karena itu akan lebih baik jika kita melihat lebih dekat pada berbagai bukti evolusi yang terjadi pada makhluk hidup.

Isi Modul ini terdiri atas 2 unit pembelajaran yang digambarkan pada bagan berikut. Selain penjelasan mengenai materi, modul ini juga dilengkapi dengan penugasan dan latihan untuk menguji pemahaman dan penguasaan terhadap materi yang telah Anda pelajari



Gambar 1. Alur Isi Modul Mutasi genetik dan Teori Evolusi



Sumber: Dokumentasi Penulis.

Gambar 2. Contoh Peristiwa Mutasi pada Makhluk Hidup

Pernahkah Anda melihat makhluk hidup yang memiliki sifat yang tidak seperti biasanya (tidak normal). Perhatikan gambar di atas, ada gambar buah apel dua warna, belalang berwarna merah muda, buah semangka tanpa biji, serta kucing dengan warna bulu dan mata berbeda. Hal tersebut merupakan beberapa contoh mutasi. Apa itu mutasi? Mengapa mutasi dapat mengubah sifat makhluk hidup?

Agar Anda lebih faham materi tentang mutasi, pelajari materi berikut ini dengan seksama ya....!

A. Pengertian Mutasi, Mutan, dan Mutagen

Mutasi adalah peristiwa perubahan susunan atau jumlah materi genetik pada kromosom atau DNA yang bersifat menurun. Perubahan materi genetik dapat menyebabkan perubahan sifat pada tingkatan sel atau individu. Tidak setiap perubahan DNA adalah mutasi. Dikatakan mutasi apabila memenuhi kriteria berikut yaitu: (1) adanya perubahan materi genetik (DNA); (2) perubahan tersebut bersifat dapat atau tidak dapat diperbaiki; (3) hasil perubahan tersebut diwariskan secara genetik pada keturunannya.

Peristiwa terjadinya mutasi disebut **mutagenesis**. Sedangkan Organisme yang mengalami mutasi dan memperlihatkan fenotip baru hasil mutasi disebut **mutan**. Adapun faktor yang menyebabkan terjadinya mutasi disebut **mutagen**. Mutasi mempunyai beberapa sifat, yaitu muncul secara bebas, bersifat menurun terhadap keturunannya, dan jarang terjadi. Untuk memahami lebih lanjut tentang mutasi, yuk... cermati uraian berikut ini.

B. Macam-macam Mutasi dan Penyebabnya

Mutasi dapat terjadi melalui berbagai cara dan sebab. Berdasarkan tingkatan terjadinya, mutasi dibedakan atas dua macam, yaitu **mutasi gen (mutasi titik)** dan **mutasi kromosom**.

1. Mutasi Gen (Mutasi Titik)

Gen adalah bagian sel yang berada di dalam kromosom. Bagian ini bertugas untuk membawa informasi genetik yang tersimpan di dalam DNA, dari orangtua ke anak. Informasi genetik inilah yang membuat anak dan orangtua bisa punya kemiripan, mulai dari kemiripan fisik seperti wajah dan rambut hingga penyakit yang diderita. Pada orang yang mengalami mutasi gen, DNA di dalamnyalah yang mengalami perubahan. Mutasi bisa terjadi hanya pada DNA atau meluas hingga ke kromosom yang melibatkan beberapa jenis gen.

Mutasi gen disebut juga **mutasi titik**, yaitu perubahan materi genetik pada gen akibat urutan basa nitrogen pada rantai DNA yang berubah. Perubahan urutan basa nitrogen dapat menyebabkan perubahan urutan asam amino yang juga berdampak pada perubahan genotip dan fenotip suatu individu.

Mutasi gen yang mengubah urutan basa nitrogen tetapi tidak menyebabkan perubahan urutan asam amino disebut **mutasi tak bermakna (nonsense mutation)**. Misalnya triplet AGA pada DNA berubah menjadi AGG sehingga kodon yang seharusnya UCU menjadi UCC. Namun, baik UCU atau UCC sama-sama mengkode asam amino serin sehingga tidak terjadi perubahan asam amino.

Mutasi gen dapat terjadi akibat perubahan jumlah basa nitrogen, perubahan jenis basa nitrogen, dan perubahan letak urutan basa nitrogen pada rantai nukleotida.

a. Mutasi Akibat Perubahan Jumlah Basa Nitrogen

Mutasi ini terjadi karena perubahan jumlah basa nitrogen yang bukan kelipatan tiga dapat mengubah kerangka baca triplet kode genetik pada mRNA sehingga disebut juga **mutasi pergeseran kerangka** (*frameshift mutation*). Berikut ini adalah jenis perubahan jumlah basa nitrogen yang menyebabkan mutasi.

1) Adisi (penambahan)

Misalnya urutan basa nitrogen CGG – CTA – AAC – . . . , mengalami penambahan basa nitrogen T diujung rantai.



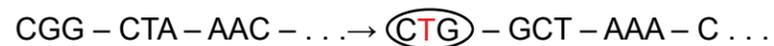
2) Delesi (pengurangan)

Misalnya urutan basa nitrogen CGG – CTA – AAC – . . . , mengalami pengurangan basa nitrogen C di ujung rantai.



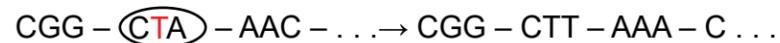
3) Insersi (penyisipan)

Misalnya urutan basa nitrogen CGG – CTA – AAC – . . . , mengalami penyisipan basa nitrogen T ditengah antara CGG.



4) Duplikasi (penggandaan)

Misalnya urutan basa nitrogen CGG – CTA – AAC – . . . , mengalami penggandaan basa nitrogen T di tengah rantai.



b. Mutasi Akibat Perubahan Jenis Basa Nitrogen

Mutasi ini terjadi karena adanya **substitusi** (penggantian) basa nitrogen sehingga disebut juga **pergeseran tautomerik** (*tautomeric shift*). Mutasi substitusi umumnya menghasilkan **mutasi salah arti** (*missense mutation*) karena perubahan kodon yang menyebabkan perubahan kode asam amino berbeda dari kondisi normal. Mutasi gen dapat terjadi melalui berbagai cara:

1) Transisi

Adanya penggantian suatu pasangan basa nitrogen dengan pasangan basa nitrogen lainnya yang sejenis. Misalnya urutan basa nitrogen CCG – AAG – CGA – . . . , mengalami transisi basa purin adenin (A) dengan purin lainnya yaitu guanin (G).



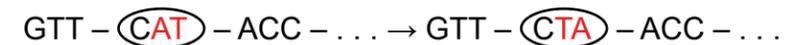
2) Transversi

Adanya penggantian suatu pasangan basa nitrogen dengan pasangan basa nitrogen lainnya yang tidak sejenis. Misalnya urutan basa nitrogen CCG – AAG – CGA – . . . , mengalami transversi basa purin adenin (A) dengan basa pirimidin timin (T).



c. Mutasi Akibat Perubahan Letak Urutan Basa Nitrogen

Mutasi ini terjadi karena adanya **transposisi**, yaitu perubahan letak basa-basa nitrogen pada rantai nukleotida. Misalnya urutan basa nitrogen GTT – CAT – ACC – . . . , terjadi transposisi atau tukar tempat antara basa nitrogen A dan T.



2. Mutasi Kromosom

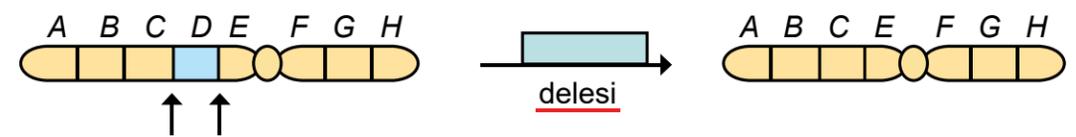
Mutasi selain terjadi pada tingkat gen, mutasi dapat terjadi pada tingkat kromosom, atau disebut juga aberasi kromosom atau mutasi besar (gross mutation). **Mutasi kromosom** yaitu perubahan materi genetik pada kromosom akibat perubahan struktur dan jumlah kromosom. Mutasi kromosom banyak terjadi pada tumbuhan.

a. Perubahan Struktur Kromosom

Perubahan struktur kromosom dapat disebabkan oleh **delesi**, **duplikasi**, **inversi**, **translokasi**, dan **katenasi**.

1) Delesi

Delesi kromosom adalah peristiwa hilangnya sebagian segmen kromosom karena patah.

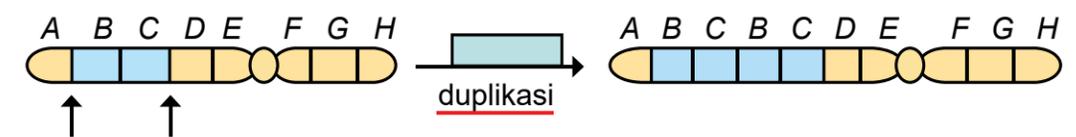


Gambar 3. Delesi

Sumber: Dokumentasi Penulis.

2) Duplikasi

Duplikasi kromosom adalah peristiwa bertambahnya segmen kromosom sehingga kromosom kelebihan gen.

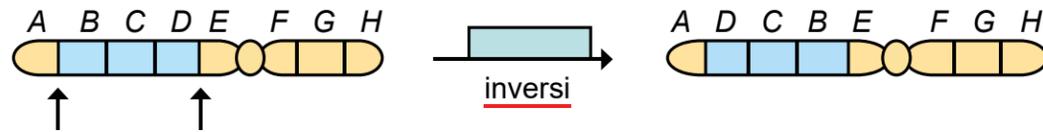


Gambar 4. Duplikasi

Sumber: Dokumentasi Penulis.

3) Inversi

Inversi kromosom adalah peristiwa berubahnya urutan letak gen pada kromosom menjadi urutan terbalik.

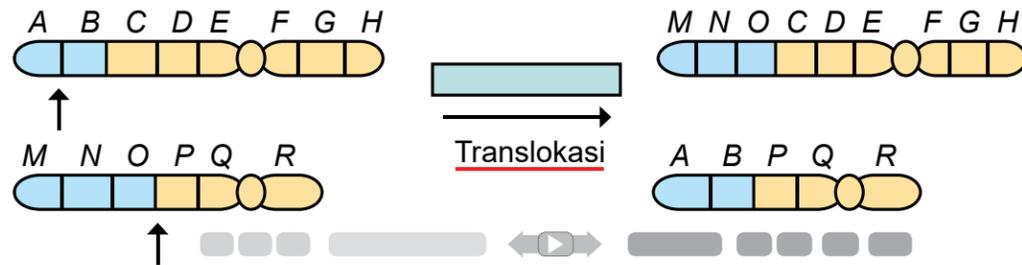


Sumber: Dokumentasi Penulis.

Gambar 5. Inversi

4) Translokasi

Translokasi kromosom adalah peristiwa berpindahnya suatu segmen kromosom (atau patahan kromosom) ke kromosom lain yang bukan homolognya.

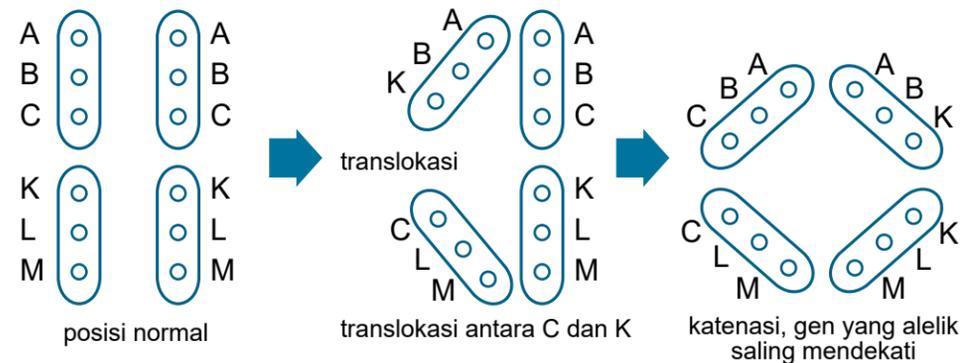


Sumber: Dokumentasi Penulis.

Gambar 6. Translokasi

5) Katenasi

Katenasi kromosom adalah peristiwa kromosom homolog yang saling berdekatan pada ujungnya sehingga membentuk lingkaran.



Sumber: <http://nafun.com>

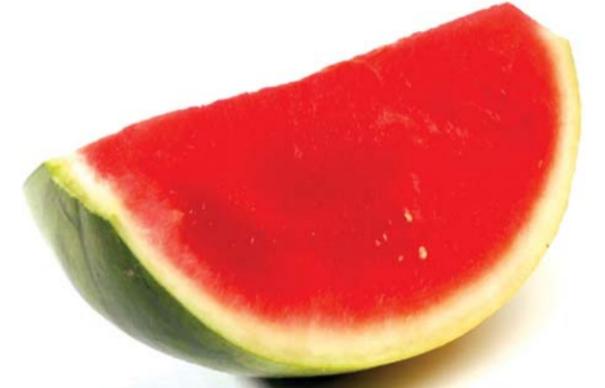
Gambar 7. Katenasi

b. Perubahan Jumlah Kromosom

Perubahan jumlah kromosom pada mutasi dapat dibedakan menjadi dua yaitu euploidi (perubahan set kromosom) dan **aneuploidi (perubahan jumlah kromosom)**.

1) Euploidi

Euploidi adalah perubahan pada seluruh materi genetik dalam satu set kromosom (**genom**) sehingga jumlah kromosom menjadi kelipatan dari set kromosom haploidnya. Berdasarkan jumlah genom, euploidi dapat dibedakan atas **monoploid**, **diploid**, **triploid**, **tetraploid**, dan seterusnya. Organisme yang mempunyai kromosom $3n$, $4n$, dan seterusnya disebut **poliploid**.

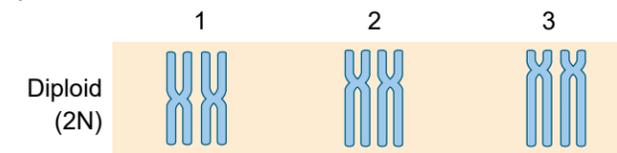


Sumber : <https://rziyadatur.blogspot.com>

Gambar 8. Semangka Tanpa Biji Termasuk Hasil Poliploid

- Monoploid (n)**, jika memiliki satu genom di dalam sel tubuhnya.
- Diploid (2n)**, jika memiliki dua genom di dalam sel tubuhnya.
- Triploid (3n)**, jika memiliki tiga genom di dalam sel tubuhnya.
- Tetraploid (4n)**, jika memiliki empat genom di dalam sel tubuhnya.

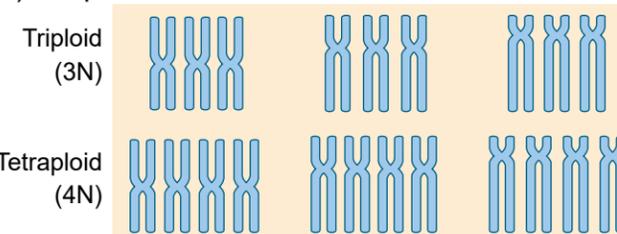
a) Kromosom normal



b) Monoploid



c) Poliploid



Sumber : Dokumentasi penulis

Gambar 9. Kromosom Normal dan Kromosom yang Mengalami Euploidi

2) Aneuploidi

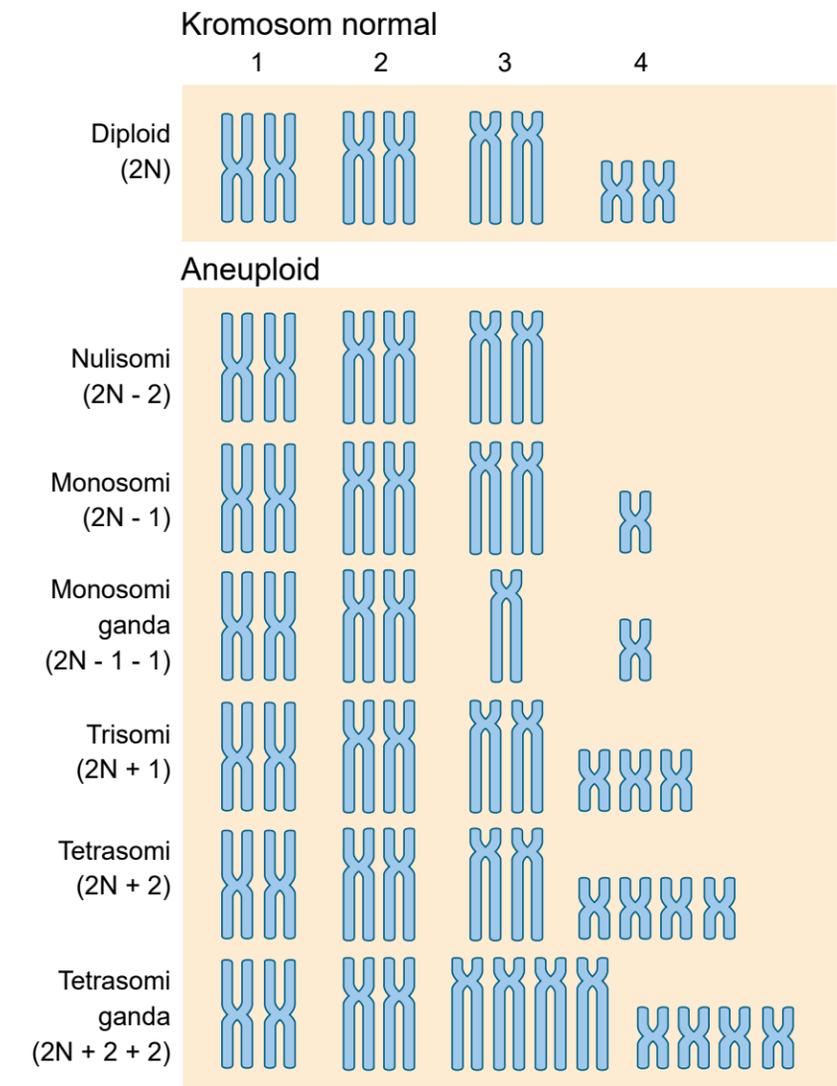
Aneuploidi adalah perubahan jumlah kromosom dalam suatu individu sehingga jumlah kromosom menjadi lebih banyak atau lebih sedikit dari jumlah individu normal atau diploid ($2n$). Ini berarti bahwa kita dapat menemukan kromosom ekstra atau hilang dalam sel sebagai akibat dari kesalahan yang terjadi selama pembelahan sel. Berikut ini adalah beberapa jenis aneuploidi.

- Nulisomi** ($2n - 2$), jika sel kehilangan dua kromosom. Biasanya peluang hidupnya kecil.
- Monosomi** ($2n - 1$), jika sel kekurangan satu kromosom. Pada wanita, kehilangan satu kromosom X pada gonosomnya akan menyebabkan **sindrom Turner**. Oleh karena itu, kromosom kelaminnya hanya terdiri dari satu kromosom X saja (XO).
- Monosomi ganda** ($2n - 1 - 1$), jika di dalam sel terdapat dua pasangan kromosom yang masing-masing kehilangan satu kromosom.
- Trisomi** ($2n + 1$), jika sel kelebihan satu kromosom. Normalnya sel dalam tubuh memiliki 23 pasang kromosom atau 46 buah. Pada kelainan **trisomi** terjadi penambahan jumlah kromosom sehingga jumlah kromosom menjadi 47. Trisomi dapat terjadi pada autosom (kromosom seks) maupun pada gonosom yang menyebabkan sindrom kelainan fisik dan mental. Beberapa contoh dari trisomi autosom adalah:
 - Sindrom Down** (trisomi pada autosom 21), disebabkan oleh pembelahan sel abnormal yang menyebabkan terbentuknya lebih banyak material genetik pada kromosom 21. Kelainan genetik ini menyebabkan penurunan intelektual, gangguan perkembangan, dan keadaan kesehatan secara keseluruhan
 - Sindrom Edwards** (trisomi pada autosom 18), Biasanya Penderita Sindroma Edward dilahirkan oleh wanita berusia 35 tahun ke atas.
 - Sindrom Patau** (trisomi pada autosom 13). Ciri-ciri penderita kelainan ini antara lain: mental terbelakang, kepala kecil, bibir sumbing atau langit-langit mulut bercelah, memiliki kelainan pendengaran (tuli) atau kelainan jantung

Beberapa contoh trisomi gonosom pada manusia adalah:

- Sindrom Klinefelter** (trisomi pada kromosom X). Ciri-cirinya adalah: berjenis kelamin laki-laki, testis tidak tumbuh, aspermia (tidak menghasilkan sperma/mandul), payudara tumbuh/ membesar, gaya dan suara mirip wanita.
- Sindrom tripel X (wanita)**, dan **sindrom XYY** (pria XYY).

- Tetrasomi** ($2n + 2$), jika sel kelebihan dua kromosom. Kondisi ini hanya terjadi pada wanita, karena tidak ada kromosom Y yang terlibat.
- Tetrasomi ganda** ($2n + 2 + 2$) jika di dalam sel terdapat dua pasangan kromosom yang masing-masing kelebihan satu kromosom.



Sumber : Dokumentasi penulis

Gambar 10. Kromosom Normal dan Kromosom yang Mengalami Aneuploidii

Pada manusia terdapat berbagai kasus trisomi atau monosomi baik pada autosom atau kromosom seks yang menyebabkan munculnya berbagai sindrom kelainan fisik dan mental. Tabel 1.1 menunjukkan berbagai aneuploidii pada manusia dengan sindrom penyakit yang ditimbulkannya.

Tabel 1.1 Jumlah Kromosom dan Sindrom pada Aneuploidi

Kromosom normal dan Aneuploidi	Jumlah kromosom	Sindrom
Disomi (normal)	2n	-
Monosomi	2n-1	Sindrom Turner
Monosomi ganda	2n-1-1	
Nullisomi	2n-2	Peluang hidup kecil
Trisomi		
a. Trisomi 21	2n+1	Sindrom Down
b. Trisomi 18	2n+1	Sindrom Edward
c. Trisomi 13	2n+1	Sindrom Patau
47, XXX	2n+1	Sindrom XXX
47, XXY	2n+1	Sindrom Klinefelter
47, XYY	2n+1	Sindrom XYY (pria)
Tetrasomi	2n+2	
Tetrasomi ganda	2n+2+2	

3. Faktor Penyebab Mutasi

Perubahan bahan genetik, baik mutasi tingkat gen maupun mutasi kromosom dapat terjadi secara alami atau buatan. Bahan-bahan yang menyebabkan terjadinya mutasi disebut **mutagen**. Yuk cermati uraian berikut ini.

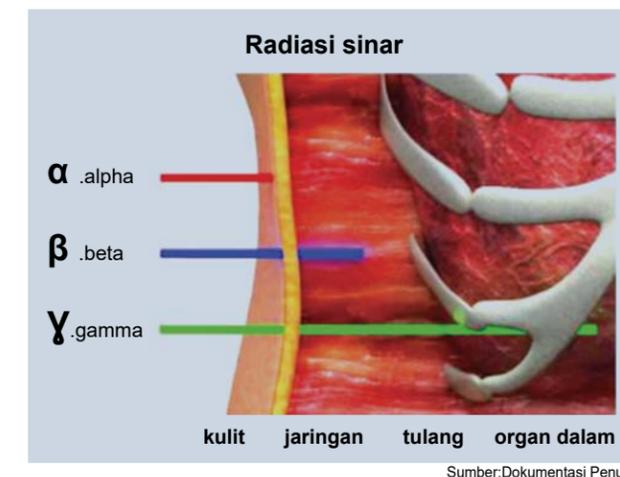
a. Mutasi Alami

Mutasi alami disebut juga **mutasi spontan** (*spontaneous mutation*), terjadi dengan sendirinya tanpa adanya campur tangan manusia dan tanpa diketahui penyebabnya secara pasti. Pada umumnya mutasi alami ini berlangsung secara lambat dan sangat jarang terjadi. Mutasi yang terjadi secara alami ini biasanya bersifat merugikan bagi makhluk hidup yang mengalaminya dan sering tidak mampu bertahan hidup karena tidak mampu menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Tetapi, jika ada yang dapat bertahan hidup dan mewariskan sifat-sifat barunya kepada keturunannya, maka keturunan tersebut menjadi varietas baru. Beberapa kemungkinan penyebab mutasi alami pada suatu organisme menurut para ahli genetika, antara lain:

- 1) Radiasi sinar ultraviolet;
- 2) Radiasi sinar kosmik dari luar angkasa;
- 3) Zat-zat radioaktif yang terdapat di alam yang masuk ke dalam tubuh;
- 4) Kesalahan pada proses replikasi DNA

b. Mutasi Buatan

Peristiwa mutasi alami terjadi sangat lambat. Oleh karena itu, manusia melakukan perubahan materi genetik yang disengaja dibuat untuk kepentingannya. Mutasi buatan disebut juga **mutasi terinduksi** (*induced mutation*). Untuk merangsang mutasi, mutagen yang dapat dipakai adalah: **Bahan fisik**, umumnya berupa radiasi sinar-sinar yang dihasilkan dari unsur-unsur radioaktif yang tersedia di alam atau hasil perbuatan manusia. misalnya berbagai gelombang cahaya pada sinar matahari, seperti ultraviolet, infra merah, dan sinar-sinar radioaktif seperti sinar alfa, beta, dan gamma. Sinar alfa, beta, dan gamma dapat menghancurkan sel-sel hidup bahkan menyebabkan kerusakan biologis. Sinar alfa memiliki daya tembus rendah, sinar beta dapat menembus kulit, dan sinar gamma memiliki daya tembus paling tinggi hingga dapat menembus tubuh manusia.



Gambar 11. Radiasi sinar alfa, beta, dan gamma

- 1) **Bahan kimia**, umumnya terdiri atas senyawa-senyawa kimia yang bersifat racun bagi tubuh. Mutagen kimia antara lain pestisida (misalnya DDT), asam nitrit, asam nitrat, agen alkilasi (misalnya gas ustad dan dimetil sulfat), *benzopyrene*, zat digitonin, kolkisin, dan akridin.
- 2) **Bahan biologi**, umumnya berupa virus dan bakteri. Asam nukleat pada virus dan bakteri dapat merusak kromosom sel inangnya sehingga terbentuk sel abnormal. Virus merupakan komponen biologi utama penyebab mutasi. Lebih 20 jenis virus yg merupakan penyebab kerusakan kromosom. Misalnya, virus hepatitis menimbulkan aberasi pada darah dan sumsum tulang. Virus campak, demam kuning dan cacar juga dapat menimbulkan aberasi. Bakteri, terutama bakteri patogen pada DNA sel tubuh inangnya. Bakteri ini diduga dapat menghasilkan protein tertentu yang dapat menghalangi sintesis protein dan merusak DNA.



Sumber: <https://krishijagan.com>

Sumber: <https://www.sciencemag.org>

Gambar 12. Contoh Mutagen: (a) Pestisida dan (b) Virus

Selain mutagen di atas, suhu yang tinggi juga merupakan mutagen. Sinar X menyebabkan mutasi kromosom dengan cara memutus kromosom menjadi beberapa bagian. Bagian-bagian ini dapat hancur atau bergabung dengan kromosom lain. Peristiwa ini menyebabkan mutasi gen atau mutasi kromosom. Sifat sinar X ini dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan mutan tumbuhan maupun hewan agar mempunyai sifat yang lebih baik untuk keuntungan manusia. Hasil mutasi buatan dari radiasi sinar X, antara lain: bibit unggul padi *kultivar atomita I dan II*, kedelai *kultivar Muria*, dan tomat *kultivar Boutset*.

Pemberian bahan kimia *kolkisin* dapat menghambat kerja mikrotubulus sehingga pemisahan kromatid pada fase anafase tidak terjadi dan mengakibatkan poliploidi. Hal ini dimanfaatkan untuk menghasilkan buah tanpa biji, misalnya semangka.



Sumber: <https://dwideasy.files.wordpress.com/20144/image/0s1.jpg>

Gambar 13. Semangka tanpa biji

C. Dampak Mutasi Dalam Kehidupan

Peristiwa mutasi alami merupakan peristiwa yang jarang terjadi, sehingga hampir semua peristiwa mutasi yang terjadi di alam ini adalah mutasi buatan. Tidak selamanya mutasi bersifat merugikan bagi kehidupan. Mutasi dapat pula mempunyai dampak yang menguntungkan. Hal ini disebabkan karena peristiwa mutasi diyakini telah memberi kontribusi atas keragaman variasi dalam populasi.

1. Dampak Positif Mutasi

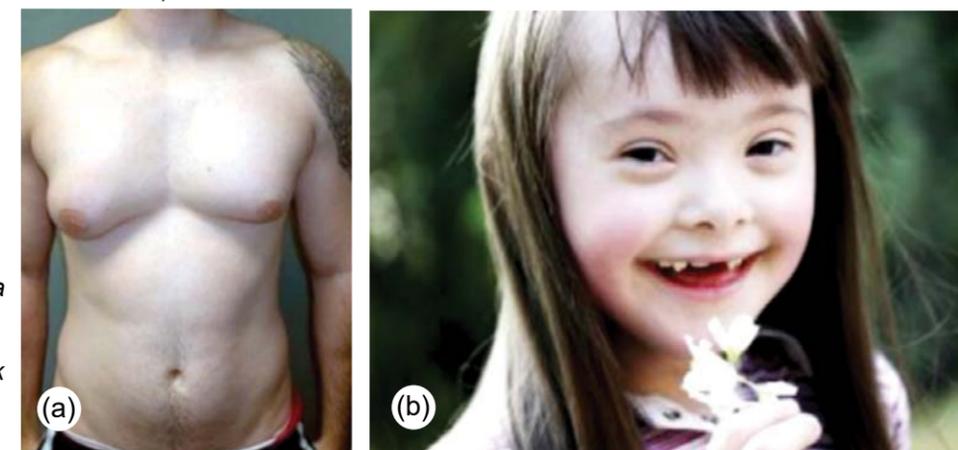
- Meningkatkan produksi pertanian, di antaranya tanaman padi, gandum, tomat, kentang, bunga lili, kelapa poliploidi, kol poliploidi, dan sebagainya. Pada umumnya tanaman poliploidi berukuran lebih besar (buah atau bunganya) dan lebih sehat.

- Varietas tanaman baru yang menghasilkan buah-buahan tanpa biji seperti semangka atau buah dengan ukuran lebih besar dibandingkan ukuran normalnya. Buah semangka akan memiliki nilai jual yang lebih baik jika berukuran besar dan tanpa biji. Untuk itu dilakukan pemberian kolkisin (mutagen biologi). Kolkisin dapat menghalangi pembentukan gelendong pembelahan sehingga pasangan kromatid pada fase metaphase proses pembelahan sel tidak dapat memisahkan diri dan akhirnya dihasilkan individu poliploid. Individu poliploid mempunyai ciri berbuah besar, tidak berbiji dan berproduksi tinggi.
- Mutasi radiasi dengan sinar gamma dapat menghasilkan bibit unggul. Contoh pada padi Pelita I dan II menghasilkan padi jenis Atomita I dan II, dimana bibit unggul ini mempunyai kelebihan tahan terhadap wereng coklat dan bakteri *Xanthomonas oryzae* yang dapat toleran terhadap air asin.
- Mutasi pada mikroorganisme dapat meningkatkan hasil antibiotika, misalnya mutan *Penicillium* penghasil antibiotik penisilin.
- Mutasi melalui radiasi menggunakan radioisotop dapat digunakan untuk memeriksa proses biologi, misalnya transfer elektron pada fotosintesis.
- Mutasi merupakan proses yang sangat berguna untuk evolusi dan variasi genetik

2. Dampak Negatif Mutasi

Selain memiliki nilai manfaat, ternyata mutasi juga memiliki nilai negatif dan menyebabkan kerugian. Masih ingatkah Anda bahwa mutasi yang terjadi pada suatu organisme dapat mengubah bahkan merusak susunan DNA, baik pada taraf urutan gen (mutasi titik) maupun pada taraf kromosom? Mutasi merupakan penyebab adanya variasi genetik. Tidak selamanya, mutasi membawa dampak yang menguntungkan dalam kehidupan. Mutasi dapat pula memberikan dampak yang merugikan, diantaranya:

- Terjadinya mutasi gen menyebabkan beberapa kelainan pada manusia antara lain sindrom Down, sindrom Klinefelter, sindrom Turner, sindrom Jacob, sindrom Edward, sindrom Wolf, dan sindrom XXX.



Gambar 14. Contoh Kelainan pada Manusia Akibat Mutasi: (a) Pria Penderita Sindrom Klinefelter dan (b) Anak Perempuan Penderita Sindrom Down

Sumber: Dokumentasi penulis

Sumber: <http://www.thelarkinbrigade.com>

- b. Penemuan buah tanpa biji dapat mengakibatkan tanaman mengalami kesulitan untuk mendapatkan generasi penerusnya.
- c. Pemberian insektisida yang tidak sesuai dosisnya dapat mengakibatkan mutasi pada hama sehingga akan menjadi resisten terhadap jenis insektisida yang sama. Hama yang resisten akan mengalami peledakan jumlah sehingga akan merusak tanaman budidaya.
- d. Penggunaan sinar radioaktif pada proses mutasi dapat mengakibatkan tumbuhnya sel kanker dan cacat bawaan pada janin dalam rahim.

BIOINFO ► Bagaimana Sel Kanker Bisa Muncul?

Dalam keadaan normal tubuh manusia bebas dari sel kanker. Tubuh memiliki sistem kontrol yang dapat memberi perintah bagi sel untuk membelah atau mematikan diri. Sel kanker terlahir dari sel yang mengalami mutasi sehingga tidak mampu lagi menerima instruksi dari sistem kontrol untuk mematikan diri. Justru sel abnormal tersebut terus membelah diri secara tak terkendali. Mutasi pada sel normal dapat disebabkan oleh berbagai macam mutagen. Biasanya, mutasi gen yang berbeda-beda dan yang telah terjadi lebih dari lima kali baru akan berpotensi tumbuh menjadi sel kanker. Prosesnya bisa berlangsung hingga bertahun-tahun sampai sel-sel tersebut membelah diri dan membentuk sel kanker yang cukup besar. Sel kanker memiliki kemampuan metastasis, yaitu dapat berpindah dan menyebar menuju jaringan lain.



Sumber: <https://hellosehat.com>

Gambar 15. Ilustrasi Sel Kanker

D. Mutasi dalam Mekanisme Proses Evolusi

Perubahan gen dan kromosom yang disebabkan oleh mutasi dapat menimbulkan perubahan-perubahan sifat dari tingkatan sel hingga tingkatan individu. Perubahan-perubahan ini menyebabkan terjadinya variasi-variasi sifat yang menimbulkan keanekaragaman pada organisme. Tingkat keanekaragaman organisme yang terus meningkat akibat mutasi dapat menyebabkan terbentuknya spesies-spesies baru dengan sifat-sifat yang berbeda dari nenek moyangnya. Dalam hal ini terjadilah proses evolusi yang akan Anda pelajari di Unit 2. Selanjutnya, untuk lebih memahami tentang konsep mutasi, kerjakan Tugas berikut ini.

Penugasan 1.1

1. Tugas

Membuat ringkasan materi mengenai sindrom Down, sindrom Klinefelter, sindrom Turner, sindrom Jacob, sindrom Edward, sindrom Wolf, dan sindrom XXX.

2. Tujuan

Anda diharapkan mampu:

- a. Menyebutkan contoh-contoh kelainan pada manusia akibat mutasi
- b. Membuat ringkasan materi mengenai contoh-contoh kelainan pada manusia akibat mutasi

3. Media

- a. Alat tulis
- b. Kertas untuk menulis ringkasan
- c. Buku/sumber pustaka lain yang mendukung

4. Langkah-langkah

- a. Lakukan kajian pustaka dari berbagai sumber mengenai kelainan pada manusia akibat mutasi, khususnya mengenai sindrom Down, sindrom Klinefelter, sindrom Turner, sindrom Jacob, sindrom Edward, sindrom Wolf, dan sindrom XXX.
- b. Catatlah informasi mengenai penyebab terjadinya dan ciri-ciri penderita setiap kelainan tersebut.
- c. Buatlah ringkasan materi mengenai sindrom Down, sindrom Klinefelter, sindrom Turner, sindrom Jacob, sindrom Edward, sindrom Wolf, dan sindrom XXX. Berdasarkan informasi yang telah diperoleh.
- d. Anda dapat melengkapi ringkasan materinya dengan gambar pendukung yang berhubungan dengan kelainan tersebut.
- e. Kumpulkan hasilnya pada tutor Anda.

Penugasan 1.2

1. Tugas

Menjawab pertanyaan mengenai berbagai macam mutasi

2. Tujuan

Anda diharapkan mampu:

- Mengidentifikasi ragam mutasi tingkat gen dan tingkat kromosom
- Menumbuhkan semangat literasi melalui kegiatan studi pustaka

3. Media

Alat tulis, Kertas/ lembar jawaban, buku/sumber lainnya yang mendukung

4. Langkah-langkah

- Cermatilah pertanyaan dengan baik sebelum menjawab.
- Lakukan kajian pustaka melalui buku-buku, internet, atau sumber lainnya untuk membantu Anda menjawab pertanyaan berikut ini.
- Kumpulkan hasil pekerjaan Anda pada tutor.

5. Pertanyaan:

- Sebuah rantai DNA normal memiliki urutan basa nitrogen: AAT – CCA – AGC – ATC – CCC. Tuliskan urutan basa nitrogennya jika terjadi adisi basa nitrogen G pada awal triplet kedua dan terjadi delesi pada triplet keempat!
- Jelaskan perbedaan delesi dan duplikasi pada mutasi tingkat gen dan mutasi tingkat kromosom !
- Tanaman jagung memiliki 20 kromosom pada setiap sel tubuhnya. Jika tanaman tersebut disinari dengan sinar gamma sehingga mengalami euploid. Hitunglah jumlah kromosom sel tubuhnya jika terjadi triploid dan tetraploid!
- Kelinci memiliki 44 kromosom pada setiap sel tubuhnya. Hitunglah jumlah kromosomnya jika kelinci tersebut mengalami mutasi berupa aneuploidii sehingga terjadi nulisomi dan trisomi !

Cocokkan jawaban Anda dengan **Kunci Jawaban** yang terdapat pada bagian akhir modul.

Berilah nilai dengan menggunakan kriteria penilaian yang tersedia.

Pelajaran Unit 1 sudah selesai. Istirahatlah sejenak. Lanjutkan belajar Anda, jika sudah siap belajar kembali. Selamat Belajar, Tetap Semangat Ya... !

UNIT 2

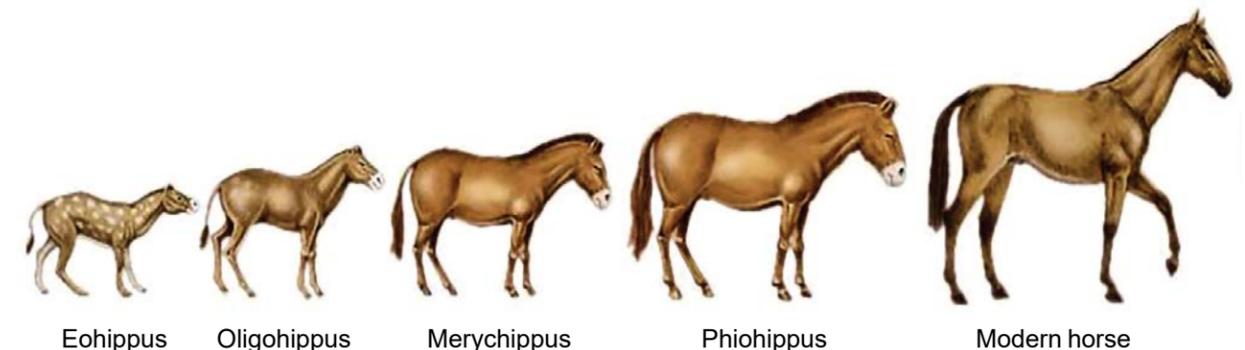
Evolusi Sebagai Proses Menuju Perubahan Dari Waktu ke Waktu

Anda tentunya pernah mendengar nama ilmuwan Charles Darwin bukan? Darwin adalah tokoh yang sangat terkenal dalam kaitannya dengan teori evolusi. Darwin banyak mengemukakan gagasan-gagasannya tentang evolusi. Karena pemikirannya tersebut, Darwin dikenal sebagai **Bapak Evolusi**. Namun demikian, masih banyak beberapa teori dari para ahli lain yang menjadi dasar dari teori evolusi. Apakah Anda ingat dengan jerapah yang berleher panjang? Fenomena jerapah dengan leher panjang ternyata menimbulkan berbagai pendapat tentang asal mula jerapah berleher panjang yang oleh para ahli hal tersebut menghasilkan suatu teori.

Supaya Anda lebih faham tentang konsep evolusi dan pendapat berbagai ilmuwan, yuk... simak uraian berikut ini.



A. Pengertian Evolusi



Gambar 16. Evolusi Kuda

Sumber: <http://hanifirza97.files.wordpress.com>

Evolusi adalah perubahan perlahan-lahan dan secara bertahap yang berlangsung dalam waktu yang sangat lama dimana terjadi perubahan bentuk menjadi lebih baik atau lebih kompleks. Contohnya kuda pada jutaan tahun yang lalu diyakini memiliki tubuh kecil dan memiliki lima jari. Saat ini kita dapat melihat kuda berukuran besar dengan satu jari. Jumlah jari tersebut tidak langsung berubah dari lima menjadi satu tetapi terjadi secara bertahap menjadi empat jari, tiga jari, hingga hanya memiliki satu jari yang digunakan untuk berjalan. Sedangkan, berdasarkan ilmu biologi, evolusi merupakan cabang biologi yang mempelajari sejarah asal-usul makhluk hidup dan keterkaitan genetik antara makhluk hidup satu dengan yang lain. Evolusi biologi mencakup dua peristiwa, yaitu:

1. **Evolusi anorganik** merupakan evolusi mengenai asal-usul makhluk hidup yang ada di muka bumi, berdasarkan fakta dan penalaran teoritis;
2. **Evolusi organik** (evolusi biologis) merupakan evolusi filogenetis, yaitu mengenai asal-usul spesies dan hubungan kekerabatannya.

Berdasarkan skala perubahannya, evolusi biologi dibedakan atas:

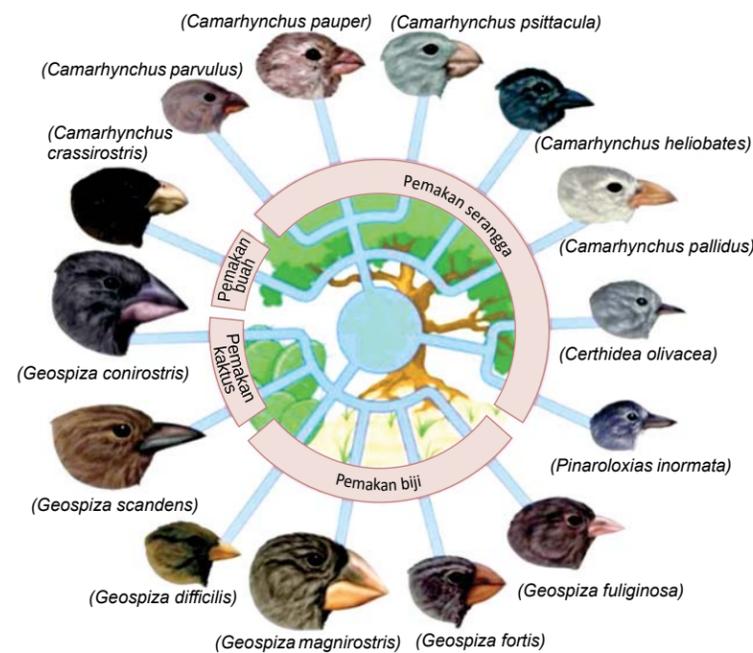
1. **Mikroevolusi**, yaitu evolusi yang terjadi pada tingkat gen dan menimbulkan perubahan sifat organisme dalam suatu populasi.
2. **Makroevolusi**, yaitu evolusi yang menyebabkan terbentuknya kelompok baru pada tingkatan takson, misalnya spesies baru dan genus baru.

Berdasarkan arah atau dampak yang ditimbulkan, evolusi dibedakan atas:

1. **Evolusi progresif**, yaitu evolusi yang mengarah pada kemungkinan terbentuknya spesies baru yang dapat bertahan hidup dan berkelanjutan. Contohnya evolusi kuda.
2. **Evolusi regresif**, yaitu evolusi yang mengarah pada kemungkinan terbentuknya spesies baru yang tidak dapat bertahan hidup hingga akhirnya menuju kepunahan. Contohnya evolusi dinosaurus.

Berdasarkan jumlah spesies berevolusi yang dihasilkan, evolusi dibedakan atas:

1. **Evolusi divergensi**, yaitu evolusi dari satu spesies yang menghasilkan banyak spesies baru. Contohnya burung Finch diyakini dulunya hanya ada satu spesies sebagai pemakan biji dan kini sudah ada banyak spesies burung Finch dengan berbagai macam bentuk paruh menyesuaikan jenis makanannya.



Gambar 17. Berbagai Jenis Spesies Burung Finch

Sumber: <https://malekbio.blogspot.com>

2. **Evolusi konvergensi**, evolusi dari banyak macam spesies yang kemudian mengalami penurunan jumlah macam spesies. Contohnya reptil diyakini dulunya memiliki jumlah spesies paling banyak dibandingkan zaman sekarang.

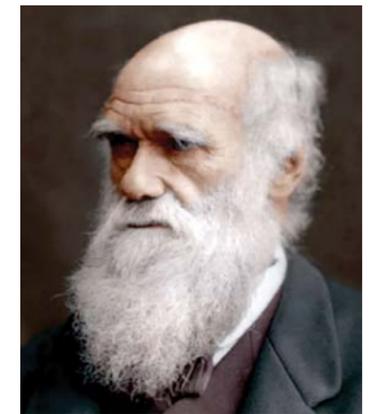
B. Teori - teori Evolusi

Pemikiran mengenai evolusi sebenarnya sudah muncul sejak dahulu sebelum masa Charles Robert Darwin. **Plato** (428-348 SM) berpendapat bahwa para dewa membuat manusia dengan jenis kelamin laki-laki sedangkan wanita dan hewan muncul dari reinkarnasi jiwa laki-laki. **Aristoteles** (384-322 SM) berpendapat bahwa organisme yang telah ada dianggap tidak sempurna sehingga berubah menuju keadaan lebih baik. **Baron George Cuvier** (1797-1875) menyatakan bahwa kepunahan suatu spesies akan digantikan oleh spesies baru.

Selanjutnya muncul teori evolusi oleh Charles Robert Darwin, Jean Baptiste Lamarck, dan August Weissman. Berikut uraian tentang konsep evolusi yang telah diungkapkan oleh Para ilmuwan yang menyumbangkan gagasannya dalam masalah evolusi antara lain adalah:

1. Teori Evolusi Darwin

Charles Darwin mengemukakan teori evolusinya secara lengkap dalam buku yang berjudul *On The Origin of Species by Means of Natural Selection* (Asal mula spesies yang terjadi melalui seleksi alam) yang diterbitkan pada 24 November 1859. Charles Darwin (1809 – 1882) berpendapat bahwa evolusi terjadi karena seleksi alam. Darwin juga berpendapat bahwa makhluk hidup berevolusi sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungannya. Fakta-fakta yang mendukung pemikiran Darwin adalah sebagai berikut:



Sumber: <http://theguardian.com>

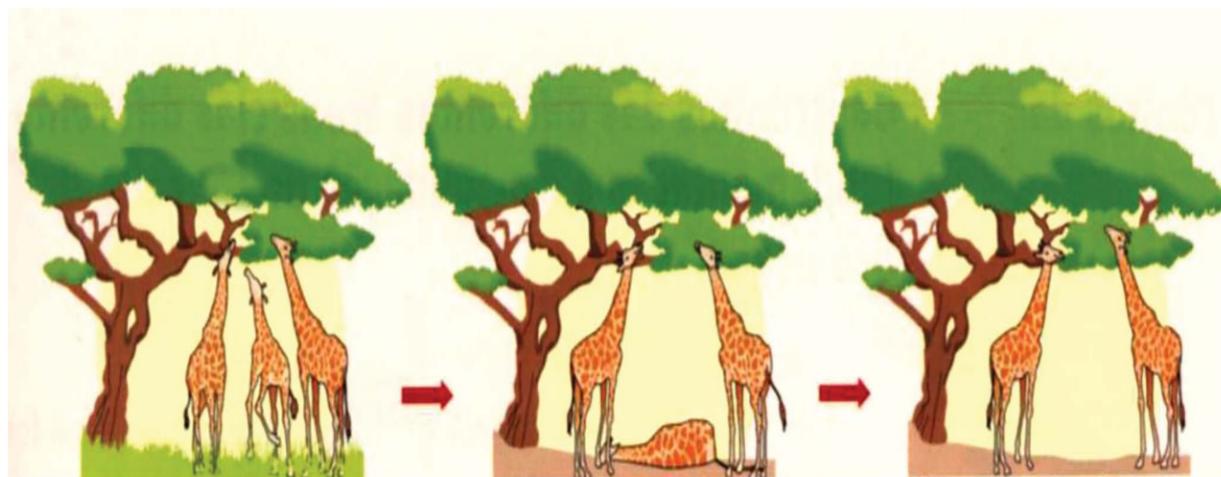
Gambar 18. Charles Darwin

- a. Terdapat variasi dalam populasi makhluk hidup. Bahkan dua individu dari spesies yang sama tidak ada yang benar-benar sama persis. Variasi ini umumnya dapat diwariskan.
- b. Spesies memiliki kemampuan untuk menghasilkan keturunan yang banyak. Makhluk hidup berkembangbiak untuk mempertahankan kelestarian hidupnya. Ada makhluk hidup yang menghasilkan banyak keturunan tetapi hanya sedikit yang dapat bertahan hidup untuk menghasilkan keturunan berikutnya..
- c. Sumber daya alam di bumi terbatas. Oleh karena itu, terjadi kompetisi untuk bertahan hidup di antara keturunan pada setiap generasi.

- d. Proses ini berlangsung dari generasi ke generasi. Populasi lambat laun menjadi teradaptasi lebih baik terhadap lingkungannya. Hanya individu yang sesuai dengan lingkungannya saja yang akan bertahan dan menghasilkan keturunan. Proses ini disebut "*survival of the fittest*" (individu yang sesuai bertahan hidup).

Teori seleksi alam yang dikemukakan Darwin dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Seleksi alam terjadi karena adanya perbedaan keberhasilan pada reproduksi organisme.
- Seleksi alam terjadi melalui interaksi antara lingkungan dengan variasi sifat yang dimiliki oleh individu pada suatu populasi.
- Seleksi alam menghasilkan organisme yang mampu beradaptasi terhadap lingkungannya. Darwin tidak mengetahui prinsip genetika modern pada saat itu. Kini, para ilmuwan mengetahui bahwa mutasi dapat terjadi pada makhluk hidup. Mutasi sebagai penyebab variasi dapat bermanfaat bagi lingkungan. Jika terjadi mutasi yang menguntungkan bagi makhluk hidup. Hal tersebut dapat meningkatkan kemungkinan untuk bertahan hidup. Salah satu contoh peristiwa evolusi menurut Darwin adalah dulunya populasi jerapah ada yang berleher panjang dan berleher pendek. Pada waktu itu, daun-daun yang menjadi makanan jerapah masih dapat diperoleh dari pohon rendah dan pohon tinggi. Namun, semakin lama daun-daun yang terletak pada pohon rendah semakin sedikit hingga akhirnya habis sehingga menyebabkan jerapah berleher pendek mengalami kepunahan. Sedangkan jerapah berleher panjang masih dapat memperoleh makanannya dan bertahan hidup hingga sekarang.



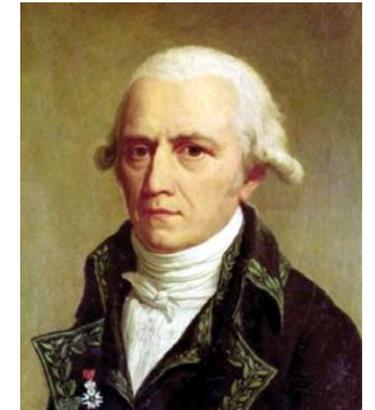
Sumber: <http://biologi.clara.blogspot.com>

Gambar 19. Proses Evolusi Jerapah Menurut Darwin

2. Teori Evolusi Lamarck

Jean Baptiste Lamarck (1744 – 1824) berpendapat bahwa evolusi terjadi karena makhluk hidup beradaptasi dengan lingkungannya. Teori evolusi yang dikemukakan Lamarck dapat disimpulkan sebagai berikut:

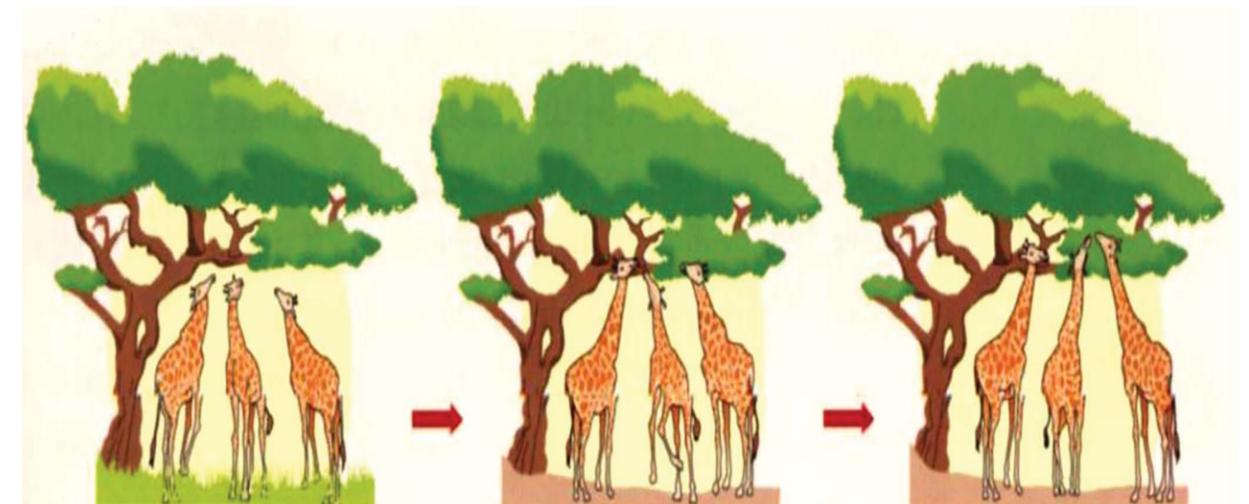
- Lingkungan memengaruhi ciri-ciri atau sifat-sifat pada makhluk hidup. Ciri-ciri atau sifat-sifat yang diperoleh dari hasil adaptasi terhadap lingkungan akan diwariskan kepada keturunannya
- Adanya prinsip **use and disuse** (digunakan dan tidak digunakan), yaitu organ atau bagian tubuh yang digunakan untuk beradaptasi dengan lingkungannya akan berkembang dengan baik sehingga menjadi lebih kuat dan besar. Sedangkan bagian tubuh yang tidak digunakan akan mengalami kemunduran sehingga menyusut atau mengecil.



Sumber: <http://findagrave.com>

Gambar 20. Jean Baptiste Lamarck

Salah satu contoh evolusi menurut Lamarck adalah dulunya nenek moyang jerapah memiliki leher pendek dan memakan daun-daun yang ada pada pohon. Agar dapat mencapai daun-daun yang terletak pada pohon tinggi, jerapah berleher pendek harus meregangkan dan memanjangkan lehernya sehingga ukuran lehernya semakin panjang. Akhirnya sifat leher panjang diwariskan kepada keturunannya dan proses ini berlanjut hingga sekarang sehingga semua jerapah memiliki leher panjang.



Sumber: <http://biologi.clara.blogspot.com>

Gambar 21. Proses Evolusi Jerapah Menurut Lamarck

3. Teori Evolusi Weismann

August Weismann (1834 – 1914) berpendapat bahwa proses evolusi berhubungan dengan gejala seleksi alam terhadap faktor-faktor genetik (pewarisan sifat). Perubahan sel-sel tubuh akibat pengaruh dari lingkungan tidak akan diwariskan. Weismann membuktikan teorinya dengan melakukan percobaan, yaitu memotong ekor tikus-tikus yang dipeliharanya. Kemudian tikus-tikus berkembang biak dan keturunannya tetap memiliki ekor yang panjang. Percobaan tersebut dilakukan hingga 21 generasi dan seluruh keturunannya tetap memiliki ekor panjang. Weismann menyatakan bahwa sifat leher jerapah dikendalikan oleh gen. Sifat leher panjang dikendalikan oleh gen dominan (homozigot dominan atau heterozigot) sedangkan sifat leher pendek dikendalikan oleh gen resesif (homozigot resesif). Jerapah yang bergenotip homozigot resesif tidak mampu beradaptasi dengan lingkungannya hingga akhirnya mengalami kepunahan.



Sumber: <http://proyectolagenetica.blogspot.com>

Gambar 22. August Weismann

C. Adaptasi dan Seleksi Alam

Adaptasi adalah kemampuan organisme untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya. **Seleksi alam** adalah proses seleksi yang terjadi di alam terhadap organisme yang mampu beradaptasi dan tidak mampu beradaptasi. Organisme yang tidak mampu beradaptasi akan terseleksi sehingga jumlah populasinya menurun hingga dapat mengalami kepunahan sedangkan organisme yang mampu beradaptasi akan terus berkembangbiak untuk meningkatkan jumlah populasinya.

Contoh peristiwa adaptasi dan seleksi adalah peristiwa perubahan jumlah populasi pada ngengat *Biston betularia* di Inggris. Sebelum terjadi revolusi industri di Inggris, jumlah populasi ngengat *Biston betularia* berwarna cerah lebih banyak daripada yang berwarna gelap. Hal ini dikarenakan kondisi lingkungan berwarna cerah sehingga ngengat *Biston betularia* tidak mudah terlihat oleh predator. Namun, ngengat



Sumber: Dokumentasi penulis

Gambar 23. Ngengat *Biston betularia* Berwarna Cerah dan Berwarna Gelap

Biston betularia berwarna gelap lebih mudah terlihat oleh predator sehingga jumlahnya terus menurun.

Setelah revolusi industri, kondisi lingkungan berubah menjadi lebih gelap oleh asap-asap pabrik sehingga ngengat *Biston betularia* berwarna gelap lebih adaptif terhadap lingkungannya dibandingkan yang berwarna cerah. Ngengat *Biston betularia* berwarna cerah menjadi lebih mudah terlihat oleh predator sehingga jumlah populasinya terus menurun sedangkan yang berwarna gelap jumlah populasinya meningkat.

Selain proses seleksi alam yang terjadi secara alami juga terdapat seleksi buatan yang dilakukan oleh manusia. Contohnya, manusia lebih memilih tumbuhan atau hewan yang memiliki sifat yang unggul sehingga jumlah populasi yang bersifat kurang unggul dapat mengalami penurunan populasi atau tersingkirkan.

Dari pendapat para ahli di atas, munculah Teori Evolusi yang terbaru yakni yang dikenal sebagai **Teori Sintetik**. Teori ini merupakan gabungan dari teori Lamarck, Darwin, dan hukum pewarisan Mendel yang isinya mengungkapkan bahwa evolusi terjadi karena perubahan frekuensi gen dari suatu generasi ke generasi berikutnya. Ahli lain bernama **De Vries** melengkapi teori ini dengan menyatakan bahwa evolusi terjadi karena perubahan frekuensi gen akibat mutasi.

D. Petunjuk Adanya Evolusi

Banyak bukti-bukti yang telah ditemukan oleh para ahli dan dianggap menjadi petunjuk adanya fenomena evolusi. Namun demikian, banyak orang yang tidak percaya adanya evolusi meski bukti sudah banyak. Hal ini wajar karena evolusi itu bukan sekejap tapi merupakan perubahan dari waktu ke waktu. Petunjuk adanya evolusi antara lain bukti dari palaentologi yang berupa fosil-fosil, perbandingan struktur anatomi, perbandingan perkembangan embrio, perbandingan fisiologi, perbandingan secara biokimia, organ rudimenter, dan bukti peristiwa domestikasi. Nah, mengingat pentingnya pemahaman tentang bukti-bukti tersebut, maka di bawah ini akan diuraikan penjelasan lebih lanjut mengenai bukti-bukti sebagai petunjuk adanya evolusi kehidupan. Simak yuk...!

1. Adanya Fosil-fosil

Menurut Darwin, fosil merupakan bukti evolusi yang menunjukkan kontinuitas perkembangan kehidupan. Fosil adalah sisa-sisa hewan dan tumbuhan yang hidup di masa lampau, terawetkan secara alami, dan telah berumur jutaan tahun. Fosil merupakan catatan sejarah penting sebagai petunjuk adanya evolusi. Dengan membandingkan struktur tubuh hewan masa lampau yang telah menjadi fosil dengan hewan sekarang dapat disimpulkan bahwa keadaan lingkungan di masa lampau berbeda dengan

sekarang. Fosil dapat berupa tulang belulang, cangkang, jejak kaki, atau bagian tubuh lainnya. Fosil dapat menunjukkan perubahan yang dialami organisme dari sederhana menjadi lebih kompleks dan semakin beragam.



Sumber: <http://id.pinterest.com>

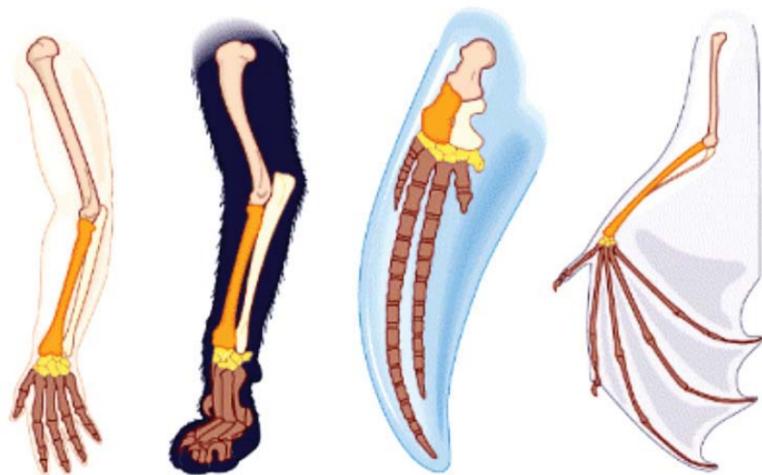
Sumber: <http://especies-animales-mondiales.e-monsite.com>

Gambar 24. Fosil (kiri) dan Ilustrasi (Kanan) dari Archaeopteryx, Burung Purba dari Zaman Yura

2. Perbandingan Anatomi

Keanekaragaman pada struktur tubuh makhluk hidup sebenarnya memiliki kesamaan struktur dasar. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan memiliki asal-usul yang sama atau berkerabat dekat. Perbandingan anatomi dapat dilihat dari struktur homologi dan analogi. **Homologi** merupakan kesamaan pada struktur tubuh dasar tetapi memiliki fungsi sama atau berbeda. Contohnya tangan manusia, kaki depan kucing, sirip paus, dan sayap kelelawar memiliki struktur yang sama, yaitu terdiri atas tulang lengan atas (humerus), tulang pengumpil (radius), tulang hasta (ulna), tulang pergelangan tangan (karpal), tulang telapak tangan (metakarpal), dan ruas jari-jari (falanges). Ukuran, bentuk, serta fungsinya berbeda sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungannya.

Analogi merupakan kesamaan pada fungsi anggota tubuh tetapi memiliki struktur yang berbeda. Contohnya sayap pada kupu-kupu, burung, dan kelelawar memiliki fungsi yang sama untuk terbang tetapi memiliki struktur yang berbeda.



Sumber: <http://i-studycenter.blogspot.com>

Gambar 25. Perbandingan Homologi

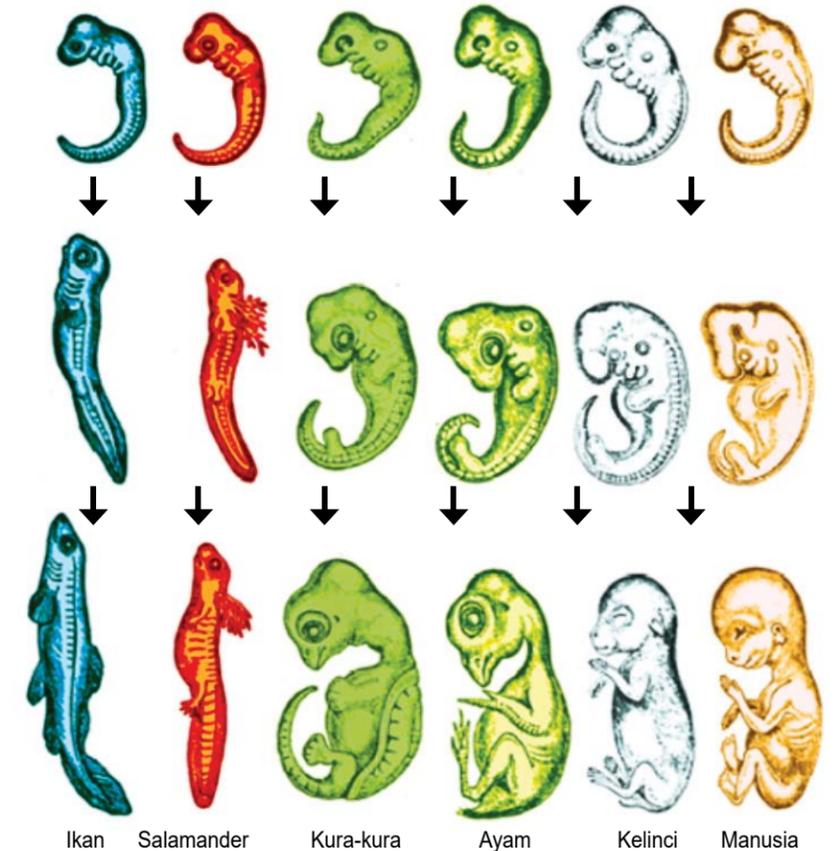


Sumber: Dokumentasi penulis

Gambar 26. Perbandingan Analogi

3. Perbandingan Embrio

Bukti evolusi lain yang cukup kuat adalah perbandingan perkembangan embrio pada berbagai makhluk hidup yang memiliki kesamaan. Hal ini dapat kita lihat pada vertebrata yang menunjukkan adanya kesamaan pada fase-fase perkembangan embrionya. Perkembangan awal embrio pada beberapa spesies memiliki kesamaan struktur tubuh selanjutnya masing-masing mengalami perkembangan berbeda-beda. Perhatikan Gambar 24 berikut ini. Apakah Anda menemukan adanya kesamaan? Dari kelima embrio tersebut, masing-masing mengalami fase pembelahan kemudian berkembang dan mengalami morfogenesis hingga berdiferensiasi membentuk organisme yang strukturnya semakin kompleks.



Sumber: <http://slideshare.net>

Gambar 27. Perbandingan Embriologi pada Kelompok Vertebrata

4. Perbandingan Fisiologis

Kita juga dapat melihat kesamaan fisiologis pada beberapa organisme berbeda yang menunjukkan adanya hubungan kekerabatan yang dekat. Contohnya harimau, burung, dan lumba-lumba bernapas menggunakan paru-paru walaupun hidup pada habitat berbeda.



Sumber: Dokumantasi penulis

Gambar 28. Perbandingan Fisiologi

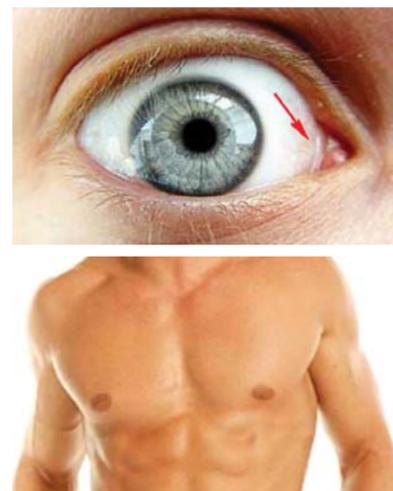
5. Perbandingan Biokimia

Biokimia merupakan cabang biologi yang mempelajari unsur-unsur kimia serta reaksinya dalam tubuh makhluk hidup. Persamaan biokimia dalam organisme hidup merupakan salah satu ciri penting yang membedakan satu organisme dengan organisme lain.

Beberapa makhluk hidup memiliki kesamaan jika dilakukan analisis kimia. Contohnya untuk mengetahui kekerabatan pada hewan dapat ditunjukkan dengan uji secara biokimia yang disebut uji presipitin. **Uji presipitin** adalah uji adanya reaksi antara antigen dan antibodi. Banyak sedikitnya endapan yang terbentuk akibat reaksi tersebut dapat digunakan untuk menentukan jauh dekatnya hubungan kekerabatan antara suatu organisme dengan organisme lainnya.

6. Organ Rudimenter (organ tubuh yang tersisa)

Pada beberapa jenis hewan termasuk manusia ditemukan organ rudimenter atau sisa berbagai alat tubuh. organ ini pada hakikatnya sudah tidak berfungsi lagi, namun masih dijumpai di dalam tubuh. Organ tubuh yang tidak digunakan mengalami reduksi sehingga akhirnya menghilang pada generasi yang akan datang. Contohnya a) buah dada pada laki-laki yang tidak memiliki fungsi, b) selaput mata ketiga (membran niktitans) pada sudut mata sebelah dalam, pada manusia yang mereduksi, c) tulang ekor, d) rambut pada dada, gigi taring yang runcing, dan umbai cacaing. Para ahli menyimpulkan bahwa adanya organ tubuh yang tersisa (rudimenter) merupakan petunjuk adanya evolusi.



Sumber: Dokumantasi penulis

Gambar 29. Contoh Organ Rudimenter pada Manusia

7. Peristiwa Domestikasi

Domestikasi adalah usaha manusia untuk menjadikan hewan atau tumbuhan sebagai budidaya dengan mengubah habitat, jenis makanan, dan perilakunya. Contohnya hewan-hewan yang dulunya liar seperti anjing mengalami domestikasi sehingga bersifat jinak. Akhirnya dalam waktu lama menghasilkan ras keturunan yang juga bersifat jinak.



Sumber: Dokumantasi penulis

Gambar 30. Anjing Liar (Kiri) dan Anjing Peliharaan (Kanan)



E. Faktor Pendukung Terjadinya Evolusi

Evolusi dapat terjadi karena terjadinya **variasi genetik** dan **seleksi alam**. Variasi genetik dapat terjadi karena adanya **mutasi gen**, **rekombinasi gen**, **hanyutan genetik**, dan **aliran gen**.

1. Mutasi Gen

Mutasi dapat menyebabkan variasi sifat-sifat dalam suatu populasi kemudian terjadi seleksi alam untuk menghasilkan organisme dengan sifat yang adaptif terhadap lingkungannya. Mutasi gen sifatnya dapat menguntungkan atau merugikan bagi kelestarian spesies. Mutasi dikatakan menguntungkan jika menghasilkan spesies yang adaptif terhadap lingkungannya. Mutasi dikatakan merugikan jika menghasilkan alel yang bersifat letal (mematikan) atau tidak adaptif terhadap lingkungannya. Peranan mutasi dalam proses evolusi dapat dijelaskan melalui angka laju mutasi yang terjadi pada suatu spesies. **Angka laju mutasi** adalah angka yang menunjukkan jumlah gen yang bermutasi dari seluruh gamet yang dihasilkan oleh individu dalam suatu spesies. Berdasarkan hasil penelitian bahwa rata-rata angka laju mutasi berkisar sekitar 1 : 100.000 yang artinya dalam 100.000 gamet terdapat 1 gen yang bermutasi. Angka laju mutasi yang menguntungkan berkisar 1 : 1.000 yang artinya dalam 1.000 mutasi yang terjadi terdapat 1 mutasi yang menguntungkan.

2. Rekombinasi Gen

Rekombinasi gen adalah peristiwa pembentukan susunan gen baru yang disebabkan oleh gen-gen berpasangan secara bebas pada waktu pembentukan gamet. Rekombinasi gen dapat terjadi saat peristiwa pindah silang pada fase profase I dari meiosis I. Hal ini

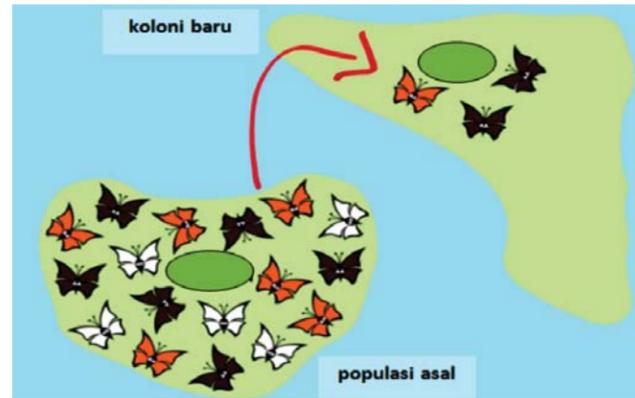
dapat menyebabkan suatu keturunan memiliki gen yang berbeda dengan gen induknya sehingga menuju proses pembentukan spesies baru.

3. Hanyutan Genetik (*Genetic drift*)

Hanyutan genetik adalah peristiwa perubahan frekuensi alel dalam suatu populasi karena adanya populasi kecil yang memisah dari populasi asalnya. Hal ini dapat menyebabkan alel-alel tertentu akan berjumlah banyak, sedikit, atau menghilang dari populasi. Peristiwa hanyutan genetik ada dua macam, yaitu efek penemu dan efek leher botol.

a. Efek Penemu (*Founder effect*)

Founder effect merupakan peristiwa populasi kecil yang memisah dari populasi kemudian menempati tempat baru dan membentuk koloni tersendiri. Koloni baru dapat memiliki frekuensi alel yang berbeda dengan populasi asalnya karena melakukan perkawinan dengan sesama anggota koloninya.

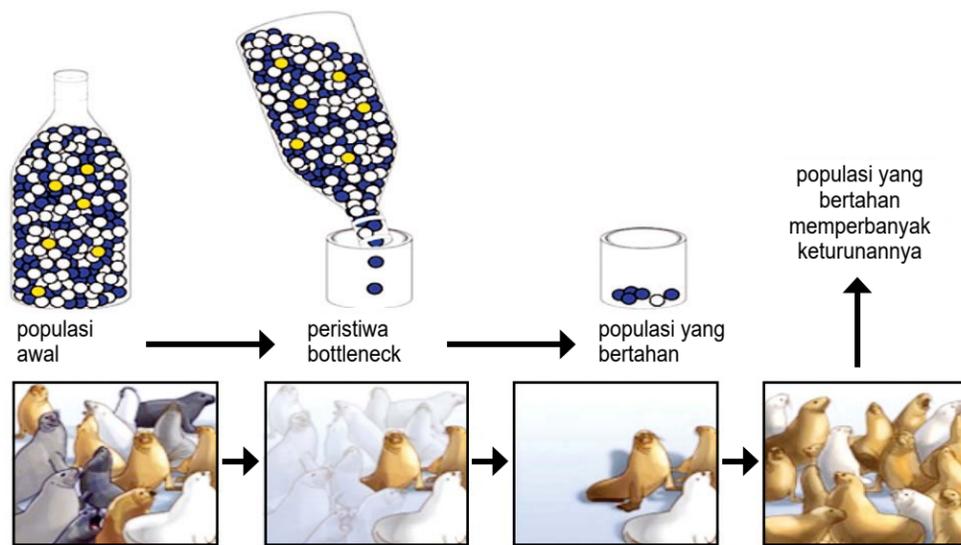


Sumber: <http://i-studycenter.blogspot.com>

Gambar 31. Peristiwa Founder Effect

b. Efek Leher Botol (*Bottleneck effect*)

Bottleneck effect merupakan peristiwa penurunan drastis jumlah populasi karena adanya bencana alam atau aktivitas manusia sehingga dapat menyebabkan penurunan variasi genetik.

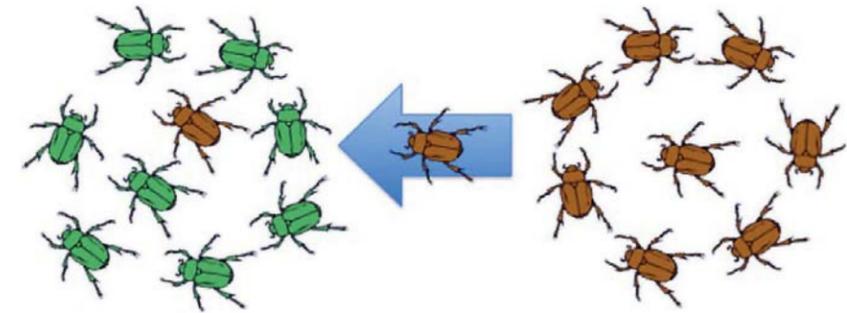


Sumber: Dokumentasi penulis

Gambar 32. Peristiwa Bottleneck Effect

4. Aliran Gen (*Gene flow*)

Aliran gen adalah peristiwa pertukaran gen antar populasi yang disebabkan oleh proses imigrasi dan emigrasi pada populasi. Contohnya seekor kumbang merah melakukan imigrasi ke populasi kumbang cokelat kemudian jika melakukan perkawinan akan menghasilkan alel baru pada populasi kumbang cokelat.



Sumber: <https://biologydictionary.net/wp-content/uploads/2018/09/Gene-flow.jpg>

Gambar 33. Peristiwa Gene Flow



F. Spesiasi (Proses Pembentukan Spesies Baru)

Spesiasi dalam suatu populasi diawali oleh perubahan faktor genetik yang umumnya disebabkan pengaruh faktor lingkungan. Perubahan faktor genetik dapat menyebabkan terjadinya perubahan bentuk, kebiasaan, dan sifat lain yang berbeda sehingga akan memunculkan spesies baru.

Ketika beberapa individu terpisah atau berada jauh dalam waktu lama dari populasinya lalu menempati lingkungan yang baru sehingga dapat mengalami perubahan pada struktur tubuh, sifat, hingga proses reproduksinya. Jika suatu saat keturunan dari individu-individu tersebut bertemu dengan populasi asalnya, maka proses perkawinan atau reproduksi tidak dapat berlangsung karena adanya perbedaan. Individu-individu satu spesies yang terpisah disebut **spesies alopatrik**. Individu-individu yang telah terpisah dalam waktu lama dan sudah mengalami perubahan kemudian berada dalam satu lingkungan yang sama disebut **spesies simpatrik**.

Faktor yang memisahkan suatu populasi sehingga tidak dapat melakukan perkawinan dinamakan **sawar, isolasi**, atau **penghalang (barrier)**. Berikut ini adalah beberapa jenis isolasi, yaitu:

1. **Isolasi Geografi**, jika dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan perkawinan karena memiliki kondisi lingkungan tempat tinggal yang berbeda dan hanya dapat berkembangbiak di lingkungannya masing-masing. Contohnya tanaman *Plantanus occidentalis* yang hidup di wilayah Indonesia timur tidak bisa melakukan perkawinan secara alami dengan *Plantanus orientalis* yang hidup di wilayah Indonesia Barat.



G. Hardy-Weinberg Hukum

Pada tahun 1908, **Godfrey Harold Hardy** dan **Wilhem Weinberg** mengemukakan prinsip kesetimbangan yang dikenal dengan **hukum Hardy-Weinberg**. Hukum Hardy-Weinberg menyatakan bahwa frekuensi alel dan genotip dalam suatu populasi akan selalu tetap dari generasi ke generasi dengan syarat tertentu, yaitu:

- Jumlah populasi besar
- Tidak terjadi imigrasi atau emigrasi
- Tidak terjadi mutasi
- Tidak terjadi seleksi
- Terjadi perkawinan secara acak
- Meiosis berlangsung normal
- Setiap individu dalam populasi memiliki kemampuan hidup (vialitas) dan kemampuan bereproduksi (fertilitas) yang sama

Frekuensi alel adalah perbandingan antara jumlah suatu alel dengan alel lainnya dalam suatu populasi. **Frekuensi genotip** adalah perbandingan jumlah suatu genotip dengan genotip lainnya dalam suatu populasi.

Rumus aljabar hukum Hardy-Weinberg	
Persamaan untuk frekuensi genotip $p^2 + 2pq + q^2 = 1$	Keterangan: p^2 = frekuensi genotip dominan homozigot $2pq$ = frekuensi genotip homozigot q^2 = frekuensi genotip resesif homozigot p = frekuensi alel dominan q = frekuensi alel resesif
Persamaan untuk frekuensi alel $p + q = 1$	

Contoh 1:
Di suatu kota terdapat penderita albino sebesar 25% sedangkan yang lainnya normal. Penderita albino dikendalikan oleh alel resesif (a) dan individu normal dikendalikan oleh alel dominan (A).

1. Berapakah frekuensi genotip penderita albino dan orang normal?
2. Jika jumlah populasi di kota tersebut adalah 2.000 orang, berapakah jumlah penderita albino?

Penyelesaian:	
Penderita albino bergenotip aa	= 25% → 0,25
Individu normal bergenotip AA dan Aa	= 100% - 25% = 75% → 0,75
Frekuensi alel a: aa = $q^2 = 0,25$ $q^2 = 0,25$ $q = \sqrt{0,25}$ $q = 0,5$	Frekuensi genotip $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ $(0,5)^2 + 2(0,5)(0,5) + (0,5)^2 = 1$ $0,25 + 0,50 + 0,25 = 1$

2. **Isolasi Ekologi**, jika dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan perkawinan karena memiliki habitat yang berbeda dan hanya dapat berkembangbiak pada habitatnya masing-masing. Contohnya katak *Bufo woodhousei* habitatnya di air tenang tidak dapat melakukan perkawinan secara alami dengan katak *Bufo americanus* habitatnya di kubangan air hujan.
3. **Isolasi Temporal**, jika dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan perkawinan karena memiliki musim kawin berbeda. Contohnya *Drosophila pseudoobscura* kawin di sore hari dan *Drosophila pseumilis* kawin di pagi hari.
4. **Isolasi Tingkah Laku**, jika dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan perkawinan karena memiliki perilaku berbeda saat melakukan perkawinan. Contohnya pada beberapa spesies burung jantan yang berkicau untuk memikat betina, suara kicauan tersebut hanya bisa dimengerti oleh spesies dari populasi yang sama.
5. **Isolasi Mekanik**, jika dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan perkawinan karena memiliki bentuk, struktur, atau ukuran yang tidak cocok. Contohnya anjing jantan ras pudel yang bertubuh kecil dan berkaki pendek tidak dapat mengawini anjing betina ras chow-chow yang bertubuh besar.
6. **Isolasi Gamet**, jika dua spesies simpatrik tidak dapat saling membuahi sel gamet karena memiliki susunan kimiawi berbeda. Contoh telur ikan tidak dapat dibuahi oleh ikan dari spesies lain.

BIOINFO ► Teori Asal Usul Kehidupan

Sejak zaman dahulu para ahli sudah mengemukakan berbagai pendapat mengenai asal usul makhluk hidup yang ada di bumi. Dalam ilmu biologi terdapat teori asal usul kehidupan, yaitu teori abiogenesis dan teori biogenesis.

Teori abiogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati. Orang-orang zaman dulu menganggap bahwa ikan dan katak berasal dari lumpur. Penganut teori ini antara lain Aristoteles dan Antonie van Leeuwenhoek.

Teori biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup yang sudah ada sebelumnya.

Tiga tokoh penganut teori ini adalah Francesco Redi, Lazzaro Spallanzani, dan Louis Pasteur. Percobaan ketiga tokoh tersebut berhasil menyanggah teori abiogenesis dan membuktikan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup.



Sumber: <https://hellosehat.com>
Gambar 34. Anak Ayam yang baru Menetas dari Telur

Frekuensi alel A:

$$p + q = 1$$
$$p + 0,5 = 1$$
$$p = 1 - 0,5$$
$$p = 0,5$$

$$\text{Frekuensi genotip AA (normal)} = 0,25$$
$$\text{Frekuensi genotip Aa (normal carrier)} = 0,50$$
$$\text{Frekuensi genotip aa (albino)} = 0,25$$

Diketahui jumlah populasi 2.000 orang, maka jumlah penderita albino adalah:
Jumlah frekuensi genotip albino x jumlah total populasi
 $0,25 \times 2.000 = 500$ orang

Contoh 2:

Persentase pria hemofilia di Inggris adalah 9%. Berapakah persentase wanita normal, wanita *carrier* dan wanita hemofilia?

Penyelesaian:

Wanita normal bergenotip XHXH	= p^2
Wanita carrier bergenotip XHXh	= $2pq$
Wanita hemofilia bergenotip XhXh	= q^2
Pria normal bergenotip XHY	= p
Pria hemofilia bergenotip XhY	= q

Frekuensi pria hemofilia: $q = 9\% \rightarrow 0,09$	Frekuensi wanita normal: $p^2 = (0,91)^2 = 0,828$
---	--

Frekuensi pria normal: $p + q = 1$ $p + (0,09) = 1$ $p = 1 - 0,09$ $p = 0,91$	Frekuensi wanita carrier: $2pq = 2 (0,91) (0,09) = 0,164$
	Frekuensi wanita hemofilia: $q^2 = (0,09)^2 = 0,008$

Penugasan 2.1

1. Tugas

Membuat tulisan gagasan baru mengenai kemungkinan-kemungkinan pandangan teori evolusi berdasarkan pemahaman

2. Tujuan

Anda diharapkan mampu:

- Menjelaskan teori-teori evolusi
- Membuat laporan tertulis mengenai gagasan baru tentang kemungkinan-kemungkinan pandangan evolusi berdasarkan pemahaman yang dimiliki

3. Media

- Alat tulis
- Buku/sumber lain yang mendukung

4. Langkah-langkah

- Melakukan kajian pustaka mengenai teori perancangan cerdas (*intelligent design*) dan membandingkannya dengan teori evolusi lainnya
- Buatlah gagasan baru mengenai kemungkinan-kemungkinan teori evolusi berdasarkan pemahaman Anda dari hasil kajian pustaka
- Sajikan gagasan Anda dalam bentuk tulisan minimal 150 kata.
- Kumpulkan hasil tulisan Anda kepada tutor.

Pelajaran Unit 2 sudah selesai. Istirahatlah sejenak.

Lanjutkan belajar Anda dengan mengerjakan latihan soal untuk menguji tingkat pemahaman Anda. Selamat Belajar, Tetap Semangat Ya...!

Rangkuman

1. Mutasi adalah peristiwa perubahan materi genetik (DNA) dan kromosom suatu organisme yang dapat diwariskan secara genetik pada keturunannya.
2. Mutan adalah organisme yang mengalami mutasi.
3. Mutagen adalah bahan/ zat yang menyebabkan terjadinya mutasi.
4. Berdasarkan mekanisme terjadinya mutasi, ada dua macam mutasi yaitu mutasi alami dan mutasi buatan.
5. Berdasarkan sifatnya, mutagen digolongkan menjadi tiga yaitu bahan fisik, bahan kimia, dan bahan biologi.
6. Mutasi gen adalah perubahan materi genetik pada gen akibat urutan basa nitrogen pada rantai DNA yang berubah. Dibedakan atas adisi, delesi, duplikasi, insersi, transisi, dan transversi.
7. Mutasi kromosom adalah perubahan materi genetik pada kromosom akibat perubahan struktur dan jumlah kromosom. Dibedakan atas delesi, duplikasi, inversi, translokasi, dan katenasi.
8. Mutasi akibat perubahan jumlah kromosom dapat dibedakan atas euploidii dan aneuploidii.
9. Euploidii adalah perubahan pada seluruh materi genetik dalam satu set kromosom (genom) sehingga jumlah kromosom menjadi kelipatan dari set kromosom haploidnya.
10. Berdasarkan jumlah genom, euploidii dapat dibedakan atas monoploid, diploid, triploid, tetraploid, dan seterusnya.
11. Aneuploidii adalah perubahan jumlah kromosom dalam suatu individu sehingga jumlah kromosom menjadi lebih banyak atau lebih sedikit dari jumlah individu normal atau diploid ($2n$). perubahan pada seluruh materi genetik dalam satu set kromosom.
12. Beberapa jenis Aneuploidii yaitu: Nulisomi ($2n-2$), Monosomi ($2n-1$), Monosomi ganda ($2n-1-1$), Trisomi ($2n+1$), Tetrasomi ($2n+2$), Tetrasomi ganda ($2n+2+2$).
13. Evolusi adalah perubahan perlahan-lahan dan secara bertahap yang berlangsung dalam waktu yang sangat lama.
14. Evolusi dapat dibedakan atas evolusi anorganik dan evolusi organik, mikroevolusi dan makroevolusi, evolusi progresif dan evolusi regresif, serta evolusi divergen dan evolusi konvergen.

15. Petunjuk adanya evolusi yaitu fosil, perbandingan anatomi, perbandingan embriologi, perbandingan fisiologi, perbandingan biokimia, organ rudimenter, dan proses domestikasi.
16. Adaptasi adalah kemampuan organisme untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya sedangkan seleksi alam adalah proses seleksi yang terjadi di alam terhadap organisme yang mampu beradaptasi dan tidak mampu beradaptasi.
17. Faktor pendukung terjadinya evolusi antara lain mutasi gen, rekombinasi gen, hanyutan genetik, dan aliran gen.

Kata Kunci

adaptasi	duplikasi	makroevolusi	inversi
aneuploidii	euploidii	mikroevolusi	translokasi
adisi	fosil	mutasi	isolasi
aliran gen	hanyutan genetik	mutagen	seleksi alam
analogi	homologi	mutan	spesiasi
delesi	insersi	mutagenesis	

Latihan Soal

A. Soal Pilihan Ganda

Pilihlah jawaban yang tepat!

- Berikut ini yang tidak termasuk mutagen alami adalah
 - virus
 - sinar UV
 - sinar X
 - bakteri
 - unsur radioaktif
- Peristiwa penggantian suatu pasangan basa purin dengan pasangan basa pirimidin disebut
 - adisi
 - delesi
 - duplikasi
 - transisi
 - transversi
- Diketahui rantai DNA awal adalah AGG – CCA – AAT – TAA dan rantai DNA akhir adalah GAG – GCC – AAA – TTA.
Peristiwa mutasi yang terjadi adalah
 - adisi
 - delesi
 - duplikasi
 - transisi
 - transversi
- Perhatikan peristiwa mutasi berikut.
GGC – ACT – ACA – . . . → GGC – ACA – CA
Jenis mutasi yang terjadi adalah
 - adisi
 - delesi
 - duplikasi
 - transisi
 - transversi
- Perhatikan gambar berikut!

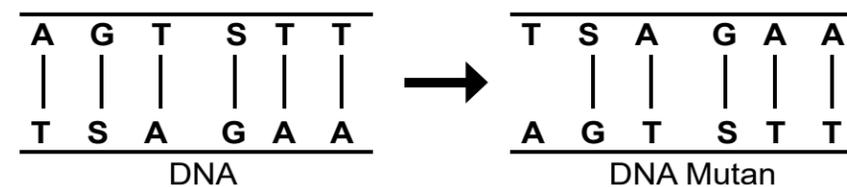


Sumber: Dokumentasi penulis

Jenis mutasi yang terjadi adalah

- insersi
- inversi
- katensasi
- substitusi
- translokasi

- Jika dalam tubuh terjadi mutasi gen, maka jumlah kromosom pada sel tubuh akan
 - tetap
 - berubah
 - berkurang
 - bertambah
 - berlipat ganda
- Mutasi gen akan mengakibatkan
 - perubahan pada fenotip saja
 - perubahan pada genotip saja
 - perubahan pada fenotip dan genotip
 - perubahan pada genotip, sedangkan fenotip dapat berubah atau tidak
 - perubahan pada fenotip, sedangkan genotip dapat berubah atau tidak
- Tanaman kentang memiliki 48 kromosom. Tanaman kentang yang mengalami triploid akan memiliki jumlah kromosom sebesar
 - 24
 - 48
 - 49
 - 72
 - 96
- Kelainan pada manusia yang terjadi akibat trisomi pada kromosom nomor 21 sehingga kromosom berjumlah 47 memiliki ciri-ciri bermata sipit, kaki pendek, berjalan lambat, menderita kelainan jantung, pertumbuhan tubuh dan mental lambat, serta memiliki IQ sangat rendah adalah
 - Sindrom Down
 - Sindrom Jacob
 - Sindrom Edward
 - Sindrom Turner
 - Sindrom Klinefelter
- Perhatikan skema berikut!



Mutasi yang terjadi pada potongan DNA tersebut adalah (Soal UN 2017)

- transisi
 - inversi
 - insersi
 - translokasi
 - transversi
- Menurut teori evolusi, setiap spesies berasal dari satu nenek moyang dan spesies yang ada sebelumnya lambat laun berubah menjadi spesies yang lain. Sejak awal teori evolusi dikemukakan tidak mampu menjelaskan proses pembentukan asal-usul spesies kehidupan bermula. Kelemahan teori evolusi yang dikemukakan para ahli adalah (Soal UN Biologi 2016)

- a. teori evolusi tidak dapat membantah hukum alam
- b. teori evolusi tidak dapat membantah hukum probabilitas
- c. tidak ditemukan spesies peralihan dari spesies lama ke baru
- d. spesies yang ada tidak mencerminkan perubahan dari spesies terdahulu
- e. fosil yang ditemukan masih kurang lengkap menunjukkan perubahan organ

12. Persamaan teori evolusi menurut Lamarck dan Darwin adalah evolusi terjadi karena adanya

- a. seleksi alam
- b. mutasi genetik
- c. perubahan lingkungan
- d. perkawinan secara acak
- e. penggunaan bagian tubuh tertentu secara kontinu

13. Pernyataan yang benar mengenai pendapat August Weismann berkaitan dengan evolusi adalah

- a. perubahan sifat dan fungsi organ tubuh sebagai akibat adaptasi terhadap lingkungan akan diwariskan
- b. individu yang mempunyai variasi sifat adaptif terhadap lingkungannya akan bertahan hidup
- c. seleksi alam hanya diwariskan dan interaksi antara lingkungan dengan variasi yang dimiliki oleh organisme
- d. perubahan sel-sel tubuh akibat pengaruh dari lingkungan tidak akan diwariskan
- e. makhluk hidup harus mampu beradaptasi dengan lingkungannya dengan menggunakan organ tubuhnya agar dapat bertahan hidup

14. Penyebab meningkatnya jumlah ngengat *Biston betularia* berwarna gelap setelah revolusi industri adalah

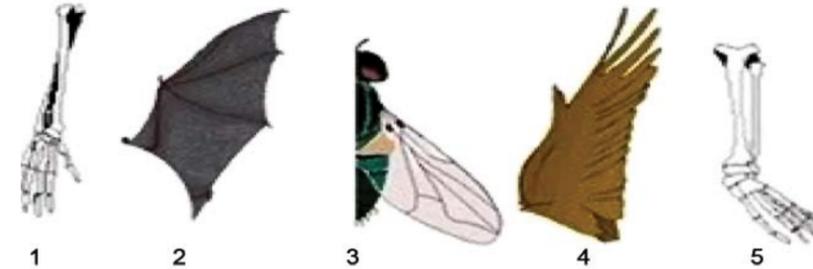
- a. ngengat berwarna cerah mati akibat kekurangan makanan
- b. ngengat berwarna gelap menurunkan sifat yang lebih variatif
- c. kemampuan bertahan hidup ngengat berwarna gelap lebih tinggi
- d. ngengat berwarna cerah dimangsa oleh ngengat berwarna gelap
- e. ngengat berwarna gelap lebih adaptif terhadap warna lingkungannya

15. Pernyataan yang mendukung teori evolusi karena terjadi mekanisme seleksi alam adalah (Soal UN Biologi 2016)

- a. jerapah semula berleher pendek karena mengambil daun-daun yang tinggi akhirnya lehernya menjadi panjang
- b. beberapa jenis bebek memiliki kaki berselaput untuk berenang karena hidup di tempat yang berair
- c. burung elang memiliki otot dada yang besar dan kuat akibat sering terbang tinggi

- d. ngengat berwarna cerah punah dan ngengat berwarna gelap dapat berkembang biak pada saat revolusi industri
- e. kaki ular menyusut akibat tidak digunakan dan meningkatnya predator hewan tersebut.

16. Perhatikan gambar alat gerak pada makhluk hidup berikut!



Sumber: <http://biologiklaten.wordpress.com>

Struktur homologi ditunjukkan oleh nomor

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

17. Organ-organ tubuh dari beberapa organisme adalah sebagai berikut:

- 1) sayap merpati
- 2) sayap capung
- 3) sayap elang
- 4) sirip hiu
- 5) sirip paus
- 6) sirip ikan

Struktur analogi ditunjukkan oleh nomor

- a. 1 dan 2
- b. 1 dan 3
- c. 3 dan 5
- d. 4 dan 5
- e. 5 dan 6

18. Gajah laut utara mengalami perburuan liar di abad 19 dan menyisakan sekitar 20 ekor. Namun kini populasinya tumbuh hingga mencapai 30.000 ekor tetapi hanya ada sedikit variasi genetik. Peristiwa yang dialami populasi gajah laut utara adalah

- a. spesiasi
- b. *gene flow*
- c. *founder effect*
- d. *bottleneck effect*
- e. rekombinasi gen

19. Lebah yang membawa serbuk sari dari bunga *Salvia apiana* tidak dapat masuk ke dalam bunga *Salvia mellifera* untuk menyerbuki putiknya. Hal ini terjadi karena antara spesies bunga *Salvia apiana* dan *Salvia mellifera* mengalami isolasi

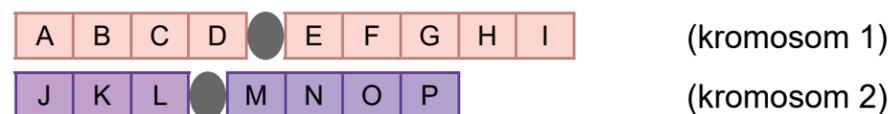
- a. ekologi
- b. tingkah laku
- c. mekanik
- d. temporal
- e. gamet

20. Pada suatu populasi manusia ditemukan adanya penderita imbisil atau gangguan mental sebanyak 1%. Imbisil ditentukan oleh alel resesif. Jika jumlah populasi sebesar 5.000 orang, maka jumlah orang normal heterozigot adalah sebanyak
- 4.050
 - 4.000
 - 950
 - 900
 - 50

B. Soal Uraian

Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

- Radiasi berlebihan dari sinar matahari, komputer, dan ponsel merupakan mutagen bagi tubuh. Bagaimana cara Anda dalam melindungi tubuh atau mencegah dampak mutasi akibat radiasi dari mutagen tersebut?
- Jelaskan perbedaan mutasi tingkat gen dan mutasi tingkat kromosom!
- Diketahui struktur kromosom normal sebagai berikut:



Gambarkan struktur kromosom jika terjadi:

- Inversi pada segmen E – H kromosom 1
 - Delesi pada segmen L kromosom 2
 - Translokasi antara segmen A – B pada kromosom 1 dengan segmen M – N pada kromosom 2!
- Jelaskan persamaan dan perbedaan teori evolusi menurut Darwin dan menurut Lamarck!
 - Adakah hubungan antara peristiwa mutasi dengan proses evolusi organisme? Jelaskan!
 - Persentase pria buta warna di suatu daerah sebanyak 4%. Jika jumlah penduduk tersebut terdiri atas 4.000 pria dan 5.000 wanita, berapakah jumlah penderita buta warna dan jumlah wanita *carrier* buta warna?

KRITERIA PINDAH MODUL

Anda dinyatakan tuntas dan dapat mengikuti modul berikutnya dengan ketentuan telah menyelesaikan tugas-tugas dan latihan soal dalam modul dan nilai hasil belajar mencapai ketuntasan minimal 70. Anda minta tutor untuk menguji pemahaman Anda terhadap modul ini sebelum Anda melanjutkan ke modul berikutnya.

Rumus Nilai Akhir :

Nilai Akhir Tugas + Nilai Akhir Latihan Soal

2

Jika penguasaan materi belum mencapai nilai ketuntasan 70 jangan berkecil hati dan tetap semangat. Ulangi dengan membaca kembali uraian materi dalam modul, kemudian coba lagi untuk mengerjakan soal latihan khususnya pada soal yang Anda rasakan sulit untuk menjawabnya. Anda juga dapat meminta bantuan Tutor untuk membantu Anda.



Rubrik Penilaian

A. RUBRIK PENUGASAN

1. UNIT 1

PENUGASAN 1

No.	Kriteria	Skor dan Deskripsi
1.	Penyajian ringkasan materi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penyajian ringkasan materi yang seadanya 2. Penyajian ringkasan materi kurang baik, kurang rapi, ada bagian tertentu yang kurang jelas, dan kurang sistematis 3. Penyajian ringkasan materi baik, rapi, mudah dibaca, dan sistematis
2.	Informasi mengenai kelainan/ penyakit	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menginformasikan kurang dari 7 kelainan/penyakit atau ada lebih dari satu kelainan/penyakit yang tidak dijelaskan penyebab dan ciri-cirinya 2. Menginformasikan 7 macam kelainan/penyakit tetapi ada satu kelainan/penyakit yang tidak dijelaskan penyebab dan ciri-cirinya 3. Menginformasikan 7 macam kelainan/penyakit dengan meliputi penyebab dan ciri-cirinya
3.	Kelengkapan gambar pendukung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ada banyak prosedur simulasi yang tidak sesuai 2. Ada satu prosedur simulasi yang tidak sesuai 3. Melaksanakan simulasi sesuai langkah-langkah yang ada

KRITERIA PENILAIAN

Total Skor	Nilai	Total Skor	Nilai
9	100	5	80
8	95	4	75
7	90	3	70
6	85		

2. UNIT. 1

PENUGASAN 2

No. Soal	Skor	Kriteria Penskoran
1	40	<p>Jika penulisan basa nitrogen hasil adisi sudah tepat, maka memperoleh skor 20 (untuk setiap triplet yang benar memperoleh skor 4)</p> <p>Jika penulisan basa nitrogen hasil delesi sudah tepat, maka memperoleh skor 20 (untuk setiap triplet yang benar memperoleh skor 5)</p>
2	20	<p>Jika penjelasan mengenai delesi pada mutasi tingkat gen sudah tepat, maka memperoleh skor 10</p> <p>Jika penjelasan mengenai delesi pada mutasi tingkat kromosom sudah tepat, maka memperoleh skor 10</p>

3	20	<p>Jika penentuan jumlah kromosom sel tubuhnya sudah tepat, maka memperoleh skor 5</p> <p>Jika penentuan jumlah kromosom triploid sudah tepat, maka memperoleh skor 7,5</p> <p>Jika penentuan jumlah kromosom tetraploid sudah tepat, maka memperoleh skor 7,5</p>
4	20	<p>Jika penentuan jumlah kromosom sel tubuhnya sudah tepat, maka memperoleh skor 5</p> <p>Jika penentuan jumlah kromosom nulisomi sudah tepat, maka memperoleh skor 7,5</p> <p>Jika penentuan jumlah kromosom trisomi sudah tepat, maka memperoleh skor 7,5</p>
Nilai = Total Skor Jawaban 1 + Total Skor Jawaban 2 + Total Skor Jawaban 3 + Total Skor Jawaban 4		

3. UNIT 2

PENUGASAN 1

No.	Kriteria	Skor dan Deskripsi
1.	Jumlah kata	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menuliskan kurang dari 200 kata 2. Menuliskan sekitar 200 – 250 kata 3. Menuliskan hingga lebih dari 250 kata
2.	Isi gagasan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membuat gagasan asal-asalan tanpa memperhatikan kajian terhadap teori evolusi lainnya 2. Beberapa bagian saja gagasan yang dibuat bisa dibandingkan dengan teori evolusi lain yang telah dikaji 3. Seluruh gagasan yang dikemukakan bisa dibandingkan dengan teori evolusi lain yang telah dikaji
3.	Keterbacaan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Isi tulisan tidak mudah dibaca dan dipahami 2. Ada beberapa bagian yang tidak mudah dibaca dan dipahami 3. Isi tulisan mudah dibaca dan dipahami

KRITERIA PENILAIAN

Total Skor	Nilai	Total Skor	Nilai
9	100	5	80
8	95	4	75
7	90	3	70
6	85		

4. NILAI AKHIR PENUGASAN

Nilai akhir penugasan dapat Anda peroleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{\text{Nilai Penugasan 1 Unit 1} + \text{Nilai Penugasan 2 Unit 1} + \text{Nilai Penugasan 1 Unit 2}}{3}$$



Kunci Jawaban Dan Pembahasan

B. RUBRIK PENILAIAN LATIHAN SOAL

1. PILIHAN GANDA

Setiap soal dengan jawaban yang benar mendapatkan skor 5. Total skor untuk 20 soal dengan jawaban benar adalah 100. Total skor yang diperoleh merupakan nilai untuk latihan soal pilihan ganda.

2. SOAL URAIAN

Total skor untuk 6 soal uraian dengan jawaban benar adalah 100. Total skor yang diperoleh merupakan nilai untuk latihan soal uraian.

No.	Skor	Deskripsi
1.	15	Jika menuliskan minimal 2 cara pencegahan radiasi berlebihan dari mutagen sinar matahari, komputer, dan ponsel yang benar, maka memperoleh skor 5 untuk setiap mutagen
2.	10	Jika menuliskan minimal 2 perbedaan mutasi gen dan mutasi kromosom, maka memperoleh skor 5 untuk setiap perbedaan antara mutasi gen dan mutasi kromosom yang tepat
3.	30	Jika penulisan hasil inversi sudah tepat, maka memperoleh skor 10 Jika penulisan hasil delesi sudah tepat, maka memperoleh skor 10 Jika penulisan hasil transformasi sudah tepat, maka memperoleh skor 10
4.	20	Jika menjelaskan perbedaan teori evolusi Darwin dan Lamarck dari faktor seleksi alam dan adaptasi lingkungan sudah tepat, maka memperoleh skor 10 Jika menjelaskan perbedaan teori evolusi Darwin dan Lamarck dari proses evolusi jerapah sudah tepat, maka memperoleh skor 10
5.	10	Jika menjelaskan bahwa mutasi dan evolusi saling berhubungan, maka memperoleh skor 5 Jika menjelaskan bentuk hubungan antara mutasi dan evolusi dengan tepat, maka memperoleh skor 5
6.	15	Jika jumlah penderita buta warna sudah tepat, maka memperoleh skor 5 Jika jumlah wanita carrier sudah tepat, maka memperoleh skor 5 Jika menuliskan setiap frekuensi genotip/alel dengan tepat, maka memperoleh skor 5

3. NILAI AKHIR LATIHAN SOAL

Nilai akhir latihan soal dapat Anda peroleh dengan menggunakan rumus berikut:

Nilai Latihan Soal Pilihan Ganda + Nilai Latihan Soal Uraian

2

C. NILAI AKHIR MODUL

Nilai akhir modul dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

Nilai Akhir Penugasan + Nilai Akhir Latihan Soal

2

A. Penugasan Unit 1 (Penugasan 2)

- Diketahui urutan basa nitrogen adalah AAT – CCA – AGC – ATC – CCC.
 - Adisi basa nitrogen G pada awal triplet kedua
AAT – GCC – AAG – CAT – CCC – C
 - Delesi pada triplet keempat
AAT – CCA – AGC – CCC
- Delesi pada mutasi tingkat gen berupa pengurangan basa nitrogen pada rantai DNA sedangkan delesi pada mutasi tingkat kromosom pengurangan pada segmen kromosom.
- Diketahui tanaman jagung memiliki 20 kromosom pada setiap sel tubuhnya. Sel tubuh memiliki jumlah kromosom diploid ($2n$). Terlebih dahulu tentukan nilai n , yaitu $2n = 20$ sehingga $n = 20/2$ diperoleh 10. Jika terjadi triploid ($3n$) maka $3(10) = 30$ kromosom sedangkan jika terjadi tetraploid ($4n$) maka $4(10) = 40$ kromosom.
- Diketahui kelinci memiliki 44 kromosom pada setiap sel tubuhnya. Sel tubuh memiliki jumlah kromosom diploid ($2n$). Jika terjadi nulisomi ($2n - 2$) maka $44 - 2 = 42$ kromosom sedangkan jika terjadi trisomi ($2n + 1$) maka $44 + 1 = 45$ kromosom.

B. Latihan Soal Pilihan Ganda

- C
Pembahasan: Sinar X termasuk mutagen buatan karena dihasilkan dari alat seperti alat untuk foto rontgen.
- E
Pembahasan: Transversi merupakan mutasi karena adanya pergantian pasangan basa nitrogen dengan pasangan basa nitrogen dari lainnya yang tidak sejenis. Misalnya antara adenin (purin) dengan timin (pirimidin).
- A
Pembahasan: Peristiwa mutasi yang terjadi adalah adisi karena terjadi penambahan basa nitrogen G (warna merah) pada triplet awal rantai. Rantai awal DNA adalah AGG – CCA – AAT – TAA Rantai DNA akhir adalah GAG – GCC – AAA – TTA – A
- B
Pembahasan: Peristiwa mutasi yang terjadi adalah delesi karena terjadi pengurangan basa nitrogen T (huruf merah) pada triplet kedua. GAG – ACT – ACA – . . . → GAG – ACA – CA
- B
Pembahasan: Peristiwa mutasi yang terjadi adalah inversi karena terjadi pembalikan urutan gen, yaitu BCDE menjadi EDCB.
- A
Pembahasan: Jika terjadi mutasi gen, maka jumlah kromosom dalam tubuh tidak berubah karena yang berubah hanya urutan basa nitrogen atau panjang rantai DNA di dalam kromosom.

7. D
Pembahasan: Pada mutasi gen terjadi perubahan urutan basa nitrogen pada rantai DNA sehingga dapat menyebabkan perubahan genotip dan fenotip. Namun, jika mutasinya tidak menyebabkan perubahan asam amino maka fenotipnya tetap.
8. D
Pembahasan: Diketahui jumlah kromosom kentang adalah 48 kromosom yang berada di dalam sel-sel tubuh. Sel-sel tubuh mengandung kromosom diploid ($2n$) sehingga $2n = 48 \rightarrow n = 48/2 \rightarrow 24$. Jika terjadi triploid ($3n$) maka $3(24) = 72$ kromosom.
9. A
Pembahasan: Karakteristik tersebut dimiliki oleh penderita sindrom Down.
10. E
Pembahasan: Pada rantai DNA terjadi pergantian basa nitrogen yang berbeda jenis, yaitu transversi. Pada rantai AGT – STT, basa adenin dan guanin yang merupakan purin digantikan oleh timin dan sitosin yang merupakan pirimidin sehingga urutan basa nitrogen rantainya berubah menjadi TSA – GAA. Demikian halnya pada rantai pasangannya TSA – GAA menjadi AGT – STT.
11. C
Pembahasan: Para ahli mengemukakan bahwa setiap spesies berasal dari satu nenek moyang dan spesies yang telah ada mengalami perubahan menjadi spesies baru. Namun para ahli tidak mampu menjelaskan proses asal-usul spesies kehidupan bermula karena tidak ditemukannya spesies peralihan dari spesies lama ke spesies baru.
12. C
Pembahasan: Darwin berpendapat bahwa evolusi disebabkan oleh seleksi alam sedangkan Lamarck berpendapat bahwa evolusi disebabkan oleh perubahan sebagai hasil adaptasi terhadap lingkungan. Persamaan keduanya adalah evolusi terjadi karena adanya perubahan lingkungan. Pada teori Darwin, perubahan lingkungan akan menyeleksi spesies yang dapat bertahan hidup sedangkan pada teori Lamarck perubahan lingkungan menyebabkan makhluk hidup beradaptasi memanfaatkan organ tubuhnya agar semakin berkembang untuk menyesuaikan kondisi lingkungan yang ada
13. D
Pembahasan: Teori evolusi menurut Weismann berhubungan dengan gejala seleksi alam terhadap faktor-faktor pewarisan sifat. Teori Weismann membuktikan bahwa perubahan sel-sel tubuh akibat pengaruh lingkungan tidak akan diwariskan kepada keturunan.
14. E
Pembahasan: Jumlah pabrik dan kendaraan bermesin uap meningkat setelah revolusi industri. Asap-asap yang dihasilkan menyebabkan udara menjadi agak gelap sehingga lebih adaptif bagi ngengat berwarna gelap untuk menghindari pemangsa. Ngengat berwarna cerah lebih mudah ditemukan oleh pemangsa sehingga populasinya menurun.
15. D
Pembahasan: Pilihan A, B, C, dan E merupakan teori evolusi Lamarck karena berhubungan dengan prinsip useanddiuse. Pilihan D berhubungan erat dengan proses seleksi alam.

16. A
Pembahasan: Homologi merupakan kesamaan pada struktur tubuh dasar tetapi memiliki fungsi sama atau berbeda, yaitu ditunjukkan oleh nomor 1, 2, 4, dan 5 karena memiliki struktur tulang yang sama sebagai sesama hewan Vertebrata berdarah panas.
17. A
Pembahasan: Analogi merupakan kesamaan pada fungsi anggota tubuh tetapi memiliki struktur yang berbeda. Sayap merpati (Aves), sayap elang (Aves), dan sirip paus (Mamalia) termasuk homologi karena memiliki struktur yang sama sebagai sesama hewan Vertebrata berdarah panas. Hiu dan ikan termasuk kelompok Pisces sedangkan capung termasuk kelompok Insecta. Sayap merpati dan sayap capung bersifat analogi karena strukturnya berbeda tetapi fungsinya sama-sama untuk terbang.
18. B
Pembahasan: Peristiwa yang terjadi adalah bottleneck effect karena terjadi penurunan drastis jumlah populasi gajah laut yang menyebabkan penurunan variasi genetik (untuk lebih jelasnya lihat pada Gambar 29 halaman 25).
19. C
Pembahasan: Bunga *Salvia apiana* memiliki ukuran yang kecil dan struktur berbeda dari bunga *Salvia mellifera* memiliki ukuran lebih besar bagi lebah. Kedua jenis bunga berasal dari marga yang sama tetapi mengalami isolasi mekanik karena memiliki struktur alat reproduksi berbeda.

20. D

Pembahasan:

Penyelesaian:	
Penderita imbisil bergenotip, misalnya bergenotip ii	= 1% \rightarrow 0,01
Individu normal bergenotip II dan li	= 100% - 1% = 99% \rightarrow 0,99
Frekuensi alel i: aa = $q^2 = 0,01$ $q^2 = 0,01$ $q = \sqrt{0,01}$ $q = 0,1$	Frekuensi genotip $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ $(0,9)^2 + 2(0,9)(0,1) + (0,1)^2 = 1$ $0,81 + 0,18 + 0,01 = 1$
Frekuensi alel A: $p + q = 1$ $p + 0,1 = 1$ $p = 1 - 0,1$ $p = 0,9$	Frekuensi genotip II (normal) = 0,81 Frekuensi genotip li (normal carrier) = 0,18 Frekuensi genotip ii (imbisil) = 0,01
Diketahui jumlah populasi 5.000 orang, maka jumlah orang normal heterozigot adalah: Jumlah frekuensi genotip heterozigot x jumlah total populasi $0,18 \times 5.000 = 900$ orang	

C. Latihan Soal Uraian

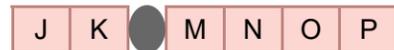
- Pembahasan:** Untuk menghindari radiasi berlebihan dari sinar matahari dapat menggunakan tabir surya atau krim pelindung dari sinar matahari. Untuk menghindari radiasi berlebihan dari komputer adalah memasang filter pada layar monitor, menggunakan monitor jenis LED atau LCD, menjaga jarak dan memperhatikan posisi duduk agar tidak terlalu dekat, dan mengatur tingkat kecerahan agar tidak terlalu terang. Untuk menghindari radiasi berlebihan dari ponsel adalah tidak berkomunikasi dengan telinga secara langsung dalam waktu lama, tidak mengantongi ponsel lama-lama, menghindari penggunaan saat sinyal lemah, dan menjaga jarak dari ponsel ketika tidur.
- Pembahasan:** Mutasi tingkat gen menyebabkan perubahan urutan basa nitrogen pada rantai DNA sedangkan mutasi tingkat kromosom menyebabkan perubahan struktur atau jumlah kromosom. Mutasi gen masih dalam skala kecil karena terjadi perubahan gen urutan basa nitrogen dalam gen tertentu saja sedangkan mutasi kromosom berada dalam skala besar karena terjadi perubahan beberapa gen dalam kromosom. Mutasi gen masih dapat diperbaiki sedangkan mutasi kromosom sudah sulit bahkan tidak dapat diperbaiki.

3. Pembahasan:

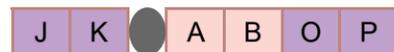
- Jika terjadi inversi pada segmen E – F kromosom 1



- Jika terjadi delesi pada segmen L kromosom 2



- Jika terjadi translokasi antara segmen A – B pada kromosom 1 dengan segmen M – N pada kromosom 2



- Pembahasan:** Persamaan antara teori evolusi Darwin dan Lamarck adalah evolusi dipengaruhi oleh faktor perubahan lingkungan. Perbedaan teori evolusi keduanya, Darwin berpendapat bahwa evolusi disebabkan oleh seleksi alam sedangkan Lamarck berpendapat bahwa evolusi disebabkan oleh perubahan sebagai hasil adaptasi terhadap lingkungan. Berdasarkan teori evolusi jerapah, Darwin berpendapat bahwa dulunya terdapat jerapah leher panjang dan pendek tetapi jerapah berleher pendek punah karena tidak mampu memperoleh makanan berupa daun-daun pada pohon yang tinggi sedangkan Lamarck berpendapat bahwa dulunya semua jerapah berleher pendek namun lehernya memanjang akibat sering menjangkau daun-daun pada pohon yang tinggi.

- Pembahasan:** Hubungan antara mutasi dengan proses evolusi sangat erat karena mutasi menyebabkan perubahan genetik. Perubahan genetik yang menyebabkan suatu spesies memiliki karakter berbeda dari populasinya lalu hasil perubahan tersebut diwariskan kepada keturunannya akan menjadi awal dari proses pembentukan spesies baru (spesiasi). Mutasi merupakan perubahan dalam skala kecil dan evolusi adalah perubahan dalam skala besar sehingga perlu terjadi mutasi lebih dulu agar terjadi proses evolusi.

6. Pembahasan:

Penyelesaian:	
Wanita normal bergenotip $X^{BW}X^{BW}$	= p^2
Wanita carrier bergenotip $X^{BW}X^{bw}$	= $2pq$
Wanita buta warna bergenotip $X^{bw}X^{bw}$	= q^2
Pria normal bergenotip $X^{BW}Y$	= p
Pria buta warna bergenotip $X^{bw}Y$	= q
Frekuensi pria buta warna: $q = 4\% \rightarrow 0,04$	Frekuensi wanita normal: $p^2 = (0,96)^2 = 0,9216$
Frekuensi pria normal: $p + q = 1$ $p + (0,04) = 1$ $p = 1 - 0,04$ $p = 0,96$	Frekuensi wanita carrier: $2pq = 2 (0,96) (0,04) = 0,0768$
	Frekuensi wanita buta warna: $q^2 = (0,04)^2 = 0,0016$
Jumlah pria penderita buta warna: $0,04 \times 4.000 = 160$ orang	
Jumlah wanita penderita buta warna : $0,0016 \times 5.000 = 8$ orang	
Maka jumlah penderita buta warna adalah $160 + 8 = 168$ orang	
Jumlah wanita carrier: $0,0016 \times 5.000 = 384$ orang	



Saran Referensi

1. Video Mutasi

<https://www.youtube.com/watch?v=wt5noDG0tho>

2. Video Proses Mutasi DNA

<https://www.youtube.com/watch?v=9bWjuwTiYXI>

3. Video Mekanisme Spesiasi

<https://www.youtube.com/watch?v=udZUaNKXbJA>

4. Video Hukum Hardy-Weinberg

<https://www.youtube.com/watch?v=Z4Q9TbnJXqM>



Daftar Pustaka

- Anindyaputri. 2017. *Proses Tumbuhnya Kanker dalam Tubuh Manusia*. Diakses 25 Desember 2018, dari <https://helohehat.com/hidup-sehat/tips-sehat/proses-tumbuhnya-kanker/>
- Campbell, N.A., J.B. Reece, dan L.G. Mitchell. 2012. *Biologi edisi 8 jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Campbell, N.A., J.B. Reece, dan L.G. Mitchell. 2012. *Biologi edisi 8 jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Gardner, J.E, Michael J. S. D & Peter S. 1991. *Principles of Genetics*, 8th ed. USA: John Willey and Sons Inc.
- Griffiths Anthony J.F. *Mutation.-Genetics*. Encyclopaedia Britanica diakses 11 Juni 2020 dari [/sciehttps://www.britannica.com/ce/mutation-genetics](https://www.britannica.com/ce/mutation-genetics).
- Irnaningtyas. 2013. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Jones G & Jones M.1988. *Biology-GCSE Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kemenkes.<https://www.sehatq.com/artikel/mutasi-gen-tak-bikin-manusia-jadi-superhero-ini-penjelasan-ilmiahnya> diakses 10 Juni 2020.
- Kilgour O.F.G. 1987. *Mastering Biology*. London: MacMillan Education.
- Kimball, John W. 2003. *Biologi. Jilid 3*. Jakarta: Erlangga.
- Millican, C & Barker, M.1997. *Biology: GCSE Key Stage 4*. London: Longman.
- Rumah Belajar. 2016. *Mutasi*. Diakses 20 Juli 2018, dari <https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Mutasi-2007/konten5.html>
- Sulistyowati, Omegawati, Ningsih, dan Rumiwati. 2016. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII*. Klaten: PT. Intan Pariwara.
- Samhis Setiawan. Penyebab Mutasi Gen – Pengertian, Alam, Buatan, Faktor, Jenis, Mekanisme, Konsekuensi diakses 7 Juni 2010 dari <https://www.gurupendidikan.co.id/mutasi-gen-pengertian-proses-dan-jenis-beserta-contohnya-secara-lengkap/>
- Ari,Welianto. 17 Februari 2020. Mutasi: Macam dan Jenisnya. Diakses 7 Juni 2020 dari <https://www.kompas.com/skola/read/2020/02/17/120000869/mutasi--arti-macam-dan-jenisnya?page=all>
- <https://www.halodoc.com/trisomy-21-salah-satu-penyebab-sindroma-down-pada-anak> diakses 7 juni 2020.



Sumber Gambar

- http://biologiclara.blogspot.com/2012/12/evolusi-darwin-vs-lamarck_7.html
- <https://biologiklaten.wordpress.com/bab-27-evolusi-xii/>
- <http://biologimediacentre.com/asal-usul-kehidupan-biogenesis-versus-abiogenesis-1-2/>
- <https://byjus.com/biology/gene-flow/>
- <http://especies-animales-mondiales.e-monsite.com/pages/ancetres/l-archeopteryx.html>
- <https://hanifirza97.files.wordpress.com/2013/11/evolusi.jpg>
- <http://i-studycenter.blogspot.com/2017/05/pengertian-homologi-dan-analogi.html>
- <https://id.pinterest.com/pin/152137293637986660/>
- <https://krishijagran.com/agripedia/why-the-killer-ddt-could-not-survive/>
- <https://malekbio.blogspot.com/2016/12/teori-evolusi-darwin.html>
- <http://proyectolagenetica.blogspot.com/>
- <https://rziyadatur.blogspot.com/2015/01/mutasi-poliploidi.html>
- https://www.findagrave.com/memorial/182880092/jean_baptiste-lamarck
- <https://www.bibliotika.com/2016/02/kalau-manusia-mengerami-telur-ayam.html>
- <http://www.nafiun.com/2013/03/pengertian-mutasi-gen-dan-kromosom-penyebab-dan-contoh-mutasi.html>
- <https://www.sciencemag.org/news/2015/09/new-human-virus-discovered-old-blood-samples>
- <https://www.slideshare.net/camart/bab-7evolusi>
- <https://www.theguardian.com/books/2017/sep/18/charles-darwin-victorian-mythmaker-review-an-wilson>
- <http://www.thelarkinbrigade.com/health/yuk-kenali-lebih-dalam-penderita-down-syndrome/>

Glosarium

Abnormal	: kondisi tidak normal atau mempunyai kelainan
Adaptasi	: kemampuan organisme untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya
Adisi	: penambahan basa nitrogen yang menyebabkan mutasi
Albino	: kelainan tidak adanya pigmen pada kulit, rambut, dan mata sehingga berwarna putih
Alel	: gen-gen yang terletak pada lokus yang bersesuaian pada pasangan kromosom homolog
Aliran gen	: disebut juga gene flow, peristiwa pertukaran gen antar populasi yang disebabkan oleh proses imigrasi dan emigrasi pada populasi
Analogi	: kesamaan pada fungsi anggota tubuh tetapi memiliki struktur yang berbeda
Anatomi	: struktur bagian dalam tubuh makhluk hidup
Aneuploidii	: perubahan jumlah kromosom dalam satu genom sehingga jumlah kromosom menjadi lebih banyak atau lebih sedikit dari jumlah normal
Antibodi	: disebut juga imunoglobulin, sejenis protein yang dihasilkan oleh sel B limfosit untuk kekebalan tubuh
Antigen	: zat asing yang masuk ke dalam tubuh
Asam nukleat	: jenis makromolekul yang tersusun atas nukleotida-nukleotida, yaitu DNA dan RNA
Biokimia	: komponen kimia pada tubuh makhluk hidup
Bottleneck effect	: disebut juga efek leher botol, peristiwa penurunan drastis jumlah populasi karena adanya bencana alam atau aktivitas manusia sehingga dapat menyebabkan penurunan variasi genetik
DNA	: deoxyribonucleat acid (asam deoksiribosa); asam nukleat berbentuk pita ganda berpilin yang berperan sebagai pembawa informasi genetik
Delesi	: pengurangan basa nitrogen yang menyebabkan mutasi; peristiwa hilangnya sebagian segmen kromosom karena patah
Diploid	: memiliki jumlah kromosom yang sama dengan jumlah kromosom induk; memiliki dua genom di dalam sel tubuhnya
Domestikasi	: usaha manusia untuk menjadikan hewan atau tumbuhan sebagai budidaya dengan mengubah habitat, jenis makanan, dan perilakunya

Duplikasi	: penggandaan basa nitrogen yang menyebabkan mutasi; peristiwa bertambahnya segmen kromosom sehingga kromosom kelebihan gen		
Embrio	: hasil perkembangan zigot dan sudah mulai terjadi pembentukan organ	Hemofilia	: kelainan berupa darah sukar membeku ketika terjadi luka
Euploidi	: perubahan pada genom sehingga jumlah kromosom menjadi kelipatan dari set kromosom haploidnya	Homologi	: kesamaan pada struktur tubuh dasar tetapi memiliki fungsi sama atau berbeda
Evolusi	: perubahan perlahan-lahan dan secara bertahap yang berlangsung dalam waktu yang sangat lama	Insersi	: penyisipan basa nitrogen yang menyebabkan mutasi
Evolusi divergensi	: evolusi dari satu spesies yang menghasilkan banyak spesies baru	Inversi	: peristiwa berubahnya urutan letak gen pada kromosom menjadi urutan terbalik
Evolusi konvergensi	: evolusi dari banyak macam spesies yang kemudian mengalami penurunan jumlah macam spesies	Isolasi	: disebut juga sawar, faktor yang memisahkan suatu populasi sehingga tidak dapat melakukan perkawinan
Evolusi kosmik	: evolusi yang terjadi pada lingkungan tidak hidup	Isolasi ekologi	: dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan perkawinan karena memiliki habitat yang berbeda dan hanya dapat berkembangbiak pada habitatnya masing-masing
Evolusi organik	: evolusi yang terjadi pada makhluk hidup	Isolasi gamet	: dua spesies simpatrik tidak dapat saling membuahi sel gamet karena memiliki susunan kimiawi berbeda
Evolusi progresif	: evolusi yang mengarah pada kemungkinan terbentuknya spesies baru yang dapat bertahan hidup dan berkelanjutan	Isolasi geografi	: dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan perkawinan karena memiliki kondisi lingkungan tempat tinggal yang berbeda dan hanya dapat berkembangbiak dilingkungannya masing-masing
Evolusi regresif	: evolusi yang mengarah pada kemungkinan terbentuknya spesies baru yang tidak dapat bertahan hidup hingga akhirnya menuju kepunahan	Isolasi mekanik	: dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan perkawinan karena memiliki bentuk, struktur, atau ukuran yang tidak cocok
Fisiologis	: berhubungan dengan fungsi organ-organ tubuh atau sistem-sistem organ pada tubuh	Isolasi tempora l	: dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan perkawinan karena memiliki musim kawin berbeda
Fosil	: sisa-sisa organisme masa lalu yang mengalami mineralisasi di dalam batuan	Isolasi tingkah laku	: dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan perkawinan karena memiliki perilaku berbeda saat melakukan perkawinan
Founder effect	: disebut juga efek penemu, peristiwa populasi kecil yang memisah dari populasi kemudian menempati tempat baru dan membentuk koloni tersendiri	Katenasi	: peristiwa kromosom homolog yang saling berdekatan pada ujungnya sehingga membentuk lingkaran
Frameshift mutation	: disebut juga mutasi pergeseran kerangka, terjadi karena perubahan jumlah basa nitrogen yang bukan kelipatan tiga dapat mengubah kerangka baca triplet kode genetik pada mRNA	Kodon	: kode triplet yang dibawa oleh mRNA
Frekuensi alel	: perbandingan antara jumlah suatu alel dengan alel lainnya dalam suatu populasi	Kromosom	: substansi genetik berupabenang-benang kromatin yang memendek dan menebal
Frekuensi genotip	: perbandingan jumlah suatu genotip dengan genotip lainnya dalam suatu populasi	Makroevolusi	: evolusi yang menyebabkan terbentuknya kelompok baru pada tingkatan takson
Genom	: keseluruhan informasi genetik yang dimiliki oleh suatu sel atau makhluk hidup	Mikroevolusi	: evolusi yang terjadi pada tingkat gen dan menimbulkan menimbulkan perubahan sifat organisme dalam suatu populasi
Genotip	: keadaan genetik yang dibentuk oleh pasangan alel dalam kromosom homolog; sifat yang tidak dapat diamati	Mineralisasi	: proses pengendapan mineral
Hanyutan genetik	: disebut juga genetic drift, peristiwa perubahan frekuensi alel dalam suatu populasi karena adanya populasi kecil yang memisah dari dari populasi asalnya	Missense mutation	: disebut juga mutasi salah arti, terjadi karena perubahan kodon yang menyebabkan perubahan kode asam amino berbeda dari kondisi normal

Monoploid : memiliki satu genom di dalam sel tubuhnya
 Morfologi : struktur bagian luar tubuh makhluk hidup
 Mutagen : zat yang menyebabkan terjadinya mutasi
 Mutan : organisme yang mengalami mutasi
 Mutasi : peristiwa perubahan materi genetik pada kromosom atau DNA
 Mutasi dominan : mutasi yang pengaruhnya akan tampak jika memiliki genotip homozigot dominan atau heterozigot
 Mutasi gen : disebut juga mutasi titik, perubahan materi genetik pada gen akibat urutan basa nitrogen pada rantai DNA yang berubah
 Mutasi kromosom : disebut juga aberasi kromosom, perubahan materi genetik pada kromosom akibat perubahan struktur dan jumlah kromosom
 Mutasi maju : mutasi yang menyebabkan fenotip organisme abnormal menjadi normal
 Mutasi makro : mutasi yang terjadi pada sebagian besar faktor keturunan sehingga pengaruhnya terhadap perubahan fenotip lebih nyata
 Mutasi mikro : mutasi yang terjadi pada sebagian kecil faktor keturunan saja dan pengaruhnya terhadap perubahan fenotip tidak terlalu tampak
 Mutasi mundur : disebut juga mutasi balik, mutasi yang menyebabkan fenotip organisme normal menjadi abnormal
 Mutasi resesif : mutasi yang pengaruhnya akan tampak jika memiliki genotip homozigot resesif
 Nonsense mutation : mutasi tak bermakna karena perubahan urutan basa nitrogen tetapi tidak menyebabkan perubahan urutan asam amino
 Nukleotida : monomer asam nukleat yang tersusun atas basa nitrogen, gula pentosa, dan gugus fosfat
 Nulisomi : aneuploidii yang terjadi karena sel kehilangan dua kromosom
 Predator : hewan pemangsa
 Poliploid : memiliki jumlah genom lebih dari dua
 Radioaktif : zat yang mengandung inti yang tidak stabil dan adanya pemancaran partikel dari sebuah inti atom
 Reduksi : penyusutan atau pengurangan
 Rekombinasi gen : peristiwa pembentukan susunan gen baru yang disebabkan oleh gen-gen berpasangan secara bebas pada waktu pembentukan gamet
 Rudimenter : organ tubuh yang tersisa tetapi sudah tidak berfungsi
 Seleksi alam : proses seleksi yang terjadi di alam terhadap organisme yang mampu beradaptasi dan tidak mampu beradaptasi

Sinar kosmik : radiasi dari partikel bermuatan energi tinggi yang berasal dari luar atmosfer bumi
 Spesiasi : proses pembentukan spesies baru
 Spesies alopatrik : individu-individu satu spesies yang terpisah oleh kondisi geografi dalam waktu lama dan sudah mengalami perubahan
 Spesies simpatrik : individu-individu satu spesies yang berada dalam satu lingkungan yang sama dan sudah mengalami perubahan
 Tautomeric shift : disebut juga pergeseran tautomerik, mutasi yang terjadi karena adanya penggantian basa nitrogen
 Tetraploid : memiliki empat genom di dalam sel tubuhnya
 Transisi : penggantian suatu pasangan basa nitrogen dengan pasangan basa nitrogen lainnya yang sejenis
 Translokasi kromosom : peristiwa berpindahnya suatu segmen kromosom (atau patahan kromosom) ke kromosom lain yang bukan homolognya
 Transposisi : perubahan letak basa-basa nitrogen pada rantai nukleotida
 Transversi : penggantian suatu pasangan basa nitrogen dengan pasangan basa nitrogen lainnya yang tidak sejenis
 Triploid : memiliki tiga genom di dalam sel tubuhnya
 Uji presipitin : uji secara biokimia untuk mengetahui adanya reaksi antara antigen dan antibodi



Profil Penulis



Nama Lengkap : Harianto Baharuddin, S.Pd.
Telp Kantor/HP : 0811489370
E-Mail : antopaudni@gmail.com
Akun Facebook : Harianto
Alamat Kantor : H. Abdul Malik Pattana Endeng, Rangas Kec. Simboro
Kab. Mamuju
Bidang Keahlian : Pendidikan Nonformal

Riwayat Pekerjaan/Profesi dalam 10 Tahun Terakhir

1. Pamong Belajar BP-PAUD dan Dikmas Papua (2011-2018)
2. Pamong Belajar BP-PAUD dan Dikmas Sulawesi Barat (2018-Sekarang)
3. Asesor BAN PAUD dan PNF (2016-Sekarang)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1- Pendidikan Luar Sekolah, Universitas Negeri Makassar (2005-2009)
2. S2 Manajemen Pendidikan, Universitas Cenderawasih (2014-Sekarang)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir)

1. Modul Keterampilan Pembuatan Furniture Minimalis (2015)
2. Modul Keterampilan 5 Langkah Pembuatan Sabun Mandi Buah Merah (2014)

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -

Nama Lengkap : Idham Khalik Idrus, S.Pd
Telp Kantor/HP : 085341991776
E-Mail : idham.khalid.idrus@gmail.com
Akun Facebook : Idham Khalik Idrus
Alamat Kantor : Jl. M. Djud P. No. 2
Bidang Keahlian : Pendidikan Biologi



Riwayat Pekerjaan/Profesi dalam 10 Tahun Terakhir

1. Guru Tidak Tetap (GTT)/Honorar di SMAN 1 Majene (2015-sekarang)
2. Praktisi BP PAUD dan Dikmas Sulawesi Barat (2018-2019)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

S1-Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Sulawesi Barat (2009-2015)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -