



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

BIOLOGI



KELAS
XII



PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN BIOLOGI-KELAS XII

PENYUSUN
Apon Purnamasari, S.Pd., M.Pd
SMAN 8 Bandung

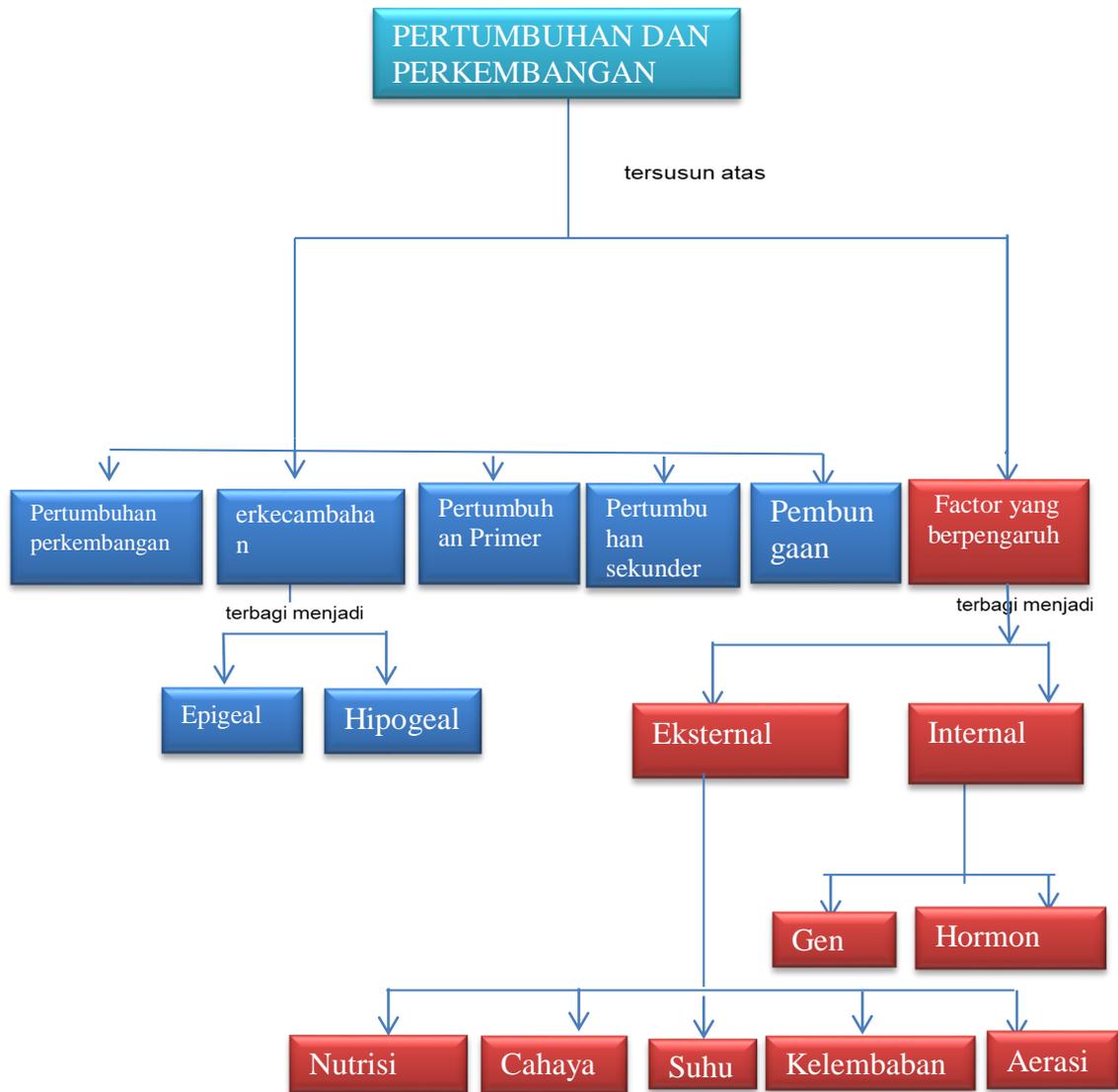
DAFTAR ISI

PENYUSUN	2
DAFTAR ISI	3
GLOSARIUM	4
PETA KONSEP	5
PENDAHULUAN	6
A. Identitas Modul	6
B. Kompetensi Dasar	6
D. Petunjuk Penggunaan Modul	6
E. Materi Pembelajaran	7
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	8
Perkecambah, Pertumbuhan dan Pembungaan	8
A. Tujuan Pembelajaran	8
B. Uraian Materi	8
C. Rangkuman	17
D. Penugasan Mandiri	17
E. Latihan Soal	18
F. Penilaian Diri	20
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	21
Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan	21
A. Tujuan Pembelajaran	21
B. Uraian Materi	21
C. Rangkuman	27
D. Penugasan Mandiri	28
E. Latihan Soal	28
F. Penilaian Diri	30
EVALUASI	31
DAFTAR PUSTAKA	35

GLOSARIUM

▪ Auksanometer :	▪ Alat yang digunakan untuk mengukur pertumbuhan tanaman
▪ Epigeal :	▪ Tipe perkecambahan yang dimulai ketika kotiledon mendorong ke atas permukaan tanah akibat pemanjangan bagian hipokotil
▪ Imbibisi :	▪ Penyerapan air secara pasif, biasanya pada saat perkecambahan
▪ Koleoptil :	▪ Selubung yang melindungi ujung embrio tumbuhan monokotil
▪ Koleoriza :	▪ Selaput yang melindungi ujung akar embrio tumbuhan monokotil

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	:	Biologi
Kelas	:	XII
Alokasi Waktu	:	4 x 45 menit (2 kali Pertemuan)
Judul Modul	:	Pertumbuhan dan Perkembangan

B. Kompetensi Dasar

- 3.1 Menjelaskan pengaruh faktor internal dan faktor eksternal terhadap pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup
- 4.1 Penyusun laporan hasil percobaan tentang pengaruh faktor eksternal terhadap proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman

C. Deskripsi Singkat Materi

Salam bahagia dan sehat selalu Biologi-friend (B-friend), tetap semangat dalam menimba ilmu. Sebelum memulai pembelajaran, perlu kiranya dijelaskan bahwa modul ini berisi tentang pembelajaran konsep Tumbuh dan Berkembang pada Tumbuhan yang meliputi proses perkecambah, tipe perkecambah, tumbuh primer, tumbuh sekunder serta faktor-faktor yang mempengaruhi proses tumbuh dan berkembang pada tumbuhan.

Seru tentunya ya B-friend, di dalam modul ini kita bisa tahu tentang bagaimana proses biji berkecambah, muncul dari tanah, tumbuh, muncul daunnya dan akhirnya tumbuh menjadi makhluk hidup dewasa.



<https://www.ilmiahku.com/>

B-Friend, dalam modul Pertumbuhan dan Perkembangan ini terdiri dari dua kegiatan pembelajaran yang masing-masing memuat uraian materi yang disertai ilustrasi gambar, serta rangkuman materi. Terdapat pula soal-soal latihan yang dapat Kalian pelajari agar semakin menguasai kompetensi yang diinginkan. Selain itu disediakan juga refleksi dan evaluasi untuk mengukur apakah Kalian berhasil mencapai kompetensi yang diinginkan setelah belajar menggunakan modul ini. Untuk dapat menggunakan modul ini bacalah secara seksama dan cermat, kerjakan soal-soal latihan dan tugas mandiri sesuai petunjuk. Apabila nilai akhir Anda $\geq 75\%$ maka kalian telah berhasil menguasai materi sistem reproduksi pada manusia. Selamat belajar.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

1. Modul ini bertujuan agar kamu dapat belajar secara mandiri dan tidak tergantung pada pihak lain

2. Baca terlebih dahulu bagian Pendahuluan agar kalian memperoleh gambaran tentang isi modul dan cara mempelajarinya.
3. Setiap kegiatan pembelajaran dilengkapi dengan tujuan, uraian materi, rangkuman, latihan soal dan refleksi.
4. Pada akhir modul terdapat Tes Akhir Modul.
5. Kerjakan latihan soal yang tersedia disetiap kegiatan pembelajaran dan di bagian akhir modul untuk mengetahui sejauh mana penguasaanmu terhadap isi modul.
6. Kunci jawaban dan pedoman penskoran tersedia pada bagian akhir modul. Gunakan keduanya untuk mengukur tingkat penguasaanmu terhadap isi modul

PETUNJUK KHUSUS

1. Modul ini tersusun 2 kegiatan pembelajaran.
2. Pelajari modul secara berurutan, karena materi di dalam modul ini sudah disusun secara hierarkis.

E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Pertama : Perkecambahan, pertumbuhan primer, pertumbuhan sekunder dan pembungaan

Kedua : Faktor-faktor yang mempengaruhi, faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal terdiri dari gen dan hormone pertumbuhan, sedangkan faktor eksternal terdiri dari cahaya, media, nutrisi, suhu, dan kelembaban

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

Perkecambahan, Pertumbuhan dan Pembungaan

A. Tujuan Pembelajaran

B-Friend yang hebat, setelah melakukan kegiatan pembelajaran 1 ini, diharapkan kalian mampu :

1. Menjelaskan perbedaan pertumbuhan dan perkembangan,
2. Menjelaskan macam-macam perkecambahan pada biji juga
3. Menjelaskan tahap pertumbuhan primer dan sekunder
4. Menyusun laporan hasil percobaan tentang pengaruh faktor eksternal terhadap proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman

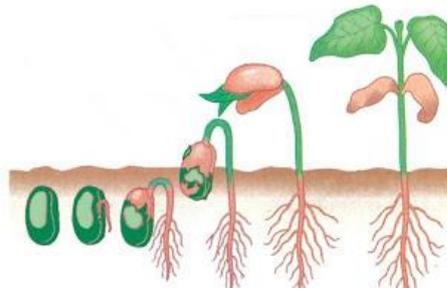
B. Uraian Materi

Pertumbuhan

Pertumbuhan merupakan proses bertambahnya tinggi, volume, atau massa tubuh pada makhluk hidup yang bersifat kuantitatif (bisa diukur dan dihitung dengan angka).

Proses pertambahan biomassa atau ukuran (berat, volume, atau jumlah) yang sifatnya tetap dan *irreversible* (tidak dapat balik ke kondisi semula) Pertumbuhan ini bisa dilihat dengan melihat tampilan fisik makhluk hidup tersebut.

Contohnya: Bertambahnya tinggi suatu tanaman.



Gambar 1. Proses pertumbuhan
<https://www.amongguru.com/proses-perkecambahan>

Tabel : Contoh hasil data percobaan pertumbuhan

Kondisi	Panjang kecambah (cm) pada hari ke-							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Tempat Terang	0	0,3	0,9	1,3	2,1	3,0	4,2	5,0
Tempat Gelap	0	0,5	1,1	2,0	3,1	4,3	5,8	6,7

Perkembangan

Pekembangan merupakan suatu proses differensiasi, organogenesis, dan diakhiri dengan terbentuknya individu baru yang lebih lengkap dan lebih dewasa yang bersifat kualitatif (tidak dapat dituliskan dengan angka)
 Perkembangan tidak terbatas pada usia, ini berarti makhluk hidup akan terus berkembang seiring pertambahan usianya

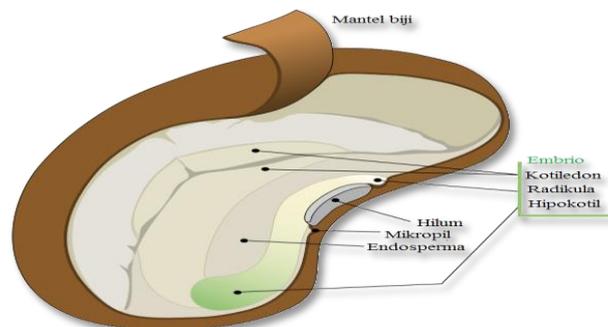


Gambar 2. Proses Perkembangan

Walaupun berbeda dari segi pengertian, namun kedua proses ini, pertumbuhan dan perkembangan berjalan secara simultan atau pada waktu yang bersamaan dan saling terkait.

Proses pertumbuhan dan perkembangan dipengaruhi factor internal (dari organisme itu sendiri) dan eksternal (dari lingkungan). Pengaruh faktor internal dan eksternal saling berinteraksi, sehingga sulit untuk menentukan mana yang paling berpengaruh

Pertumbuhan tumbuhan, diawali dari biji yang tumbuh menjadi zigot kemudian menjadi embrio yang dilengkapi cadangan makanan (endosperma).



Gb. Struktur Biji

<https://www.google.com/search?q=struktur+biji>

Struktur Biji terdiri dari :

1. **Testa**, yaitu suatu selubung biji kuat yang berasal dari dinding bakal biji. berfungsi sebagai kulit biji Biji
2. **Plumula** ; Bakal Daun
3. **Radikula** :bakal akar
4. **Epikotil** : Bagian sumbu embrio yang berada di atas kotiledon.
5. **Hipokotil** : bagian sumbu embrio yang berada di bawah kotiledon
6. **Endosperm** : Cadangan makanan ada yang terdapat pada, yaitu jaringan yang mengelilingi embrio, atau terdapat di dalam kotiledon.
7. **Kotiledon** dan satu atau dua keping biji.
Pada tanaman monokotil, kotiledon mengalami modifikasi menjadi skutelum dan koleoptil.
8. **Skutelum** berfungsi sebagai alat penyerap makanan yang terdapat di dalam endosperma, sedangkan
9. **Koleoptil** berfungsi melindungi plumula.
10. **Koleoriza** yang berfungsi melindungi radikula. Pada tanaman dikotil tidak terjadi modifikasi

Biji terbagi menjadi dua jenis, yaitu biji yang tak berendosperm atau biji eksalbumin, contohnya biji bunga matahari dan biji berendosperm atau biji beralbumin, Biji jagung

Pertumbuhan tumbuhan merupakan hasil dari:

1. Pembelahan sel : Pembelahan mitosis menghasilkan sel anakan baru
2. Pembesaran sel : Pertambahan ukuran sel anak
3. Diferensiasi sel : Perubahan sel hingga terbentuk organ-organ

Peristiwa diferensiasi menghasilkan perbedaan yang tampak pada struktur dan fungsi masing-masing organ, sehingga perubahan yang terjadi pada organisme tersebut semakin kompleks. Auksanometer adalah Suatu alat untuk mengukur pertumbuhan memanjang suatu tanaman, yang terdiri atas sistem kontrol yang dilengkapi jarum penunjuk pada busur skala atau jarum yang dapat menggaris pada silinder pemutar.

1. Perkecambahan.

Proses Perkecambahan

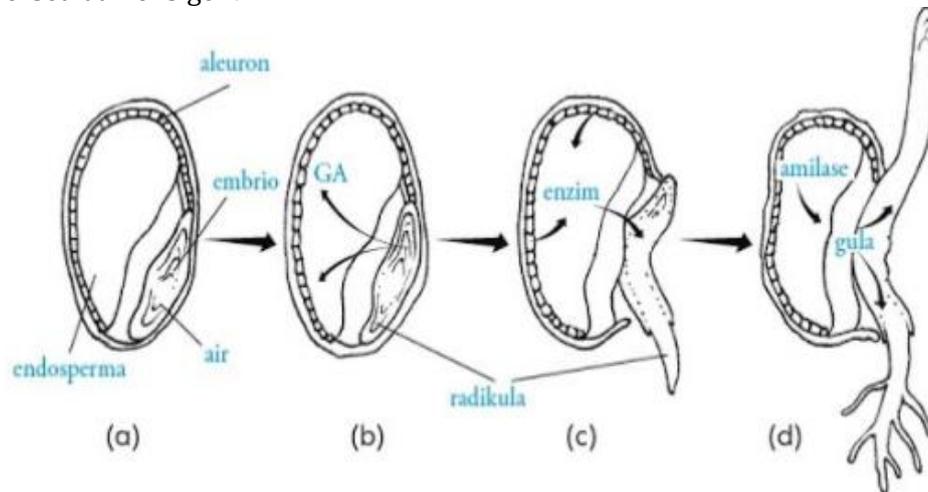
Perkecambahan biji merupakan serangkaian proses penting yang dimulai sejak dorman (periode diam) sampai menjadi bibit yang sedang tumbuh.

Perkecambahan meliputi peristiwa-peristiwa fisiologis dan morfologis sebagai berikut :

1. Imbibisi dan absorpsi
2. Hidrasi jaringan
3. Absorpsi oksigen
4. Pengaktifan enzim dan pencernaan
5. Transport molekul yang terhidrolisis ke sumbu embrio
6. Peningkatan respirasi dan simulasi
7. Munculnya embrio

Perkecambahan dimulai dari penyerapan air oleh biji, sehingga beratnya bertambah. Proses ini disebut dengan proses imbibisi. Pertambahan berat biji yang siap berkecambah pada kacang kira-kira 1,5 kali berat biji semula. Embrio menyekresikan hormon giberelin. Giberelin merangsang aleuron untuk mensintesis dan mengeluarkan enzim. Contohnya : amilase dan protease

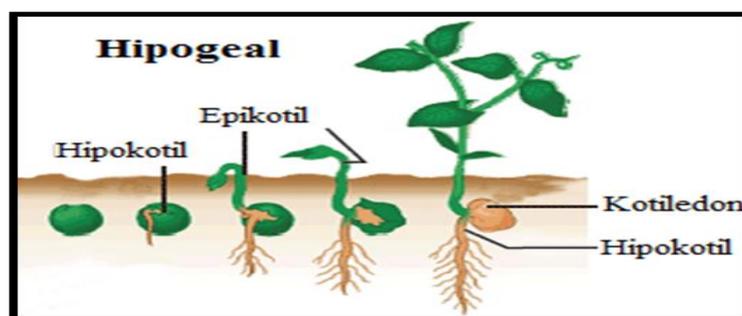
Masuknya air pada biji mengaktifkan enzim dan memungkinkan makanan cadangan (tepung) dihidrolisis menjadi larutan yang sesuai untuk dibawa ke titik tumbuh kecambah. Kecepatan perkecambahan dapat juga ditentukan oleh kecepatan menyiapkan makanan. Namun harus anda ingat, disamping faktor air dan makanan, terdapat faktor lain yang dapat mengendalikan perkecambahan yaitu faktor suhu dan persediaan oksigen.



Gambar : Perkecambahan
<https://www.nafiun.com>

Tahap perkecambahan ialah munculnya plantula (tanaman kecil) dari dalam biji yang merupakan hasil pertumbuhan dan perkembangan embrio, pada saat biji mengalami perkecambahan, bagian plumula akan tumbuh dan berkembang menjadi batang sedangkan radikula akan tumbuh menjadi akar.

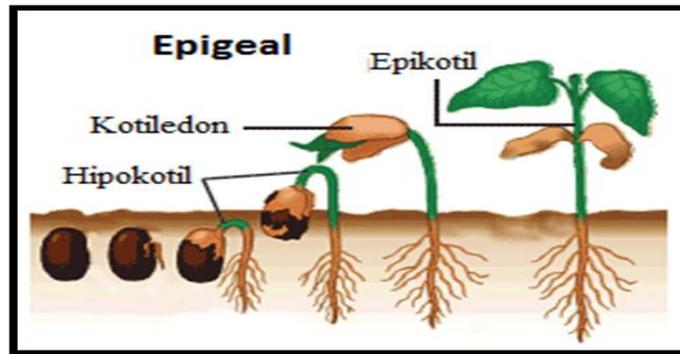
Ada dua tipe perkecambahan :



<https://www.amongguru.com/proses-perkecambahan>

Kotiledon tetap berada di dalam tanah. Plumula terbawa ke atas tanah karena pertumbuhan memanjang bagian epikotil.

Hal itu disebabkan pertumbuhan hipokotilnya sangat sedikit atau tidak memanjang sama sekali sehingga kotiledonnya tetap berada di dalam testa, dengan tunas muda dan akar muncul dari dalam biji.



<https://www.amongguru.com/proses-perkecambahan>

Kotiledon terangkat ke **atas tanah** karena pertumbuhan memanjang bagian **hipokotil**.

Kotiledon muncul sebagai **keping biji** hijau. **Hipokotil** berbentuk **kait** dan ujung plumula terletak di **antara dua keping biji**.

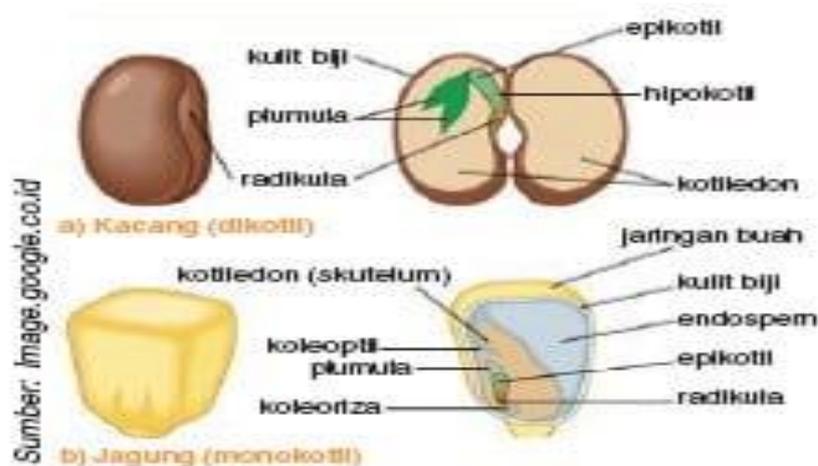
Tujuannya, agar ujung **plumula** terlindung dari **kerusakan** akibat abrasi tanah.

2. Pertumbuhan Primer

Terjadi sebagai hasil pembelahan sel-sel jaringan meristem primer. Berlangsung pada embrio, bagian ujung-ujung dari tumbuhan seperti akar dan batang.

Embrio memiliki 3 bagian penting :

1. Tunas embrionik yaitu calon batang dan daun
2. Akar embrionik yaitu calon akar
3. Kotiledon yaitu cadangan makanan



Gambar Embrio Tumbuhan

<https://www.google.com/search?q=pertumbuhan+primer>

Daerah pertumbuhan pada akar dan batang berdasar aktivitasnya terbagi menjadi 3 daerah:

1. Daerah pembelahan Sel-sel di daerah ini aktif membelah (meristematik)
2. Daerah pemanjangan Berada di belakang daerah pembelahan
3. Daerah diferensiasi Bagian paling belakang dari daerah pertumbuhan.

Sel-sel mengalami diferensiasi membentuk akar yang sebenarnya serta daun muda dan tunas lateral yang akan menjadi cabang. Setelah fase perkecambahan, diikuti pertumbuhan tiga sistem jaringan meristem primer yang terletak di akar dan batang. Pada fase ini tumbuhan membentuk akar, batang, dan daun. Tiga sistem jaringan primer yang terbentuk sebagai berikut.

1. Protoderm, yaitu lapisan terluar yang akan membentuk jaringan epidermis.
2. Meristem dasar yang akan berkembang menjadi jaringan dasar yang mengisi lapisan korteks pada akar di antara stela dan epidermis.
3. Prokambium, yaitu lapisan dalam yang akan berkembang menjadi silinder pusat, yaitu floem dan xilem.

a. Pertumbuhan Primer Pada Akar

Akar muda yang keluar dari biji segera masuk ke dalam tanah, selanjutnya membentuk sistem perakaran tanaman.

Titik tumbuh akar dibedakan menjadi daerah

1. Pembelahan

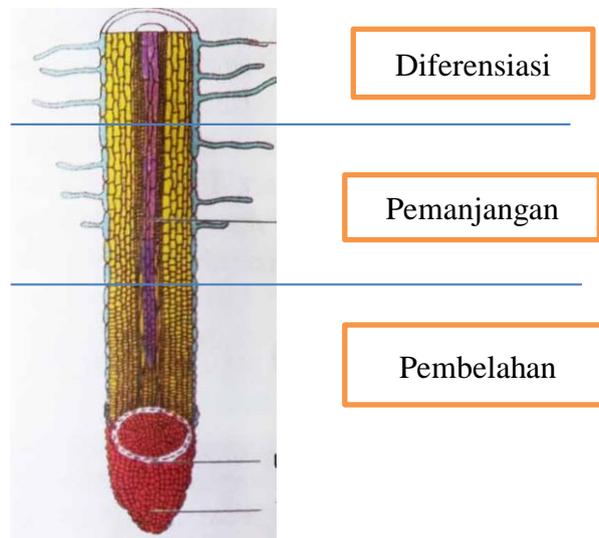
Tersusun oleh sel-sel meristem yang berbentuk kotak dan berukuran sangat kecil. Terdapat pada bagian ujung, di belakang tudung akar. Pada daerah ini terdapat meristem primer dan meristem apikal dengan sel-sel yang aktif membelah (meristematik). Meristem apikal merupakan pusat pembelahan sel.

2. Pemanjangan

Tersusun atas sel-sel yang memiliki kemampuan untuk membesar dan memanjang. Pembentangan sel di daerah ini akan mendorong akar untuk menembus tanah

3. Diferensiasi

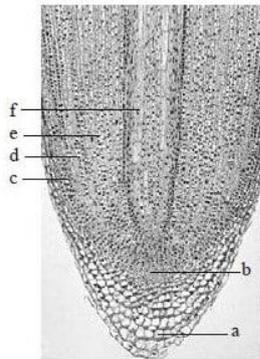
Tersusun atas sel-sel yang mengalami proses diferensiasi, sehingga memiliki struktur dan fungsi khusus. Epidermis pada daerah diferensiasi sudah terdiferensiasi dan tumbuh bulu-bulu akar, xilem dan floem



<https://www.google.com/search?q=pertumbuhan+primer>

- Tudung akar (kaliptra). Tudung akar atau kaliptra berfungsi sebagai pelindung terhadap benturan fisik ujung akar terhadap tanah sekitar pertumbuhan. Fungsi lain ujung akar, yaitu memudahkan akar menembus tanah karena tudung akar dilengkapi dengan sekresi cairan polisakarida. Perbedaan antara tudung akar dikotil dan monokotil sebagai berikut:

1. Pada tudung akar dikotil, antara ujung akar dengan kaliptra tidak terdapat batas yang jelas dan tidak memiliki titik tumbuh pada kaliptra tersebut.
2. Pada tudung akar monokotil, antara ujung akar dan kaliptra terdapat batas yang jelas atau nyata dan mempunyai titik tumbuh tersendiri yang disebut kaliptrogen.
3. Sel-sel kaliptra yang dekat dengan ujung akar mengandung butir-butir tepung yang disebut kolumela.



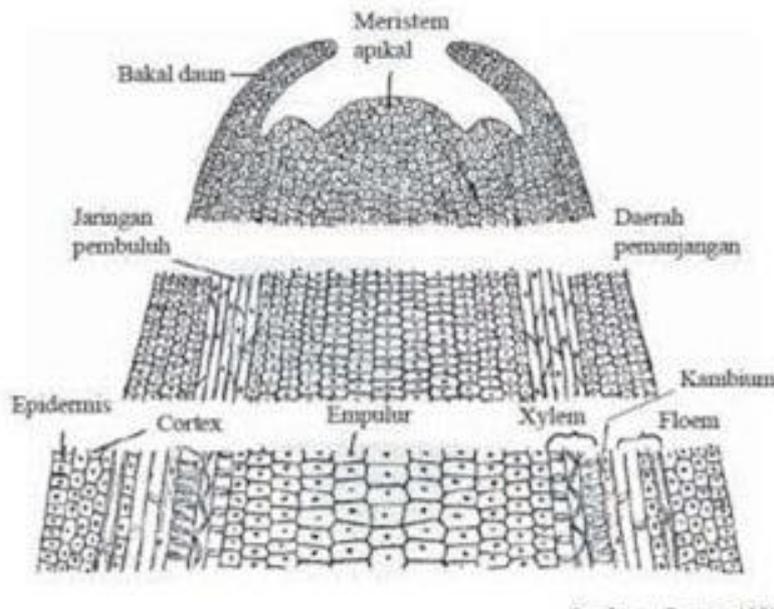
Gambar Jaringan meristem apikal akar.

- a. tudung akar
- b. meristem
- c. daerah pemanjangan sel
- d. korteks
- e. floem
- f. xylem

<https://satujam.com/>

b. Pertumbuhan Primer pada Batang

Pertumbuhan dan perkembangan primer pada batang meliputi daerah pertumbuhan (titik tumbuh), daerah pemanjangan, dan daerah diferensiasi. Meristem apikal pada batang dibentuk oleh sel-sel yang senantiasa membelah pada ujung tunas yang biasa disebut kuncup. Di dalam kuncup, ruas batang dan tonjolan daun kecil (primordia) memiliki jarak sangat pendek karena jarak internodus (antar ruas) sangat pendek. Pertumbuhan, pembelahan, dan pemanjangan sel terjadi di dalam internodus.

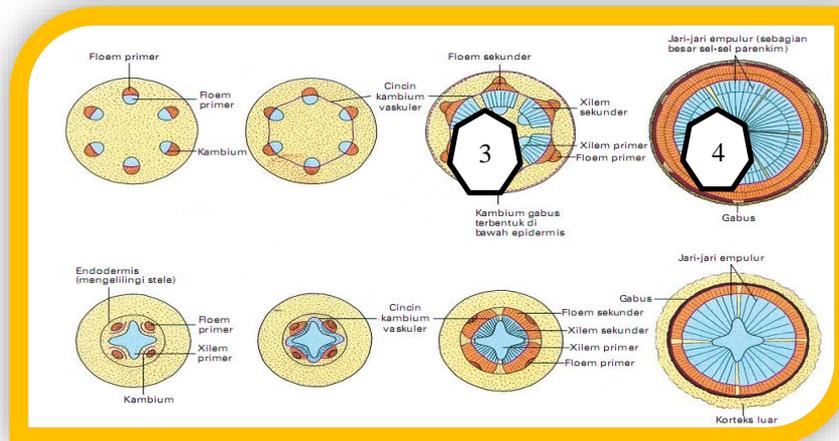


Gambar Irisan membujur ujung batang

<https://nuriloka29.wordpress.com/blog/>

3. Pertumbuhan Sekunder

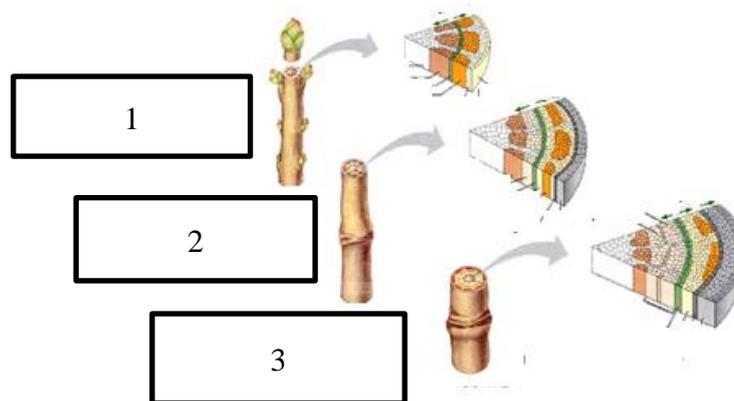
Merupakan aktivitas sel-sel meristem sekunder yaitu kambium dan kambium gabus. Pertumbuhan ini dijumpai pada tumbuhan dikotil, gymnospermae dan menyebabkan membesarnya ukuran (diameter) tumbuhan.



<https://forestechugm.wordpress.com/>

Tahapan pertumbuhan sekunder akar dan batang

1. Sel-sel kambium vaskuler terletak di antara xilem dan floem
2. Sel-sel kambium vaskuler melakukan pembelahan ke arah dalam membentuk jaringan xilem sekunder dan ke arah luar membentuk jaringan floem sekunder
3. Pembelahan sel-sel kambium vaskuler menghasilkan pertambahan diameter batang sehingga epidermis terkelupas/mati. Pembelahan Kambium gabus akan menggantikan fungsi epidermis yang rusak



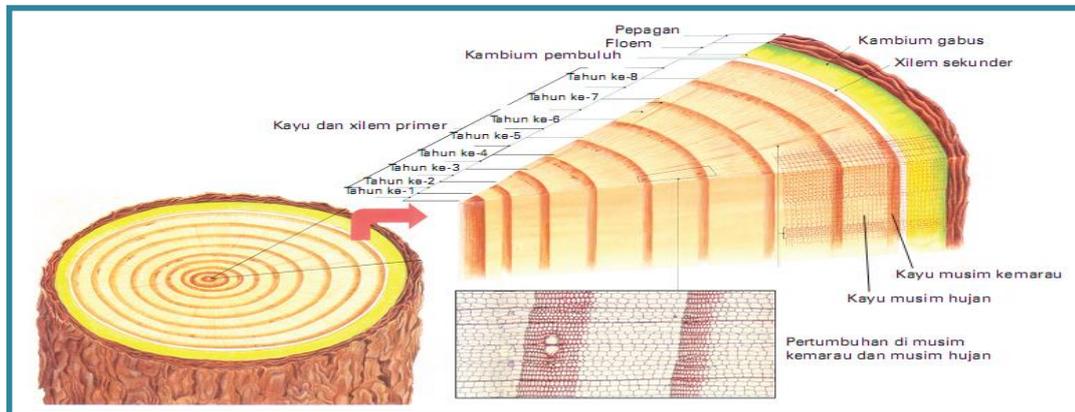
Tahapan pertumbuhan sekunder batang

<http://rizanaamalia.blogspot.com/>

Pembelahan kambium vaskuler terjadi sepanjang tahun, tetapi kecepatan pembelahan pada musim hujan dan musim kemarau tidak sama.

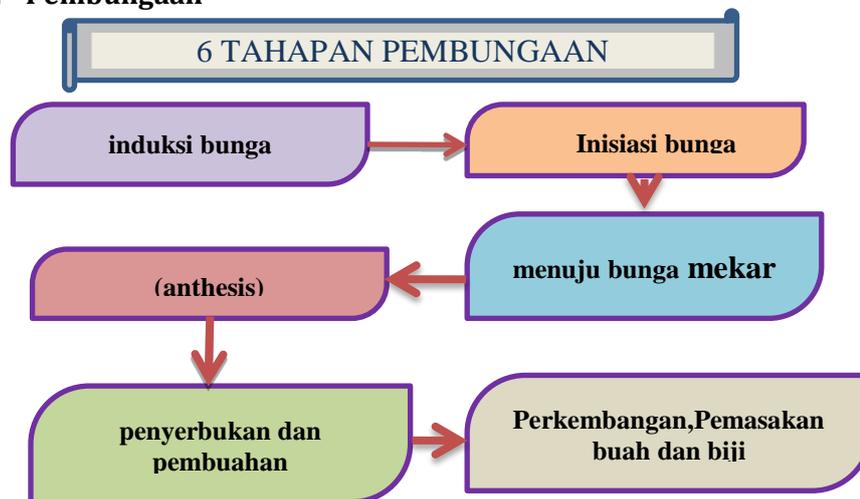
Pada musim hujan, kecepatan pembelahannya lebih tinggi sehingga menghasilkan pertambahan diameter batang yang lebih besar.

Jika mengamati penampang melintang batang pohon yang ditebang, Anda akan mendapatkan bentuk lingkaran-lingkaran pada batang pohon yang disebut...



<https://www.kompasiana.com/>

4. Pembungaan



Tahapan pembungaan :

1. **induksi bunga (evokasi).**
jaringan meristem berubah menjadi jaringan meristem reproduktif.
2. **Inisiasi bunga**
perubahan morfologis dari tunas vegetatif menjadi bentuk **kuncup reproduktif**.
3. **menuju bunga mekar.**
terjadinya diferensiasi bagianbagian bunga/ megasporogenesis dan mikrosporogenesis untuk penyempurnaan serta pematangan organorgan reproduksi jantan dan betina.
4. **bunga mekar (anthesis).** Sesuai dengan namanya, pada tahap ini terjadi pemekaran bunga. Biasanya, anthesis terjadi bersamaan dengan masakny organ reproduksi jantan dan betina
5. **penyerbukan dan pembuahan.**
terbentuknya buah muda.
6. **perkembangan pemasakan buah dan biji.**
diawali dengan perbesaran bakal buah (ovarium) yang diikuti oleh perkembangan endosperm (cadangan makanan) dan selanjutnya terjadi perkembangan embrio.

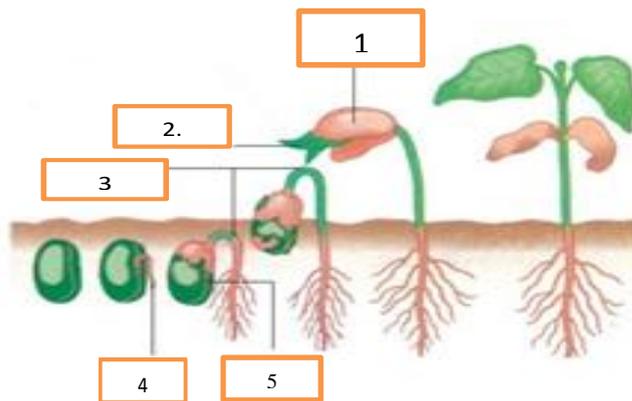
C. Rangkuman

1. Pertumbuhan adalah penambahan jumlah sel pada suatu organisme. Pertumbuhan bersifat tidak dapat kembali (irreversible). Sedangkan, perkembangan merupakan proses untuk mencapai kematangan fungsi suatu organisme
2. Secara umum pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan diawali untuk stadium zigot yang merupakan hasil pembuahan sel kelamin betina dengan jantan
3. Pertumbuhan primer, terjadi sebagai hasil pembelahan sel-sel jaringan meristem primer. Berlangsung pada embrio, bagian ujung-ujung dari tumbuhan seperti akar dan batang.
4. Pertumbuhan sekunder, merupakan aktivitas sel-sel meristem sekunder yaitu kambium dan kambium gabus. Pertumbuhan ini dijumpai pada tumbuhan dikotil, gymnospermae dan menyebabkan membesarnya ukuran (diameter) tumbuhan.
5. Pembungaan terjadi melalui enam proses yaitu induksi bunga (evokasi).
Inisiasi bunga, menuju bunga mekar, bunga mekar (anthesis), penyerbukan dan pembuahan. Dilanjutkan dengan perkembangan pemasakan buah dan biji.

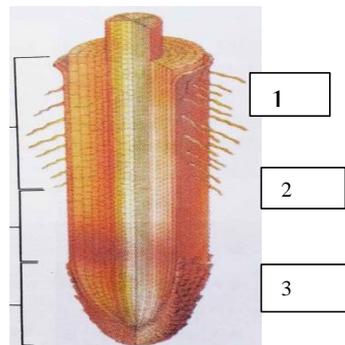
D. Penugasan Mandiri

Setelah kalian mempelajari materi tentang pertumbuhan dan perkembangan, cobalah menjawab pertanyaan-pertanyaan di bawah ini !

1. Lengkapi keterangan gambar pada kotak yang sesuai pada gambar !



2. Lengkapilah tiga daerah pertumbuhan primer pada akar di samping, dan berikan penjelasan



E. Latihan Soal

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat !

- Perkembangan makhluk hidup adalah proses...
 - Pertambahan volume yang dapat diukur dan bersifat tidak dapat kembali.
 - Menuju kedewasaan dan tidak dapat diukur.
 - Penambahan bahan dan perubahan substansi yang dapat diukur.
 - Penambahan jumlah sel hanya pada meristem ujung atau titik tumbuh.
 - Differensiasi sel yang makin cepat akibat faktor genetik dan lingkungan.
- Pada proses perkecambahan, embrio memanfaatkan cadangan makanan yang ada dalam biji. Cadangan makanan di simpan pada bagian....
 - Kotiledon
 - Endospermae
 - Skutelum
 - Aleuron
 - Radikula
- Pernyataan manakah yang benar tentang perkecambahan tumbuhan?
 - Perkecambahan dimulai dengan penyerapan air
 - Perkecambahan berlangsung baik pada suhu tinggi.
 - Perkecambahan paling cepat pada keadaan banyak cahaya
 - Perkecambahan memerlukan hormon auksin.
 - Perkecambahan tidak dipengaruhi oleh faktor oksigen dan hormon.
- Perhatikan Tahapan pembungaan berikut:
 - evokasi
 - penyerbukan
 - Inisiasi bunga
 - Terbentuk buah dan biji
 - anthesis
 - pembuahan.Urutan proses pembungaan yang benar adalah...
 - 123456
 - 234561
 - 456123
 - 153264
 - 152463
- Pada embrio biji terdapat calon akar yang disebut dengan....
 - hipokotil
 - aleuron.
 - kaulikulus.
 - epikotil.
 - radikula.

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

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

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

Jawaban dan Pembahasan :

No	Kunci jawaban	Pembahasan
1	B	Perkembangan makhluk hidup adalah proses menuju kedewasaan dan tidak dapat diukur.
2	B	Tempat cadangan pada biji adalah endosperm
3	A	Perkecambahan dimulai dari penyerapan air oleh biji, sehingga beratnya bertambah. Proses ini disebut dengan proses imbibisi.
4	D	Pembungaan terjadi melalui enam proses yaitu induksi bunga (evokasi). Inisiasi bunga, menuju bunga mekar, bunga mekar (anthesis), penyerbukan dan pembuahan
5	E	Bakal akar

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

Setelah kegiatan pembelajaran dilakukan, saya ..

No.	Pertanyaan	YA	TIDAK
1	Mampu menjelaskan pertumbuhan dan perkembangan		
2	Mampu mendeskripsikan pertumbuhan primer Pada akar dan batang		
3	Mampu menjelaskan proses pertumbuhan sekunder Pada akar dan batang		
4	Mampu menjelaskan proses pertumbuhan biji		
5	Mampu menguraikan urutan pembungaan dengan penjelasan tiap tahapnya		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan

A. Tujuan Pembelajaran

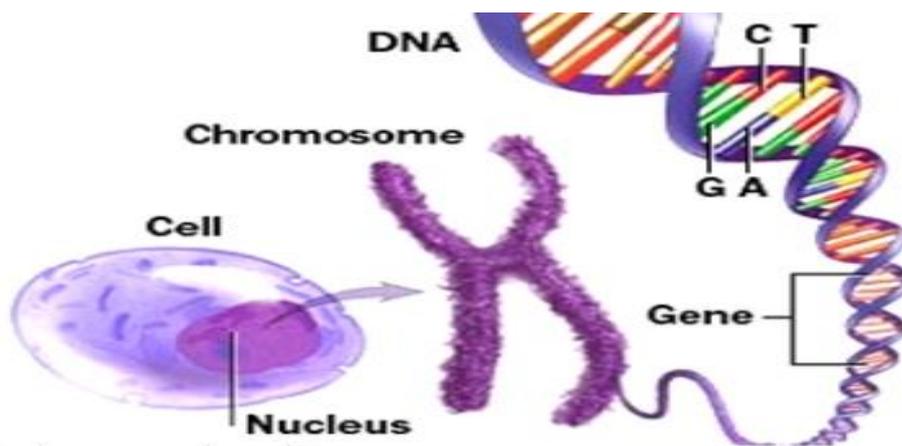
B-Friend yang hebat, melalui kegiatan pembelajaran kedua ini, ini diharapkan kalian mampu dan menjabarkan faktor internal maupun factor eksternal.

B. Uraian Materi

Tahukah B-friend, tumbuhan bisa berkembang seperti kita, lho ! Ada 2 faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, yaitu faktor eksternal dan faktor internal. Yuk, kita pelajari lebih lanjut mengenai faktor-faktor pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan!

1. Factor dalam (internal)

Faktor dalam (internal) yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman meliputi faktor genetik dan fitohormon. Gen merupakan faktor hereditas atau pembawa sifat yang terdapat dalam tubuh tanaman.



<https://agrotek.id/>

Faktor ini sangat berperan dalam mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Selain faktor genetik, faktor internal yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman adalah zat pengatur tumbuh yang disebut fitohormon. Hormon pertumbuhan merupakan zat organik yang dihasilkan oleh jaringan tertentu dan diedarkan ke jaringan lainnya, yang dalam jumlah sedikit dapat mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan. Fitohormon adalah sekumpulan zat yang membantu pertumbuhan, sering disebut sebagai zat penumbuh atau hormon pertumbuhan. Hormon pertumbuhan pada tumbuhan ada bermacam-macam diantaranya (1) auksin; (2) giberelin (3) sitokinin; (4) asam absisat, (5) etilen

Hormon pertumbuhan

Hormon pertumbuhan bertugas memacu atau merangsang bagian tertentu untuk melakukan pembelahan sel agar tumbuhan semakin besar. Hormon yang utama yaitu :

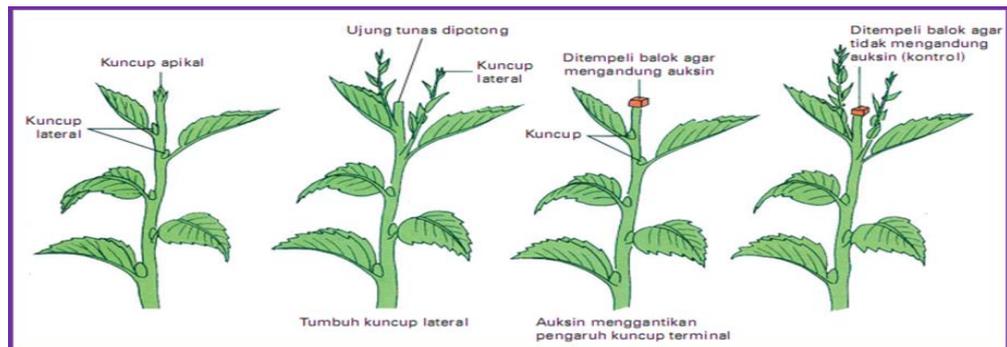
a. Auksin (Bahasa Yunani Auxein = meningkatkan)

Banyak terdapat di ujung-ujung koleoptil, atau ujung-ujung tunas.

Diketahui sebagai senyawa Asam Indol Asetat (AIA) atau Indol Acetic Acid (IAA). Kerjanya akan efektif bila tak ada cahaya.

Bekerja mempengaruhi/mempercepat proses pembelahan sel-sel meristem di ujung-ujung tunas (batang dan akar)

Dengan sifat auksin ini, tumbuhan dapat tumbuh sangat cepat ditempat gelap (etiologi). Dalam percobaan dilaboratorium, auksin juga memacu pertumbuhan daun, bunga, buah dan batang rerumputan dan kelompok cemara. Sifat auksin ini digunakan oleh para petani buah untuk merangsang bunga menjadi buah tanpa pembuahan terlebih dahulu, sehingga kini muncul jenis buah tanpa biji, seperti semangka, jeruk, dan durian. Proses pembentukan buah tanpa pembuahan ini disebut *Partenokarpi*. Auksin juga dipakai untuk memacu tumbuhnya akar pada batang-batang stek.

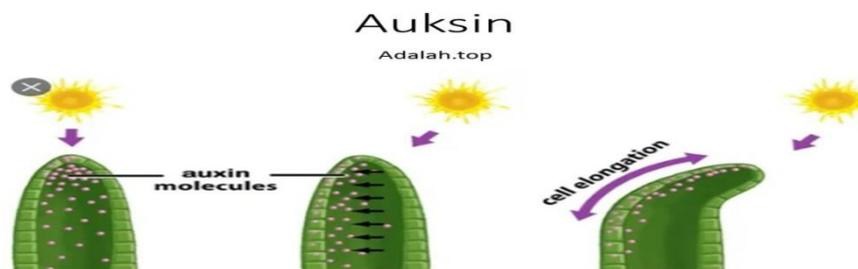


<https://www.pelajaran.co.id/>

B-Friend mengapa tanaman tumbuh bisa melengkung ? apa penyebabnya?

B-Friend yang hebat, kuncup apikal yang sedang tumbuh menghasilkan hormon auksin. Sementara itu, kerja auksin dihambat oleh adanya cahaya. Apabila sebagian kuncup apikal diarahkan pada cahaya matahari, akan terjadi pengangkutan auksin dari bagian yang terkena cahaya ke bagian yang terlindung dari cahaya. Pada keadaan demikian, auksin akan merangsang pertumbuhan selsel pada bagian yang terlindung tersebut.

Pada saat yang bersamaan, pertumbuhan selsel pada bagian yang terkena cahaya matahari akan terhambat karena konsentrasi auksin yang rendah. Akibatnya, batang akan tumbuh melengkung ke arah datangnya cahaya matahari



<https://adalah.top/auksin>

b. Gibberelin (Dari kata *Gibberella fujjuroi*)

Gibberella fujikuroi adalah jamur yang menghasilkan hormon gibberelin. Secara liar, *Gibberella fujikuroi* menginjeksikan tanaman lain dan mengeluarkan ekstrak gibberelin. Akibatnya tanaman inang tumbuh raksasa.

Setelah ditemukan pada *Gibberela fujikuroi* sebanyak 25 macam senyawa giberelin, ternyata ditemukan pula 73 macam lainnya pada tumbuhan tinggi. Giberelin dapat mempercepat tumbuhnya tunas, dan mempercepat perbungaan (vernalisasi), yang berarti mempercepat pematangan. Sekarang dapat ditemukan produk buah-buahan melimpah sebelum musimnya. Ini berkat penggunaan giberelin oleh para petani buah diluar musim berbuah.

Didunia pertanian, giberelin banyak dimanfaatkan karena fungsinya yang istimewa, antara lain

- Digunakan untuk partenokarpi, menghasilkan buah tanpa biji.
- Mempercepat pematangan daun (sayuran) dan buah (Jeruk)
- Memacu pertumbuhan padang rumput untuk ternak.
- Menyebabkan gerombol buah anggur lebih panjang.
- Anggur tahan cendawan
- Mendorong produksi benih
- Oleh pembuat bir digunakan untuk mempercepat proses pembuatan malt
- Merenyahkan tangkai daun seledri
- Meningkatkan tanaman tebu dan produksi gulanya.



Gambar ; Tanaman pot sebelah kanan yang diberi hormon giberelin
<https://8villages.com/>

c. Sitokinin

Dinamakan sitokinin karena memacu sitokinesis (Pembelahan plasma sel). Sitokinin terdapat di jaringan pembuluh berbagai jenis tumbuhan. Sitokinin ditemukan pula pada endosperma cair buah kelapa muda, kapang, bakteri, dan bahkan hewan primata, lumut, ganggang coklat, ganggang merah, pinus, dan diatom.

Sitokinin paling banyak terdapat disekitar biji muda, buah muda, dan tunas daun, serta ujung akar. Didunia pertanian, sitokinin diperlukan untuk:

- Pertumbuhan pada kultur jaringan
- Menunda pematangan bagian tubuh tumbuhan
- Memacu pembesaran sel-sel keping biji dan sel daun dikotil.
- Memacu perkembangan kloroplas dan sintesis klorofil

d. Asam Absisat

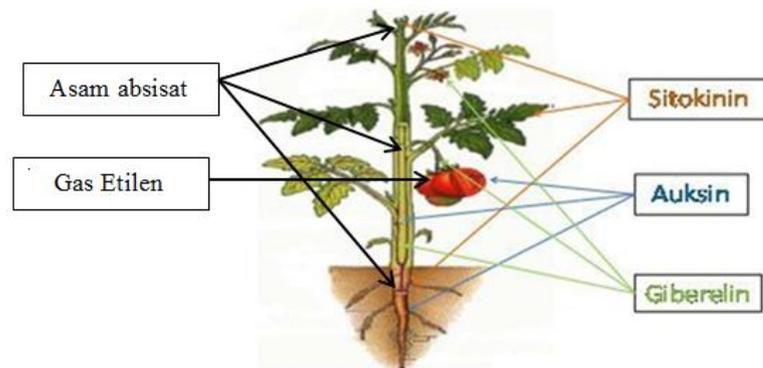
Musim dingin atau masa kering merupakan waktu dimana tanaman beradaptasi menjadi dorman (penundaan pertumbuhan). Pada saat itu, ABA yang dihasilkan oleh kuncup menghambat pembelahan sel pada jaringan meristem apikal dan pada cambium pembuluh sehingga menunda pertumbuhan primer maupun sekunder. ABA juga memberi sinyal pada kuncup untuk membentuk sisik yang akan melindungi kuncup dari kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Dinamai dengan asam absisat karena diketahui bahwa ZPT ini menyebabkan absisi/rontoknya daun tumbuhan pada musim gugur. Nama tersebut telah

populer walaupun para peneliti tidak pernah membuktikan kalau ABA terlibat dalam gugurnya daun.

Pada kehidupan suatu tumbuhan, merupakan hal yang menguntungkan untuk menunda/menghentikan pertumbuhan sementara. Dormansi biji sangat penting terutama bagi tumbuhan setahun di daerah gurun atau daerah semiarid, karena proses perkecambahan dengan suplai air terbatas akan mengakibatkan kematian. Sejumlah faktor lingkungan diketahui mempengaruhi dormansi biji, tetapi pada banyak tanaman ABA tampaknya bertindak sebagai penghambat utama perkecambahan. Biji-biji tanaman setahun tetap dorman di dalam tanah sampai air hujan mencuci ABA keluar dari biji.

Peranan Asam Absisat (ABA)

- Dormansi Biji
- Menahan cekaman kekeringan
- Asam absisat menginduksi dormansi pada biji. Ketika mekanisme kerjanya terblokir, dalam hal ini, dengan mutasi yang menyebabkan faktor transkripsi yang mengatur asam absisat, menyebabkan perkecambahan sebelum waktunya.



<https://www.pelajaran.co.id/>

- e. Etilen
Buah-buahan terutama yang sudah tua melepaskan gas yang disebut etilen. Etilen disintesis oleh tumbuhan dan menyebabkan proses pemasakan yang lebih cepat. Selain etilen yang dihasilkan oleh tumbuhan, terdapat etilen sintetik, yaitu etepon (asam 2-kloroetifosfonat). Etilen sintetik ini sering digunakan para pedagang untuk mempercepat pemasakan buah. Selain memacu pematangan, etilen juga memacu perkecambahan biji, menebalkan batang, mendorong gugurnya daun, dan menghambat pemanjangan batang kecambah. Selain itu, etilen menunda pembungaan, menurunkan dominansi apikal dan inisiasi akar, dan menghambat pemanjangan batang kecambah.
- f. Kalin:
Kalin adalah hormon yang merangsang pembentukan organ tubuh. Berdasarkan organ yang dibentuknya, kalin dibedakan atas:
Kaulokalin : merangsang pembentukan batang
Rhyzokalin : merangsang pembentukan akar. Sekarang telah diketahui bahwa rhyzokalin identik dengan vitamin B1 (thiamin)
Filokalin : merangsang pembentukan daun
Antokalin : merangsang pembentukan bunga

- g. Asam traumalin :
Batang atau akar tumbuhan dapat mengalami luka.
Tumbuhan memiliki kemampuan untuk memperbaiki bagian yang luka, disebut daya restitusi atau regenerasi.
Peristiwa ini terjadi dengan bantuan hormon luka atau kambium luka atau asam traumalin.
Lukaluka yang terjadi dapat tertutup kembali dengan membentuk jaringan kalus dan jaringan yang rusak dapat diganti dengan yang baru.
Bahkan dari luka pada bagian tertentu dari tubuh tumbuhan dapat tumbuh tunas baru.

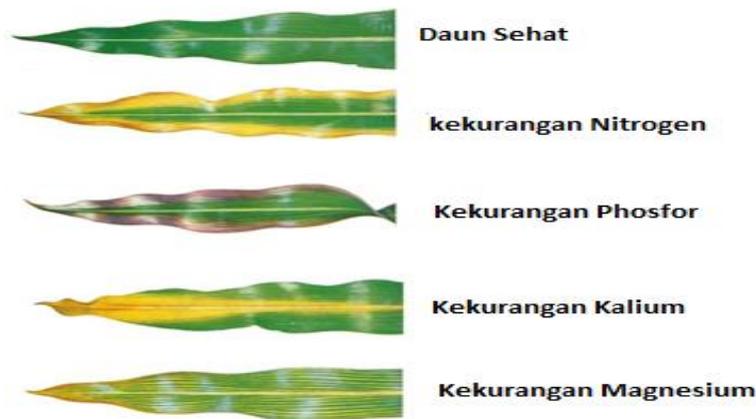
2. Faktor Luar(eksternal)

Faktor eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan merupakan faktor yang berasal dari luar tubuh tumbuhan. Faktor eksternal tersebut antara lain **nutrisi , cahaya, suhu, kelembapan dan aerasi.**

a. Nutrisi

Nutrisi adalah unsur makronutrien dan mikronutrien, misalnya karbondioksida. Nutrisi diperlukan sebagai sumber energi dan sebagai penyusun komponen-komponen sel bagi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan
Apabila suatu unsur tidak dapat tercukupi, tanaman akan mengalami defisiensi . Defisiensi suatu unsur akan menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman terganggu

Coba kita lihat contoh daun dari tanaman yang mengalami defisiensi dibawah ini :



<https://belajartani.com/>

- ✓ Defisiensi nitrogen
menyebabkan tumbuhan tumbuh jelek dan berwarna hijau muda. Permukaan daun bagian bawah berwarna kuning atau cokelat muda dan batang pendek serta kurus
- ✓ Defisiensi potasium (kalium)
menyebabkan tumbuhan memiliki tunas yang kecil dan ujungujung daun mudanya mati. Daun yang lebih tua memperlihatkan gejala klorosis dengan ujung pinggirnya mengering dan berwarna kecokelatan. Pada pinggir daun biasanya terdapat banyak bercak cokelat
- ✓ Defisiensi fosfor
menyebabkan tumbuhan tumbuh jelek dengan daun berwarna hijau

kebiruan. Bagian bawah daun kadang berwarna seperti karat dengan bercak ungu atau cokelat

- ✓ Defisiensi magnesium akan menunjukkan gejala klorosis (daun tidak berwarna hijau karena kekurangan klorofil). Hal itu terjadi karena magnesium diperlukan untuk pembentukan klorofil.

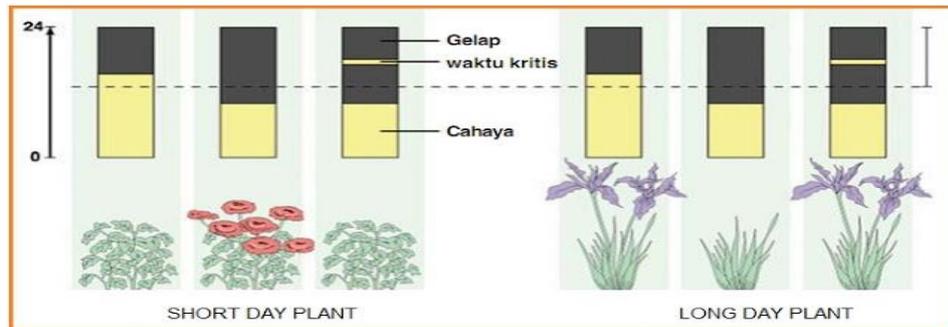
Fungsi Berbagai Nutrisi bagi Tanaman

Nutrien	Bentuk yang Tersedia	Fungsi Utama	Gejala Kekurangan
Makronutrien Karbon (C)	CO ₂ (udara)	Penyusun bahan organik (karbohidrat, lemak, protein, enzim dan turunannya)	Pertumbuhan dan metabolisme terhambat, akhirnya mati
Hydrogen (H)	H ₂ O (air)	Penyusun bahan organik (karbohidrat, lemak, protein, enzim dan turunannya)	Pertumbuhan dan metabolisme terhambat, akhirnya mati
Oksigen (O)	O ₂ (udara), H ₂ O (air)	Penyusun bahan organik (karbohidrat, lemak, protein, enzim dan turunannya)	Pertumbuhan dan metabolisme terhambat, akhirnya mati
Fosfor (P)	H ₂ PO ₄ , HPO ₄ ⁻	Penyusun asam nukleat, fosfolipid membran sel, ATP, NADP, koenzim	Pertumbuhan terhambat, daun berwarna hijau tua, daun bercak kemerahan, ada bagian yang mati
Kalium (K)	K ⁻	Kofaktor atau aktivator enzim dalam sintesis protein dan metabolisme karbohidrat, untuk meniaga keseimbangan ion	Perubahan karbohidrat terhambat, daun bercak-bercak kuning
Nitrogen (N)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁻ dari tanah	Penyusun asam amino, protein, asam nukleat, klorofil, hormon, dan enzim	Pertumbuhan terhambat, daun pucat dan kuning
Sulfur (S)	SO ₄ ²⁻	Penyusun asam amino sistein dan metionin, koenzim-A dan beberapa vitamin: tiamin dan biotin	Daun mengalami klorosis (menguning)
Besi (Fe)	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	Menjaga permeabilitas membran, membentuk kofaktor enzim dalam Berperan dalam pembentukan klorofil, merupakan komponen penting enzim sitokrom, peroksidase, dan katalase	Pertumbuhan terhambat, gangguan aktivitas meristem ujung akhirnya mati, Klorosis, daun menjadi kuning pucat, dan mati
Magnesium	Mg ²⁺	Menjaga permeabilitas membran, membentuk kofaktor enzim dalam Berperan dalam pembentukan klorofil, merupakan komponen penting enzim sitokrom, peroksidase, dan katalase	Pertumbuhan terhambat, gangguan aktivitas meristem ujung akhirnya mati, Klorosis, daun menjadi kuning pucat, dan mati
Mikronutrien Boron (B)	H ₂ BO ₃	Penyusun klorofil dan kofaktor enzim dalam metabolisme karbohidrat	Klorosis dari batang bawah ke ujung daun, pucat dan mati
Mangan (Mn)	Mn ²⁺	Berperan dalam translokasi glukosa	Ujung batang mengering dan rusak
Molibdenum (Mo)	MoO ₄	Komponen enzim yang mereduksi nitrat menjadi nitrit. Penting untuk fiksasi N pada bakteri	Pertumbuhan terhambat
Seng (Zn)	Zn ²⁺	Dibutuhkan dalam sintesis triptofan (prekursor auksin), aktivator beberapa enzim dehidrogenase dan berperan dalam sintesis protein	Ukuran daun dan panjang ruas-ruas menjadi berkurang
Tembaga (Cu)	CU ⁺ , CU ²⁺	Berperan dalam transfer elektron di dalam kloroplas, komponen enzim yang berperan dalam reaksi redoks	Daun muda berwarna hijau tua, daun berguguran
Klor (Cl)	Cr	Aktivator fotosintesis dan kesetimbangan ionik	Daun layu, klorosis, akar pendek dan menebal

b. Cahaya

Cahaya berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup. Tanaman sangat membutuhkan cahaya matahari untuk fotosintesis. Namun keberadaan cahaya ternyata dapat menghambat pertumbuhan tumbuhan karena cahaya dapat merusak hormon auksin yang terdapat pada ujung batang. Selain nutrisi, cahaya dan air juga memiliki fungsinya sendiri sebagai faktor eksternal dalam perkembangan sebuah tumbuhan.

Lamanya penyinaran dapat direspon oleh tumbuhan dengan berbeda-beda Respon tumbuhan terhadap lama waktu terang (siang) dan gelap (malam) setiap harinya disebut dengan **foto periodisme**.



<https://www.slideshare.net/>

- Interval penyinaran sehari-hari terhadap tumbuhan mempengaruhi proses pembungaan.
- Lama siang hari di daerah tropis kira-kira 12 jam.
- Sedangkan, di daerah yang memiliki empat musim dapat mencapai 16 - 20 jam.
- Fotoperiodisme dipengaruhi oleh fitokrom (pigmen penyerap cahaya).
- Fotoperiodisme menjelaskan mengapa pada spesies tertentu biasanya berbunga serempak.
- Tumbuhan yang berbunga bersamaan ini sangat menguntungkan, karena memberi kesempatan terjadinya penyerbukan silang.

c. Suhu

Suhu memiliki pengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Enzim merupakan senyawa protein yang dapat berperan sebagai katalisator dalam reaksi kimia di dalam sel.

Enzim hanya dapat bekerja secara optimal jika suhunya optimal.

Peran suhu terhadap transpirasi, jika suhu naik, transpirasi meningkat, sehingga tanaman kekurangan air dan hal ini akan mengganggu pertumbuhan

d. Kelembaban

Berpengaruh terhadap laju penguapan atau transpirasi, Jika kelembaban rendah, laju transpirasi meningkat sehingga penyerapan air dan zat-zat mineral juga meningkat, Hal itu akan meningkatkan ketersediaan nutrisi untuk pertumbuhan tanaman

e. Aerasi

Kandungan oksigen di dalam tanah, dipergunakan untuk aerasi pada akar, jika kandungan oksigen cukup maka aerasinya baik dan hal ini bermanfaat dalam perkembangan sel-sel akar dan juga berguna untuk membantu penyerapan nutrisi

C. Rangkuman

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan
Pertumbuhan tanaman dikendalikan oleh dua faktor yaitu faktor luar (eksternal) dan faktor dalam (internal) .
2. Gen merupakan faktor hereditas atau pembawa sifat yang terdapat dalam tubuh tanaman
3. Hormon pertumbuhan pada tumbuhan ada bermacam-macam diantaranya (1) auksin; (2) giberelin (3) sitokinin; (4) asam absisat, (5) etilen
4. Faktor eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan merupakan faktor yang berasal dari luar tubuh tumbuhan. Faktor eksternal tersebut antara lain nutrisi , cahaya, suhu, kelembapan dan aerasi

D. Penugasan Mandiri

Setelah kalian mempelajari materi tentang factor yang mempengaruhi pertumbuhan, jawablah tugas mandiri di bawah ini agar kalian lebih memahami materi yang sedang di bahas :

1. Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan sangat dipengaruhi oleh faktor dalam dan faktor luar tumbuhan. Apa itu faktor dalam dan apa saja faktor luar yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan?
2. Cahaya diperlukan untuk melakukan proses fotosintesis, namun disisi lain cahaya merupakan factor yang menghambat pertumbuhan. Jelaskan pernyataan tersebut!
3. Membengkoknya batang tanaman yang tumbuh dapat disebabkan oleh faktor horman dan cahaya pada tanaman. Bagaimana proses tersebut dapat terjadi ? jelaskan dengan singkat .
4. Silahkan lakukan percobaan mandiri tentang faktor luar (factor cahaya) yang mempengaruhi pertumbuhan dan buat laporan hasil percobaannya



E. Latihan Soal

1. Para pedagang buah biasanya memetik buah sebelum masak. Setelah beberapa hari buah disimpan atau diangkat keluar kota, buah ternyata sudah masak, faktor yang dapat mengakibatkan pemasakan buah ini adalah...
 - A. Kekurangan oksigen karena disimpan dalam tempat tertutup.
 - B. Tidak terkena cahaya pada saat penyimpanan.
 - C. Buah mengeluarkan hormon etilen.
 - D. Buah menyerap sitokinin.
 - E. Suhu lebih tinggi karena diperam
2. Perhatikan gambar perbandingan A dan B. Hormon yang mempengaruhi perbedaan kecepatan pertumbuhan tanaman tersebut adalah....

- A. Sitokinin
- B. Auksin
- C. Giberelin
- D. Asam Absisat
- E. Gas etilen



3. Etiolasi adalah pertumbuhan yang
 - A. Tidak dipengaruhi cahaya
 - B. Lambat jika ada cahaya
 - C. Sangat cepat jika ada cahaya
 - D. Lambat dalam kondisi gelap
 - E. Sangat cepat dalam kondisi gelap

5. Seseorang menginginkan pohon jambu di depan rumahnya rimbun sehingga membuat teduh. Cara yang harus dilakukan untuk merangsang tumbuhan seperti yang diharapkan adalah ...
 - A. Menyiram dengan jumlah air yang berlebih
 - B. Menggores-gores batang
 - C. Menyemprot ujung batang dengan auksin
 - D. Mencangkul tanah disekitarnya
 - E. Memotong ujung batang tanaman
6. Faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan tanaman adalah ...
 - A. Suhu, tanah, kelembapan, hormone
 - B. Suhu, cahaya, kelembapan, hormone
 - C. Suhu, pupuk, jenis tanaman, hormone
 - D. Tanah, jenis tanaman, kelembapan, suhu
 - E. Cahaya, pupuk, jenis tanaman, hormone

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

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

Jawaban dan Pembahasan :

No	Kunci jawaban	Pembahasan
1.	C	Buah-buahan terutama yang sudah tua melepaskan gas yang disebut etilen. Etilen disintesis oleh tumbuhan dan menyebabkan proses pemasakan yang lebih cepat.
2	C	Giberelin dapat mempercepat tumbuhnya tunas, dan mempercepat perbungaan (vernalisasi), yang berarti mempercepat pembuahan
3.	E	Auksin (Bahasa Yunani Auxein = meningkatkan) Banyak terdapat di ujung-ujung koleoptil, atau ujung-ujung tunas. Diketahui sebagai senyawa Asam Indol Asetat (AIA) atau Indol Acetic Acid (IAA). Kerjanya akan efektif bila tak ada cahaya. Bekerja mempengaruhi/mempercepat proses pembelahan sel-sel meristem di ujung-ujung tunas (batang dan akar) Dengan sifat auksin ini, tumbuhan dapat tumbuh sangat cepat ditempat gelap (etiolasi).
4.	E	Karena dengan memotong ujung batang tanaman yang sudah lama, akan menjadikan tanaman bisa berkembang dan bertumbuh secara baru menjadi lebih banyak/lebat.
5.	B	Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan Pertumbuhan tanaman dikendalikan oleh dua faktor yaitu faktor luar (eksternal) dan faktor dalam (internal). Faktor dalam terdiri dari gen dan hormone sedangkan faktor luar terdiri dari cahaya, suhu, nutrisi, kelembaban dan aerasi

F. Penilaian Diri

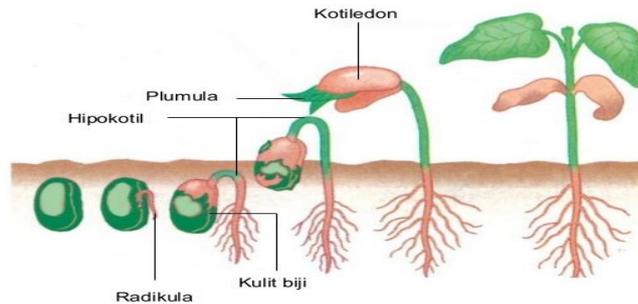
No	Pertanyaan	YA	TIDAK
1	Mampu mendeskripsikan factor luar yang mempengaruhi pertumbuhan		
2	Mampu mendeskripsikan factor dalam yang mempengaruhi pertumbuhan		
3	Mampu menjelaskan fungsi hormone yang berperan pada proses pertumbuhan tanaman		
4	Mampu menjelaskan peristiwa fotoeriodisme		
5	Mampu menguraikan defisiensi tanaman jika kekurangan salah satu unsur dalam tubuhnya		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

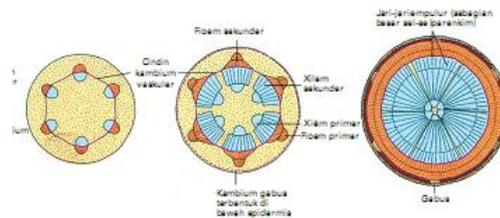
Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

EVALUASI

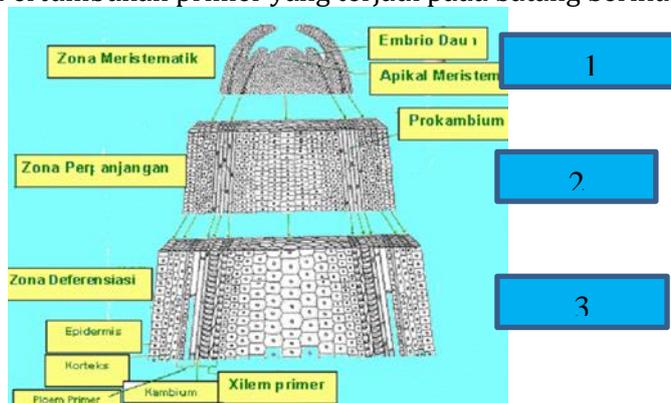
- Pertumbuhan adalah perubahan yang bersifat kuantitatif sehingga dapat diamati dengan mudah. Gejala berikut ini yang tidak menunjukkan gejala pertumbuhan adalah...
 - Batang bertambah panjang.
 - Akar bertambah banyak.
 - Daun melebar.
 - Muncul bunga.
 - Buah membesar
- Pola perkecambahan seperti pada gambar berikut terjadi peristiwa :



- Plumula muncul ke permukaan tanah, kotiledon tetap berada dalam tanah
 - Kotiledon muncul ke permukaan tanah, plumula tetap berada dalam tanah
 - Plumula dan kotiledon muncul ke permukaan tanah
 - Plumula dan kotiledon tetap di dalam tanah
 - Kotiledon ada yang muncul ke permukaan tanah dan ada yang tetap di dalam tanah
- Pertambahan diameter batang pada tumbuhan merupakan aktivitas....



- Jaringan meristemik
 - Maristem ujung batang
 - Maristem ujung akar
 - Sel-sel Kambium
 - Xilem dan floem sekunder
- Pertumbuhan primer yang terjadi pada batang berikut :



Tahapan yang terjadi pada gambar 1, 2 dan 3 adalah

- A. Pembelahan, diferensiasi dan pemanjangan
 - B. Pemanjangan, pelebaran dan diferensiasi
 - C. Pemanjangan, diferensiasi dan pembelahan
 - D. Pembelahan, pemanjangan dan diferensiasi
 - E. Pelebaran pembelahan dan pemanjangan
5. Hormon kalin yang berperan dalam membentuk organ tumbuhan berupa bunga yang terlihat pada gambar adalah



- A. Antokalin
 - B. Filokalin
 - C. ABA
 - D. kaulokalin
 - E. rizokalin
6. Kecambah kacang hijau yang tumbuh dalam pot yang berisi tanah menunjukkan gejala sebagai berikut:
1. Batang tinggi, kurus, pucat
 2. Daun sedikit berwarna pucat
- Tanaman kacang tersebut kemungkinan kekurangan....
- A. Air
 - B. Cahaya
 - C. Karbon dioksida
 - D. Unsur makro
 - E. Unsur mikro

7. Untuk menghilangkan sifat kerdil secara genetik pada tumbuhan, yang terlihat pada gambar dibutuhkan hormon....

- A. Auksin
- B. Sitokinin
- C. Kaulokalin
- D. Giberelin
- E. asam absisat



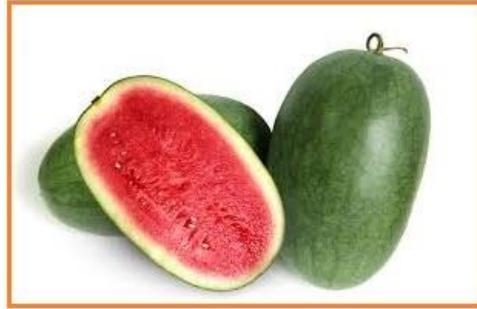
8. Pernyataan mengenai cahaya di bawah ini benar, kecuali....
- A. Cahaya diperlukan untuk proses fotosintesis
 - B. Cahaya mempercepat pertumbuhan
 - C. Tanpa cahaya terjadi etiolasi
 - D. Cahaya inframerah berperan untuk menentukan suhu lingkungan
 - E. Cahaya merah, dan nila diperlukan untuk fotosintesis
9. Peluruhan daun pada musim kering yang terlihat pada gambar disebabkan oleh hormon....

- A. Auksin
- B. asam absisat
- C. sitokinin
- D. giberelin
- E. gas etilen



10. Buah semangka tanpa biji setelah penyerbukan dapat diperoleh dengan memberikan hormon....

- A. sitokinin
- B. giberelin
- C. asam absisat
- D. auksin
- E. etilen



Jawaban

No	Jawaban
1	D
2	C
3	D
4	D
5	A
6	B
7	D
8	B
9	B
10	B

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, N.A., J.B. Reece & L.G. Mitchell. 1502. Biologi Jilid 1. Edisi Kelima. Istamar Syamsuri. 1507. *Biologi Untuk SMA/MA Kelas XII*. Jakarta: Erlangga
- Irnaningtyas. 1515. *Biologi Untuk SMA/MA Kelas XII Kelompok Peminatan MIPA*. Jakarta: Erlangga
- Sri Ayu Imaningtyas. 1510. *Mandiri Biologi Untuk SMA dan MA Kelas XII*. Erlangga
- _____ *Kumpulan Soal-soal Ujian Nasional dan Soal-soal SPMB/SNMPTN*. Jakarta: Kementerian Pendidikan Nasional



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

BIOLOGI



KELAS
XII



METABOLISME

BIOLOGI KELAS XII

PENYUSUN

Susi Nurul Fitri, M.Pd.

SMAN 1 Sidomulyo

Lampung Selatan

DAFTAR ISI

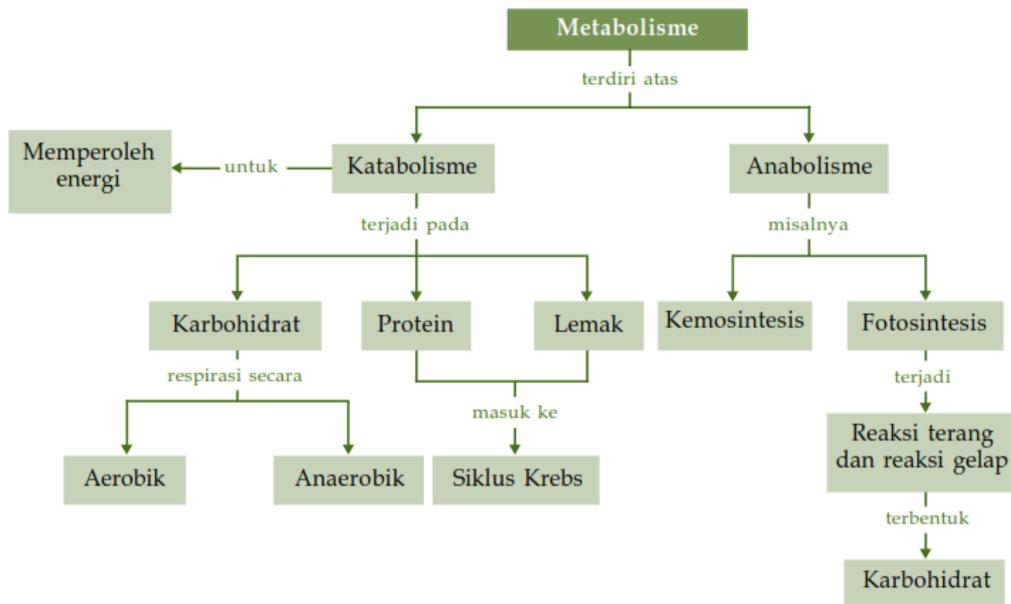
PENYUSUN	2
DAFTAR ISI	3
GLOSARIUM.....	5
PETA KONSEP.....	6
PENDAHULUAN.....	7
A. Identitas Modul.....	7
B. Kompetensi Dasar	7
C. Deskripsi Singkat Materi.....	7
D. Petunjuk Penggunaan Modul	7
E. Materi Pembelajaran.....	8
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	9
METABOLISME DAN ENZIM.....	9
A. Tujuan Pembelajaran	9
B. Uraian Materi	9
C. Rangkuman	12
D. Penugasan Mandiri.....	12
E. Latihan Soal.....	13
F. Penilaian Diri	15
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	16
KATABOLISME	16
A. Tujuan Pembelajaran	16
B. Uraian Materi.....	16
C. Rangkuman	21
D. Penugasan Mandiri.....	21
E. Latihan Soal.....	22
F. Penilaian Diri	23
KEGIATAN PEMBELAJARAN 3	24
ANABOLISME.....	24
A. Tujuan Pembelajaran	24
B. Uraian Materi.....	24
C. Rangkuman	28
D. Penugasan Mandiri.....	28
E. Latihan Soal.....	28
F. Penilaian Diri	30

EVALUASI	31
DAFTAR PUSTAKA	34

GLOSARIUM

Anabolisme	: Reaksi pembentukan senyawa kompleks dari senyawa sederhana..
Apoenzim	: Bagian enzim yang terdiri protein, yang menyatu dengan kofaktor agar berfungsi secara aktif.
Autotrof	: Organisme yang dapat memenuhi bahanorganik yang dibutuhkan dengan cara mensintesisnya dari bahan anorganik.
Biokatalisator	: Enzim yang berperan dalam reaksi-reaksi kimia dalam sel tubuh makhluk hidup.
Enzim	: Protein yang aktif bertindak sebagai biokatalisator dalam tubuh makhluk.
Fermentasi	: Pemecahan senyawa organik oleh mikroba yang berlangsung anaerob.
Fotosintesis	: Peristiwa penyusunan zat organik (karbohidrat) dari zat anorganik yang dilakukan oleh klorofil dengan bantuan cahayamatahari.
Fotolisis	: Pemecahan molekul air dengan bantuan cahaya.
Fotosistem	: Tempat berkumpulnya beratus-ratus molekul pigmen fotosintesis.
Glikolisis	: Pengubahan satu molekul gula 6C menjadi 2 molekul asam piruvat (3C), 2 molekul NADH dan 2 molekul ATP.
Inhibitor	: Zat atau senyawa yang menghalangi kerja enzim.
Katabolisme	: Reaksi penguraian yang berlangsung di dalam tubuh organisme.
Kemosintesis	: Proses penyusunan zat organik dengan memanfaatkan sumber energi dari hasil reaksi kimia.
Koenzim	: Bagian bukan protein pada enzim, berupa senyawa organik (misalnya vitamin).
Metabolisme	: Seluruh peristiwa reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam sel makhluk hidup.
Respirasi aerob	: Respirasi yang membutuhkan oksigen.
Respirasi anaerob	: Respirasi yang tidak membutuhkan oksigen.

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: Biologi
Kelas	: XII
Alokasi Waktu	: 12 x 45 Menit
Judul Modul	: Metabolisme

B. Kompetensi Dasar

- 3.2 Menjelaskan proses metabolisme sebagai reaksi enzimatik dalam makhluk hidup.
- 4.2 Menyusun laporan hasil percobaan tentang mekanisme kerja enzim, fotosintesis, dan respirasi anaerob.

C. Deskripsi Singkat Materi

Metabolisme merupakan serangkaian peristiwa reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam sel makhluk hidup. Melalui proses metabolisme makanan yang dimakan dapat diubah menjadi energi untuk kelangsungan hidup.

Semua makhluk hidup memerlukan energi untuk kelangsungan hidupnya. Kebutuhan energi setiap individu berbeda-beda, sesuai dengan aktivitas yang dilakukan, umur, atau jenis kelamin. Energi dapat diperoleh dari makanan yang dimakan melalui proses metabolisme di dalam tubuh. Laju Metabolisme akan dipengaruhi oleh enzim sebagai biokatalisator.

Metabolisme ada dua macam yaitu katabolisme dan anabolisme.

Katabolisme atau disebut juga disimilasi merupakan rangkaian reaksi kimia yang berkaitan dengan proses pembongkaran, penguraian atau pemecahan molekul/senyawa kompleks menjadi molekul/ senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim, contohnya respirasi anaerob dan aerob.

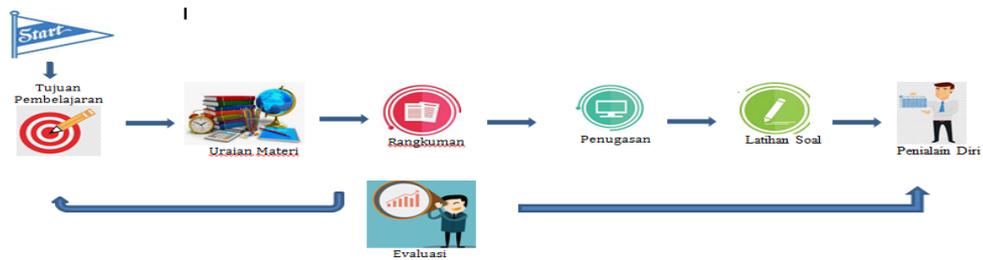
Anabolisme disebut juga asimilasi atau sintesis merupakan rangkaian proses reaksi kimia yang berkaitan dengan proses penyusunan atau sintesis molekul/senyawa kompleks dari molekul-molekul/ senyawa sederhana atau penyusunan zat dari senyawa/molekul sederhana menjadi senyawa yang kompleks, contohnya fotosintesis dan kemosintesis.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Supaya anda berhasil mencapai kompetensi dalam mempelajari modul ini, maka ikuti petunjuk – petunjuk berikut :

1. Pelajari daftar isi dengan cermat dan teliti karena dalam modul ini akan tampak kedudukan modul yang sedang anda pelajari.
2. Pahami setiap materi yang diuraikan dalam modul ini, sehingga memudahkan anda untuk mengerjakan tugas dan penilaian dengan hasil yang maksimal.
3. Jawablah latihan soal dengan baik, kemudian cocokkanlah hasil jawaban kamu dengan kunci jawaban.
4. Apabila jawaban anda sudah mencapai 85% anda bisa melanjutkan ke kegiatan berikutnya.
5. Bila terdapat penugasan, kerjakan tugas tersebut dengan baik .

6. Catatlah kesulitan kesulitan yang anda temui dalam modul ini untuk dikonsultasikan ke guru mata pelajaran.
7. Untuk keberhasilan anda dalam menggunakan modul ini, anda bisa mengikuti alur berikut ini :



E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 3 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini terdiri dari:

- Pertama : Metabolisme dan Enzim
- Kedua : Katabolisme
- Ketiga : Anabolisme

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

METABOLISME DAN ENZIM

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan anda dapat:

1. Menjelaskan proses metabolisme sebagai reaksi enzimatik dalam makhluk hidup.
2. Menjelaskan prinsip dasar enzim, struktur, sifat, mekanisme kerja enzim dan faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim.
3. Menyusun laporan percobaan kerja enzim, fotosintesis, dan respirasi anaerob.

B. Uraian Materi

METABOLISME

Metabolisme merupakan serangkaian peristiwa reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam sel makhluk hidup. Metabolisme juga merupakan aktivitas hidup yang selalu terjadi pada setiap sel hidup. Melalui proses metabolisme makanan yang dimakan dapat diubah menjadi energi untuk kelangsungan hidup. Di dalam tubuh makanan mengalami serangkaian perombakan melalui berbagai reaksi kimia sehingga membebaskan energi yang dikandungnya yaitu berupa molekul adenosine trifosfat (ATP). Energi tidak saja diperlukan untuk pertumbuhan sel, mengganti sel yang rusak, pembelahan sel, tetapi juga untuk aktivitas hidup lainnya misalnya belajar, berlari, bermain dan lain-lain.

ATP merupakan molekul berenergi tinggi yang dapat digunakan makhluk hidup. ATP tersusun dari adenosine (basa adenin dan gula ribosa) dan tiga gugus fosfat. ATP memiliki ikatan yang labil karena mudah melepaskan gugus fosfat ketika mengalami hidrolisis sehingga berubah menjadi ADP (adenosine difosfat). Didalam tubuh berlangsung ratusan bahkan ribuan reaksi kimia, termasuk reaksi kimia dalam proses perombakan zat makanan. Setiap reaksi kimia tidak bekerja secara sendiri-sendiri, melainkan berhubungan satu sama lainnya membentuk suatu rangkaian reaksi kimia.

Metabolisme dapat digolongkan menjadi dua yaitu proses pembongkaran yang disebut katabolisme dan proses penyusunan yang disebut anabolisme. Reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam metabolisme tersebut akan dipengaruhi lajunya oleh protein khusus yang disebut enzim. Tanpa enzim laju metabolisme berlangsung lambat.

ENZIM

Enzim adalah suatu senyawa kimia/protein khusus yang berperan sebagai katalisator suatu reaksi kimia di dalam tubuh makhluk hidup. Enzim sebagai katalisator dapat mempercepat suatu reaksi kimia yaitu dengan cara menurunkan energi aktivasi.

Energi aktivasi adalah energi awal yang digunakan untuk memulai suatu reaksi kimia.

Enzim merupakan biokatalisator yang artinya dapat mempercepat reaksi-reaksi biologi tanpa mengalami perubahan struktur kimia.

Struktur Enzim

Keseluruhan bagian enzim disebut holoenzim. Enzim disusun oleh dua komponen utama yaitu:

1. Gugus protein (Apoenzim) : yaitu bagian dari enzim yang tersusun dari molekul protein
2. Gugus non protein : yaitu bagian dari enzim yang tersusun dari senyawa non protein

Enzim memiliki sisi aktif, yakni bagian atau tempat pada enzim yang berfungsi sebagai tempat menempelnya substrat. Kerja enzim sangat spesifik karena sisi aktif dari enzim sangat selektif terhadap bentuk kimia dari substrat yang akan dikatalisis. Ikatan yang terbentuk antara enzim dengan substrat bersifat lemah sehingga reaksi dapat berlangsung bolak-balik. Substrat menempel pada sisi aktif enzim dan akan menghasilkan produk baru. Komponen nonprotein/gugus prostetik memiliki sifat stabil pada suhu yang relative tinggi dan tidak berubah pada akhir reaksi. Gugus prostetik di bedakan menjadi kofaktor dan koenzim. Kofaktor tersusun dari zat anorganik yang umumnya logam misalnya Cu, Fe, Mn, Zn, Ca, K dan Co. Koenzim tersusun dari senyawa organik nonprotein yang tidak melekat erat pada bagian protein enzim, misalnya vitamin, NAD, NADP dan Koenzim A.



Gambar 1. Struktur Enzim
Sumber: materibelajar.co.id

Sifat-Sifat Enzim

Sebagai biokatalisator, enzim memiliki beberapa sifat antara lain:

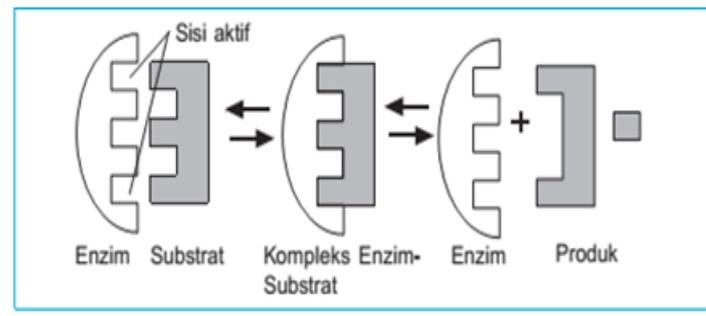
- a. Enzim hanya mengubah kecepatan reaksi, artinya enzim tidak mengubah produk akhir yang dibentuk atau mempengaruhi keseimbangan reaksi, hanya meningkatkan laju suatu reaksi.
- b. Enzim bekerja secara spesifik, artinya enzim hanya mempengaruhi substrat tertentu saja.
- c. Enzim merupakan protein. Oleh karena itu, enzim memiliki sifat seperti protein. Antara lain bekerja pada suhu optimum, umumnya pada suhu kamar. Enzim akan kehilangan aktivitasnya karena pH yang terlalu asam atau basa kuat, dan pelarut organik. Selain itu, panas yang terlalu tinggi akan membuat enzim terdenaturasi sehingga tidak dapat berfungsi sebagai mana mestinya.
- d. Enzim diperlukan dalam jumlah sedikit. Sesuai dengan fungsinya sebagai katalisator, enzim diperlukan dalam jumlah yang sedikit
- e. Enzim bekerja secara bolak-balik. Reaksi-reaksi yang dikendalikan enzim dapat berbalik, artinya enzim tidak menentukan arah reaksi tetapi hanya mempercepat laju reaksi sehingga tercapai keseimbangan. Enzim dapat menguraikan suatu senyawa menjadi senyawa-senyawa lain.

- f. Enzim dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim adalah suhu, pH, activator (pengaktif), dan inhibitor (penghambat) serta konsentrasi substrat.

Cara Kerja Enzim

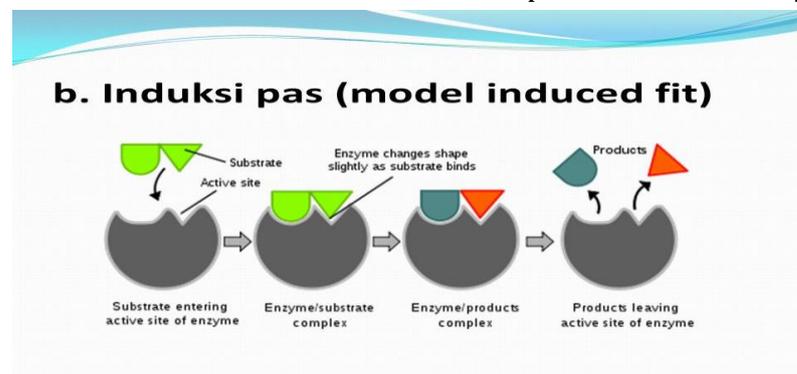
Cara kerja enzim dalam berikatan dengan substrat, ada 2 teori yang menjelaskannya, yaitu:

- a. Teori lock and key: Teori lock and key menganalogikan mekanisme kerja enzim seperti kunci dengan anak kunci. Substrat masuk ke dalam sisi aktif enzim. Jadi, sisi aktif enzim seolah olah kunci dan substrat adalah anak kunci.



Gambar. 2 Teori Lock and Key
Sumber: akkangyacob.blogspot.com

- b. Teori induced fit: Teori induced fit mengemukakan bahwa setiap molekul substrat memiliki permukaan yang hampir pas dengan permukaan sisi aktif enzim. Jika substrat masuk ke dalam sisi aktif enzim, akan terbentuk kompleks enzim substrat yang pas.



Gambar. 3 Teori Induksi Pas (model induced fit)
Sumber: akkangyacob.blogspot.com

Faktor-Faktor yang memengaruhi Kerja Enzim

Faktor -Faktor yang dapat mempercepat atau memperlambat kerja enzim antara lain adalah:

1. Suhu

Enzim tersusun dari protein sebab itu enzim sangat peka terhadap suhu. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein, dan suhu yang terlalu rendah dapat menghambat laju reaksi. Setiap enzim mempunyai suhu optimum yang spesifik, jika enzim berada di bawah suhu optimum maka kerja enzim akan terhambat.

2. pH

Setiap enzim mempunyai pH optimum yang spesifik. Perubahan pH mengakibatkan sisi aktif enzim berubah sehingga dapat menghalangi terikatnya substrat pada sisi aktif enzim, selain itu perubahan pH juga mengakibatkan proses denaturasi pada enzim.

3. Konsentrasi Enzim dan substrat

Agar reaksi berjalan optimum, perbandingan jumlah antara enzim dan substrat harus sesuai. Jika enzim terlalu sedikit dan substrat terlalu banyak reaksi akan berjalan lambat dan bahkan ada substrat yang tidak terkatalisasi. Semakin banyak enzim maka reaksi akan berjalan semakin cepat.

4. Zat-zat Pengikat

Aktivator yaitu zat yang berfungsi memacu atau mempercepat reaksi enzim. Contohnya Aktivator antara lain garam-garam dan logam alkali dalam kondisi encer (2%-5%) dan ion logam Ca, Mg, Mn, Ni, dan C1)

5. Zat-zat Penghambat

Ada dua macam inhibitor enzim, yaitu inhibitor kompetitif dan inhibitor nonkompetitif. Inhibitor kompetitif adalah inhibitor yang berkaitan secara kuat pada sisi aktif enzim. Inhibitor kompetitif dapat dihilangkan dengan cara menambah konsentrasi substrat. Sedangkan inhibitor nonkompetitif adalah inhibitor yang terikat pada sisi elosterik enzim (selain sisi aktif enzim), inhibitor ini mengakibatkan sisi aktif enzim berubah hingga substrat tidak dapat berkaitan dengan sifat sisi aktif enzim. inhibitor ini tidak dapat dihilangkan walaupun dengan menambahkan konsentrasi substrat.

C. Rangkuman

1. Metabolisme merupakan serangkaian peristiwa reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam sel makhluk hidup.
2. ATP merupakan molekul berenergi tinggi yang dapat digunakan makhluk hidup.
3. Enzim adalah suatu senyawa kimia/protein khusus yang berperan sebagai katalisator suatu reaksi kimia di dalam tubuh makhluk hidup.
4. Enzim disusun oleh dua komponen utama yaitu Gugus protein (Apoenzim) dan Gugus non protein.
5. Sifat-sifat enzim antara lain, berupa protein, sebagai katalisator, tidak menentukan arah reaksi, bekerjanya sangat specific, bekerja bolak balik dan dibutuhkan dalam jumlah sedikit.
6. Cara kerja enzim dalam berikatan dengan substrat, ada 2 teori yang menjelaskannya yaitu Teori lock and key dan Teori induced fit.
7. Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim adalah suhu, pH, konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, zat-zat pengikat/aktivator, zat penghambat/inhibitor.

D. Penugasan Mandiri

Metabolisme merupakan serangkaian peristiwa reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam sel makhluk hidup. Lakukanlah percobaan sederhana berikut.

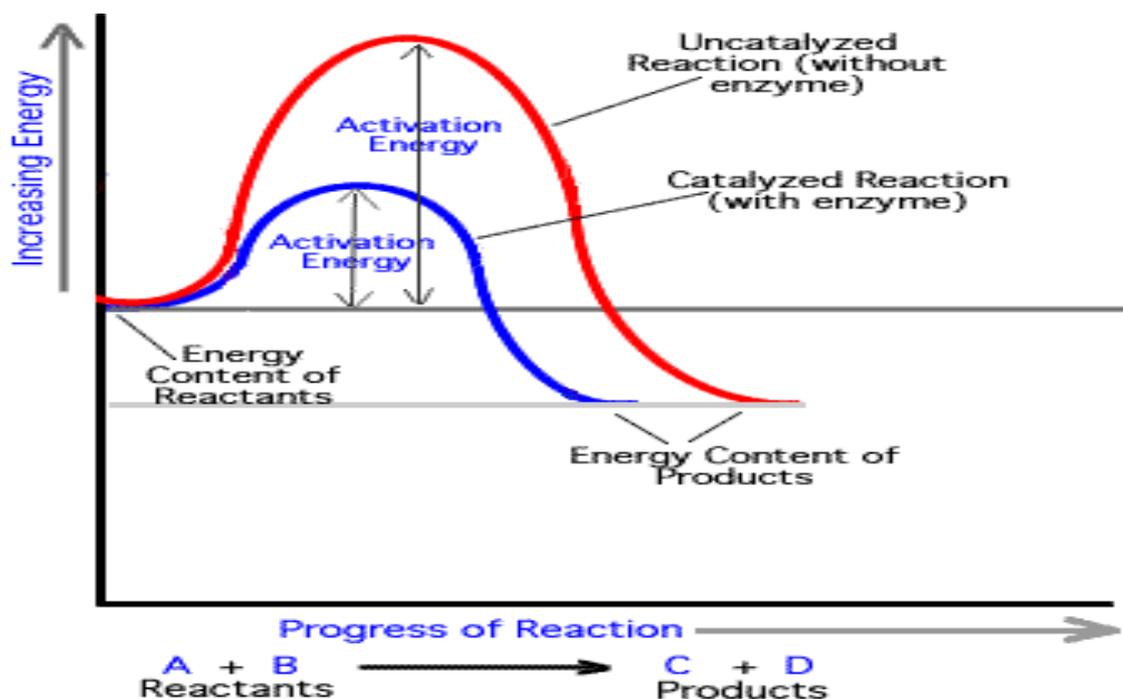
1. Lakukanlah percobaan kerja enzim dengan mengikuti langkah berikut:
 - Ambillah sesendok nasi lalu kunyah dan rasakan bagaimana perubahan rasa yang kalian rasakan.
 - Bandingkan jika nasi diberi jeruk nipis lalu di kunyah.

- Buatlah laporan sederhana dengan membandingkan kedua perlakuan yang kalian lakukan.
2. Lakukanlah percobaan untuk membuktikan peristiwa fotosintesis dengan langkah berikut:
 - Ambillah sebuah gelas dan masukkan tanaman air lalu letakkan pada tempat yang terkena sinar matahari.
 - Amati Percobaan fotosintesis yang terjadi dengan mengamati gelembung udara yang ada.
 - Buatlah laporan sederhana mengenai proses fotosintesis yang terjadi.
 3. Lakukanlah percobaan anaerob dengan langkah berikut:
 - Ambillah sebuah botol lalu diberi ragi dan ujung botol ditutup dengan balon. Perhatikan peristiwa apa yang terjadi.
 - Catat dan buatlah laporan sederhana dari kegiatan tersebut.

E. Latihan Soal

Untuk memperdalam pemahaman anda mengenai materi di atas kerjakanlah latihan berikut!

1. Perhatikan grafik hubungan antara aktivasi sel dengan enzim berikut!



Kesimpulan apakah yang dapat kamu ambil dari grafik di atas!

2. Jelaskan dua teori cara kerja enzim!
3. Jelaskan pengertian dari:
 - a. Metabolisme
 - b. Apoenzim
 - c. Biokatalisator

Rubrik jawaban dan penskoran

No	Jawaban	Skor
1.	Kesimpulan : Reaksi dengan enzim, energi aktivasi yang dibutuhkan lebih sedikit. Sedangkan reaksi tanpa enzim, energi aktivasi yang dibutuhkan lebih banyak. Enzim bersifat sebagai biokatalisator artinya mempercepat reaksi, tapi tidak ikut bereaksi.	2
2.	1. Teori lock and key menganalogikan mekanisme kerja enzim seperti kunci dengan anak kunci. Substrat masuk ke dalam sisi aktif enzim. Jadi, sisi aktif enzim seolah-olah kunci dan substrat adalah anak kunci. 2. Teori induced fit mengemukakan bahwa setiap molekul substrat memiliki permukaan yang hampir pas dengan permukaan sisi aktif enzim. Jika substrat masuk ke dalam sisi aktif enzim, akan terbentuk kompleks enzim substrat yang pas	2
3.	a. Metabolisme merupakan serangkaian peristiwa reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam sel makhluk hidup.	2
	b. Apoenzim merupakan komponen utama enzim terdiri dari gugus protein.	2
	c. Biokatalisator yang artinya enzim dapat mempercepat reaksi-reaksi biologi tanpa mengalami perubahan struktur kimia .	2
Jumlah Skor		10

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

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggung jawab!

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1	Apakah Anda dapat mendefinisikan metabolisme?		
2	Apakah Anda dapat mendefinisikan enzim		
3	Apakah Anda dapat mendeskripsikan struktur enzim		
4	Apakah Anda dapat mendeskripsikan sifat-sifat enzim		
5	Apakah Anda dapat mendeskripsikan cara kerja enzim		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

KATABOLISME

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan anda dapat:

Menjelaskan proses katabolisme yang terdiri dari respirasi aerob dan respirasi anaerob/fermentasi menyangkut bahan, proses, tempat berlangsung dan hasilnya.

B. Uraian Materi

KATABOLISME

Katabolisme atau disebut juga desimilasi merupakan rangkaian reaksi kimia yang berkaitan dengan proses pembongkaran, penguraian atau pemecahan molekul/senyawa kompleks menjadi molekul/ senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim.

Penguraian senyawa ini menghasilkan atau melepaskan energi berupa ATP yang tersimpan pada molekul dan biasa digunakan organisme untuk beraktivitas.

Katabolisme mempunyai dua fungsi, yaitu menyediakan bahan baku untuk sintesis molekul lain, dan menyediakan energi kimia yang dibutuhkan untuk melakukan aktivitas sel.

Reaksi yang umum terjadi adalah reaksi oksidasi. Reaksi kimianya membebaskan energi sehingga disebut sebagai reaksi eksergonik. Energi yang dilepaskan oleh reaksi katabolisme disimpan dalam bentuk fosfat, terutama dalam bentuk ATP (Adenosin trifosfat) dan berenergi elektron tinggi NADH_2 (Nikotilamid adenine dinukleotida) serta FADH_2 (Flavin adenin dinukleotida).

Contoh katabolisme adalah respirasi.

Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, katabolisme dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Respirasi aerob : adalah respirasi yang membutuhkan oksigen bebas dari udara untuk menghasilkan energi.
2. Respirasi anaerob : adalah respirasi yang tidak membutuhkan oksigen untuk menghasilkan energi.

1. Respirasi Aerob

Respirasi aerob adalah respirasi yang membutuhkan oksigen bebas dari udara untuk menghasilkan energi.

Contoh respirasi aerob adalah Respirasi Sel.

Respirasi bertujuan menghasilkan energi dari sumber nutrisi yang dimiliki. Semua makhluk hidup melakukan respirasi dan tidak hanya berupa pengambilan udara secara langsung. Respirasi dalam kaitannya dengan pembentukan energi dilakukan di dalam sel. Oleh karena itu, prosesnya dinamakan respirasi sel. Organel sel yang berfungsi dalam menjalankan tugas pembentukan energi ini adalah mitokondria.

Respirasi termasuk ke dalam kelompok katabolisme karena didalamnya terjadi penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, diikuti dengan pelepasan energi. Energi yang kita gunakan dapat berasal dari hasil metabolisme tumbuhan.

Respirasi aerob dapat dibedakan menjadi empat tahap, yaitu:

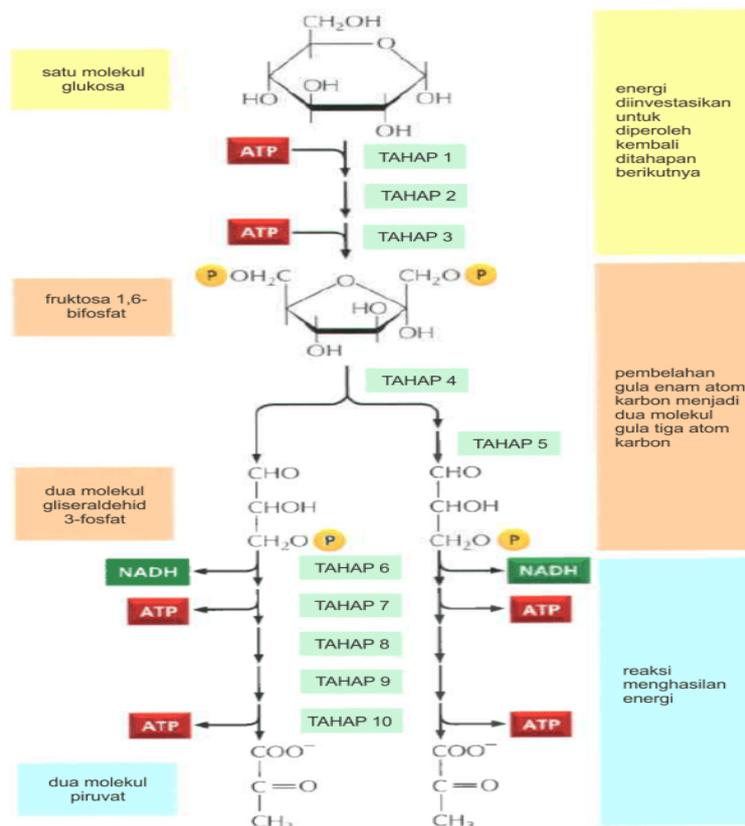
1. glikolisis,
2. dekarboksilasi oksidatif
3. siklus krebs
4. transport elektron.

Untuk memahami tahapan-tahapan tersebut, cermati uraian berikut ini.

1. Glikolisis

Glikolisis adalah peristiwa perubahan molekul glukosa (6 atom C) menjadi 2 molekul yang lebih sederhana, yaitu asam piruvat (3 atom C).

Glikolisis terjadi dalam sitoplasma sel. Prosesnya terdiri atas beberapa langkah, seperti pada gambar berikut:



Gambar 4. Tahap Glikolisis
Sumber: caiherang.com

Peristiwa glikolisis menunjukkan perubahan dari glukosa, kemudian makin berkurang kekomplekan molekulnya dan berakhir sebagai molekul asam piruvat.

Produk penting glikolisis dari 1 molekul glukosa adalah:

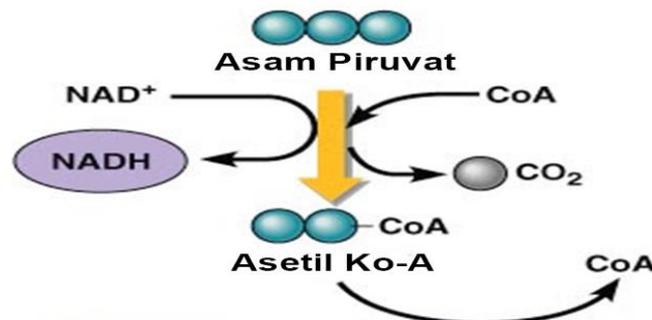
- 2 molekul asam piruvat
- 2 molekul NADH sebagai sumber elektron berenergi tinggi
- 2 molekul ATP

2. Dekarboksilasi oksidatif

Dekarboksilasi oksidatif asam piruvat berlangsung dalam matriks mitokondria dan merupakan reaksi kimia yang mengawali siklus Krebs. Setiap asam piruvat yang dihasilkan kemudian akan diubah menjadi Asetil-KoA (koenzim-A). Asam piruvat ini akan mengalami dekarboksilasi sehingga gugus karboksil akan hilang sebagai CO_2 dan akan berdifusi keluar sel. Dua gugus karbon yang tersisa kemudian akan mengalami oksidasi sehingga gugus hydrogen dikeluarkan dan ditangkap oleh akseptor elektron NAD^+ .

Gugus yang terbentuk, kemudian ditambahkan koenzim-A sehingga menjadi asetil-KoA. Hasil akhir dari proses dekarboksilasi oksidatif ini akan menghasilkan 2 asetil-KoA dan 2 molekul NADH. Pembentukan asetil-KoA memerlukan kehadiran vitamin B1.

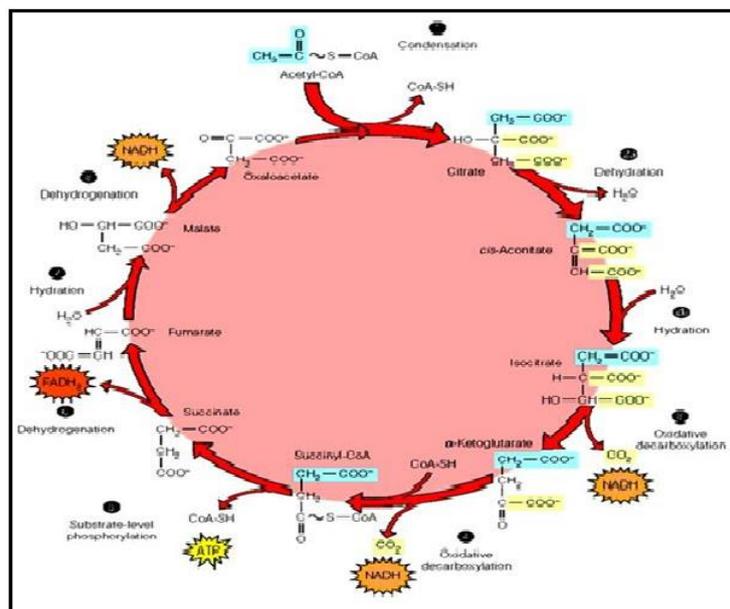
Perhatikan gambar berikut!



Gambar 5. Tahap Dekarboksilasi Oksidatif
Sumber: biologiedukasi.com

3. Siklus Krebs

Siklus krebs merupakan tahap ketiga respirasi aerob. Nama siklus ini berasal dari nama orang yang menemukan reaksi respirasi aerob ini, yaitu Hans Krebs. Siklus ini disebut juga siklus asam sitrat. Siklus krebs berlangsung didalam mitokondria pada kelompok eukariota sedangkan pada kelompok prokariota berlangsung didalam sitoplasma.



Gambar. 6 Tahap Siklus Krebs
Sumber: indonesiabelajar.ord

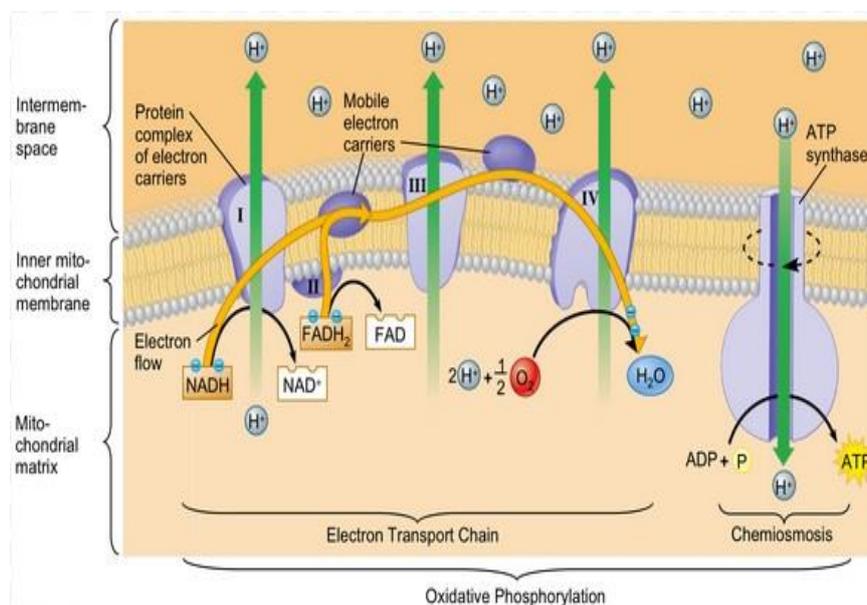
Dapat disimpulkan bahwa siklus krebs merupakan tahap ketiga dalam respirasi aerob yang mempunyai tiga fungsi, yaitu menghasilkan NADH, FADH₂, ATP serta membentuk kembali oksaloasetat. Oksaloasetat ini berfungsi untuk siklus Krebs selanjutnya. Dalam siklus krebs, dari setiap 1 molekul glukosa akan dihasilkan 6 NADH, 2 FADH₂, dan 2 ATP.

4. Transpor Elektron

Transpor elektron merupakan serangkaian peristiwa pemindahan electron dan ion hidrogen (H^+). Selama tiga proses sebelumnya, dihasilkan beberapa reseptor elektron yang bermuatan akibat penambahan ion hidrogen. Reseptor-reseptor ini kemudian akan masuk ke transfer elektron untuk membentuk suatu molekul berenergi tinggi, yaitu ATP. Reaksi ini berlangsung di dalam membran mitokondria. Reaksi ini berfungsi membentuk energi selama oksidasi yang dibantu oleh enzim pereduksi.

Reaksinya kompleks, tetapi yang berperan penting adalah NADH, FAD, dan molekul-molekul khusus, seperti Flavo protein, ko-enzim Q, serta beberapa sitokrom. Dikenal ada beberapa sitokrom, yaitu sitokrom C1, C, A, B, dan A3. Elektron berenergi pertama-tama berasal dari NADH, kemudian ditransfer ke FMN (Flavine Mono Nukleotida), selanjutnya ke Q, sitokrom C1, C, A, B, dan A3, lalu berikatan dengan H yang diambil dari lingkungan sekitarnya. Sampai terjadi reaksi terakhir yang membentuk H_2O .

Perhatikan gambar berikut!



Gambar 7. Tahap Transpor Elektron
Sumber: sainstecno.net

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa selama proses respirasi aerob dihasilkan sekitar 38 ATP dengan rincian sebagai berikut:

Proses	Masukan Energi	Hasil
Glikolisis	2 ATP + 2 NADH (2 x 3 ATP)	8 ATP
Dekarboksilasi oksidatif	2 NADH (2 x 3 ATP)	6 ATP
Siklus Krebs	2 ATP + 6 NADH (6 x 3 ATP) + 2 FADH ₂ (2 x 2 ATP)	24 ATP
Jumlah Energi yang dihasilkan		38 ATP

2. Respirasi anaerob

Respirasi anaerob adalah respirasi yang tidak membutuhkan oksigen untuk menghasilkan energi. Respirasi anaerob merupakan respirasi yang tidak menggunakan oksigen sebagai

penerima akhir pada saat pembentukan ATP. Respirasi anaerob juga menggunakan glukosa sebagai substrat. Respirasi anaerob sering disebut juga fermentasi.

Organisme yang melakukan fermentasi di antaranya adalah bakteri dan protista yang hidup di rawa, lumpur, makanan yang diawetkan, atau tempat-tempat lain yang tidak mengandung oksigen. Beberapa organisme dapat berespirasi menggunakan oksigen, tetapi dapat juga melakukan fermentasi. Organisme seperti ini melakukan fermentasi jika lingkungannya miskin oksigen. Sebagai contoh, sel-sel otot dapat melakukan respirasi anaerob jika kekurangan oksigen.

Pada fermentasi, glukosa dipecah menjadi 2 molekul asam piruvat, 2 NADH, dan terbentuk 2 ATP. Tetapi, fermentasi tidak bereaksi secara sempurna memecah glukosa menjadi karbondioksida dan air, serta ATP yang dihasilkan pun tidak sebesar ATP yang dihasilkan dari glikolisis.

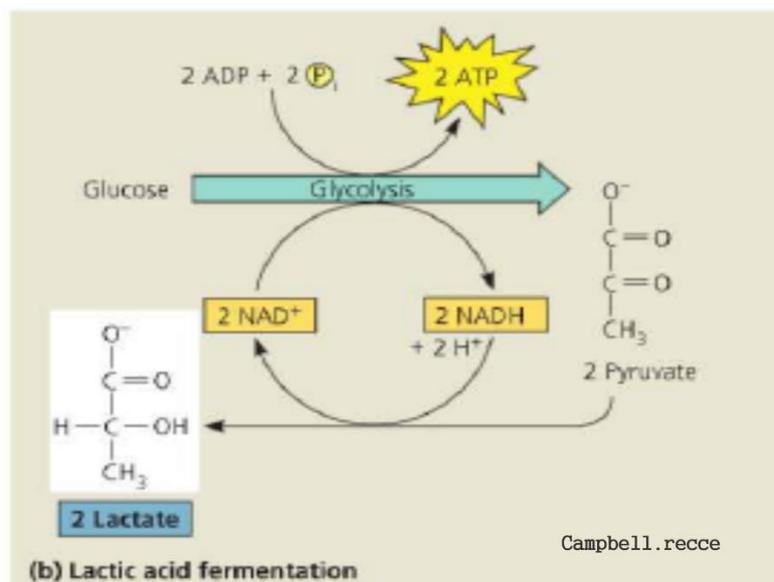
Dari produk yang dihasilkan fermentasi dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. Fermentasi asam laktat

Fermentasi asam laktat adalah fermentasi glukosa yang menghasilkan asam laktat. Fermentasi asam laktat dimulai dengan glikolisis yang menghasilkan asam piruvat, kemudian berlanjut dengan perubahan asam piruvat menjadi asam laktat.

Pada fermentasi asam laktat, asam piruvat bereaksi secara langsung dengan NADH membentuk asam laktat.

Perhatikan gambar berikut!

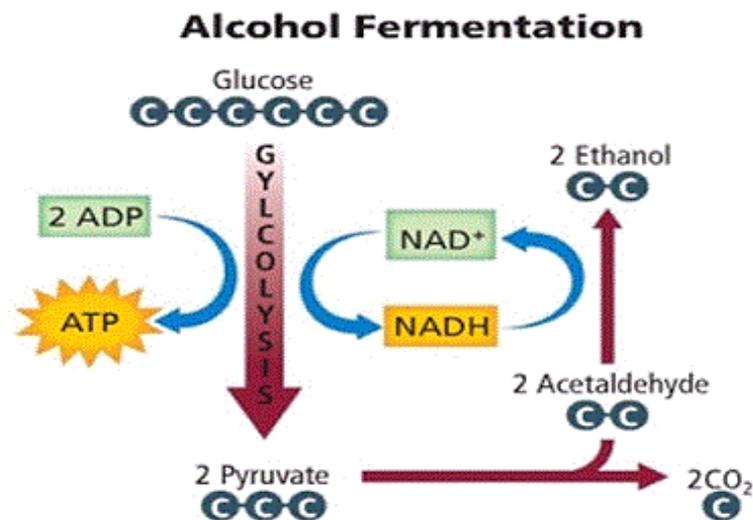


Gambar 8. Tahap Fermentasi Asam Laktat
Sumber: mildafauziah.blogspot.com

2. Fermentasi alkohol.

Pada fermentasi alkohol, asam piruvat diubah menjadi etanol atau etil alkohol melalui dua langkah reaksi, yaitu 1) pembebasan CO₂ dari asam piruvat yang kemudian diubah menjadi asetaldehida, 2) reaksi reduksi asetaldehida oleh NADH menjadi etanol. NAD yang terbentuk akan digunakan untuk glikolisis.

Perhatikan gambar berikut!



Gambar 9. Tahap Fermentasi Alkohol
Sumber: gurupendidikan.co.id

Pada respirasi anaerob energi yang diperoleh lebih sedikit di bandingkan dengan respirasi aerob. Energi yang dihasilkan yaitu 2 ATP setiap molekul glukosa.

C. Rangkuman

- Katabolisme atau disebut juga disimilasi merupakan rangkaian reaksi kimia yang berkaitan dengan proses pembongkaran, penguraian atau pemecahan molekul/senyawa kompleks menjadi molekul/ senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim.
- Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, katabolisme dibagi menjadi dua, yaitu:
 - Respirasi aerob
 - Respirasi anaerob
- Respirasi aerob adalah respirasi yang membutuhkan oksigen bebas dari udara untuk menghasilkan energi.
- Respirasi aerob dapat dibedakan menjadi empat tahap, yaitu:
 - glikolisis,
 - dekarboksilasi oksidatif
 - siklus krebs
 - transport elektron.
- Respirasi anaerob adalah respirasi yang tidak membutuhkan oksigen untuk menghasilkan energi
- Dari produk yang dihasilkan fermentasi dibedakan menjadi 2 yaitu:
 - Fermentasi asam laktat
 - Fermentasi alkohol
- Reaksi aerob menghasilkan energi sebanyak 38 ATP dan reaksi anaerob menghasilkan energi sebanyak 2 ATP.

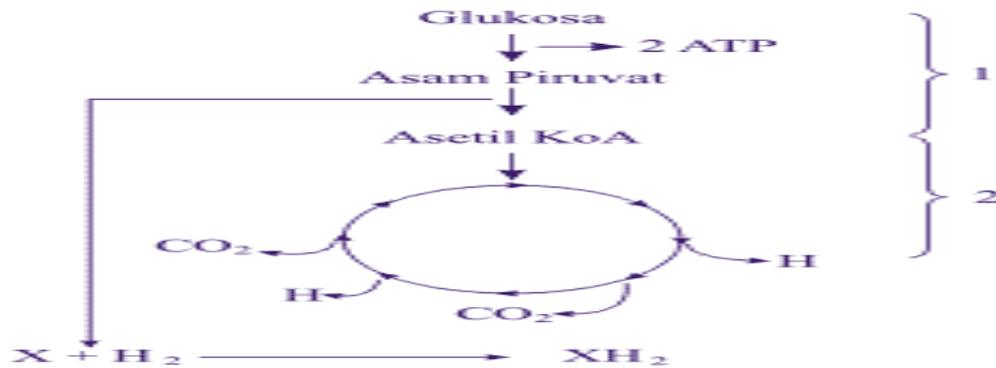
D. Penugasan Mandiri

Berikanlah contoh peristiwa dalam kehidupan sehari-hari yang terkait dengan proses reaksi katabolisme anaerob misalnya fermentasi!

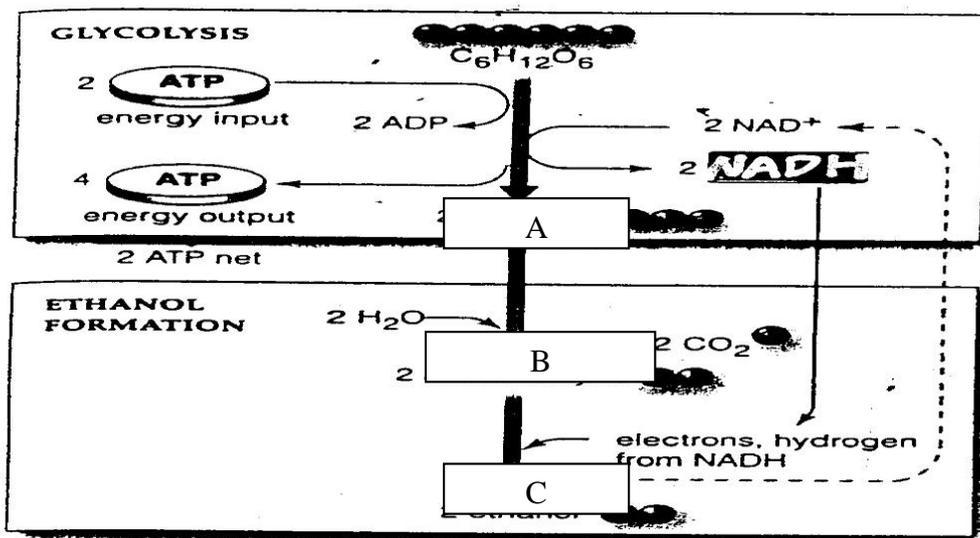
E. Latihan Soal

Untuk memperdalam pemahaman anda mengenai materi di atas kerjakanlah latihan berikut!

1. Perhatikan skema respirasi aerob di bawah ini!



- Berdasarkan skema di atas, tuliskan nama tahap/reaksi pada nomor 2!
 - Sebutkan bahan dan hasil dari tahap/reaksi pada nomor 2!
2. Perhatikan skema respirasi anaerob berikut ini!



- Berdasarkan skema di atas, tuliskan nama reaksi tersebut!
 - Sebutkan nama zat yang terdapat pada bagian A, B, dan C!
3. Mengapa pada beberapa orang yang bekerja (termasuk olahragawan) kadang-kadang mengalami gejala kram (kejang otot)? Bagaimana cara mengatasi hal tersebut?

Rubrik jawaban dan penskoran

No	Jawaban	Skor
1.	a. Siklus krebs	2
	b. Bahan: 2 Asetil Ko-A Hasil: 4 CO ₂ , 2 ATP, 6 NADH, 2 FADH ₂	2
2.	a. Fermentasi alkohol	2
	b. A = 2 asam piruvat	2
	B = 2 asetaldehid C = 2 etanol	
3.	Karena terjadi penumpukan asam laktat yang berlebihan di dalam otot. Cara mengatasi dengan menghirup O ₂ sebanyak-banyaknya untuk menguraikan asam laktat yang berlebihan di dalam otot.	2
Jumlah Skor		10

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

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggung jawab!

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1	Apakah Anda dapat mendefinisikan katabolisme?		
2	Apakah Anda dapat membedakan respirasi aerob dengan respirasi anaerob?		
3	Apakah Anda dapat menjelaskan contoh respirasi aerob dengan respirasi anaerob ?		
4	Apakah Anda dapat menjelaskan tentang fermentasi ?		
5	Apakah Anda dapat membedakan fermentasi alkohol dengan fermentasi asam laktat?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3

ANABOLISME

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan anda dapat:
Menjelaskan proses anabolisme yang terdiri dari fotosintesis dan kemosintesis menyangkut bahan, proses, tempat berlangsung dan hasilnya.

B. Uraian Materi

Anabolisme

Anabolisme disebut juga asimilasi atau sintesis merupakan rangkaian proses reaksi kimia yang berkaitan dengan proses penyusunan atau sintesis molekul/senyawa kompleks dari molekul/ senyawa sederhana atau penyusunan zat dari senyawa/molekul sederhana menjadi senyawa yang kompleks.

Proses tersebut berlangsung di dalam tubuh makhluk hidup. Anabolisme merupakan kebalikan dari katabolisme. Proses anabolisme memerlukan energi, baik energi panas, cahaya, atau energi kimia.

Anabolisme yang menggunakan energi cahaya disebut fotosintesis, sedangkan anabolisme yang menggunakan energi kimia disebut kemosintesis.

Berikut ini akan dijelaskan mengenai fotosintesis dan kemosintesis.

a. Fotosintesis

Fotosintesis adalah proses pengubahan zat anorganik H_2O dan CO_2 , oleh klorofil menjadi zat organik (karbohidrat) dengan bantuan cahaya. Peristiwa fotosintesis dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi kimia sebagai berikut.



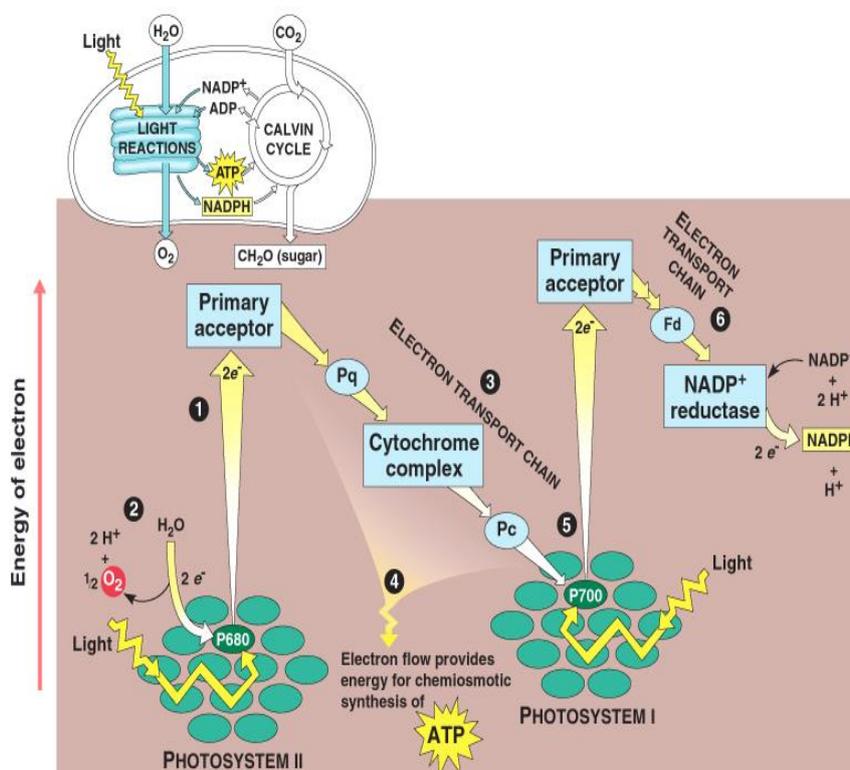
Proses Fotosintesis yang terjadi di kloroplas berlangsung melalui dua tahap reaksi, yaitu **tahap reaksi terang dan tahap reaksi gelap**. Reaksi terang memerlukan cahaya matahari, sedangkan reaksi gelap tidak memerlukan cahaya. Secara keseluruhan, fotosintesis berlangsung dalam kloroplas.

Reaksi Terang

Reaksi terang akan berlangsung jika ada cahaya, misalnya cahaya matahari. Energi di tangkap oleh klorofil untuk memecah molekul air, pemecahan inilah yang disebut dengan fotolisis. Reaksi terang merupakan salah satu langkah dalam fotosintesis untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia. Reaksi terang ini berlangsung di dalam grana. Cahaya juga memiliki energi yang disebut foton. Jenis pigmen klorofil berbeda-beda karena pigmen tersebut hanya dapat menyerap panjang gelombang dengan besar energi foton yang berbeda. Pada reaksi terang yang terjadi di grana, energi cahaya memacu pelepasan elektron dari fotosistem di dalam membran tilakoid.

Fotosistem adalah tempat berkumpulnya beratus-ratus molekul pigmen fotosintesis. Didalam sel-sel daun terdapat tilakoid yang pada membrannya terdapat klorofil dan bersama protein serta molekul lainnya akan membentuk fotosistem.

Terdapat dua jenis fotosistem yang bekerjasama dalam reaksi terang fotosintesis, yaitu fotosistem I dan fotosistem II. Kedua fotosistem ini bekerjasama menghasilkan ATP dan NADPH sebagai produk utama dalam reaksi terang. Perhatikan gambar berikut!



Gambar 10. Tahap Reaksi Terang
Sumber: edubio.info

ATP dan NADPH dapat terbentuk dengan digerakkan oleh cahaya dengan member energi kepada kedua fotosistem yang terdapat pada membran tilakoid kloroplas. Selama reaksi terang fotosintesis terdapat dua kemungkinan aliran elektron yaitu melalui jalur non siklik dan aliran siklik.

Jalur aliran electron non siklik adalah yang utama dengan elektron mengalir dari molekul air, kemudian melalui fotosistem II dan fotosistem I. Elektron dan ion hidrogen akan membentuk NADPH dan ATP. Oksigen yang dibebaskan berguna untuk respirasi aerob. Pusat reaksi pada fotosistem I mengandung klorofil a, disebut sebagai P700, karena dapat menyerap foton terbaik pada panjang gelombang P700 nm. Pusat reaksi pada fotosistem II mengandung klorofil a yang disebut sebagai P680, karena dapat menyerap foton terbaik pada panjang gelombang 680 nm.

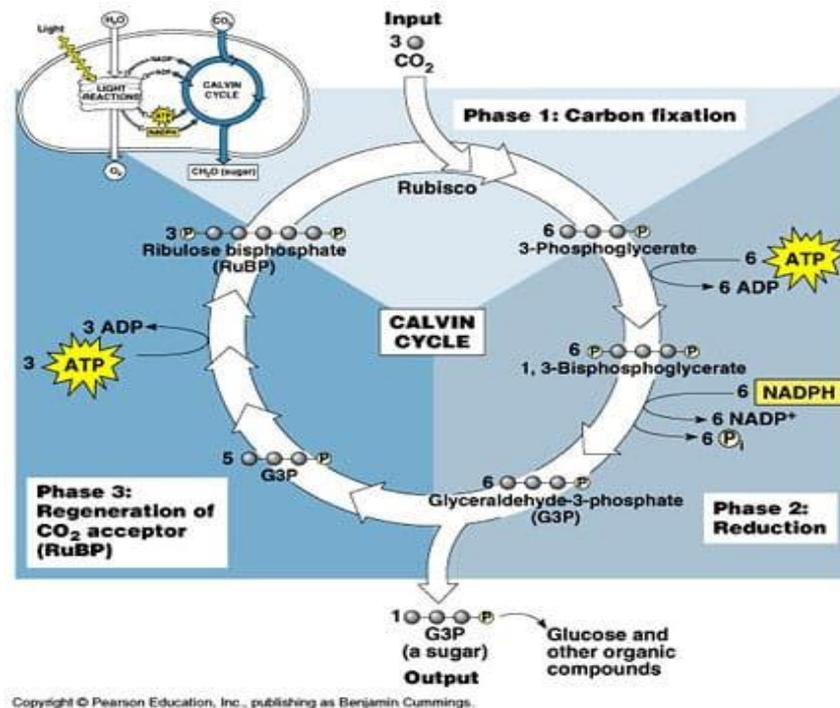
Jalur aliran electron siklik yang hanya pada kondisi tertentu electron terfotoeksitasi mengambil jalur ini. Aliran electron siklik merupakan hubungan yang singkat menggunakan fotosistem I tetapi tidak menggunakan fotosistem II.

Reaksi Gelap

Reaksi gelap merupakan proses penggunaan ATP dan NADPH untuk mengubah CO_2 menjadi gula.

- Fase-fasenya:
- Pengikatan (fiksasi) CO_2
 - Reduksi
 - Pembentukan RuBP

Disebut juga siklus *Calvin-Benson*. Reaksi ini disebut reaksi gelap, karena tidak tergantung secara langsung dengan cahaya matahari. Reaksi gelap terjadi di stroma. Namun demikian, reaksi ini tidak mutlak terjadi hanya pada kondisi gelap. Reaksi gelap memerlukan ATP, hidrogen, dan elektron dari NADPH, karbon dan oksigen dari karbondioksida, enzim yang mengkatalisis setiap reaksi, dan RuBP (*Ribulosa Bifosfat*) yang merupakan suatu senyawa yang mempunyai 5 atom karbon. Perhatikan gambar berikut!



Gambar 11. Tahap Reaksi Gelap
Sumber: marissakurniawan.blogspot.co.id

Reaksi gelap terjadi melalui beberapa tahapan, yaitu:

- Karbondioksida diikat oleh RuBp (Ribulosa bifosfat yang terdiri atas 5 karbon) menjadi senyawa 6 karbon yang labil. Senyawa 6 karbon ini kemudian memecah menjadi 2 fosfogliserat (PGA).
- Masing-masing PGA menerima gugus pfosfat dari ATP dan menerima hidrogen serta e-dari NADPH. Reaksi ini menghasilkan PGAL (fosfogliseraldehida).
- Tiap 6 molekul karbondioksida yang diikat dihasilkan 12 PGAL.
- Dari 12 PGAL, 10 molekul kembali ke tahap awal menjadi RuBp, dan seterusnya RuBP akan mengikat CO₂ yang baru.
- Dua PGAL lainnya akan berkondensasi menjadi glukosa 6 fosfat. Molekul ini merupakan prekursor (bahan baku) untuk produk akhir menjadi molekul sukrosa yang merupakan karbohidrat untuk diangkut ke tempat penimbunan tepung pati yang merupakan karbohidrat yang tersimpan sebagai cadangan makanan.

b. Kemosintesis

Kemosintesis merupakan proses penyusunan atau pembentukan zat organik dengan memanfaatkan sumber energi hasil reaksi kimia. Pada kemosintesis energi diperoleh dari hasil oksidasi senyawa anorganik yang diserap dari lingkungan, misalnya sulfur, hidrogen, besi, amonia, nitrit hidrogen sulfida.

Kemosintesis dapat ditemukan dalam:

1. Pembentukan sulfat oleh bakteri sulfur (*Thiobacillus, bagiatoa*)
2. Pembentukan nitrat oleh bakteri nitrat dan bakteri nitrit (*Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrobacter*).

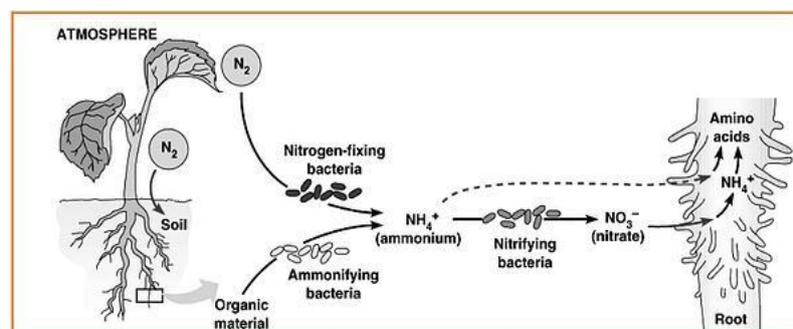
Bakteri-bakteri tersebut memperoleh energi dari hasil oksidasi senyawa-senyawa tertentu. Misalnya bakteri besi memperoleh energi kimia dengan cara oksidasi Fe^{2+} (*Ferro*) menjadi Fe^{3+} (*Ferri*). Bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrosococcus* memperoleh energi dengan cara mengoksidasi NH_3 , tepatnya amonium karbonat menjadi asam nitrit dengan reaksi berikut ini:



Organisme yang melakukannya disebut kemoautotrof. Bakteri kemoautotrof ini akan mengoksidasi senyawa-senyawa tertentu dan energi yang dihasilkan tersebut akan digunakan untuk asimilasi karbon.

Beberapa bakteri kemosintesis ini mempunyai kemampuan seperti organisme berklorofil, yaitu mampu membuat karbohidrat dari bahan mentah anorganik, tetapi mereka tidak menggunakan energi cahaya untuk melakukan hal itu. Perubahan karbondioksida menjadi karbohidrat dapat pula terjadi dalam sel-sel hewan seperti pada sel-sel tumbuhan. Bakteri pelaku kemosintesis memperoleh energi dan elektron-elektron dengan melaksanakan oksidasi beberapa substansi tereduksi yang ada di alam sekitarnya. Energi bebas tersedia oleh oksidasi ini kemudian digunakan untuk pembuatan karbohidrat.

Energi yang telah didapat tersebut dipakai untuk mereduksi karbondioksida menjadi karbohidrat dengan cara yang sama seperti yang dilakukan bakteri belerang fotosintetik. Mereka menyelesaikan oksidasi senyawa besi yang teroksidasi sebagian dan mampu merangkaikan energi yang dihasilkan oksidasi ini untuk mensintesis karbohidrat. Oksidasi ini menghasilkan energi untuk mendorong reaksi sintesis bakteri tersebut. Nitrat yang dihasilkan menyediakan keperluan nitrogen bagi tumbuhan. Untuk mudahnya, kamu bisa lihat di bagan di bawah ini.



Gambar 12. Bagan Proses Kemosintesis
Sumber: scienceandenvironmentyear3.com

C. Rangkuman

1. Anabolisme disebut juga asimilasi atau sintesis merupakan rangkaian proses reaksi kimia yang berkaitan dengan proses penyusunan atau sintesis molekul/senyawa kompleks dari molekul-molekul/ senyawa sederhana atau penyusunan zat dari senyawa/molekul sederhana menjadi senyawa yang kompleks.
2. Anabolisme yang menggunakan energi cahaya disebut fotosintesis, sedangkan anabolisme yang menggunakan energy kimia disebut kemosintesis.
3. Fotosintesis meliputi dua tahap reaksi, yakni tahap reaksi terang yang diikuti dengan tahap reaksi gelap.
4. Reaksi terang merupakan salah satu langkah dalam fotosintesis untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia.
5. Fotolisis merupakan pemecahan molekul air dengan bantuan cahaya.
6. Siklus Calvin-Benson, reaksi ini disebut reaksi gelap, karena tidak tergantung secara langsung dengan cahaya matahari. Reaksi gelap terjadi di stroma.
7. Kemosintesis merupakan proses penyusunan atau pembentukan zat organik dengan memanfaatkan sumber energy hasil reaksi kimia.

8. Penugasan Mandiri

Buatlah bagan tentang anabolisme di kertas karton semenarik mungkin dan mudah di pahami, selanjutnya analisis pernyataan yang menyatakan “kelangsungan hidup semua makhluk bergantung pada masa depan daun”, bagaimana menurut pendapatmu? presentasikan di depan teman-temanmu yang lain!

9. Latihan Soal

Untuk memperdalam pemahaman anda mengenai materi di atas kerjakanlah latihan berikut!

1. Jelaskan siklus siklik pada reaksi terang fotosintesis!
2. Jelaskan perbedaan reaksi terang dengan reaksi gelap!
3. Jelaskan pengertian dari:
 - a. Kemosintesis
 - b. Fotolisis
 - c. Fotosintesis

Rubrik jawaban dan penskoran

No	Jawaban	Skor
1.	Elektron yang dilepaskan oleh fotosistem I akan ditangkap oleh akseptor elektron. Elektron tersebut selanjutnya diteruskan menuju sistem feredoksin (Fd), kemudian diteruskan ke kompleks sitokrom dan akhirnya kembali ke fotosistem I. Jalur elektron siklik menghasilkan ATP.	2
2.	Reaksi terang akan berlangsung jika ada cahaya, misalnya cahaya matahari. Reaksi terang merupakan salah satu langkah dalam fotosintesis untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia. Reaksi terang ini berlangsung di dalam grana. Sedangkan Reaksi gelap merupakan proses penggunaan ATP dan NADPH untuk mengubah CO ₂ menjadi gula. reaksi gelap tidak tergantung secara langsung dengan cahaya matahari. Reaksi gelap terjadi di stroma.	2
3.	a. Kemosintesis merupakan proses penyusunan atau pembentukan zat organik dengan memanfaatkan sumber energi hasil reaksi kimia. b. Fotolisis adalah pemecahan molekul air dengan bantuan cahaya c. Fotosintesis adalah proses perubahan zat anorganik H ₂ O dan CO ₂ , oleh klorofil menjadi zat organik (karbohidrat) dengan bantuan cahaya.	2 2 2
Jumlah Skor		10

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

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

10. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggung jawab!

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1	Apakah Anda dapat mendefinisikan tentang anabolisme?		
2	Apakah Anda dapat menjelaskan tentang fotosintesis ?		
3	Apakah Anda dapat menjelaskan tentang kemosintesis?		
4	Apakah Anda dapat membedakan fotosintesis dengan kemosintesis ?		
5	Apakah Anda dapat membedakan reaksi terang dengan reaksi gelap pada fotosintesis?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

EVALUASI

Pilihlah satu jawaban yang tepat!

1. Berikut ini beberapa pernyataan tentang proses metabolisme
 1. Menghasilkan energi dalam bentuk ATP
 2. Proses pemecahan molekul air oleh cahaya
 3. Perubahan senyawa anorganik menjadi senyawa organik
 4. Merupakan proses eksorgenik
 5. Merupakan proses endorgenik
 6. Melalui proses perubahan glukosa menjadi asam piruvatPernyataan yang merupakan proses anabolisme adalah
 - A. 1, 2 dan 3
 - B. 1, 3 dan 6
 - C. 2, 3 dan 4
 - D. 2, 3 dan 5
 - E. 1, 4 dan 6
2. Penyusun utama enzim dalam bentuk molekul protein adalah
 - A. kofaktor.
 - B. apoenzim.
 - C. koenzim.
 - D. holoenzim.
 - E. gugus prostetik.
3. Enzim mengkatalis reaksi dengan cara meningkatkan laju reaksi. Peningkatan laju reaksi dilakukan enzim melalui....
 - A. peningkatan energi aktivasi.
 - B. energi aktivasi meningkatkan kerja enzim.
 - C. energi aktivasi tidak mempengaruhi kerja enzim
 - D. penurunan energi aktivasi.
 - E. kerja enzim tidak ada hubungan dengan energi aktivasi.
4. Asam piruvat merupakan produk dari metabolisme....
 - A. glikolisis
 - B. siklus Krebs
 - C. fotosintesis
 - D. siklus Calvin
 - E. dekarboksilasi oksidatif
5. Dalam rantai transfer elektron setiap 1 molekul NADH akan menghasilkan
 - A. penguraian dinding sel
 - B. enzim-enzim tidak aktif lagi
 - C. melelehnya lemak dalam sel
 - D. penguraian karbohidrat
 - E. melelehnya membran sel
6. Pernyataan di bawah ini yang tepat untuk fermentasi asam laktat adalah
 - A. menghasilkan NADH
 - B. menghasilkan CO
 - C. menghasilkan H₂O
 - D. menghasilkan O₂
 - E. menghasilkan CO₂

7. Asam piruvat sebelum masuk siklus Krebs di mitokondria akan diubah dulu menjadi ...
- A. asam sitrat
 - B. koenzim-A
 - C. asetil koenzim-A
 - D. etanol
 - E. asam laktat
8. Energi hasil dari katabolisme selalu disimpan dalam bentuk...
- A. NADP
 - B. Substrat
 - C. Lemak
 - D. ATP
 - E. FAD
9. Pernyataan berikut ini merupakan ciri dari fermentasi alkohol...
- A. dihasilkan alkohol dan CO
 - B. dihasilkan alkohol dan CO₂
 - C. dihasilkan alkohol dan CO+
 - D. dihasilkan alkohol dan CO+₂
 - E. dihasilkan alkohol dan CO-₂
10. Dalam respirasi aerob akan menghasilkan ATP sebanyak
- A. 30 ATP
 - B. 32 ATP
 - C. 34 ATP
 - D. 36 ATP
 - E. 38 ATP

KUNCI JAWABAN

NO	JAWABAN
1	D
2	B
3	C
4	A
5	B
6	C
7	C
8	D
9	B
10	E

DAFTAR PUSTAKA

Aryilina, Diah. Dkk, 2007. *Biologi SMA dan MA untuk Kelas XII*, Jakarta, Erlangga

Campbell, N.A., J.B. Reece, & L.G. Mitchell. 2003. *Biologi*. Edisi ke-5. Terj. Dari *Biologi*, 5th ed. oleh Manulu, W. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Irmaningtyas. 2014. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XI Kelompok peminatan Matematika dan Ilmu Alam*. Jakarta: Erlangga

<http://www.biologiedukasi.com>.

<http://www.biology4aevel.blogspot.com>.

<http://www.biology-online.org>



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

BIOLOGI



KELAS
XII



MATERI GENETIK
BIOLOGI KELAS XII

PENYUSUN

Susi Nurul Fitri, M.Pd.
SMAN 1 Sidomulyo
Lampung Selatan

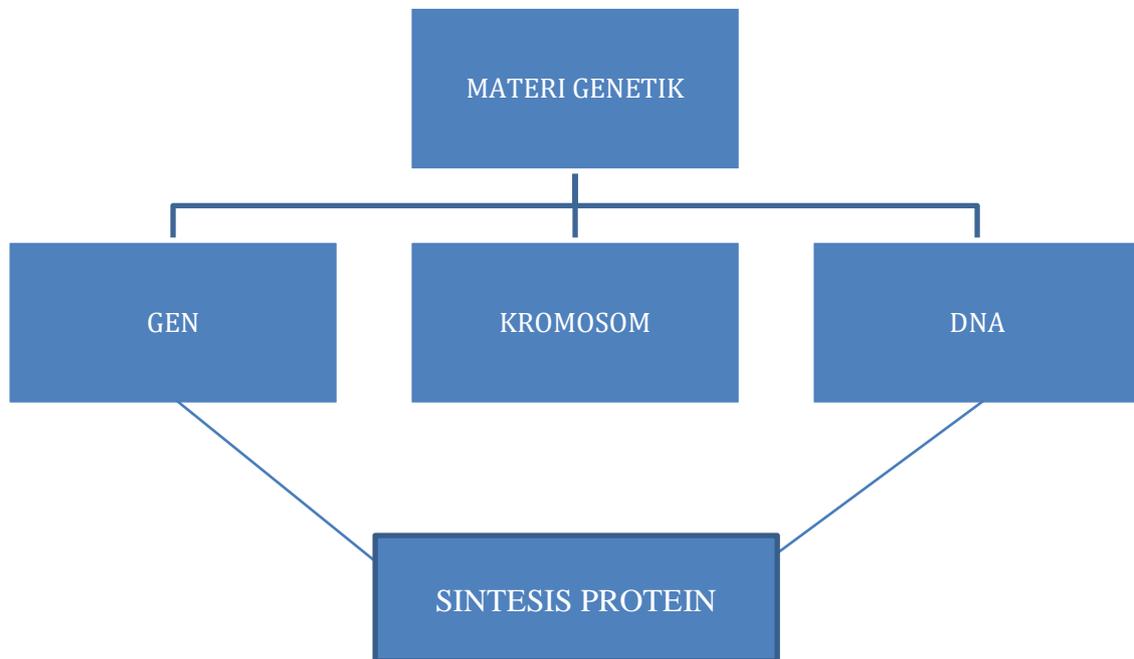
DAFTAR ISI

PENYUSUN	2
DAFTAR ISI	3
GLOSARIUM	4
PETA KONSEP.....	5
PENDAHULUAN.....	6
A. Identitas Modul	6
B. Kompetensi Dasar	6
C. Deskripsi Singkat Materi.....	6
D. Petunjuk Penggunaan Modul.....	6
E. Materi Pembelajaran	7
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	8
MATERI GENETIK (GEN, DNA, KROMOSOM).....	8
A. Tujuan Pembelajaran	8
B. Uraian Materi	8
C. Rangkuman	14
D. Penugasan Mandiri.....	15
E. Latihan Soal.....	15
F. Penilaian Diri.....	17
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	18
SINTESIS PROTEIN	18
A. Tujuan Pembelajaran	18
B. Uraian Materi	18
C. Rangkuman	21
D. Penugasan Mandiri.....	21
E. Latihan Soal.....	21
F. Penilaian Diri.....	23
EVALUASI	24
DAFTAR PUSTAKA	27

GLOSARIUM

Alel	: Gen-gen yang terdapat pada lokus yang bersesuaian.
Anti kodon	: Urutan tiga (3) basa yang merupakan komplemen dari kodon. Anti kodon terdapat pada RNA-t, sedangkan kodon terdapat pada RNA-d.
DNA templet	: DNA cetakan dalam pembentukan molekul komplementer RNA-d.
Double helix	: Pita ganda benang DNA yang saling komplemen.
Genom	: Rangkaian lengkap informasi genetik yang dimiliki oleh organisme.
Gen	: Susunan genetic yang berisi perintah yang tersimpan dalam kumpulan pesan-pesan kimia yang berfungsi sebagai penentu sifat.
Kromosom	: Benang-benang dalam inti sel yang mampu menyerap warna dan pembawa sifat menurun.
Kromosom homolog	: Pasangan kromosom yang memiliki gen dan lokus yang sama.
Lokus	: Letak atau tempat gen dalam kromosom.
Nukleosida	: Nukleotida yang kehilangan satu unsur penyusunnya.
Nukleotida	: Unit terkecil penyusun DNA atau RNA yang tersusun atas molekul gula (deoksiribosa, basa nitrogen dan asam fosfat).
Replikasi	: Proses penggandaan DNA menjadi dua DNA yang identik.
Replikasi	: Proses pentakan RNAd oleh benang DNA.
Sentromer	: Bagian kromosom yang yang membagi kromosom menjadi dua lengan.
Transkripsi	: Proses pentakan RNAd oleh benang DNA.
Translasi	: Proses penerjemahan kodon menjadi asam amino oleh RNA-t pada sintesis protein.

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: Biologi
Kelas	: XII
Alokasi Waktu	: 8 x 45 Menit
Judul Modul	: Materi Genetik

B. Kompetensi Dasar

- 3.3 Menganalisis hubungan struktur dan fungsi gen, DNA, kromosom dalam penerapan prinsip pewarisan sifat pada makhluk hidup.
- 4.3 Merumuskan urutan proses sintesis protein dalam kaitannya dengan penyampaian kode genetik (DNA-RNA-Protein).

C. Deskripsi Singkat Materi

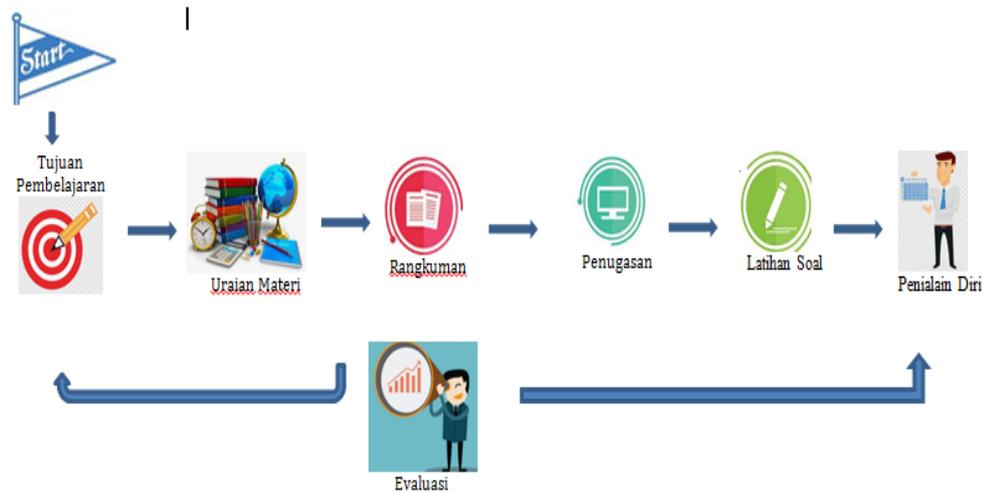
Pada modul ini akan di bahas tentang Materi Genetik yang disusun sedemikian rupa dan diharapkan akan memberikan penguatan bagi peserta didik dalam kegiatan belajar mengajar. Sel merupakan unit hereditas, artinya sel merupakan kesatuan terkecil yang berperan dalam pewarisan sifat-sifat menurun pada makhluk hidup. Di dalam sel terdapat nukleus yang di dalamnya terdapat faktor pembawa sifat menurun, yaitu gen yang tersimpan di dalam kromosom.

Dalam hereditas ini juga tidak lepas dari peran DNA. Salah satu peran DNA adalah menyampaikan informasi genetik kepada generasi berikutnya. DNA merupakan bagian dari materi genetik berupa kode-kode atau instruksi yang disediakan dalam setiap gen. Kode-kode genetik tersebut berlangsung dalam proses sintesa protein.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Supaya anda berhasil mencapai kompetensi dalam mempelajari modul ini, maka ikuti petunjuk – petunjuk berikut :

1. Pelajari daftar isi dengan cermat dan teliti karena dalam modul ini akan tampak kedudukan modul yang sedang anda pelajari.
2. Pahami setiap materi yang diuraikan dalam modul ini, sehingga memudahkan anda untuk mengerjakan tugas dan penilaian dengan hasil yang maksimal.
3. Jawablah latihan soal dengan baik, kemudian cocokkanlah hasil jawaban kamu dengan kunci jawaban.
4. Apabila jawaban anda sudah mencapai 85% anda bisa melanjutkan ke kegiatan berikutnya.
5. Bila terdapat penugasan, kerjakan tugas tersebut dengan baik .
6. Catatlah kesulitan kesulitan yang anda temui dalam modul ini untuk dikonsultasikan ke guru mata pelajaran.
7. Untuk keberhasilan anda dalam menggunakan modul ini, anda bisa mengikuti alur berikut ini :



E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini terdiri dari:

Pertama : Materi Genetik (Gen, DNA, dan Kromosom)

Kedua : Sintesa Protein

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

MATERI GENETIK (GEN, DNA, KROMOSOM)

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan mampu:

1. Mendeskripsikan struktur, sifat, fungsi dan komponen dari gen, kromosom serta DNA.
2. Menganalisis hubungan struktur dan fungsi gen, kromosom dan DNA dalam penerapan prinsip pewarisan sifat makhluk hidup.

B. Uraian Materi

Gen, DNA, dan kromosom adalah materi genetik karena bertanggungjawab terhadap pewarisan sifat-sifat genetik dari induk kepada keturunannya. Materi genetik tersebut terdapat di berbagai sel di seluruh tubuh, misalnya pada sel-sel darah, sel tulang, sel gamet dan lain-lain, tepatnya materi genetika tersebut berada di dalam nukleus. Peranan materi genetika tersebut adalah untuk mengatur pewarisan sifat kepada keturunannya, misalnya mengatur bentuk rambut, warna kulit, susunan darah, dan lain-lain.

Hereditas berarti penurunan sifat-sifat genetik dari orang tua ke anaknya. Analisis secara kimiawi dari sel menunjukkan bahwa di dalam sel terdapat senyawa-senyawa organik, seperti karbohidrat, lemak, protein dan asam nukleat. Asam nukleat ini terdapat didalam nukleoplasma. Nukleoplasma adalah substansi cair yang terdapat didalam nucleus (inti sel). Dari berbagai macam asam nukleat yang ada hubungannya dengan dengan hereditas ada dua yaitu DNA dan RNA. DNA dan RNA bertanggung jawab membentuk protein serta mengontrol sifat-sifat keturunan. DNA merupakan komponen penyusun gen. DNA banyak terdapat di dalam inti sel, sedikit terdapat di mitokondria dan kloroplas. Gen yang di sebut sebagai faktor penentu dapat diketahui struktur kimianya adalah DNA.

Gen-gen yang berderet pada kromosom masing-masing mempunyai tugas khusus dengan waktu yang khusus pula. Ada gen yang aktif pada masa embrio, ada yang aktif dimasa kanak-kanak, dan ada pula yang aktif setelah dewasa.

1. Gen

Pertama kali diperkenalkan oleh Thomas Hunt Morgan, ahli Genetika dan Embriologi Amerika Serikat (1911), yang mengatakan bahwa substansi hereditas yang dinamakan gen terdapat dalam lokus, di dalam kromosom. Gen merupakan unit terkecil dari suatu makhluk hidup yang mengandung substansi hereditas, terdapat di dalam lokus gen. Gen terdiri dari protein dan asam nukleat (DNA dan RNA), berukuran antara 4 – 8 m (mikron).

Gen mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- Mengandung informasi genetik.
- Tiap gen mempunyai tugas dan fungsi berbeda.
- Pada waktu pembelahan mitosis dan meiosis dapat mengadakan duplikasi.
- Ditentukan oleh susunan kombinasi basa nitrogen.

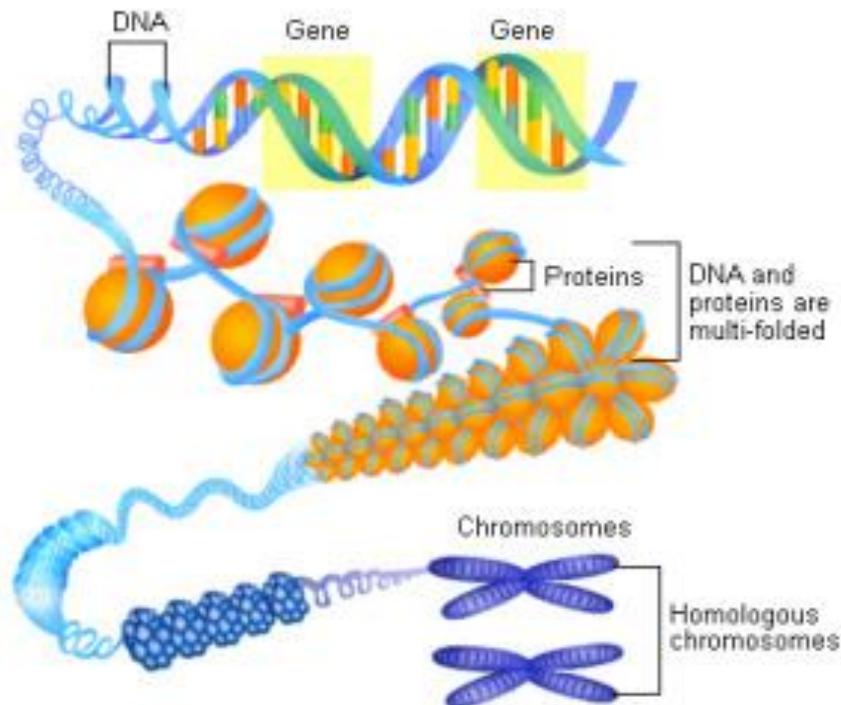
- Sebagai zarah yang terdapat dalam kromosom.

Gen merupakan unit terkecil materi genetik dan terdapat dalam setiap lokus yang khas pada kromosom, yang terdiri atas sepenggal DNA yang menentukan sifat individu melalui pembentukan polipeptida. Jadi, gen berperan penting dalam mengontrol sifat-sifat individu yang diturunkan. Sebagai materi hereditas, gen memiliki beberapa fungsi, antara lain:

- Sebagai zarah tersendiri yang ada pada kromosom.
- Menyampaikan informasi genetik dari induk kepada keturunannya.
- Mengatur proses metabolisme dan perkembangan

Kegiatan sel dikendalikan oleh gen di dalam inti. Pengendalian ini dilakukan dengan menyusun materi tertentu yang sesuai dengan pola gen untuk membentuk suatu rantai asam amino (polipeptida). Polipeptida tersebut difungsikan menjadi enzim yang akan mengatur reaksi metabolisme dalam sel. Walaupun demikian, gen-gen dapat diumpamakan dalam satu deretan berurutan dan teratur pada benang kromosom.

Di dalam sel tubuh, kromosom biasanya berpasangan. Sepasang kromosom merupakan homolog sesamanya, artinya keduanya mempunyai bentuk yang sama dan lokus gen-gen yang bersesuaian. Gen-gen yang terdapat pada lokus yang bersesuaian ini disebut alel. Alel dapat memiliki tugas yang sama atau berlawanan untuk suatu pekerjaan tertentu. Alel yang mempunyai tugas yang sama disebut alel homozigot. Sedangkan, alel yang tugasnya berbeda disebut alel heterozigot. Karena genotipe diekspresikan menjadi suatu fenotipe, alel dapat menyebabkan perbedaan penampilan di antara individu dalam suatu populasi. Alel adalah gen-gen yang menempati atau terletak pada lokus yang sama pada kromosom homolognya yang mempunyai tugas berlawanan untuk suatu sifat tertentu. Perhatikan gambar struktur gen berikut.



Gambar 2. Gen, DNA, dan Kromosom
 Sumber: <https://hastutiwibowo.wordpress.com>

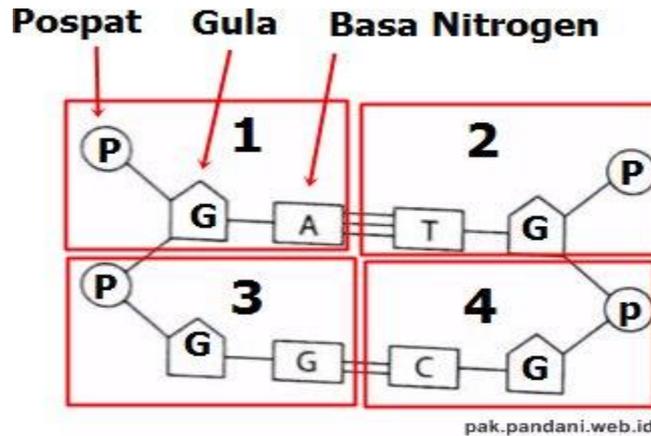
2. DNA (Deoxyribonucleic acid)

DNA berperan sebagai pembawa informasi genetik dari satu generasi ke generasi lain. DNA sendiri merupakan polimer besar yang tersusun atas unit-unit nukleotida (polinukleotida)

Sebuah nukleotida tersusun atas:

- Gugus gula deoksiribosa (gula dengan lima atom karbon atau pentosa)
- Gugus asam fosfat (fosfat terikat pada C kelima dari gula)
- Gugus basa nitrogen (gugus ini terikat pada C pertama dari gula)

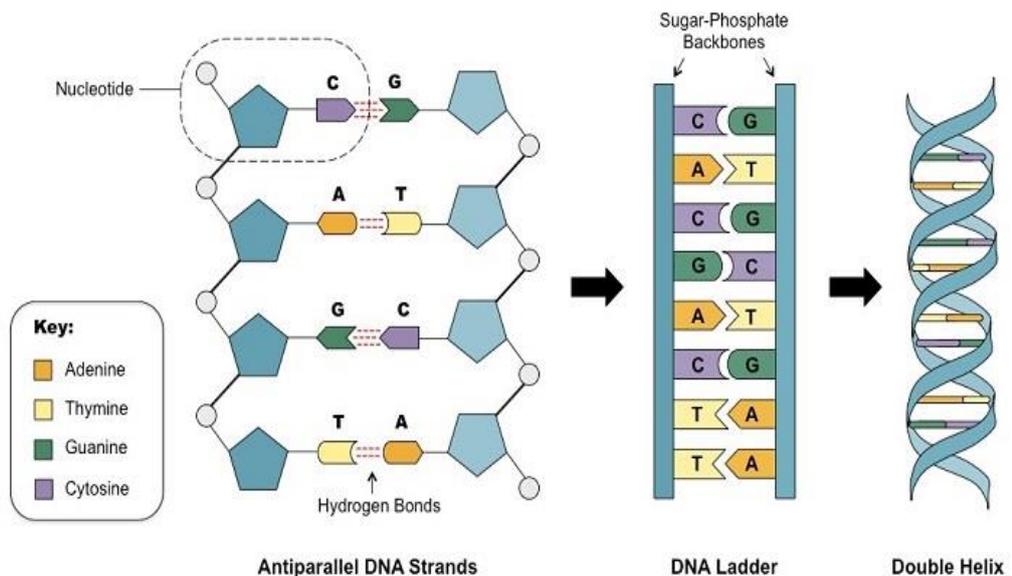
Jadi dikatakan 1 nukleotida terdiri atas 1 fosfat, 1 Gula, 1 Basa nitrogen yang tersusun secara berurutan.



Gambar 3. Nukleotida
Sumber :pandani.web.id

Dari gambar polinukleotida tersebut apakah kalian dapat menghitung berapa jumlah nukleotidanya?

Molekul gula ini terikat pada basa nitrogen yang tersusun atas basa purin dan basa pirimidin. Basa purin tersusun atas guanine (G) dan adenin (A), sedangkan basa pirimidin tersusun atas timin (T) dan sitosin atau Cytosine (C). Perhatikan gambar berikut!



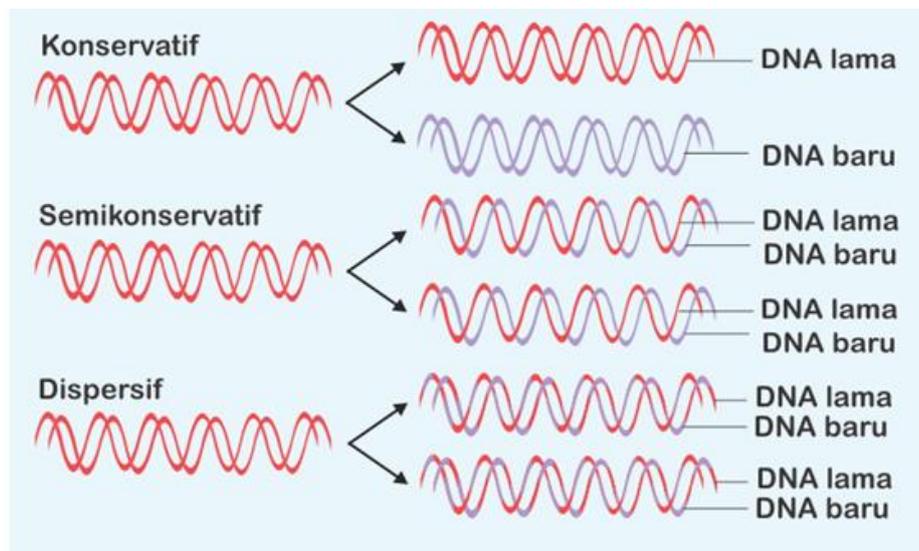
Gambar 4. DNA dan Polinukleotida
Sumber : <https://www.siswapedia.com>

Ikatan antara A-T membentuk dua ikatan hidrogen, sedangkan antara C-G membentuk tiga ikatan hidrogen. Adanya tiga ikatan hidrogen ini menghasilkan ikatan C-G lebih kuat dari ikatan A-T. Spesifikasi pasangan basa ini disebut dengan komplementaritas atau *complementary*.

Molekul DNA mempunyai sifat-sifat, antara lain:

- DNA berbagai organisme mempunyai kandungan adenine (A) yang sama dengan Timin (T). Perbedaan antara DNA dari spesies yang berlainan terletak antara kandungan A + T atau G + C.
- Setiap molekul DNA disusun oleh dua rantai polinukleotida. Antara kedua basa yang berpasangan terbentuk ikatan hidrogen. Adanya ikatan ini memberikan kelenturan pada DNA.
- DNA merupakan struktur yang aktif melakukan fungsi biologi.

DNA memiliki kemampuan untuk bereplikasi yaitu membentuk DNA baru yang sama persis dengan DNA asal. Terdapat 3 hipotesis replikasi DNA yaitu: replikasi konservatif, semi konservatif, dan dispersif.



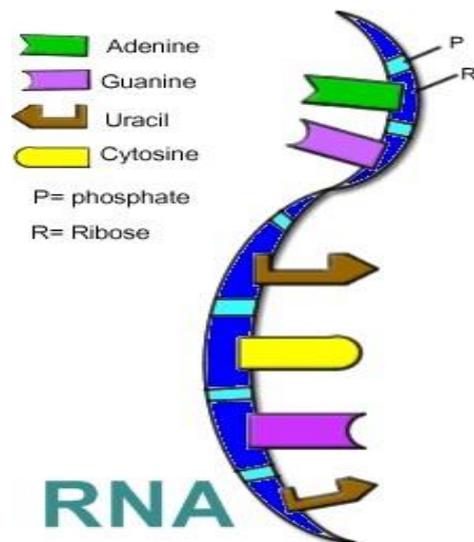
Gambar 5. Mekanisme Replikasi DNA
Sumber: <https://www.siswapedia.com>

Faktor yang dibutuhkan untuk replikasi DNA:

- Polimerase DNA : berfungsi mempolimerisasi nukleotida-nukleotida
- Ligase DNA : berperan menyambung DNA
- Primase DNA : untuk memulai polimerisasi DNA pada lagging strand
- Helikase DNA : membuka jalinan DNA double heliks

3. RNA (*Ribonucleic acid*)

RNA (*Ribonucleic acid*) merupakan polinukleotida, namun ukurannya jauh lebih pendek dari DNA, yang terdiri atas satu rantai (*single heliks*). Gula pentosa yang menyusun RNA adalah gula ribosa, sedangkan basa nitrogen yang menyusun RNA adalah basa purin yang terdiri atas adenin dan guanin serta basa pirimidin yang terdiri dari sitosin dan urasil. Perhatikan gambar berikut!



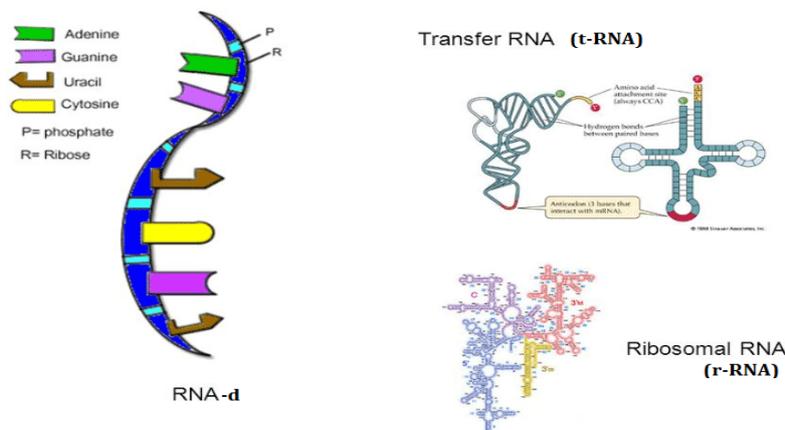
Gambar 6. Struktur RNA

Sumber : <https://gustinerz.wordpress.com>

Jenis-jenis RNA:

- 1) RNA duta (RNA-d)
Merupakan penghubung DNA dengan protein dan membawa pesan berupa informasi genetik dari DNA untuk membentuk protein. Berperan membawa kode genetik dari DNA berupa triplet basa yang ada pada RNA duta, atau yang disebut kodon.
- 2) RNA ribosom (RNA-r)
Merupakan RNA terbanyak, sekitar 83% dari RNA yang dikandung oleh suatu sel. Banyak terdapat di dalam ribosom dan berperan sebagai tempat pembentukan protein.
- 3) RNA transfer (RNA-t)
Berperan menterjemahkan kodon yang terdapat pada RNA-d menjadi satu jenis asam amino serta mengangkut asam amino ke permukaan ribosom pada saat translasi.

Berikut ini Gambar macam-macam RNA



Gambar 7. Macam-macam RNA

Sumber: dosenpendidikan.co.id

4. Kromosom

Segala aktivitas sel diatur oleh inti sel (nukleus). Pada saat sel aktif melakukan metabolisme, di dalam nukleus terdapat benang-benang halus seperti jala yang dapat menyerap warna. Benang-benang halus ini disebut kromatin (chromo = warna, dan tin = badan). Ketika sel akan membelah, benang kromatin menebal dan memendek, lebih mudah menyerap zat warna sehingga dapat dilihat dengan mikroskop. Benang kromatin yang menebal dan memendek ini, disebut kromosom. Setiap spesies memiliki jumlah kromosom yang khas. Kromosom tersusun atas DNA yang berkondensasi bersama.

protein histon di dalam inti sel, membentuk struktur bernama nukleosom. Sebelum sel membelah, molekul DNA dari setiap kromosom berduplikasi sehingga terbentuk lengan kromosom ganda yang disebut kromatid. Sel kelamin (sel sperma atau sel telur) hanya memiliki satu kromosom kelamin (gonosom) sehingga sel kelamin dari betina hanya memiliki gonosom X. Adapun sel kelamin jantan memiliki gonosom X atau Y yang akan menentukan jenis kelamin individu setelah terjadi fertilisasi.

a. Penggolongan Kromosom

1) Berdasarkan jenisnya, kromosom dibedakan atas:

- Kromosom badan (Autosom)
- Kromosom kelamin / kromosom seks (Gonosom)

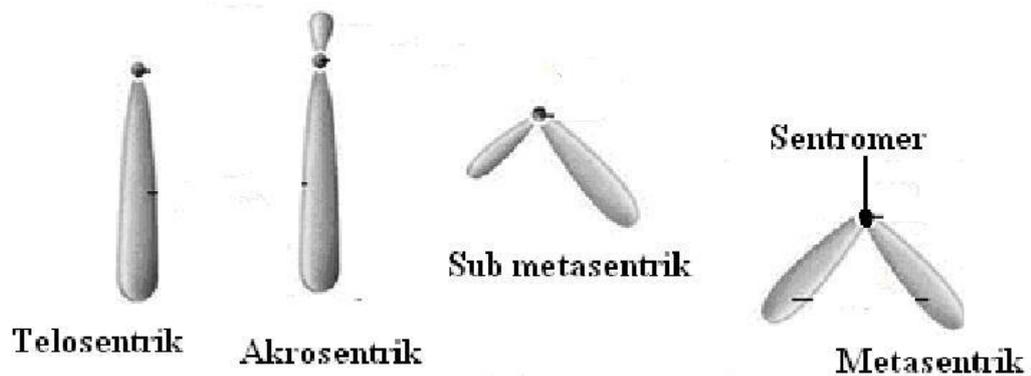
Di dalam sel tubuh terdapat sepasang kromosom atau diploid ($2n$). Sepasang kromosom ini berasal dari induk betina (ovum) dan induk jantan (sperma). Masing-masing kromosom induk berjumlah (n) kromosom. Kromosom yang berpasangan tersebut, disebut kromosom homolog. Kromosom homolog adalah kromosom yang mempunyai struktur yang sama atau mempunyai lokus-lokus alel yang sama. Dalam sel tubuh manusia terdapat 23 macam kromosom homolog. Jumlah macam kromosom atau satu pasang kromosom haploid disebut genom.

Bagaimanakah cara penulisan rumus kromosom pada makhluk hidup?

- Pada manusia terdapat 46 kromosom, maka:
 - Pada sel tubuh: 46 buah = 23 Pasang
 - Pada wanita : $22AA + XX$
 - Pada Pria : $22AA + XY$
 - Pada sel Kelamin : 23 buah (kromosom tidak berpasangan)
 - Pada Ovum : $22A + X$
 - Pada Spermatozoa: $22A + X$ atau $22A + Y$
- Pada Kuda terdapat 64 Kromosom, maka:
 - Pada sel tubuh: 64 buah = 32 Pasang
 - Pada kuda betina : $31AA + XX$
 - Pada kuda jantan : $31 AA + XY$
 - Pada sel Kelamin: 32 buah (kromosom tidak berpasangan)
 - Pada Ovum : $31A + X$
 - Pada Spermatozoa: $31A + X$ atau $31A + Y$

2) Berdasarkan letak sentromer, kromosom dibedakan atas:

- Telosentrik : sentromer terletak di ujung kromosom.
- Akrosentik : sentromer terletak di dekat ujung kromosom
- Submetasentrik : sentromer dekat pada salah satu ujung kromosom
- Metasentrik : sentromer terletak di tengah-tengah kromosom



Gambar 8. Macam-macam bentuk kromosom

Sumber: <https://hisham.id>

b. Jumlah Kromosom

Dalam setiap makhluk hidup terdapat jumlah kromosom yang bervariasi. Jumlah kromosom yang terdapat pada berbagai organisme dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 1. Jumlah kromosom pada makhluk hidup

No.	Organisme	Jumlah Kromosom	No.	Organisme	Jumlah Kromosom
1.	Manusia	46	23.	Hidra	32
2.	Simpanse	48	24.	Cemara	24
3.	Kera	48	25.	Ceri	32
4.	Kuda	64	26.	Kubis	18
5.	Lembu/sapi	60	27.	Lobak	18
6.	Keledai	62	28.	Kacang polong	14
7.	Anjing	78	29.	Buncis	22
8.	Kucing	38	30.	Ketimun	14
9.	Tikus rumah	40	31.	Kapas	52
10.	Tikus sawah	42	32.	Kentang	48
11.	Merpati	80	33.	Tomat	24
12.	Ayam	78	34.	Tembakau	48
13.	Kalkun	82	35.	Gandum dipakai untuk membuat roti	42
14.	Katak	26	36.	Gandum dipakai untuk membuat bir (Barley)	14
15.	Ikan mas	94	37.	Jagung	20
16.	Bintang laut	36	38.	Beras	24
17.	Ulat sutera	56	39.	Bawang	16
18.	Lalat rumah	12	40.	Ragi	34
19.	Drosophila melanogaster	8	41.	Jamur	4
20.	Nyamuk	6	42.	Kapang <i>Penicillium</i>	2
21.	Kecoak	24			
22.	Cacing tanah	36			

Sumber :<https://desybio.wordpress.com>

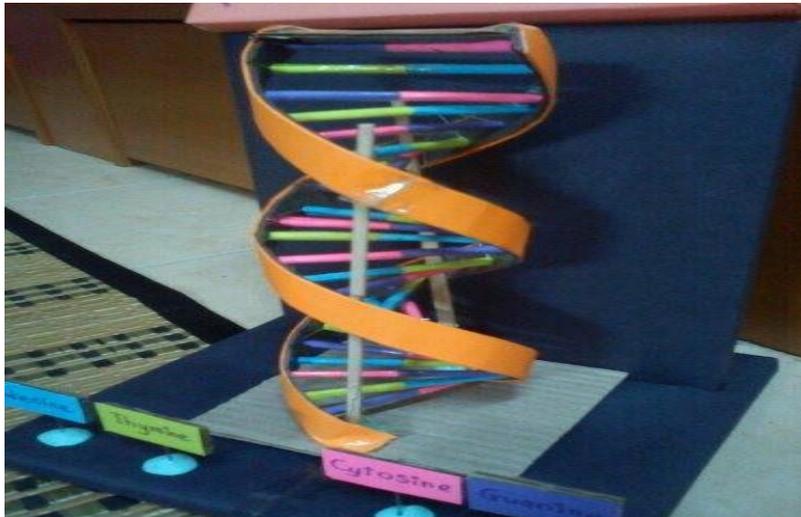
C. Rangkuman

1. Gen, DNA, dan kromosom adalah materi genetik karena bertanggungjawab terhadap pewarisan sifat-sifat genetik dari induk kepada keturunannya.
2. Gen merupakan unit terkecil materi genetik dan terdapat dalam setiap lokus yang khas pada kromosom dan berperan penting dalam mengontrol sifat-sifat individu yang diturunkan. Sedangkan alel merupakan gen-gen yang terdapat pada lokus yang bersesuaian.

3. DNA berperan sebagai pembawa informasi genetik dari satu generasi ke generasi lain yang tersusun atas unit-unit nukleotida. Di mana sebuah nukleotida tersusun atas gugus gula deoksiribosa, gugus asam fosfat, serta basa nitrogen. Komponen penyusun basa nitrogen yang tersusun atas basa purin dan basa pirimidin. Basa purin tersusun atas guanin (G) dan adenin (A), sedangkan basa pirimidin tersusun atas timin (T) dan sitosin atau Cytosine (C).
4. DNA memiliki kemampuan untuk bereplikasi dan bertranskripsi menjadi RNA. RNA merupakan polinukleotida yang tersusun atas gula ribosa, sedangkan basa nitrogen yang menyusunnya adalah basa purin yang terdiri atas adenin dan guanin serta basa pirimidin yang terdiri dari sitosin dan urasil. Terdapat tiga jenis RNA yaitu RNA-d, RNA-t dan RNA-r.

D. Penugasan Mandiri

Buatlah model tiga dimensi struktur DNA menggunakan bahan sederhana seperti gambar di bawah ini!



E. Latihan Soal

Kerjakan semua soal di bawah ini di kertas, kemudian cocokkan dengan alternatif jawaban!

1. Jelaskan 3 fungsi gen sebagai sebuah materi hereditas!
2. Sebutkan komponen penyusun nukleotida pada DNA!
3. Jelaskan pengertian dari:
 - a. Gen
 - b. Telosentrik
 - c. Alel
 - d. Kromosom Homolog
4. Jelaskan komponen penyusun basa nitrogen!
5. Jelaskan hubungan antara struktur Kromosom, gen dan DNA!

Kunci jawaban dan Pedoman penilaian

No	Jawaban	Skor
1.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sebagai zarah tersendiri yang ada pada kromosom. 2. Menyampaikan informasi genetik dari induk kepada keturunannya. 3. Mengatur proses metabolisme dan perkembangan. 	3
2.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gugus gula deoksiribosa (gula dengan lima atom karbon atau pentosa) 2. Gugus asam fosfat (fosfat terikat pada C kelima dari gula) 3. Gugus basa nitrogen (gugus ini terikat pada C pertama dari gula) 	3
3.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gen merupakan unit terkecil dari suatu makhluk hidup yang mengandung substansi hereditas, terdapat di dalam lokus gen. 2. Telosentrik adalah kromosom yang sentromernya terletak di ujung kromosom. 3. Alel adalah gen-gen yang terdapat pada lokus yang berkesesuaian. 4. Kromosom homolog adalah kromosom yang mempunyai struktur yang sama atau mempunyai lokus-lokus alel yang sama. 	4
4.	Basa nitrogen yang tersusun atas basa purin dan basa pirimidin. Basa purin tersusun atas guanin (G) dan adenin (A), sedangkan basa pirimidin tersusun atas timin (T) dan sitosin atau Cytosine (C).	2
5.	Bagian utama sebuah sel adalah nukleus, di dalam nukleus terdapat benang-benang halus yang disebut kromatin. Pada saat sel akan mulai membelah diri, benang-benang halus tersebut menebal, memendek dan mudah menyerap warna membentuk kromosom. Kromosom adalah struktur padat yang terdiri dari dua komponen molekul, yaitu DNA dan protein. Secara struktural perubahan DNA dan protein menjadi kromosom diawali pada saat profase. Molekul DNA akan berikatan dengan protein histon dan nonhiston membentuk sejumlah nukleosom. Unit-unit nukleosom bergabung memadat membentuk benang yang lebih padat dan terpilin menjadi lipatan-lipatan solenoid. Lipatan solenoid tersusun padat menjadi benang-benang kromatin. Benang-benang kromatin akan tersusun memadat membentuk lengan kromatin. Selanjutnya kromatin akan mengganda membentuk kromosom	5
Jumlah Skor		17

Keterangan :
$$\text{nilai yang didapat} = \frac{\text{jumlah skor}}{10} \times 100$$

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggung jawab!

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1.	Apakah And telah mampu mendeskripsikan struktur gen, kromosom, DNA dan RNA?		
2.	Apakah Anda telah mampu menjelaskan fungsi gen, kromosom, DNA dan RNA?		
3.	Apakah Anda telah mampu mengaitkan hubungan struktur dan fungsi gen, kromosom, DNA dan RNA?		
4.	Apakah Anda telah mampu membuat model struktur DNA?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

SINTESIS PROTEIN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan siswa dapat:

1. Menjelaskan tahapan sintesis protein.
2. Merumuskan urutan proses sintesis protein dalam kaitannya dengan penyampaian kode genetik (DNA-RNAProtein).

B. Uraian Materi

1. SINTESIS PROTEIN

Sintesis protein yaitu proses penyusunan senyawa protein dengan membentuk rangkaian rantai polipeptida. Sintesis protein ini terjadi di dalam ribosom dan pengaturan sintesis protein dilakukan oleh gen (DNA) di dalam inti.

Perubahan struktur gen dapat menyebabkan perubahan struktur protein pada tingkat asam amino, yang selanjutnya akan menyebabkan perubahan dalam proses metabolisme. Ekspresi gen dilakukan melalui dua tahapan yaitu transkripsi dan translasi.

1) Transkripsi

Proses transkripsi berlangsung di dalam inti sel. Transkripsi merupakan proses pengkopian/penyalinan molekul DNA menjadi utas RNA yang komplementer (DNA - mRNA). embacaan oleh transkriptase dimulai dari tanda awal (promotor) sampai tanda akhir (terminator). Hanya ruas yang diapit oleh kedua tanda itu yang akan ditranskripsikan. Utas DNA yang digunakan bagi sintesis RNA disebut sebagai utas cetakan (template), sedangkan utas DNA lainnya disebut dengan utas pendamping.

Proses transkripsi menghasilkan tiga jenis RNA, yaitu RNA duta (mRNA), RNA transfer (tRNA), dan RNA ribosomal (rRNA). ketiga jenis RNA ini berperan dalam proses trasnlasi. Hanya mRNA yang akan diterjemahkan kedalam protein.

Proses transkripsi dikatalisis oleh enzim transcriptase atau RNA polymerase. Proses transkripsi dapat dibagi dalam tiga tahap yaitu inisiasi sintesis RNA, pemanjangan (elongasi) RNA, dan penyelesaian (terminasi) sintesis RNA.

Tahapan Transkripsi:

- a) Berlangsung dalam inti sel.
- b) Dimulai dengan membukanya pita "Double Helix" oleh enzim DNA polymerase.
- c) Pita DNA yang berfungsi sebagai pencetakan RNA disebut pita template atau sense dan pita DNA yang tidak mencetakan RNA disebut dengan pita antisense.
- d) Pita RNA dibentuk sepanjang pita DNA pencetak dengan urutan basa nitrogennya komplementer dengan basa nitrogen yang ada pada pita cetakan DNA.

- e) Pita RNA yang telah selesai menerima pesan genetik dari pita DNA pencetak segera meninggalkan inti nukleus menuju ke ribosom, tempat sintesis protein dalam sitoplasma. Pita RNA menempatkan diri pada leher ribosom.
- f) RNA yang ada dalam sitoplasma bersiap-siap untuk berperan dalam proses sintesis protein berikutnya. Setiap satu RNA ini, mengikat satu asam amino yang mengandung ATP.

2) Translasi

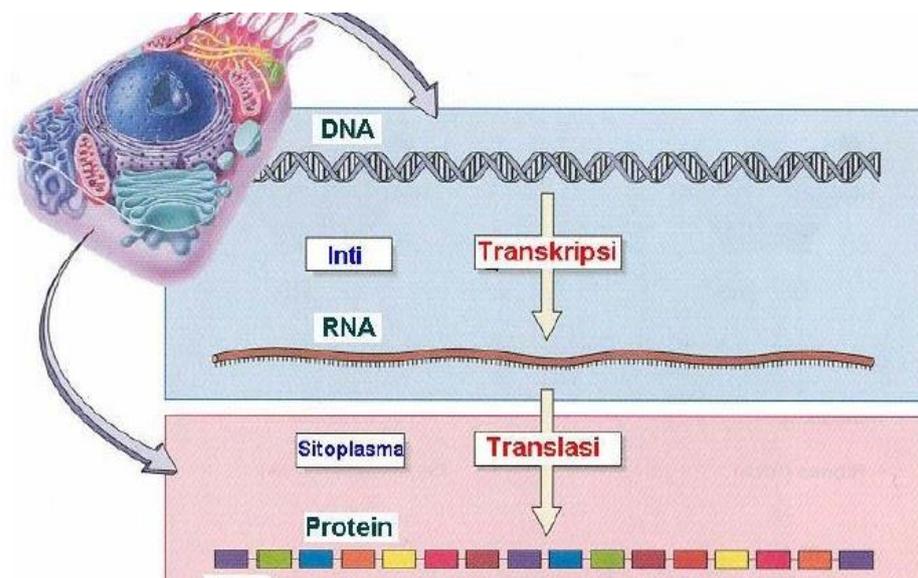
Translasi berlangsung di sitoplasma, sehingga RNA harus dikeluarkan dari inti sel menuju sitoplasma. Dalam proses translasi, terjadi penerjemahan urutan kodon pada RNAd menjadi urutan asam amino pada ribosom, artinya asam amino akan dirangkai dengan asam amino lainnya untuk membentuk rantai polipeptida atau protein.

Setelah mRNA sampai di ribosom, tRNA mulai mengangkut asam amino ke dalam kompleks translasi (ribosom), serta membaca sandi-sandi (kodon) pada mRNA. Setiap tRNA mempunyai antikodon yang spesifik. Translasi bermula dari kodon awal sampai kodon akhir. Hubungan antara kodon dengan asam amino diatur melalui kode genetik.

Dalam proses translasi ini, hanya ada satu kodon awal yaitu AUG yang menyandi asam amino metionin dan tiga kodon akhir UAA, UAG, dan UGA. Seperti pada proses transkripsi, translasi dapat dibagi dalam tiga tahap yaitu inisiasi, elongasi /pemanjangan, dan terminasi /penyelesaian.

Contoh proses pembentukan protein dari molekul DNA secara sederhana:

Untai pendamping : 5' A T G G G T A C C C A T G C T -3'
 Untai cetakan : 3' T A C C C A T G G G T A C G A -5'
 m-RNA : 5' A U G G G U A C C C A U G C U -3'
 Protein : Met - Gly - Thr - His - Ser.



Gambar 9. Tahapan Sintesis protein
 Sumber: e-the-I.blogspot.com

3) Kode Genetik

Kode genetik merupakan instruksi berupa kode-kode yang merumuskan jenis protein yang akan dibuat. Ciri khas protein ditentukan oleh jumlah asam amino. Pada sandi genetik terdapat 20 macam asam amino.

Dalam sintesis protein dapat terjadi kesalahan dalam menerjemahkan kode-kode yang diterima dari DNA. Jika terjadi kesalahan penerjemahan, akibatnya protein yang disusun juga keliru sehingga enzim yang dihasilkan juga salah.

Pada asam nukleat DNA atau RNA-d terdapat 4 jenis nukleotida (basa) yang menyusun rantainya. Pada polipeptida dikenal 20 jenis asam amino penyusunnya. Dengan adanya 20 jenis asam amino tersebut, harus ada aturan yang dapat menjamin pengendalian gen dalam pembentukan protein, selalu bersifat khas (satu gen hanya menyandikan satu jenis protein).

Untuk menjamin kekhasan tersebut harus banyak factor pengendali (kodon), sekurang-kurangnya sama dengan yang dikendalikan (asam amino). Hal ini bertujuan untuk mencegah adanya satu kodon mengendalikan lebih dari satu asam amino. Berdasarkan persyaratan ini, tidak mungkin satu asam amino dikendalikan hanya oleh satu nukleotida, karena keempat nukleotida yang ada tidak akan mencukupi untuk mengendalikan 20 asam amino.

Sistem pengkodean seharusnya didasarkan pada kombinasi dari nukleotida yang ada. Yang paling mungkin adalah setiap kodon merupakan kombinasi 3 nukleotida DNA sehingga akan diperoleh 64 kodon yang akan mencukupi untuk mengendalikan 20 asam amino.

Tabel 1. Kode Genetika Asam Amino

Basa No 1	Basa No 2				Basa No 3
	U	C	A	G	
U	UUU } Phe	UCU } Ser	UAU } Tyr	UGU } Cys	U C A G
	UUC } Phe		UAC } Tyr	UGC } Cys	
	UUA } Leu		UAA } Stop	UGA } Stop	
	UUG } Leu		UAG } Stop	UGA } Trp	
C	CUU } Leu	CCU } Pro	CAU } His	CGU } Arg	U C A G
	CUC } Leu		CAC } His	CGC } Arg	
	CUA } Leu		CAA } Gln	CGA } Arg	
	CUG } Leu		CAG } Gln	CGG } Arg	
A	AUU } Ile	ACU } Thr	AAU } Asn	AGU } Ser	U C A G
	AUC } Ile		AAC } Asn	AGC } Ser	
	AUA } Ile		AAA } Lys	AGA } Arg	
	AUG } Met atau start		AAG } Lys	AGG } Arg	
G	GUU } Val	GCU } Ala	GAU } Asp	GGU } Gly	U C A G
	GUC } Val		GAC } Asp	GGC } Gly	
	GUA } Val		GAA } Glu	GGA } Gly	
	GUG } Val		GAG } Glu	GGG } Gly	

Sumber: Biology Concepts & Connections, 2005

Keterangan:

- | | | | |
|---------------------|---------------------|----------------|-----------------|
| Ala = alanin | Gln = glutamin | Leu = leusin | Ser = serin |
| Arg = arginin | Glu = asam glutamat | Lys = lisin | Thr = treorin |
| Asn = asparagin | Gly = glisin | Met = metionin | Trp = triptofan |
| Asp = asam aspartat | His = histidin | Phe = fenil | Try = tirosin |
| Cys = sistein | Ile = isoleusin | Pro = prolin | Val = valin |

C. Rangkuman

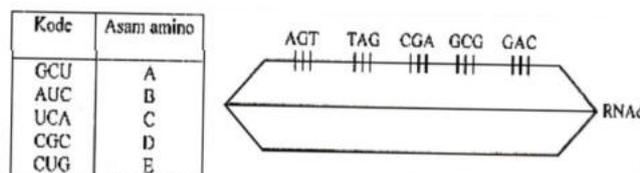
1. Sintesis protein melalui dua tahapan utama yaitu transkripsi dan translasi. Proses transkripsi berlangsung di dalam inti sel. Transkripsi merupakan proses pengkopian/penyalinan molekul DNA menjadi utas m-RNA atau RNA-d.
2. Proses transkripsi menghasilkan tiga jenis RNA, yaitu RNA duta (mRNA), RNA transfer (tRNA), dan RNA ribosomal (rRNA). Ketiga jenis RNA ini berperan dalam proses translasi.
3. Proses transkripsi dapat dibagi dalam tiga tahap yaitu inisiasi sintesis RNA, pemanjangan (elongasi) RNA, dan penyelesaian (terminasi) sintesis RNA. Sedangkan proses translasi berlangsung di sitoplasma.
4. Dalam proses translasi, asam amino akan dirangkaikan dengan asam amino lainnya untuk membentuk rantai polipeptida atau protein.
5. Hubungan antara kodon dengan asam amino diatur melalui kode genetik. Kode genetik merupakan instruksi berupa kode-kode yang merumuskan jenis protein yang akan dibuat. Ciri khas protein ditentukan oleh jumlah asam amino. Pada kode genetik terdapat 20 macam asam amino.

D. Penugasan Mandiri

Buatlah sebuah model sintesis protein dengan memanfaatkan bahan-bahan dari barang bekas, diskusikanlah tentang proses sintesa protein tersebut dengan temanmu kemudian presentasikan hasilnya di depan kelas!

E. Latihan Soal

1. Jelaskan perbedaan antara transkripsi dan translasi!
2. Jelaskan 3 tahap dalam proses translasi!
3. Jelaskan pengertian dari:
 - a. kodogen
 - b. antisense
 - c. elongasi
4. Perhatikan gambar sepotong molekul DNA dan tabel kodon translasinya:



Kunci jawaban dan penskoran

No	Jawaban	Skor
1	Transkripsi merupakan proses pengkopian/penyalinan molekul DNA menjadi utas RNA yang komplementer (DNA - mRNA). Proses transkripsi berlangsung di dalam inti sel. Sedangkan Translasi berlangsung di sitoplasma, sehingga RNA harus dikeluarkan dari inti sel menuju sitoplasma. Dalam proses translasi, terjadi penerjemahan urutan kodon pada RNA-d menjadi urutan asam amino pada ribosom.	3
2	1. Inisiasi 2. Elongasi 3. Terminasi	3
3	1. Kodogen adalah Pita DNA yang berfungsi sebagai pencetakan RNA. 2. Antisense adalah pita DNA yang tidak mencetak RNA. 3. Elongasi adalah proses penguntaian/penyusunan polipeptida yang dibawa oleh RNA-t.	3
4	Untuk menentukan urutan asam amino maka kita menentukan rantai kodon terlebih dahulu. Urutan molekul DNA : Sense : AGT TAG CGA GCG GAC Kodon : UCA AUC GCU CGC CUG Sehingga urutan asam amino berdasarkan tabel tersebut adalah :C - B - A - D -E	3
Jumlah Skor		12

Keterangan : $nilai\ yang\ didapat = \frac{jumlah\ skor}{10} \times 100$

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggung jawab!

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1.	Apakah Anda telah memahami proses sintesis protein pada DNA?		
2.	Apakah Anda telah memahami perbedaan transkripsi dan translasi?		
3.	Apakah Anda telah mampu merumuskan pembentukan kode genetik (DNA-RNAProtein) dalam peristiwa sintesis protein?		
	Apakah Anda telah memahami hubungan antara kodon dan asam amino yang diatur melalui kode genetik?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

EVALUASI

PILIH LAH SATU JAWABAN YANG PALING TEPAT!

1. Komponen DNA yang tersusun atas fosfat, gula, dan basa nitrogen membentuk...
 - A. nukleosida
 - B. polypeptide
 - C. nukleotida
 - D. ikatan hidrogen
 - E. double helix
2. Letak DNA dalam sel yaitu...
 - A. terletak dalam sitoplasma, inti, terutama dalam ribosom
 - B. terdapat dalam inti sel, terutama pada kromosom
 - C. terdapat dalam inti sel pada kromosom dan dalam sitoplasma
 - D. terdapat dalam inti sel, terutama dalam ribosom
 - E. terdapat dalam sitoplasma terutama pada ribosom
3. Gen merupakan komponen kimiawi dalam sel yang diekspresikan oleh sel dalam bentuk...
 - A. Asam Nukleat
 - B. Protein
 - C. Lemak
 - D. Karbohidrat
 - E. Hormon
4. DNA dan RNA bertanggung jawab untuk
 - A. mengurangi cacat kelahiran
 - B. penurunan sifat hereditas
 - C. penyusun lemak
 - D. mempercepat proses tubuh
 - E. membentuk antibodi
5. Di dalam nukleus terdapat benang-benang halus yang sifatnya mudah menyerap zat warna hijau, yaitu
 - A. telomere
 - B. kromonema
 - C. benang spindel
 - D. kromosom
 - E. sentrosom
6. Bentuk kromosom dengan letak sentromer agak jauh dari ujung kromosom dan biasanya membentuk huruf L atau J adalah bentuk
 - A. telosentrik
 - B. akrosentrik
 - C. submetasentrik
 - D. metasentrik
 - E. subakrosentrik
7. RNA yang juga bertindak sebagai pola cetakan untuk membentuk polipeptida dengan mengatur urutan asam amino dari polipeptida yang disusun adalah....
 - A. RNA-d
 - B. RNA-r

- C. RNA-t
 - D. RNA-ase
 - E. RNA-m
8. Pada tahap transkripsi dimulai dengan membukanya pita "Double Helix" oleh enzim...
- A. DNA endonuklease
 - B. DNA polymerase
 - C. RNA transkriptase
 - D. DNA transcriptase
 - E. RNA polymerase
9. Dalam sintesis protein, yang merupakan kode genetik sebagai dasar penyusunan asam amino menjadi protein atau polipeptida rangkaian basa nitrogen terdapat dalam
- A. RNA duta
 - B. rantai sense DNA
 - C. RNA ribosom
 - D. rantai antisense DNA
 - E. RNA transfer
10. Jika terjemahan kode genetik dalam sintesis protein yang dihasilkan oleh RNA-t adalah AAU UGU AAA, informasi genetik yang dirancang dalam DNA adalah
- A. TTA ASA TTT
 - B. AAT TGT AAA
 - C. UUA AGA TTT
 - D. AAU AGA UUU
 - E. UUT UGU UUU

KUNCI JAWABAN DAN PEDOMAN PENILAIAN

NO.	JAWABAN	SKOR
1.	C	1
2.	B	1
3.	A	1
4.	B	1
5.	D	1
6.	C	1
7.	C	1
8.	E	1
9.	A	1
10.	A	1

DAFTAR PUSTAKA

- Adisoenarto Soenartono.1988. *Genetika*, Edisi ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Belk, C. & Borden, V. (2003). *Biology for Science*. New York: Prentice Hall.
- Biggs, Alton., etc. 2008. *Biology*. New York: Mc Graw Hill Companies.
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. 2011. *Biology*. San Francisco, California: Benjamin Cummings.
- Crowder L. V. 1982. *Genetika Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kee, L.H. (2002). *The Living Science*. Singapore: Pearson Education Asia Pte. Ltd.
- Reece, J. B., Urry, L.A., Cain, M. L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V., & Jackson, R. B. (2017). *Campbell Biology* 11th Edition. Lake Ave. Pearson Education, Inc.
- Suryo. 2005. *Genetika*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Suhardi, D. (2007). *Genetika*. Bandung: PPPG IPA.Sylvia S Mader. 2010. *Biology* 10th edition. New York: The McGraw-Hill Companies.
- Wildan Yatim. 1991. *Genetika*. Bandung: Tarsito.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

BIOLOGI



KELAS
XII



**PEMBELAHAN SEL
BIOLOGI KELAS XII**

PENYUSUN

Susi Nurul Fitri, M.Pd.

SMAN 1 Sidomulyo

Lampung Selatan

DAFTAR ISI

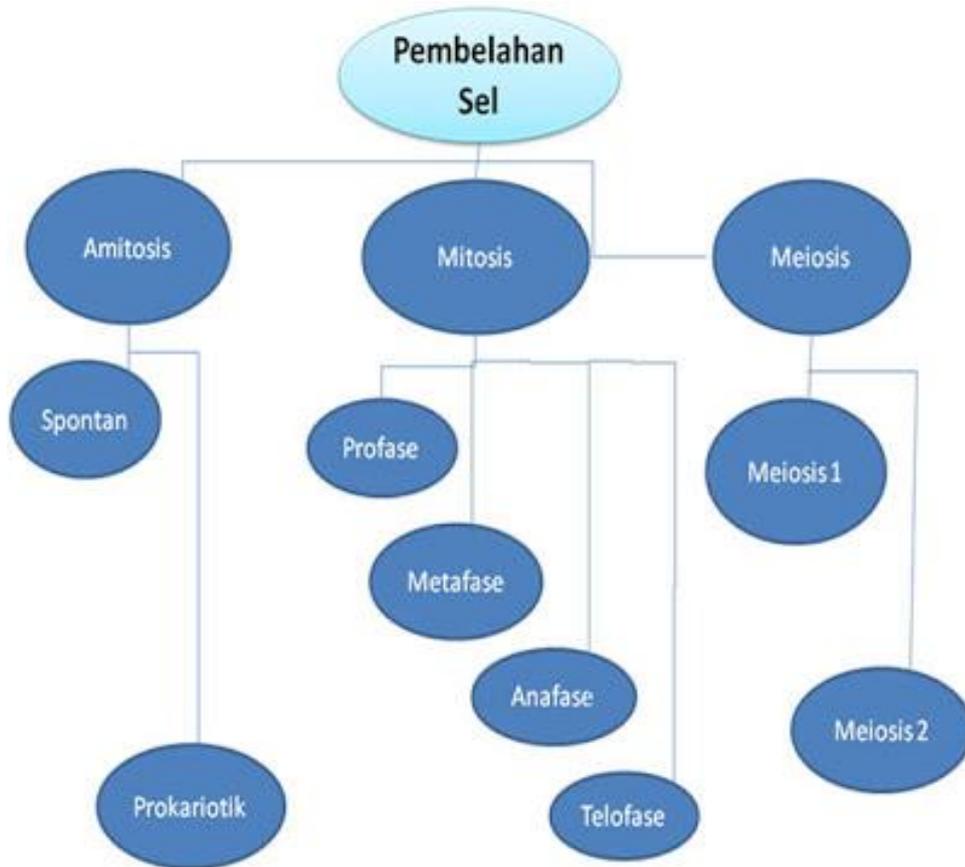
PENYUSUN.....	2
DAFTAR ISI.....	3
GLOSARIUM.....	4
PETA KONSEP	6
PENDAHULUAN.....	7
A. Identitas Modul	7
B. Kompetensi Dasar.....	7
C. Deskripsi Singkat Materi	7
D. Petunjuk Penggunaan Modul	7
E. Materi Pembelajaran	8
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	9
PEMBELAHAN SEL (AMITOSIS, MITOSIS DAN MEIOSIS).....	9
A. Tujuan Pembelajaran	9
B. Uraian Materi.....	9
C. Rangkuman	13
D. Penugasan Mandiri	13
E. Latihan Soal	14
F. Penilaian Diri	15
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	16
GAMETOGENESIS.....	17
A. Tujuan Pembelajaran	17
B. Uraian Materi.....	17
C. Rangkuman	20
D. Penugasan Mandiri	20
E. Latihan Soal	21
F. Penilaian Diri	22
EVALUASI.....	23
DAFTAR PUSTAKA.....	25

GLOSARIUM

Amitosis	: Pembelahan sel yang terjadi secara spontan tanpa melalui tahap-tahap pembelahan sel.
Bidang equator	: Pertengahan dari sel, garis horisontal.
Crossing over	: Pindah silang, peristiwa pertukaran gen-gen suatu kromatid dengan gen-gen kromatid homolognya.
Diploid	: Keadaan sel yang kromosomnya berpasangan (2n)
Fase gap-1 (G1)	: Salah satu fase pada interfase yaitu saat sel belum mengadakan replikasi DNA, sehingga DNA masih berjumlah satu salinan DNA yang diploid (1c, 2n)
Fase gap-2 (G2)	: Salah satu fase pada interfase yaitu saat replikasi DNA telah selesai dan sel bersiap-siap mengadakan pembelahan.
Fase sintesis (S)	: Salah satu fase pada interfase yaitu saat DNA dalam inti mengalami replikasi (penggandaan jumlah salinan), sehingga menghasilkan 2 salinan DNA yang diploid (2c, 2n)
Gamet	: Sel kelamin.
Gametogenesis	: Proses pembentukan gamet/sel kelamin.
Gelendong pembelahan	: Struktur berbentuk seperti benang – benang yang disebut juga benang spindel, yang menghubungkan kutub – kutub pembelahan.
Haploid	: Sifat kromosom yang tidak berpasangan (n)
Interfase	: sel dalam keadaan istirahat dari proses pembelahan, namun mempersiapkan pembelahan dengan mengadakan replikasi DNA.
Interkinesis	: Tahap di antara dua pembelahan meiosis.
Kariokinesis	: Pembagian inti.
Karioteka	: Membran pembungkus inti sel.
Kromatin	: Benang-benang halus penyusun kromosom, yang memiliki kemampuan menyerap zat warna.
Kromatid	: Belahan kromosom yang terjadi karena adanya duplikasi
Kromosom	: Suatu struktur padat yang terdiri dari dua komponen molekul, yaitu protein dan DNA, pembawa sifat menurun, terdapat di dalam nukleus, perkembangan dari kromatin, tampak saat sel membelah.
Kromosom homolog	: Dua kromosom yang berpasangan dan memiliki bentuk, ukuran serta jumlah gen yang sama.
Meiosis	: Pembelahan sel yang menghasilkan empat sel anakan yang masing-masing sel anakan mengandung separuh kromosom dari kromosom induknya.
Mitosis	: Pembelahan sel yang menghasilkan dua sel anakan dan setiap sel anakan mengandung jumlah kromosom yang sama dengan kromosom induknya.
Oogenesis	: Proses pembentukan ovum.
Reduksi	: Terjadinya pengurangan atau penyusutan jumlah kromosom.
Sel somatis	: Sel-sel penyusun tubuh, selain sel kelamin.
Sentromer	: Bagian kromosom yang merupakan tempat perlekatan serabut gelendong pembelahan/ benang spindel selama pembelahan inti dan merupakan tempat melekatnya lengan kromosom.

- Sitokinesis** : Pembelahan sitoplasma, diikuti dengan pembentukan sekat yang memisahkan dua inti menjadi dua sel anakan.
- Spermatogenesis** : Proses pembentukan sperma.
- Tetrad** : Bentuk ikatan dari kromatid karena kromosom homolog mengganda, terdiri dari empat kromatid pada satu sentromer.

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: Biologi
Kelas	: XII
Alokasi Waktu	: 4 X 45 Menit
Judul Modul	: Pembelahan Sel

B. Kompetensi Dasar

- 3.4 Menganalisis proses pembelahan sel sebagai dasar penurunan sifat dari induk kepada keturunannya.
- 4.4 Menyajikan hasil pengamatan pembelahan sel pada sel hewan maupun tumbuhan.

C. Deskripsi Singkat Materi

Dalam rangka pertumbuhan, tubuh kita bertambah besar dan tinggi. Begitu pula dengan hewan dan tumbuhan. Mengapa pada makhluk hidup dapat tumbuhan besar dan tinggi? Sel-sel penyusun tubuh mengalami pembelahan sehingga bertambah banyak. Pertambahan sel inilah yang menyebabkan tubuh semakin besar dan tinggi. Pembelahan sel juga terjadi tidak hanya pada saat terjadi pertumbuhan melainkan ketika sel-sel dalam jaringan tubuh kita rusak sel-sel dalam jaringan tersebut akan melakukan pembelahan untuk memperbaiki jaringan yang rusak.

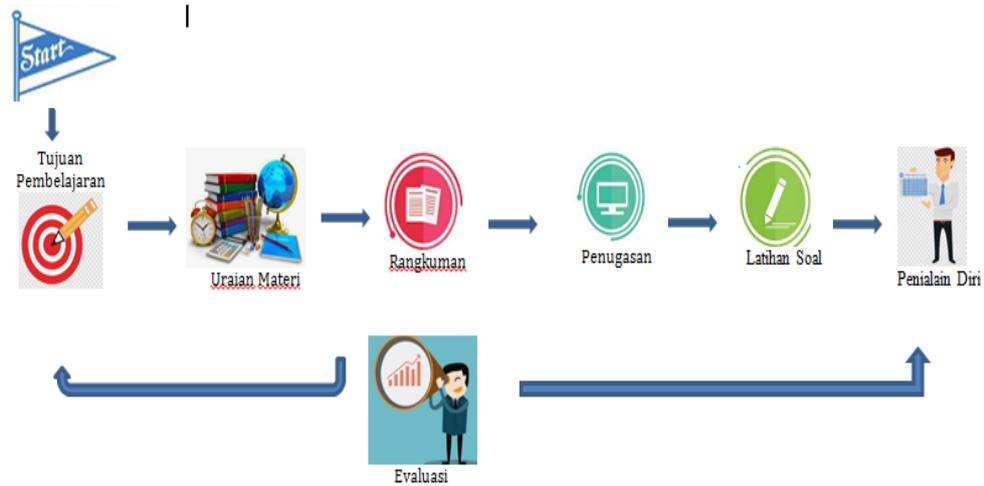
Sel-sel yang membelah disebut sebagai sel induk dan keturunannya dinamakan sel anakan. Sel induk memiliki sejumlah kromosom yang berisi informasi genetik yang terdapat di dalam kromosom dan akan diturunkan kepada sel anakan yang menjadi sel generasi berikutnya. Sifat-sifat yang tampak merupakan penurunan dari sel induk. Oleh karena itu, pembelahan sel merupakan faktor penting dalam hidup kita. Setiap sel dapat memperbanyak diri dengan membentuk sel-sel baru melalui proses yang disebut pembelahan sel atau reproduksi sel. Pada organisme uniseluler pembelahan terjadi secara amitosis, seperti bakteri dan protozoa. Pada makhluk hidup multiseluler, pembelahan sel mengakibatkan bertambahnya sel-sel tubuh. Oleh karena itu terjadilah proses pertumbuhan pada makhluk hidup. Pembelahan sel juga berlangsung pada sel kelamin atau sel gamet yang bertanggung jawab dalam proses perkawinan antar individu. Setelah dewasa, sel kelenjar kelamin pada tubuh manusia membelah membentuk sel-sel kelamin.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Supaya anda berhasil mencapai kompetensi dalam mempelajari modul ini, maka ikuti petunjuk – petunjuk berikut :

1. Pelajari daftar isi dengan cermat dan teliti karena dalam modul ini akan tampak kedudukan modul yang sedang anda pelajari.
2. Pahami setiap materi yang diuraikan dalam modul ini, sehingga memudahkan anda untuk mengerjakan tugas dan penilaian dengan hasil yang maksimal

3. Jawablah latihan soal dengan baik, kemudian cocokkanlah hasil jawaban kamu dengan kunci jawaban
4. Apabila jawaban anda sudah mencapai 85% anda bisa melanjutkan ke kegiatan berikutnya
5. Bila terdapat penugasan, kerjakan tugas tersebut dengan baik
6. Catatlah kesulitan kesulitan yang anda temui dalam modul ini untuk dikonsultasikan ke guru mata pelajaran.
7. Untuk keberhasilan anda dalam menggunakan modul ini, anda bisa mengikuti alur berikut ini :



E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini terdiri dari:

- Pertama : Pembelahan Sel (Amitosis, Mitosis dan Meiosis)
 Kedua : Gametogenesis

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

PEMBELAHAN SEL (AMITOSIS, MITOSIS DAN MEIOSIS)

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan siswa dapat:

1. Menganalisis proses pembelahan mitosis.
2. Menganalisis proses pembelahan meiosis.
3. Membedakan proses pembelahan mitosis dengan meiosis.

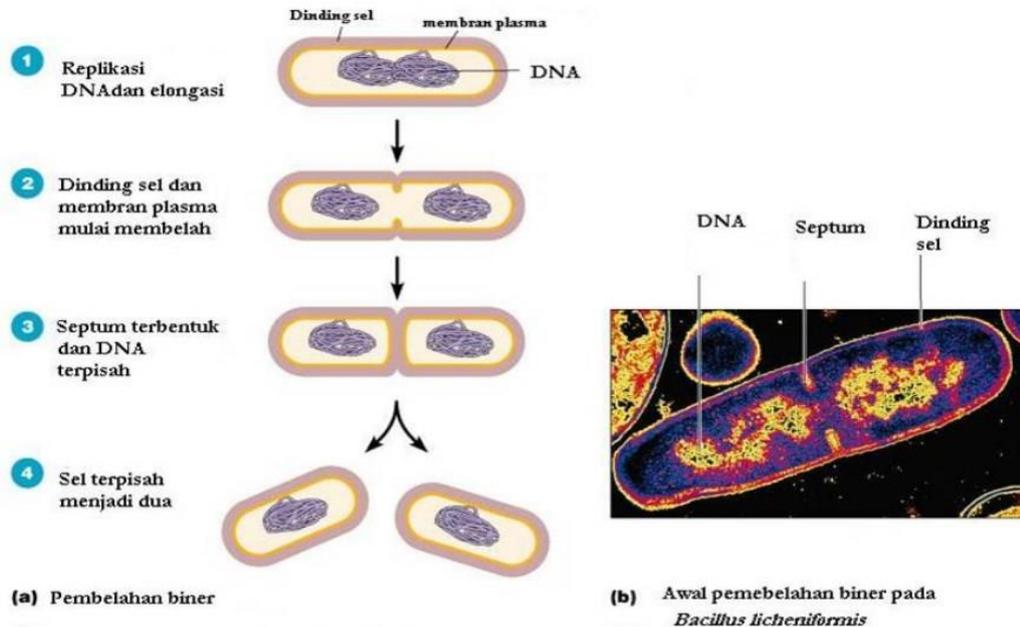
B. Uraian Materi

Kita mengenal ada tiga jenis reproduksi sel, yaitu Amitosis, Mitosis dan Meiosis (pembelahan reduksi).

a) Amitosis

Amitosis adalah reproduksi sel di mana sel membelah diri secara langsung tanpa melalui tahap – tahap pembelahan sel. Pembelahan cara ini banyak dijumpai pada sel – sel yang bersifat prokariotik, misalnya bakteri dan ganggang biru.

Perhatikan gambar tentang pembelahan amitosis berikut ini!



Gambar 1. Pembelahan sel secara Amitosis
 Sumber: <https://www.seputarpengetahuan.co.id>

b) Mitosis

Mitosis adalah cara reproduksi sel dimana sel membelah melalui tahap-tahap yang teratur, yaitu Profase-Metafase-Anafase-Telofase. Antara tahap telofase ke tahap profase berikutnya terdapat masa istirahat sel yang dinamakan Interfase (tahap ini tidak termasuk tahap pembelahan sel). Pada tahap interfase inti sel melakukan sintesis bahan-bahan inti.

Mitosis terdiri atas 4 fase yang terjadi secara berurutan yaitu:

1) Profase

Memasuki profase kromatin mengalami kondensasi membentuk kromosom. Kromosom cepat memendek dan menjadi lebih tebal. Tiap kromosom terdiri atas 2 kromatid yang dihubungkan oleh sebuah sentromer. Nukleolus dan membran inti menghilang. Akhir profase terbentuklah spindle.

2) Metafase

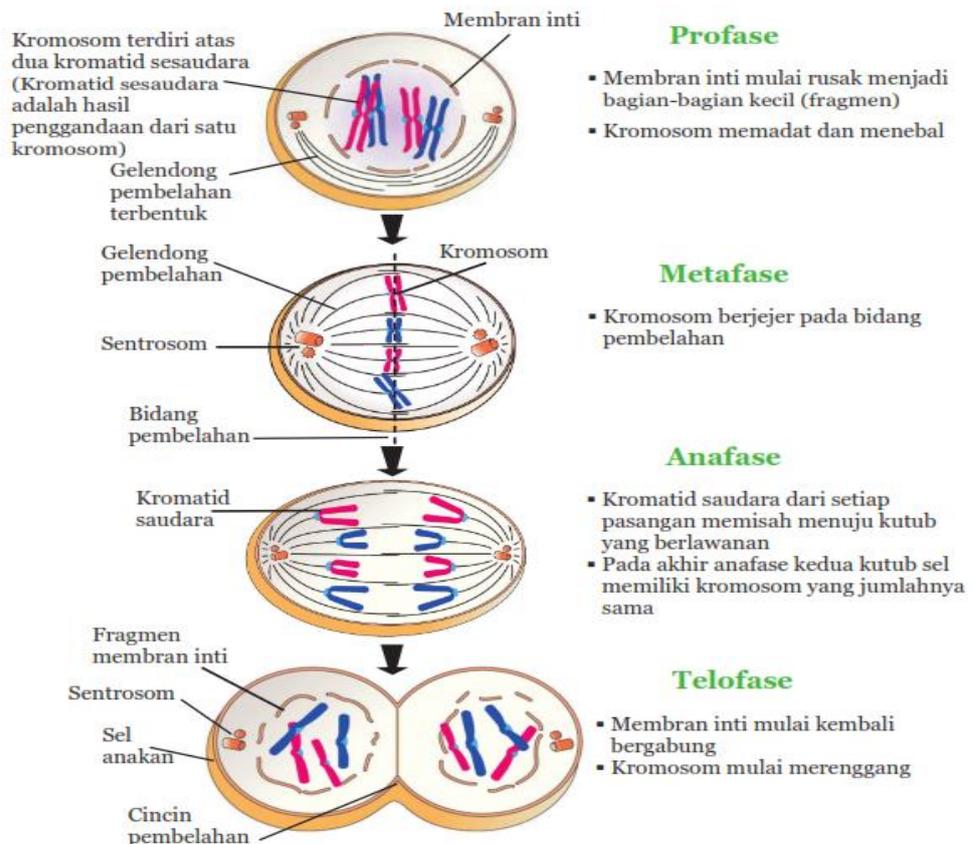
Kedua kromatid dalam satu kromosom (sering disebut kromatid kakak beradik) masih dihubungkan oleh satu sentromer dan terletak di bidang ekuator sel. kromosom berada ditengah bidang equator.

3) Anafase

Kedua kromatid memisahkan diri dan masing - masing bergerak sebagai kromosom anakan menuju kutub dari spindle yang berlawanan letaknya. Proses ini didahului oleh membelahnya sentromer menjadi dua bagian. Fase ini menyelesaikan pembagian jumlah kromosom secara kuantitatif sama ke dalam sel anakan. Kecuali itu juga berlangsung pembagian bahan genetik secara kualitatif sama.

4) Telofase

Datangnya kromosom anakan di kutub spindle merupakan tanda dimulainya telofase. Terbentuknya membran inti baru, anak inti baru dan menghilangnya spindle terjadi selama fase ini. Dengan terbentuknya dua buah inti baru, maka di tengah sel terbentuk dinding yang baru. Berlangsunglah sitokinesis (pembelahan sitoplasma).



Gambar 2. Pembelahan sel secara mitosis
 Sumber: <https://www.seputarpengertian.co.id/>

c) Meiosis

Meiosis merupakan pembelahan sel yang berlangsung dengan dua kali pembelahan yang menghasilkan empat sel anak, yang masing-masing memiliki separuh dari jumlah kromosom sel induk. Meiosis terjadi waktu pembentukan gamet-gamet saja. Pada pembelahan ini berlangsung melalui dua tahap yaitu meiosis I dan meiosis II tanpa melalui interfase. Interfase terjadi sebelum atau sesudah meiosis.

1) Meiosis I

a) Fase Profase I

Perbedaan penting antara mitosis dan meiosis terutama pada profase. Pada meiosis Profase 1 dibedakan menjadi beberapa tahap yaitu:

1. *Leptoten*

Kromatin dari inti sel induk nampak seperti benang-benang panjang yang halus dan melingkar-lingkar.

2. *Zygoten*

Benang-benang kromatin berubah bentuknya dan menjadi batang-batang kromosom. asing-masing kromosom mencari pasangannya sendiri yang sama dan sebangun atau yang serupa (*kromosom homolog*). Proses berpasangan ini disebut sinapsis.

3. *Pachyten*

Benang - benang kromosom menjadi lebih tebal dan jelas. Tiap benang tampak double. Masing - masing kromosom dari sepasang kromosom homolog terdiri dari dua kromatid. Pada profase mitosis, kromosom - kromosom terpisah dan tidak saling berhubungan. Dalam profase I meiosis, kromosom - kromosom homolog berpasangan sebagai bivalen dan inilah yang dijumpai sebagai haploid. Pachyten merupakan stadia yang sangat penting yaitu pindah silang (*crossing over*). Proses ini akan nampak jelas pada fase berikutnya.

4. *Diploten*

Fase ini ditandai dengan mulai memisahkannya kromatid - kromatid yang semula berpasangan membentuk bivalen. Memisahkannya kromatid - kromatid paling kuat terjadi pada bagian sentromer. Tetapi pada bagian-bagian tertentu dari kromosom homolog tetap berdekatan dan bagian itu disebut kiasma. Kiasma merupakan bentuk persilangan dua dari empat kromatid suatu kromosom dengan pasangan kromosom homolognya. Di tempat persilangan (*kiasma*) itu kromatid - kromatid tak serupa (*nonsister chromatids*) putus. Ujung - ujung dari kromatid yang putus tadi bersambungan secara resiprok. Proses pertukaran segmen kromatid tak serupadengan pasangan homolog beserta gen - gen yang berangkai secara resiprok ini dinamakan pindah silang. Peristiwa ini merupakan salah satu penyumbang keanekaragaman individu makhluk hidup.

5. *Diakinesis*

Terbentuk benang - benang spindel dari pergerakan dua sentriol (hasil pembelahan) ke arah kutub yang berlawanan. Diakinesis diakhiri dengan hilangnya nukleolus dan membran nukleus serta tetrad mulai bergerak ke bidang equator.

b) Fase Metafase I

Tetrad kromosom berada di bidang equator. Pada bidang equator, benang spindel (*mikrotubula*) melekatkan diri pada setiap sentromer kromosom. Ujung benang spindel yang lain membentang melekat di kedua kutub pembelahan yang berlawanan.

c) Fase Anafase I

Tiap kromosom homolog (yang berisi dua kromatid kembarannya) masing - masing ditarik oleh benang spindel menuju ke kutub yang berlawanan. Tujuan anafase I adalah membagi isi kromosom diploid menjadi haploid.

d) Fase Telofase I

Kromosom - kromosom homolog sudah mencapai kutub pembelahan.

- Sitokinesis I : setiap kromosom homolog dipisahkan oleh sekat sehingga sitokinesis menghasilkan dua sel, masing - masing berisi kromosom dengan kromatid kembarannya.
- Interkinesis : tahap di antara dua pembelahan meiosis. Tidak terjadi perbanyakan(replikasi). DNA. Hasil pembelahan meiosis I menghasilkan dua sel anakan yang haploid. Meskipun demikian perlu diingat bahwa kromosom tersebut masih berisi sepasang kromatid, yang berarti kandungan DNA nya masih rangkap (2n).

2) Meiosis II

Tujuan meiosis II membagi kedua salinan tersebut pada sel anakan baru. Pada tahap Meiosis II terjadi tahap - tahap serupa pada meiosis I.

a) Fase Profase II :

Kromatid kembar masih melekat pada tiap sentromer kromosom.

b) Fase Metafase II :

Setiap kromosom (yang berisi dua kromatid) merentang pada bidang equator. Terbentuk benang - benang spindel, satu ujung melekat pada sentromer dan ujung lain membentang menuju ke kutub pembelahan yang berlawanan.

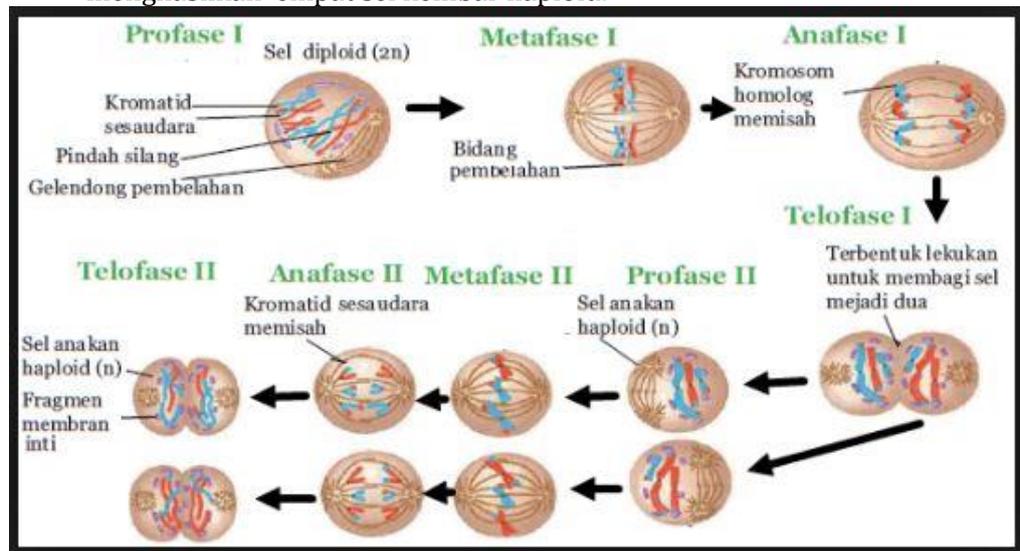
c) Anafase II :

Benang - benang spindel mulai menarik kromatid menuju ke kutub yang berlawanan.akibatnya kromosom memisahkan kedua kromatidnya dan bergerak menuju kutub yang berbeda. Kromatid yang terpisah ini kini disebut kromosom.

d) Telofase II :

Kromosom telah mencapai kutub pembelahan. Hasil akhir akan terbentuk empat inti yang mengandung setengah pasang kromosom (haploid) dan satu salinan DNA .

- Sitokinesis II : tiap inti mulai dipisahkan oleh sekat sel dan akhirnya menghasilkan empat sel kembar haploid.



Gambar 3. Pembelahan sel secara Meiosis
 Sumber: <https://www.seputarpengetahuan.co.id>

Untuk lebih jelas perbedaan antara pembelahan mitosis dan meiosis dapat dilihat pada berikut ini!

Aspek Perbedaan	Mitosis	Meiosis
1. Tempat berlangsung	Sel somatik	Sel kelamin
2. Tujuan	Pertumbuhan serta penggantian sel rusak atau mati	Pembentukan gamet
3. Kandungan genetik pada sel-sel anak	Sama dengan sel induk	Berbeda dengan sel induk
4. Jumlah sel anak	4 sel	2 sel
5. Jumlah pembelahan	Satu kali	Dua kali
6. Jumlah kromosom pada sel anak	Sama dengan sel induk (diploid)	Setengah dari sel induk (haploid)
7. Pindah silang (<i>crossing over</i>)	Tidak terjadi	Terjadi pada akhir profase I

Tabel 2. Perbedaan Pembelahan sel secara Mitosis dan meiosis
Sum<https://www.pustakabelajar.com>

C. Rangkuman

1. Pada organisme bersel satu, pembelahan sel merupakan cara perkembangbiakan sedangkan pada organisme multiseluler pembelahan merupakan cara untuk pertumbuhan.
2. Ada dua cara pembelahan sel yaitu mitosis dan meiosis. Persamaan kedua adalah tahapan - tahapan atau fase pembelahan, sedangkan perbedaannya dalam hal tujuan dan hasilnya.
3. Mitosis bertujuan untuk memperbanyak jumlah sel, berhubungan dengan pertumbuhan dan perbaikan sel - sel rusak, terjadi pada sel somatis. Hasil satu kali mitosis dari satu sel induk menghasilkan dua sel anakan yang memiliki ciri yang sama dengan induknya.
4. Meiosis bertujuan untuk mengurangi jumlah kromosom sel induk. Meiosis terjadi pada pembentukan sel kelamin
5. Tahapan mitosis : profase, metafase, anafase dan telofase.
6. Tahapan meiosis terdiri dari dua kali pembelahan yaitu meiosis I dan meiosis II.

D. Penugasan Mandiri

Buatlah bagan pembelahan mitosis dan meiosis pada kertas karton lalu berilah warna sehingga menjadi lebih menarik. Selanjutnya diskusikan dengan teman kelompokmu lalu presentasikan di depan kelas !

E. Latihan Soal

1. Interfase dalam siklus sel mempunyai peranan penting sebagai persiapan pembelahan. Identifikasikan proses yang terjadi selama interfase dan peranannya dalam pembelahan sel!
2. Pada saat pembelahan sel terjadi dua proses, yaitu kariokinesis dan sitokinesis. Apakah perbedaan antara kariokinesis dan sitokinesis?
3. Jelaskan perbedaan mitosis dengan meiosis!
4. Tuliskan tahap pada pembelahan mitosis!
5. Jelaskan ciri tahap metaphase pada mitosis!

Rubrik jawaban dan penskoran

No	Jawaban	Skor
1.	Sel - sel belum mengadakan replikasi DNA, sehingga DNA masih berjumlah 1 salinan (1c = 1 copy = salinan) dan diploid (2n) - Fase sintesis (S) : DNA dalam inti mengalami replikasi (penggandaan jumlah salinan) sehingga pada fase S akhirnya menghasilkan 2 salinan DNA dan diploid - Fase G-2 : Replikasi telah selesai, sel bersiap mengadakan pembelahan.	2
2.	Kariokinesis adalah tahap pembelahan inti sel terdiri dari empat fase yaitu profase, metafase, anafase dan telofase. Sitokinesis adalah pembelahan sitoplasma yang diikuti dengan pembentukan sekat sel yang baru. Sekat memisahkan dua inti menjadi dua sel anakan. Sitokinesis dimulai pada tahap telofase akhir.	2
3.	- Mitosis bertujuan untuk memperbanyak jumlah sel, berhubungan dengan pertumbuhan dan perbaikan sel – sel rusak, terjadi pada sel somatis. Hasil satu kali mitosis dari satu sel induk menghasilkan dua sel anakan yang memiliki ciri yang sama dengan induknya. - Meiosis bertujuan untuk mengurangi jumlah kromosom sel induk. Meiosis terjadi pada pembentukan sel kelamin.	2
4.	Tahapan mitosis : profase, metafase, anafase dan telofase.	2
5.	Kedua kromatid dalam satu kromosom (sering disebut kromatid kakak beradik) masih dihubungkan oleh satu sentromer dan terletak di bidang ekuator sel. kromosom berada ditengah bidang equator.	2
Jumlah Skor		10

Keterangan :
$$nilai\ yang\ didapat = \frac{jumlah\ skor}{10} \times 100$$

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab !

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1.	Apakah Anda dapat menjelaskan pembelahan amitosis?		
2.	Apakah Anda dapat menjelaskan tahapan pembelahan sel pada pembelahan mitosis ?		

3.	Apakah Anda dapat menjelaskan setiap tahapan pembelahan sel pada pembelahan meiosis?		
4.	Apakah Anda dapat membedakan perbedaan ciri pembelahan mitosis dan meiosis?		
5.	Apakah Anda dapat memberikan contoh dalam kehidupan yang berkaitan dengan pembelahan mitosis dan meiosis?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

GAMETOGENESIS

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan siswa dapat :
Menganalisis proses pembentukan gamet (Gametogenesis) sebagai dasar penurunan sifat dari induk kepada keturunannya.

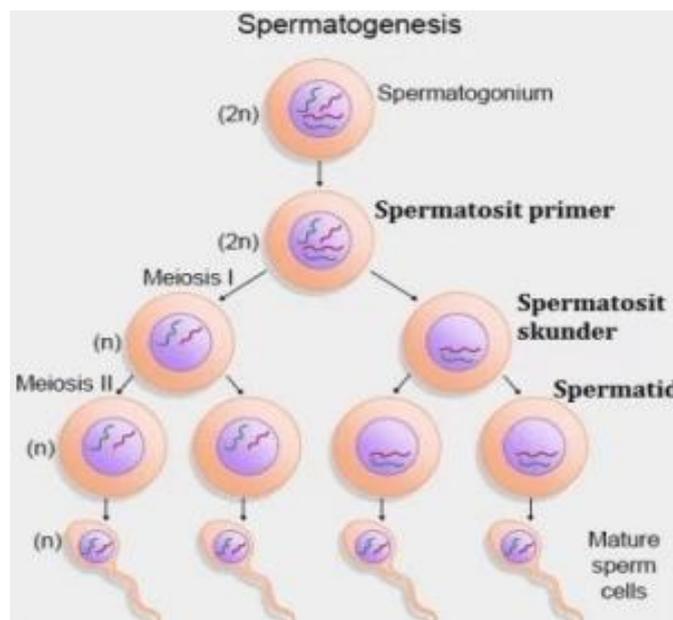
B. Uraian Materi

1. Gametogenesis pada hewan

Gametogenesis adalah perkembangan sel germinal diploid ($2n$) menjadi kelamin (ovum dan spermatozoa) haploid (n) (oogenesis dan spermatogenesis). Proses pembentukan ovum disebut Oogenesis. Sedangkan Proses pembentukan spermatozoa disebut spermatogenesis.

a. Spermatogenesis

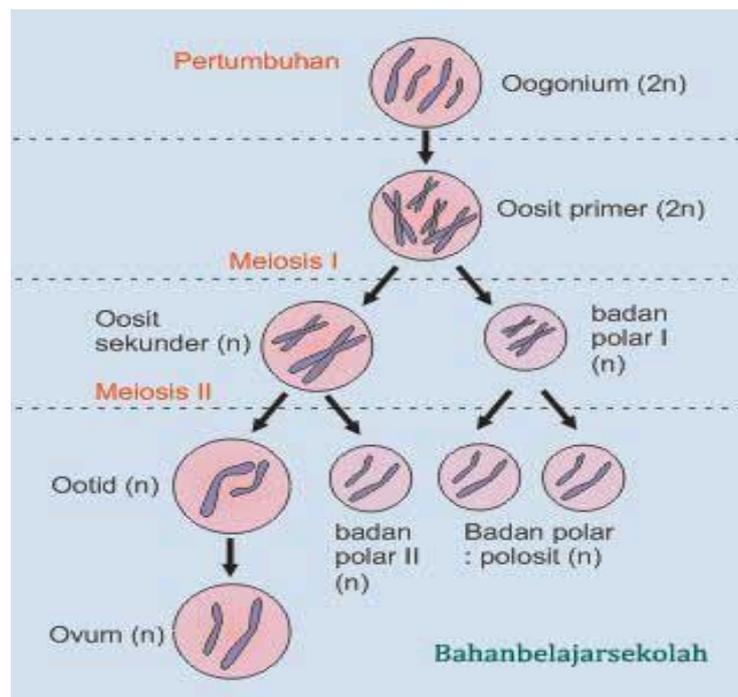
Spermatogenesis adalah proses dimana sel-sel germinal primer laki-laki mengalami pembelahan dan menghasilkan jumlah sel disebut **spermatogonium**, yang darinya spermatisit primer berasal. Setiap spermatisit primer membelah menjadi dua spermatisit sekunder, dan masing-masing spermatisit sekunder spermatid menjadi dua atau spermatozoa muda. Ini berkembang menjadi spermatozoa matang, juga dikenal sebagai sel sperma. Oleh karena itu, spermatisit primer menimbulkan dua sel, spermatisit sekunder, dan dua spermatisit sekunder dengan subdivisi mereka menghasilkan empat spermatozoa. Spermatozoa adalah gamet jantan matang dalam banyak organisme bereproduksi secara seksual.



Gambar 4. Spermatogenesis
Sumber: <https://hisham.id>

b. Oogenesis

Oogenesis adalah proses pembentukan sel telur. sel induk telur (oogonium) menjadi besar sebelum membelah secara meiosis. Sel ini disebut oosit primer. Berbeda dengan spermatogenesis, sel oosit primer jauh lebih besar karena mengandung komponen sitoplasmik lebih banyak. Dua oosit sekunder (hasil pembelahan meiosis I) berbeda ukuran dan fungsi. Satu oosit sekunder memiliki ukuran yang lebih besar akan melakukan meiosis II dan menghasilkan satu sel telur yang fungsional dan satu badan kutub yang berdegenerasi. Satu sel oosit sekunder lain yang berukuran lebih kecil (badan kutub pertama) juga mengalami degenerasi (mati). Dengan demikian oogenesis menghasilkan empat sel haploid, tetapi hanya satu sel yang fungsional menjadi sel telur dan tiga badan polar yang berdegenerasi.



Gambar 5. Spermatogenesis

Sumber: <https://hisham.id>

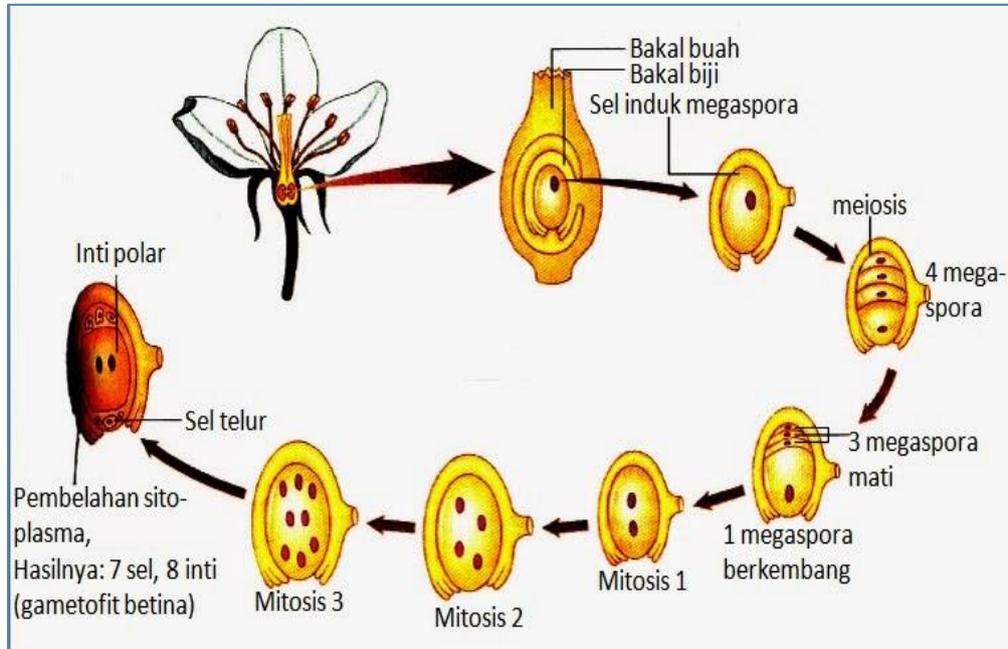
2. Gametogenesis pada Tumbuhan

Mikrosporogenesis dimulai dari sel induk mikrospora yang membelah melalui meiosis I dan meiosis II, serta menghasilkan empat mikrospora yang dinamakan tetrad (karena keempat mikrospora menempel menjadi satu). Masing-masing mikrospora akan berkecambah terpisah satu sama lain menjadi butir serbuk sari (polen). Pada tiap serbuk sari, intinya mengadakan pembelahan mitosis menjadi inti vegetatif dan inti generatif. Pada tumbuhan Angiospermae (berbiji tertutup), inti generatif membelah sekali lagi membentuk dua inti generatif setelah terjadi penyerbukan. Gametofit jantan yang lengkap terjadi saat serbuk sari berkecambah, yaitu mengandung satu inti vegetatif dan dua inti generatif. Kedua inti generatif inilah yang siap membuahi sel-sel gamet betina.

a. Megasporogenesis

Gametogenesis pada alat kelamin betina dinamakan megasporogenesis. Megasporogenesis merupakan proses pembentukan megaspora. Proses megasporogenesis dimulai dari pembelahan meiosis I dan meiosis II sel induk megaspora diploid, menghasilkan empat sel megaspora yang haploid. Pada

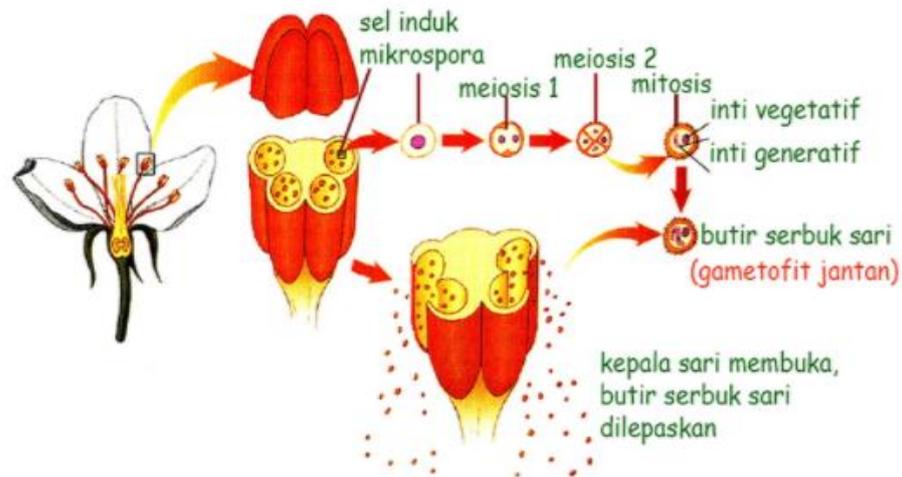
tumbuhan Angiospermae hanya satu megaspora saja yang fungsional, sedangkan tiga lainnya mengalami degenerasi. Selanjutnya satu sel megaspora yang haploid mengalami tiga kali pembelahan mitosis berturut-turut menghasilkan 8 sel megaspora di dalam gametofit betina. Delapan sel tersebut selanjutnya tersusun menjadi tiga sel antipoda, dua inti kutub, satu sel telur (ovum), dan dua sel sinergid.



Gambar 6. Megasporogenesis
 Sumber : <https://www.edubio.info>

b. Mikrosporogenesis

Mikrosporogenesis merupakan proses pembentukan gamet jantan. Terjadi di dalam kepala sari. Di dalam kepala sari, terdapat kantung serbuk sari yang di dalamnya ada berbagai sel-sel induk serbuk sari (mikrospora) yang diploid. Supaya *nggak* bingung, perhatikan *deh* gambar di bawah ini.



Gambar 7. Mikrosporogenesis
 Sumber : <https://www.edubio.info>

Tahapan pembentukan mikrosporogenesis secara lengkap adalah sebagai berikut:

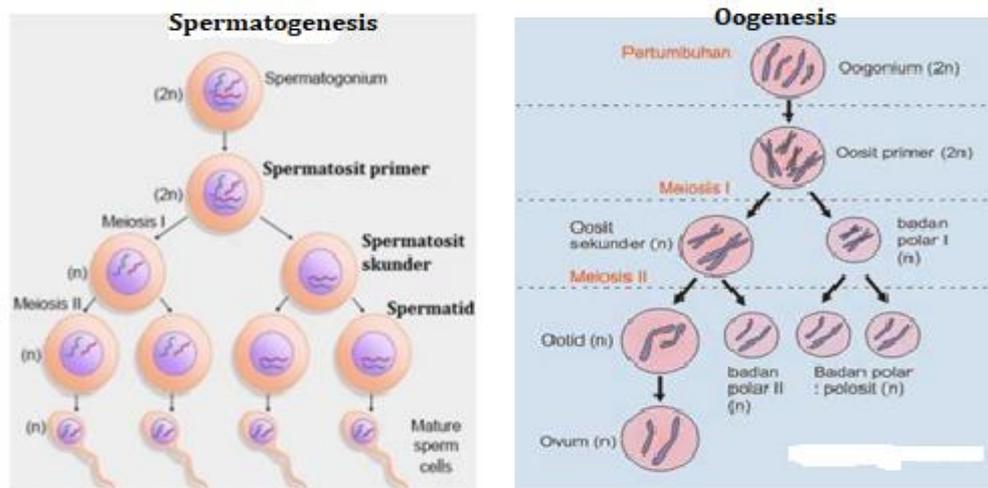
- 1) Sel induk mikrospora melakukan pembelahan meiosis I dan menghasilkan sepasang sel haploid.
- 2) Sepasang sel haploid membelah meiosis II menghasilkan 4 mikrospora haploid yang berkelompok menjadi satu (tetrad).
- 3) Setiap mikrospora mengalami pembelahan kariokinesis sehingga menghasilkan 2 inti haploid. Yaitu inti vegetatif (inti saluran serbuk sari) dan inti generatif.
- 4) Inti generatif membelah secara mitosis sehingga membentuk dua inti sperma yang dikenal dengan inti generatif I dan inti generatif II.

C. Rangkuman

1. Gametogenesis adalah proses pembentukan gamet yang mencakup peristiwa pembelahan meiosis I dan meiosis II, diikuti dengan pemasakan sel haploid menjadi sel gamet.
2. Gametogenesis pada hewan jantan disebut dengan spermatogenesis. Spermatogenesis menghasilkan empat sperma yang haploid. Gametogenesis pada hewan betina disebut oogenesis. Oogenesis menghasilkan satu ovum yang bersifat haploid dan fertil serta tiga badan kutub polar yang steril.
3. Gametogenesis pada tumbuhan tingkat tinggi terbagi menjadi mikrosporogenesis untuk tumbuhan jantan dan megasporogenesis pada tumbuhan betina. Mikrosporogenesis menghasilkan empat mikrospora yang haploid yang selanjutnya 2 mikrospora berfusi menjadi intivegetatif dan 2 mikrospora menjadi inti generatif 1 dan inti generatif 2. Megasporogenesis menghasilkan delapan megaspora yang haploid yang selanjutnya menjadi 3 inti antipoda, 2 inti melebur menjadi inti kandung lembaga sekunder, dan 2 inti sinergida, dan 1 inti ovum.

D. Penugasan Mandiri

Amati gambar di bawah ini, selanjutnya jawablah pertanyaannya dengan benar!



Apakah perbedaan proses oogenesis dan spermatogenesis ?

E. Latihan Soal

1. Jelaskan pengertian gametogenesis ?
2. Di manakah tempat terjadinya gametogenesis pada Pria? Berapakah sel gamet yang dihasilkan pada proses spermatogenesis?
3. Apakah perbedaan proses oogenesis dan spermatogenesis?
4. Jelaskan apakah yang dimaksud dengan Mikrosporogenesis

Rubrik jawaban dan penskoran

No.	Jawaban	Skor
1.	Gametogenesis adalah perkembangan sel germinal diploid (2n) menjadi kelamin (ovum dan spermatozoa) haploid (n) (oogenesis dan spermatogenesis).	2
2.	a. alat kelamin jantan (testis)	1
	b. empat sel sperma yang fungsional	1
3.	- Spermatogenesis adalah proses dimana sel- germinal primer laki-laki mengalami pembelahan dan menghasilkan jumlah sel disebut spermatogonium, yang darinya spermatosit primer berasal. - Oogenesis adalah proses pembentukan sel telur.sel induk telur (oogonium) menjadi besar sebelum membelah secara meiosis.	4
4.	Mikrosporogenesis adalah proses pembentukan mikrospora atau serbuk sari.	2
Jumlah Skor		10

Keterangan : $nilai\ yang\ didapat = \frac{jumlah\ skor}{10} \times 100$

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab !

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1.	Apakah Anda dapat menganalisis proses spermatogenesis ?		
2.	Apakah Anda dapat menganalisis proses oogenesis ?		
3.	Apakah Anda dapat membedakan spermatogenesis dengan oogenesis ?		
4.	Apakah Anda dapat menganalisis pembentukan mikrosporogenesis dan makrosporogenesis ?		
5.	Apakah Anda dapat membedakan hasil akhir pada mikrosporogenesis dan megasporogenesis?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

EVALUASI

1. Pernyataan berikut ada hubungannya dengan pembelahan sel:
 - 1) Terjadi pada sel tubuh
 - 2) Jumlah kromosom sel anak separuh dari sel induk
 - 3) Jumlah kromosom anak sama dengan kromosom induk
 - 4) Terjadi dalam pembentukan sel kelamin
 - 5) Pembelahan berlangsung 2 kaliCiri khas mitosis adalah....
 - A. 1 dan 2
 - B. 1 dan 3
 - C. 2 dan 5
 - D. 3 dan 4
 - E. 3 dan 5
2. Berikut ini adalah ciri - ciri yang ditunjukkan pada saat sel membelah :
 - 1) Kromosom mengganda
 - 2) Membran nukleus menghilang
 - 3) Benang spindel terbentuk
 - 4) Membran inti terbentuk
 - 5) Kromosom menuju kutub
 - 6) Sentriol menuju kutub
 - 7) Kromosom berjajar di kutub equatorManakah hubungan yang tepat antara fase pembelahan sel dan ciri - cirinya ?
 - A. Profase, 2 dan 6
 - B. Metafase, 5 dan 6
 - C. Anafase, 5 dan 6
 - D. Profase, 1 dan 7
 - E. Telofase, 1 dan 4
3. Seorang siswa mengamati sel ujung akar bawang merah yang sedang aktif membelah. Siswa menemukan sebuah sel yang kromosomnya menebal, membran intinya tidak tampak, memiliki dua sentriol yang tampak menuju kutub yang berbeda. Keadaan ini menunjukkan bahwa sel sedang dalam proses pembelahan pada fase
 - A. Interfase
 - B. profase
 - C. telophase
 - D. anafase
 - E. metaphase
4. Pernyataan yang benar tentang pembelahan meiosis adalah
 - A. menghasilkan empat sel anak dengan kromosom tereduksi
 - B. menghasilkan dua sel anak dengan kromosom diploid
 - C. sel induk haploid dan sel anak diploid
 - D. kromosom terbentuk pada tahap telofase
 - E. tidak terjadi perubahan - perubahan pada inti sel
5. Metafase II pembelahan meiosis ditandai dengan
 - A. kromosom homolog berpisah menuju kutub masing - masing
 - B. pemisahan kromatid saudara
 - C. kromosom homolog berjajar di bidang equator
 - D. kromatid sister berjajar di bidang equator

- E. benang - benang spindel melekat pada sentromer kromosom homolog
6. Meiosis yang terjadi pada tumbuhan jagung dapat diamati pada proses
- perpanjangan pada ujung batang dan pembentukan biji
 - pembentukan biji dan perpanjangan ujung akar
 - perpanjangan ujung akar dan pembentukan tepung sari
 - pembentukan biji dan pembentukan tepung sari
 - perpanjangan ujung akar dan perpanjangan ujung batang.
7. Pada tumbuhan, pembelahan reduksi terjadi pada
- lingkaran kambium
 - Alat berkembang biak
 - Pucuk batang
 - Jaringan meristem
 - ujung akar
8. Spermatogenesis pada hewan jantan berlangsung dalam tahapan seperti di bawah ini
Berdiferensiasi menjadi spermatosit primer
- Epitel germinal tubulus seminiferus membelah secara mitosis menjadi
 - spermatogonium
 - Membelah secara meiosis menjadi spermatosit sekunder
 - Mengalami pematangan menjadi spermatozoa
 - Membelah secara meiosis menjadi spermatid
- Urutan tahapan yang menggambarkan peristiwa spermatogenesis yang benar adalah
- 1 - 3 - 2 - 5 - 4
 - 1 - 3 - 5 - 2 - 4
 - 2 - 1 - 3 - 5 - 4
 - 2 - 1 - 5 - 3 - 4
 - 5 - 1 - 3 - 2 - 4
9. Dari pernyataan berikut ini, manakah yang paling benar mengenai gametogenesis pada manusia?
- Spermatogenesis terjadi di tubulus seminiferus sejak janin dalam kandungan
 - Sel gamet yang dihasilkan merupakan sel - sel diploid
 - Pada proses oogenesis dihasilkan 4 sel telur yang fungsional
 - Pada proses oogenesis dihasilkan 1 buah sel telur yang fungsional dan 3 badan polar
 - Spermatogenesis menghasilkan 3 sel yang fungsional dan 1 sel yang steril
10. Sel - sel yang mengalami meiosis dalam tubulus seminiferous pada proses spermatogenesis adalah
- spermatid
 - spermatogonium
 - spermatozoa
 - spermatosit primer
 - spermatosit sekunder

KUNCI JAWABAN DAN PEDOMAN PENILAIAN

Nomor soal	Kunci jawaban	Nomor soal	Kunci jawaban
1.	B	6.	D
2.	C	7.	B
3.	E	8.	C
4.	A	9.	D
5.	C	10.	B

Setiap jawaban benar diberi skor = 1

Keterangan : $nilai\ yang\ didapat = \frac{jumlah\ skor}{10} \times 100$

DAFTAR PUSTAKA

Endah Sulistiyowati,dkk. 2016. *Buku Siswa : Biologi untuk SMA/MA kelas XII*, Klaten : Intan Pariwara

Cambell, Neil. 2012. *Biologi Edisi 8 jilid 1*.Jakarta : Erlangga.

D.A. Pratiwi,dkk. 2013. *Biologi untuk SMA kelas XII*. Jakarta : Erlangga

Dyah Aryulina.2007.*Biologi 3 untuk SMA/MA untuk kelas XII*. Jakarta : Esis

Elrod,Susan L dan William D Stansfield.2007.*Genetika*.Jakarta : Erlangga



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

BIOLOGI



KELAS
XII



PEWARISAN SIFAT MAKHLUK HIDUP
BIOLOGI
XII

PENYUSUN
Elvi Julianida Daulay, S.Pd, M.Si
SMA Negeri 1 Sunggal

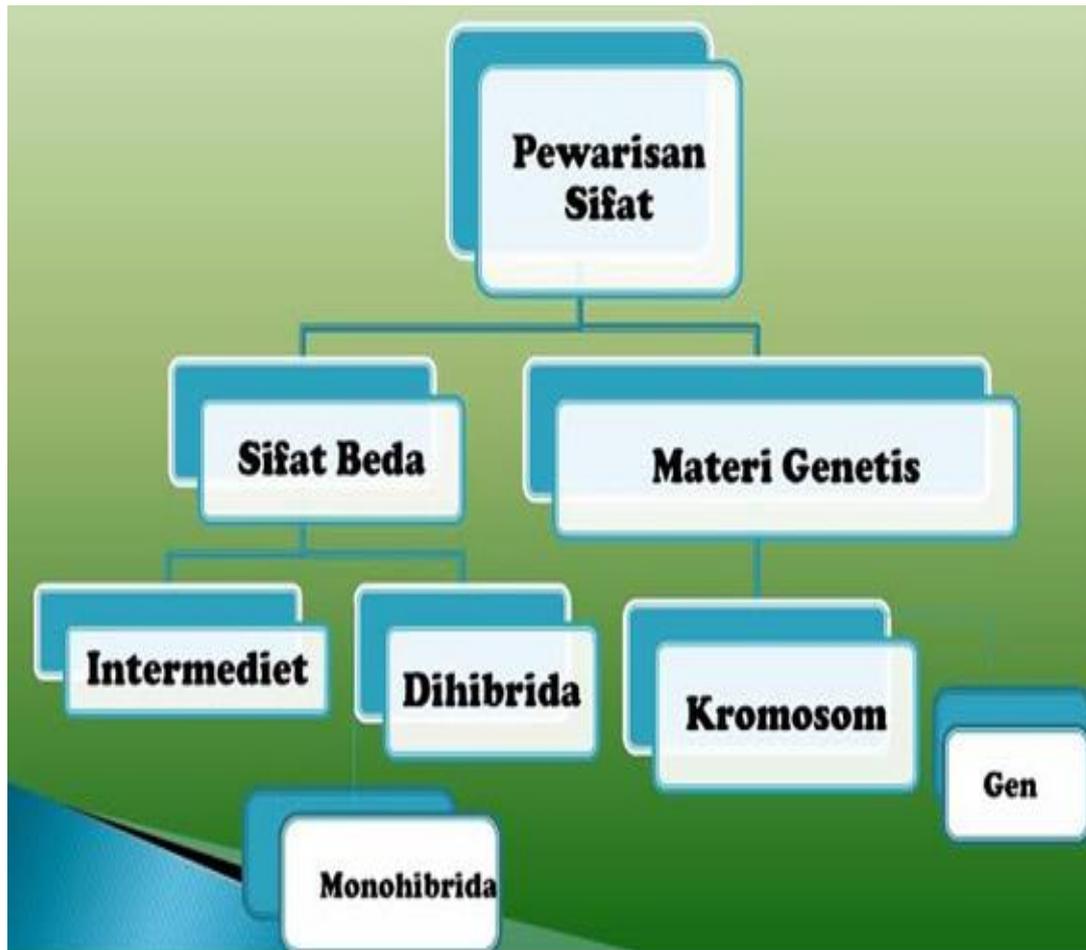
DAFTAR ISI

PENYUSUN	2
DAFTAR ISI	3
GLOSARIUM	4
PETA KONSEP.....	5
PENDAHULUAN.....	6
A. Identitas Modul	6
B. Kompetensi Dasar.....	6
C. Deskripsi Singkat Materi	6
D. Petunjuk Penggunaan Modul.....	7
E. Materi Pembelajaran	8
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	9
PEWARISAN SIFAT MAKHLUK HIDUP	9
A. Tujuan Pembelajaran	9
B. Uraian Materi.....	9
C. Rangkuman	18
D. Penugasan Mandiri	18
E. Latihan Soal	19
F. Penilaian Diri.....	20
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	22
PENERAPAN HUKUM MENDEL DI BIDANG PERTANIAN DAN PETERNAKAN	22
A. Tujuan Pembelajaran	22
B. Uraian Materi.....	22
C. Rangkuman	29
D. Latihan Soal	29
E. Penilaian Diri	32
EVALUASI	34
DAFTAR PUSTAKA	37

GLOSARIUM

Alel	: Bentuk alternatif gen tunggal
Autosom	: Kromosom biasa, tidak berperan dalam penentuan jenis kelamin.
Fenotipe	: Bentuk organisme yang dapat diamati merefleksikan pengaruh genetik dan lingkungan.
Gamet	: Sel haploid (sperma dan ovum) yang bersatu pada fertilisasi membentuk zigot.
Gen dominan	: Gen yang mengekspresikan dirinya dalam fenotipe ketika dipasangkan dengan gen dominan lainnya maupun gen resesif
Gen resesif	: Gen yang terekspresikan pada fenotipe ketika berpasangan dengan gen resesif lainnya tetapi tidak dengan gen dominan.
Genotipe	: Susunan gen yang dimiliki individu.
Heterozigot	: Zigot dengan dua alel yang berbeda untuk ciri tertentu.
Homozigot	: Zigot dengan alel yang identik untuk ciri tertentu.
Kodominan	: Alel yang tidak seluruhnya dapat menutupi ekspresi alel resesif.
Gen intermediet	: Gen yang pengaruhnya sama kuat dengan alelnya.
Hibrid	: Individu atau keturunan hasil persilangan induk dengan susunan gen berbeda.
Filial	: Keturunan yang diperoleh sebagai hasil dari perkawinan parental. Keturunan pertama disingkat F1, keturunan kedua disingkat F2, keturunan ketiga disingkat F3, dan seterusnya.

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: Biologi
Kelas	: XII
Alokasi Waktu	: 4 JP
Judul Modul	: Pewarisan Sifat Makhluk Hidup

B. Kompetensi Dasar

- 3.5 Menerapkan prinsip pewarisan sifat makhluk hidup menurut hukum Mendel.
- 4.5 Menyajikan hasil penerapan hukum Mendel dalam perhitungan peluang dari persilangan makhluk hidup di bidang pertanian dan peternakan.

C. Deskripsi Singkat Materi

Cermati gambar warna kulit yang berbeda padahal mereka bersaudara.



Gambar 1 : Albinisme

<https://www.alodokter.com/albinisme>

Bagaimana hal ini bisa terjadi, dua saudara dengan karakter yang sangat berbeda, mungkinkah bisa terjadi di keluarga kalian ?

Beberapa penyakit pada manusia dapat diturunkan kepada anak-anaknya (keturunannya), sebenarnya tidak hanya penyakit atau kelainan saja yang diturunkan kepada keturunannya. Dan ini dapat terjadi juga pada semua makhluk hidup sehingga dapat diaplikasikan untuk mendapatkan tanaman atau ternak dengan jenis unggul untuk meningkatkan kesejahteraan hidup manusia. Perhatikan gambar di bawah ini!



Gambar 2 : skema Pewarisan Sifat

Gambar tersebut menunjukkan kepada kita tentang pewarisan sifat dari orang tua kepada keturunannya dan setiap orang tua/induk akan mewariskan sifatnya melalui kromosom.

Coba anda bandingkan wajah anda, bentuk mata, bibir, hidung, warna mata, postur tubuh dengan kedua orang tua anda, adakah kemiripan anda dengan keduanya juga saudara-saudara anda ? Memang sifat-sifat kedua orang tua akan diturunkan kepada anak-anaknya. Tetapi kalau anda perhatikan lagi dalam keluarga anda adakah dua orang anggota keluarga yang memiliki sifat/ penampilan yang persis sama?

Sifat yang dimiliki oleh seorang anak merupakan gabungan dari sifat kedua orang tuanya. Sifat yang ada pada diri anda merupakan sifat dari kedua orang tua anda. Pernahkah anda mendengar pepatah “air cucuran atap jatuhnya ke pelimbahan juga“. Dalam bahasa Inggris dikenal pepatah like father like son. Apakah sifat yang terdapat pada hewan atau tumbuhan juga merupakan turunan dari induknya? Bagaimana sifat-sifat itu diturunkan?

D. Petunjuk Penggunaan Modul

1. Petunjuk Umum :

1. Modul ini bertujuan agar kamu dapat belajar secara mandiri dan tidak tergantung pada pihak lain.
2. Baca terlebih dahulu bagian pendahuluan agar kamu memperoleh gambaran tentang isi modul dan cara mempelajarinya.
3. Setiap kegiatan pembelajaran dilengkapi dengan tujuan, uraian materi, rangkuman, latihan soal dan refleksi.
4. Pada akhir modul terdapat Tes Akhir Modul.
5. Kerjakan latihan soal yang tersedia disetiap kegiatan pembelajaran dan di bagian akhir modul untuk mengetahui sejauh mana penguasaanmu terhadap isi modul.
6. Kunci jawaban dan pedoman penskoran tersedia pada bagian akhir modul. Gunakan keduanya untuk mengukur tingkat penguasaanmu terhadap isi modul.

2. Petunjuk Khusus :

1. Modul ini terbagi ke dalam dua kegiatan pembelajaran. (I) Pewarisan sifat menurut hukum Mendel; (II) Penerapan hukum Mendel .
2. Pelajari modul secara berurutan, karena materi di dalam modul ini sudah disusun secara hierarkis.
3. Bacalah seluruh materi yang ada dalam modul ini secara utuh agar memiliki pemahaman yang baik tentang materi yang dipelajari.
4. Kerjakan semua tugas atau latihan yang ada dalam modul sesuai dengan petunjuk yang disediakan
5. Jika dalam mempelajari modul ini kalian menemukan hal-hal yang belum bisa dipahami, silahkan berkomunikasi dengan orang-orang di sekeliling kalian yang menurut pandangan kalian memiliki kemampuan untuk menjelaskan atau kalian mencari informasi di berbagai literatur dan media.

E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini terdiri dari:

Pertama : Prinsip Pewarisan Sifat Makhluk Hidup Berdasarkan Hukum Mendel

Kedua : Penerapan Hukum Mendel di Bidang Pertanian dan Peternakan

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 PEWARISAN SIFAT MAKHLUK HIDUP

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat menemukan perbandingan hukum Mendel dengan menggunakan probabilitas pada persilangan monohibrida dan dihidrida.

B. Uraian Materi

Prinsip Pewarisan Sifat Makhluk Hidup Berdasarkan Hukum Mendel

Penurunan sifat dari induk kepada keturunannya dikenal sebagai hereditas. Pewarisan sifat induk kepada keturunannya melalui gamet dengan mengikuti aturan-aturan tertentu. Orang pertama yang meneliti tentang penurunan sifat yaitu Gregor Johann Mendel. Mendel adalah tokoh genetika yang diakui sebagai penemu hukum-hukum hereditas atau pewarisan sifat menurun.



Gambar 3 : Gregor Johan Mendel

Sumber: Campbell, et al.2009

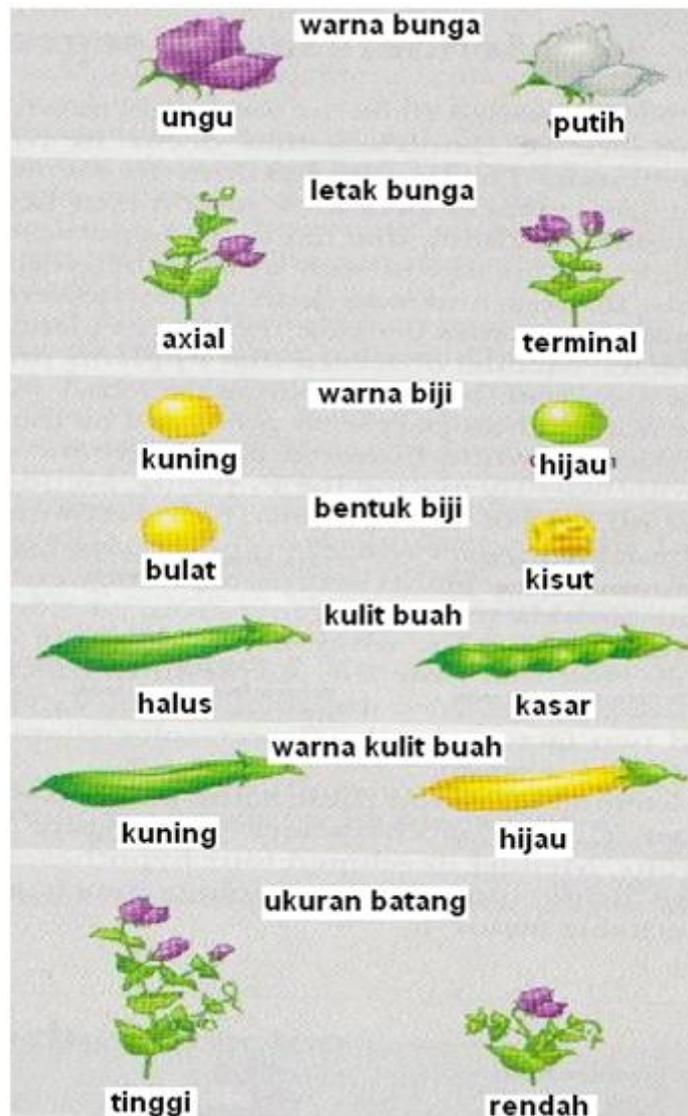
Memang sebelum maupun sesudah Mendel, banyak tokoh-tokoh yang berbicara tentang teori hukum-hukum pewarisan sifat menurun, antara lain sebagai berikut :

1. *Teori Darah*; mengatakan bahwa sifat keturunan dibawa oleh darah. Teori ini gugur setelah ditemukannya peristiwa transfusi darah, sebab orang yang menerima tambahan darah ternyata sifatnya tidak berubah seperti sifat donornya.
2. *Teori Preformasi*; menyatakan adanya makhluk hidup kecil di dalam gamet sebagai calon individu baru.
3. *Teori Epigenesis*; (teori ini mengkritik teori preformasi) menyatakan bahwa sel telur yang telah dibuahi oleh sperma akan mengadakan pertumbuhan sedikit demi sedikit.
4. *Teori Pangenesis*; menyatakan bahwa setelah ovum dibuahi oleh sperma maka dalam sel kelamin terdapat tunas-tunas yang tumbuh menjadi makhluk hidup baru.

5. *Teori Haeckel*; menyatakan bahwa yang bertanggung jawab atas sifat keturunan adalah substansi inti dari sperma.

Untuk membuktikan kebenaran teorinya, Gregor Johan Mendel telah melakukan eksperimen dengan membastarkan tanaman-tanaman yang memiliki sifat beda. Tanaman yang dipilih adalah tanaman kacang ercis (*Pisum sativum*), karena memiliki kelebihan-kelebihan sebagai berikut :

1. mudah melakukan penyerbukan silang
2. mudah didapat
3. mudah hidup dan dipelihara
4. cepat berbuah atau berumur pendek
5. terdapat jenis-jenis dengan sifat beda yang menyolok, seperti terlihat pada gambar.



Gambar 4 : Tanaman Kapri dengan perbedaan sifat yang mencolok

Sumber : Campbell, et al.2009

Penggunaan kacang ercis juga membuat Mendel dapat melakukan control yang ketat berkenaan dengan tanaman mana yang saja yang akan disilangkan. Organ kelamin dari tanaman kacang ercis terdapat pada bunganya dan setiap bungan kacang ercis

mempunyai sekaligus organ kelamin jantan (benang sari) dan organ kelamin betina (putik). Biasanya tanaman ini melakukan fertilisasi sendiri (serbuk sari jatuh pada putik bunga yang sama). Untuk penelitian ini Mendel melakukan penyerbukan silang dengan karakter-karakter yang bervariasi dengan pendekatan apakah karakter itu “ada atau tidak ada” dan bukan dengan apakah karakter itu “lebih banyak atau lebih sedikit”. Sebagai contoh tanaman Mendel mempunyai bunga ungu saja atau putih saja, tidak ada karakter antara kedua varietas tersebut.

Mendel juga memastikan dia memulai percobaannya dengan varietas galur murni, yang berarti ketika tanaman melakukan penyerbukan sendiri semua keturunannya akan mempunyai variasi yang sama. Contohnya tanaman yang berbunga ungu akan menghasilkan keturunan yang semuanya berbunga ungu. Dan untuk selanjutnya Mendel melakukan percobaan dengan melakukan penyerbukan silang terhadap dua varietas ercis bergalur murni yang sifatnya kontras, contoh tanaman berbunga ungu dengan tanaman yang berbunga putih. Perkawinan atau persilangan dua varietas ini disebut hibridisasi.

Berdasarkan teori Mendel, jika kita membastarkan jenis mangga bergalur murni yang sifat buahnya besar dan rasanya masam dengan jenis mangga lain bergalur murni yang sifat buahnya kecil dan rasanya manis, akan kita peroleh jenis mangga hibrida (hasil) pembastaran dengan sifat buah yang besar dan rasanya manis, dengan sifat besar dominan terhadap kecil dan sifat manis dominan terhadap masam. Untuk mengetahui bahwa suatu tanaman bergalur murni atau tidak dapat dilakukan dengan penyerbukan sendiri. Bila bergalur murni akan selalu menurunkan keturunan yang sifatnya sama dengan sifat induknya, meski dilakukan penyerbukan berulang kali dalam beberapa generasi.

Pada perkawinan induk jantan dengan induk betina disebut parental dan disimbolkan dengan huruf P (capital). Hasil persilangan parental atau keturunannya disebut anak (filial) dan diberi simbol dengan huruf F (capital). Persilangan induk galur murni dengan galur murni disebut P1 dan filialnya disebut F1. Persilangan induk jantan F1 dengan induk betina F1 secara acak disebut P2 dan filialnya disebut F2 dan seterusnya. Galur murni selalu bergenotif homozigot dan disimbolkan dengan huruf yang sama, huruf capital semua atau huruf kecil semua, misalnya AA untuk sifat dominan atau aa untuk sifat resesif.

Genotif adalah sifat yang tidak tampak yang ditentukan oleh pasangan gen atau susunan gen dalam individu yang menentukan sifat yang tampak. Sifat yang tampak dari luar atau sifat keturunan yang dapat kita amati sebagai ekspresi dari susunan gen (genotif) disebut dengan fenotif. Menurut Stern, genotif dan faktor lingkungan dapat mempengaruhi fenotif. Dengan demikian, dua genotif yang sama dapat menunjukkan fenotif yang berbeda apabila lingkungan bagi kedua genotif tersebut berbeda. Genotif BB dan RR pada contoh di atas kita sebut genotif homozigot dominan, sedangkan bb dan rr adalah homozigot resesif. Huruf B (huruf kapital) dengan b (huruf kecil) atau R dengan r merupakan pasangan gen atau alel. Menurut letaknya, alel adalah gen-gen yang terletak pada lokus yang bersesuaian dari kromosom homolog. Sedangkan jika dilihat dari pengaruh fenotif, alel ialah anggota dari sepasang gen yang memiliki pengaruh yang berlawanan. Jadi, B dan R bukan alelnya demikian pula b dan r juga bukan alelnya.

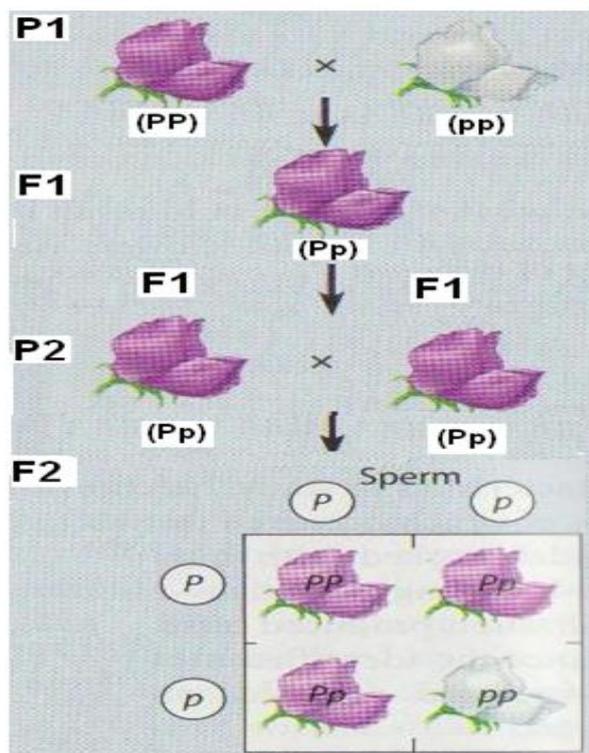
Jika genotif suatu individu suatu individu terdiri dari pasangan alel yang tidak sama, disebut genotif heterozigot (*hetero*: lain; *zigot*: hasil perleburan gamet jantan dan gamet betina). Sedangkan jika genotif terdiri dari pasangan alel yang sama disebut homozigot.

Perlu dipahami bahwa symbol-simbol huruf BB, bb, RR, rr dan sebagainya yang kita sebut genotif dengan fenotif bulat dan kisut, lurus dan tidak lurus ini adalah merupakan suatu perjanjian yang kita sepakati bersama (konvensi bersama). Beberapa konvensi lain yang perlu kita kenal dan ketahui antara lain adalah :

- Sifat gen-gen dominan (yang bersifat kuat sehingga menutupi ekspresi / pengaruh gen alelnya) disimbolkan huruf besar, sedangkan pengaruh gen yang tertutup (alelnya) disebut resesif dan disimbolkan dengan huruf kecil dari huruf yang sama untuk gen dominannya.
- Sifat dominan dari dua genotif yang berbeda dapat mempunyai fenotif yang sama. Akan tetapi untuk genotif kisut selalu bb, demikian juga untuk rambut tidak lurus selalu rr. Jadi fenotif sifat resesif selalu bergenotif homozigot; berarti pula selalu bergalur murni

a. Persilangan Monohibrida

Monohibrid atau monohibridisasi adalah suatu persilangan / pembastaran dengan satu sifat beda. Monohibrid pada percobaan Mendel adalah persilangan antara ercis berbunga ungu dengan ercis berbunga putih. Untuk mengetahui bahwa suatu gen bersifat dominan maka harus dilakukan monohibridisasi antara individu yang memiliki sifat gen tersebut dengan sifat kontrasnya (alelnya) yang sama-sama bergalur murni. Jika fenotif F1 sama dengan sifat gen yang diuji tadi, berarti sifat itulah yang dominan. Perhatikan diagram persilangan monohibrid antara ercis berbunga ungu dengan ercis berbunga putih berikut ini :



Gambar 5: Persilangan Monohibrida
 Sumber : Campbell, et al.2009

Fenotif	Genotif	Jumlah genotif	Perbandingan fenotif
Bunga Ungu	PP	1	3
Bunga Ungu	Pp	2	1
Bunga Putih	pp	1	

Jika kita amati pada pembentukan gamet dari tanaman heterozigot (F1) ternyata ada pemisahan alel, sehingga ada gamet dengan alel P dan ada gamet dengan alel p. Prinsip pembentukan gamet pada genotif induk yang heterozigot dengan pemisahan alel tersebut dikenal dengan Hukum Mendel I yang disebut Hukum Segregasi (pemisahan) secara bebas (*The Law of Segregation of Allelic Genes*).

Cara mencari macam dan jumlah gamet, dapat diperhatikan pada tabel di bawah ini!

Tabel 1. Cara mencari macam dan jumlah gamet

No.	Genotif induk	Cara mencarinya	Jumlah dan macam gamet
1	Aa (monohibrida)	Aa $\left\{ \begin{array}{l} A \\ a \end{array} \right.$	2 macam A dan a
2	AaBb (dihibrida)	AaBb $\left\{ \begin{array}{l} A \left\{ \begin{array}{l} B - AB \\ b - Ab \end{array} \right. \\ a \left\{ \begin{array}{l} B - aB \\ b - ab \end{array} \right. \end{array} \right.$	4 macam AB Ab aB ab
3	AaBbCc (trihibrida)	AaBbCc $\left\{ \begin{array}{l} A \left\{ \begin{array}{l} B \left\{ \begin{array}{l} C - ABC \\ c - ABc \end{array} \right. \\ b \left\{ \begin{array}{l} C - AbC \\ c - Abc \end{array} \right. \end{array} \right. \\ a \left\{ \begin{array}{l} B \left\{ \begin{array}{l} C - aBC \\ c - aBc \end{array} \right. \\ b \left\{ \begin{array}{l} C - abC \\ c - abc \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right.$	8 macam ABC ABc AbC Abc aBC aBc abC abc
4	AaBBcc	AaBBcc $\left\{ \begin{array}{l} A - B \left\{ \begin{array}{l} C - ABC \\ c - ABc \end{array} \right. \\ a - B \left\{ \begin{array}{l} C - aBC \\ c - aBc \end{array} \right. \end{array} \right.$	4 macam ABC ABc aBC aBc

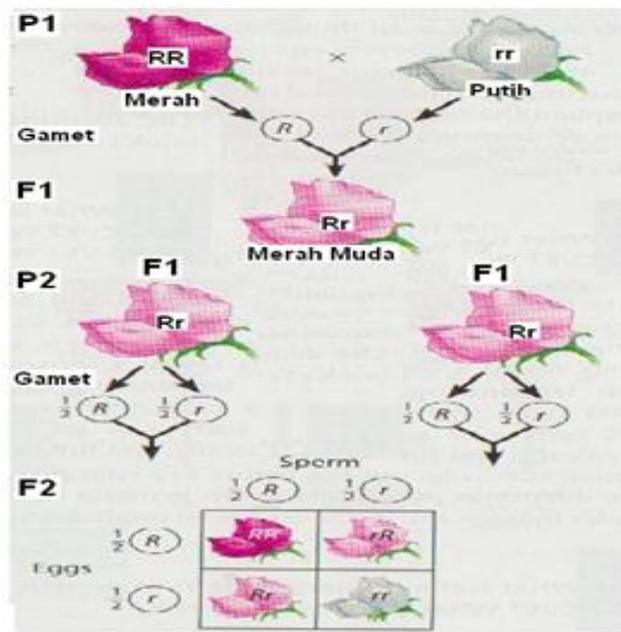
Dari data yang diperoleh dalam percobaan-percobaannya, Mendel menyusun hipotesis dalam menerangkan hukum-hukum hereditas sebagai berikut :

1. Tiap karakter /sifat dari organisme hidup dikendalikan oleh sepasang factor keturunan, satu dari induk betina dan lainnya dari induk jantan
2. Tiap pasangan factor keturunan menunjukkan bentuk alternatif sesamanya, misalnya ungu atau putih, bulat atau kisut dan lainnya. Kedua bentuk alternatif disebut dengan alel
3. Satu dari pasangan alel bersifat dominan atau menutupi alel yang resesif bila keduanya bersama-sama.
4. Pada pembentukan sel kelamin (gamet), terjadi peristiwa meiosis, pasangan factor keturunan kemudian memisah. Setiap gamet menerima salah satu faktor dari pasangan itu. Kemudian pada proses fertilisasi, factor-faktor ini akan berpasang-pasangan secara bebas.
5. Individu dengan galur murni mempunyai dua alel yang sama, dominan semua atau resesif semua.
6. Semua individu pada F1 adalah sama / seragam
7. Jika dominasi tampak sepenuhnya, maka individu F1 memiliki fenotif seperti induknya yang domina.

8. Jika dominansi tampak sepenuhnya, maka perkawinan monohybrid (Pp X Pp) menghasilkan keturunan yang memperlihatkan perbandingan fenotif 3 : 1 , yaitu $\frac{3}{4}$ berbunga ungu dan $\frac{1}{4}$ berbunga putih dan memperlihatkan perbandingan genotif 1 : 2 : 1, yaitu $\frac{1}{4}$ TT : $\frac{2}{4}$ Tt : $\frac{1}{4}$ tt

b. Persilangan Intermediet

Jika sifat gen dominan tidak penuh (intermediet), maka fenotif individu F1 tidak seperti salah satu fenotif induk galur murni, melainkan mempunyai sifat fenotif diantara kedua induknya. Demikian pula perbandingan fenotif F2 nya tidak 3 : 1, melainkan 1 : 2 : 1, sama dengan perbandingan genotif F2 nya. Coba perhatikan diagram persilangan monohybrid diantara *Mirabillis jalapa* merah galur murni dengan genotif MM dengan tanaman *Mirabillis jalapa* berbunga putih galur murni dengan genotif mm berikut ini!



Gambar 6: Persilangan Intermediet

Sumber : Campbell, et al.2009

c. Persilangan Dhibrida:

Dhibrida atau dihibridisasi ialah suatu persilangan (pembastaran) dengan dua sifat beda. Untuk membuktikan Hukum Mendel II dengan prinsip berpasangan secara bebas, Mendel melakukan eksperimen dengan membastarkan tanaman *Pisum sativum* bergalur murni dengan dua sifat beda yang diamati, yaitu biji bulat berwarna kuning dengan galur murni biji kisut berwarna hijau. Gen R (bulat) dominan terhadap gen r (kisut) dan Y (kuning) dominant terhadap y (hijau). Untuk jelasnya coba perhatikan skema persilangan di bawah ini!

P : RRYy x rryy
(bulat kuning) (kisut hijau)

Gamet : RY ry

F₁ : RrYy
(bulat kuning)

F₂ : RrYy x RrYy

Tabel 2. Persilangan RrYy x RrYy

	RY	Ry	rY	ry
RY	RRYY 1)	RRYy 2)	RrYY 3)	RrYy 4)
Ry	RRYy 5)	RRyy 6)	RtYy 7)	Rryy 8)
rY	RrYY 9)	RrYy 10)	rrYY 11)	rrYy 12)
ry	RrYy 13)	Rryy 14)	rrYy 15)	Rryy 16)

Fenotif pada F₂ :

- Biji bulat, endosperm berwarna kuning nomor 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 13
- Biji bulat, endosperm berwarna hijau nomor 6, 8, 14
- Biji kisut, endosperm berwarna kuning nomor 11, 12, 15
- Biji kisut, endosperm berwarna hijau nomor 1

Rasio genotif :

“RRYY : RrYY (9 genotif)
 1 : 2 : 2 : 4 : 1 : 2 : 1 : 2 : 1

Rasio fenotif :

“Bulat Kuning : Bulat Hijau : Kisut Kuning : Kisut Hijau (4 genotif)
 9 : 3 : 3 : 1

Tabel 3. Perbandingan genotif dan fenotif pada dihibrida F₂

No.	Genotif	Fenotif	Perbandingan genotif	Perbandingan fenotif
1	RRYY	Bulat kuning	1	9
	RrYY	Bulat kuning	2	
	RRYy	Bulat kuning	2	
	RrYy	Bulat kuning	4	
2	RRyy	Bulat hijau	1	3
	Rryy	Bulat hijau	2	
3	rrYY	Kisut kuning	1	3
	rrYy	Kisut kuning	2	
4	rryy	Kisut hijau	1	1

Dalam membuat perhitungan itu Mendel menganggap bahwa gen-gen pembawa kedua sifat itu berpisah secara bebas terhadap sesamanya sewaktu terjadi pembentukan gamet. Hukum Mendel II ini disebut juga Hukum *Pengelompokan Gen Secara Bebas* (*The Law Independent Assortment of Genes*). Jadi pada dihibrida BbKk, misalnya :

- gen R mengelompok dengan Y = gamet RY
- gen R mengelompok dengan y = gamet Ry
- gen r mengelompok dengan Y = gamet rY
- gen r mengelompok dengan y = gamet ry

Angka-angka perbandingan fenotif F₂ monohibrida =3:1; sedangkan perbandingan fenotif F₂ pada dihibrida =9:3:3:1, akan tetapi dalam kenyataannya perbandingan yang diperoleh tidak persis seperti angka perbandingan tersebut, melainkan mendekati perbandingan 3:1 atau 9:3:3:1.

Misalnya :

- Pada monohibrida diperoleh perbandingan
 - berbunga ungu : 787 = 2,84 = 3
 - berbunga putih : 277 = 1 =1
 Angka tersebut menunjukkan perbandingan 3 : 1

- Pada dihibrida diperoleh perbandingan
 - bulat kuning : 315 tanaman
 - bulat hijau : 101 tanaman
 - kisut kuning : 108 tanaman
 - kisut hijau : 32 tanaman
 Angka-angka tersebut menunjukkan perbandingan yang mendekati 9 : 3 : 3 : 1

d. Persilangan Dihibrida Intermediet

Pada dihibridisasi intermediet (dominansi tidak penuh), perbandingan fenotif tidak sama dengan salah satu induknya melainkan mempunyai sifat di antara kedua gen dominant dan gen resesif, seperti persilangan tanaman bunga kelopak lebar warna merah (LLMM) dengan bunga kelopak sempit warna putih (llmm) pada diagram di bawah ini !

Tabel 4. Perbandingan Genotif dan Fenotif F2 pada Persilangan Dihibrida Dominansi Tidak Penuh.

Fenotif	Genotif	Perbandingan	
		Genotif	Fenotif
Lebar, merah	LLMM	1	1
Lebar, merah muda	LLMm	2	2
Lebar, putih	LLmm	1	1
Sedang, merah	LlMM	2	2
Sedang, merah muda	LlMm	4	4
Sedang, putih	Llmm	2	2
Sempit, merah	llMM	1	1
Sempit, merah muda	llMm	2	2
Sempit, putih	llmm	1	1

Jika prinsip-prinsip Mendel tersebut kita jadikan 4 prinsip, maka dapat kita simpulkan sebagai berikut :

1. *Prinsip hereditas* ; menyatakan bahwa pewarisan sifat-sifat organisme dikendalikan oleh factor menurun (gen). Setiap individu yang berkembang dari zigot merupakan hasil dari peleburan gamet-gamet, yaitu gamet jantan (spermma) dengan gamet betina (ovum). Melalui gamet-gamet inilah informasi genetik dari kedua orang tua (induk) diturunkan kepada keturunannya. Informasi genetic ini merupakan struktur nyata, yaitu gen yang terkandung dalam kromosom.
2. *Prinsip segregasi bebas* ; pada pembentukan gamet, pasangan gen memisah secara bebas sehingga tiap gamet mendapatkan salah satu gen dari pasangan gen (alel) yang memisah.
3. *Prinsip berpasangan secara bebas* ; pada proses pembuahan (fertilisasi), gen-gen dari gamet jantan maupun gen-gen dari gamet betina akan berpasangan secara bebas.
4. *Prinsip dominansi penuh atau tidak penuh (intermediet)*; fenotif (pengaruh) gen dominant akan terlihat menutupi pengaruh gen resesif. Sedangkan pada prinsip dominansi tidak penuh, fenotif gen pada individu heterozigot berada diantara pengaruh kedua alel gen yang menyusunnya.

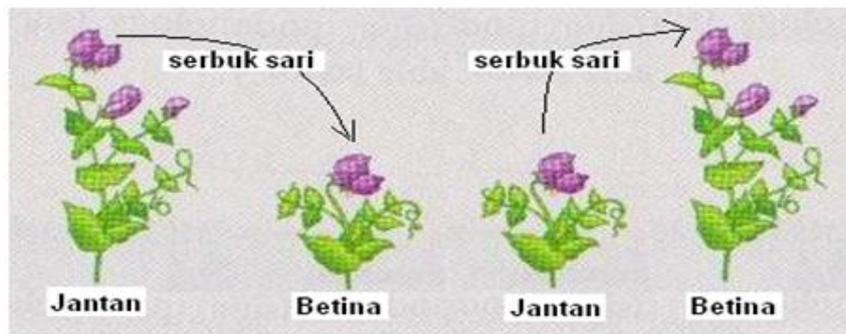
Tabel 5. Hubungan Antara Banyaknya Sifat Beda, Jumlah Gamet, Kombinasi Genotif dan Fenotif pada F2-nya.

Sifat beda	Macam gamet dari F1	Kombinasi dalam F2	Fenotif F2	Kombinasi sama F2	Kombinasi homozigot	Kombinasi baru yang homozigot	Macam genotif dalam F2
1	2	4	2	2	2	0	3
2	4	16	4	4	4	2	9
3	8	64	8	8	8	6	27
4	16	256	16	16	16	14	81
n	2 ⁿ	(2 ⁿ) ²	2 ⁿ	2 ⁿ	2 ⁿ	2 ⁿ -2	3 ⁿ

Tabel tersebut menunjukkan hubungan antara banyaknya sifat beda dengan perbandingan fenotif F2 dan macam fenotif dengan metode *segitiga pascal*.

e. Persilangan Resiprok (Persilangan Tukar Kelamin)

Prinsip-prinsip Mendel tersebut mudah dibuktikan bila diadakan perkawinan (persilangan resiprok). Persilangan resiprok adalah persilangan ulang dimana gamet jantan dan gamet betina dipertukarkan, sehingga menghasilkan keturunan yang sama.



Gambar 7 : Persilangan resiprok

f. Backcross dan Testcross

Backcross (silang balik) adalah perkawinan antara individu F1 dengan salah satu induknya yang dominan, dan gamet dari parental kemungkinannya hanya satu macam. Sehingga analisa sifat genetik dari suatu karakter yang sedang diamati menjadi lebih mudah. Perhatikan skema persilangan backcross berikut:

P?	X	?
Genotif	BB		bb
Fenotif	(bulat)		(kisut)
Gamet	B		b
F		Bb	
		(bulat)	
Backcross			
P?	X	?
Genotif	Bb		BB
Fenotif	(bulat)		(Bulat)
Gamet	B, b		b
F			
	?	B	b
	B	BB	Bb
		(bulat)	(bulat)
Hasil backcross 100 % bulat			

Testcross (uji silang) adalah persilangan antara suatu individu yang tidak diketahui genotifnya dengan induk yang homozigot resesif dan dapat dilakukan dengan individu yang bukan induknya dengan syarat individu tersebut genotifnya homozigot resesif. Perhatikan persilangan testcross di bawah ini!

P	?	X	?
Genotif	__?__		bb
Fenotif	(bulat)		(kisut)
Hasil persilangan ada dua kemungkinan, yaitu :			
<ul style="list-style-type: none"> • Jika dihasilkan 100 % bulat maka individu yang belum diketahui genotifnya adalah homozigot dominan • Jika dihasilkan 50 % bulat dan 50 % maka individu yang belum diketahui genotifnya adalah heterozigot 			

C. Rangkuman

1. Orang pertama yang meneliti tentang penurunan sifat yaitu Gregor Johann Mendel. Mendel adalah tokoh genetika yang diakui sebagai penemu hukum-hukum hereditas atau pewarisan sifat menurun.
2. Gregor Johan Mendel telah melakukan eksperimen dengan membastarkan tanaman-tanaman yang memiliki sifat beda. Tanaman yang dipilih adalah tanaman kacang ercis (*Pisum sativum*), karena memiliki kelebihan-kelebihan sebagai berikut :
 - a. mudah melakukan penyerbukan silang
 - b. mudah didapat
 - c. mudah hidup dan dipelihara
 - d. cepat berbuah atau berumur pendek
 - e. terdapat jenis-jenis dengan sifat beda yang menyolok
3. Persilangan Monohibrid atau monohibridisasi adalah suatu persilangan/ pembastaran dengan satu sifat beda.
4. Persilangan Intermediet, merupakan Jika sifat gen dominant tidak penuh (intermediet), maka fenotif individu F1 tidak seperti salah satu fenotif induk galur murni, melainkan mempunyai sifat fenotif diantara kedua induknya.
5. Dihibrida atau dihibridisasi ialah suatu persilangan (pembastaran) dengan dua sifat beda.
6. Dihibridisasi intermediet (dominansi tidak penuh) merupakan perbandingan fenotif tidak sama dengan salah satu induknya melainkan mempunyai sifat di antara kedua gen dominant dan gen resesif.

D. Penugasan Mandiri

Perhatikan dan identifikasi anggota keluarga masing-masing berdasarkan ciri yang disajikan pada tabel berikut.

No	Anggota keluarga	Bentuk hidung	Warna bola mata	Bentuk wajah	Bentuk rambut	Warna kulit	Tebal alis

E. Latihan Soal

1. Alasan Mendel menggunakan tanaman ercis sebagai bahan penelitian adalah...
 - A. Keturunan sedikit
 - B. Memiliki perbedaan sifat yang mencolok
 - C. Sulit disilangkan
 - D. Memiliki viabilitas yang rendah
 - E. Memiliki vitalitas yang rendah
2. Bunga merah muda disilangkan dengan bunga putih semua fenotif anaknya merah muda, jika bunga merah muda heterozigot disilangkan sesamanya. Kemungkinan akan diperoleh keturunan
 - A. 100% fenotifnya merah muda
 - B. Merah : Putih = 3 : 1
 - C. Merah Muda : Putih = 3 : 1
 - D. Merah Muda : putih = 2 : 2
 - E. Merah : merah Muda : putih = 1 : 2 : 1
3. Ada tanaman kacang gen B (biji bulat) dominan terhadap b (biji kisut). Agar didapatkan fenotif kacang biji bulat : biji kisut = 3:1 pada keturunan berikutnya, maka genotif parentalnya adalah ...
 - A. Bb x BB
 - B. Bb x bb
 - C. Bb x Bb
 - D. BB x bb
 - E. BB x BB
4. Individu dengan genotif AABBCcDd jika melakukan melakukan pembelahan meiosis macam kombinasi gamet yang terbentuk adalah
 - A. 2
 - B. 4
 - C. 6
 - D. 8
 - E. 16
5. Kucing berambut hitam disilangkan dengan kucing berambut putih semua keturunannya berambut kelabu, jika kucing kelabu disilangkan sesamanya prosentase kemungkinan keturunannya yang berambut hitam adalah
 - A. 12,5%
 - B. 25%
 - C. 50%
 - D. 75%
 - E. 100%

Kunci jawaban, pembahasan, dan pedoman penilaian

No.	Kunci Jawaban	Pembahasan	Skor
1.	B	Alasan Mendel menggunakan tanaman ercis sebagai bahan penelitian adalah 1. mudah melakukan penyerbukan silang 2. mudah di dapat 3. mudah hidup dan dipelihara 4. cepat berbuah atau berumur pendek 5. terdapat jenis-jenis dengan sifat beda yang mencolok	2
2	B	P Mm x Mm G M,m M,m F1 MM = Merah Mm = Merah muda Mm = Merah muda Mm = putih Fenotif = Merah : Merah Muda : putih 1 : 2 : 1	2
3	C	P Bb x Bb G B,b B,b F1 BB = Biji bulat Bb = Biji bulat Bb = Biji bulat bb = Biji kisut Biji Bulat : Biji kisut 3 : 1	2
4	B	Jumlah gamet AABBCcDd ada 4 Karena ada 2 sifat beda sehingga 2^n , n merupakan sifat beda.	2
5	C	P Hh x Hh G H,h H,h F1 HH = Hitam Hh = kelabu Hh = kelabu hh = putih rasio fenotif = Hitam : Kelabu : putih 1 : 2 : 1 25% : 50% : 25%	2

Keterangan : $\text{nilai yang didapat} = \frac{\text{jumlah skor}}{10} \times 100$

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1.	Apakah Anda telah memahami prinsip pewarisan sifat makhluk hidup berdasarkan hukum Mendel?		
2.	Apakah Anda telah mengidentifikasi persilangan Monohibrida?		

3.	Apakah Anda telah menganalisis persilangan Intermediet?		
4.	Apakah Anda telah menganalisis persilangan Dihibrida?		
5.	Apakah Anda telah menganalisis persilangan Dihibrida Intermediet?		
6.	Apakah Anda telah menganalisis persilangan resiprok?		
7.	Apakah Anda telah mengetahui Backcross dan testcross?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

PENERAPAN HUKUM MENDEL DI BIDANG PERTANIAN DAN PETERNAKAN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan dapat menerapkan prinsip-prinsip pewarisan sifat menurut hukum Mendel pada bidang pertanian dan peternakan.

B. Uraian Materi

Penerapan Hukum Mendel di Bidang Pertanian dan Peternakan

1. Teknik Perbaikan Mutu Tanaman dan Ternak

Hewan dan tumbuhan unggul memiliki kelebihan dalam hal-hal tertentu seperti produksi tinggi, tahan terhadap penyakit, rasa enak, berbuah cepat dan sebagainya. Hewan dan tumbuhan yang memiliki kelebihan itulah yang disebut bibit unggul.

Pengenalan mengenai konsep gen dan pewarisan telah membantu manusia dalam melakukan perbaikan mutu genetik untuk memperoleh sifat unggul tanaman dan hewan budidaya sifat-sifat unggul pada tanaman misalnya untuk tanaman pangan dengan karakter cepat panen, siklus hidup pendek, panen berhasil tinggi, serta tahan terhadap serangan hama dan penyakit. Sifat-sifat unggul pada hewan misalnya sapi dengan keunggulan dapat menghasilkan daging, susu dan lemak susu yang banyak; ayam dengan keunggulan banyak bertelur dan cepat gemuk; serta pada kuda dengan keunggulan dapat berlari cepat.

Untuk pemuliaan tanaman maupun hewan, peranan penelitian untuk memperoleh bibit unggul sangat penting. Pemuliaan tanaman dan hewan adalah suatu metode yang secara sistematis merakit keragaman genetik menjadi suatu bentuk yang bermanfaat bagi manusia. Dalam pemuliaan tanaman dan hewan diperlukan faktor-faktor berikut ini, yaitu:

- a. adanya keragaman genetik.
- b. sistem-sistem logis dalam pemindahan dan fiksasi gen.
- c. konsepsi dan tujuan yang jelas .
- d. mekanisme penyebarluasan kepada masyarakat.

Melalui prinsip-prinsip genetika, manusia berusaha agar sifat-sifat yang baik yang dimiliki oleh tumbuhan atau hewan dikumpulkan pada satu keturunan sehingga diperoleh jenis unggul. Perbaikan mutu genetik pada tanaman dan hewan dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu: seleksi, penyilangan/hibridisasi, dan mutasi buatan.

a. Seleksi

Salah satu cara untuk mendapatkan tanaman dan hewan jenis unggul adalah seleksi, yaitu memilih/menyeleksi berbagai varietas tanaman dan hewan yang ada. Banyak varietas tanaman dan hewan yang berguna bagi manusia diperoleh dari proses menyeleksi (memilih/menyortir), karena variasi memang sudah ada diantara anggota spesies yang sama. Sudah sejak ribuan tahun yang lalu manusia berulang kali memilih sifat-sifat yang diinginkan dari tiap generasi tanaman dan hewan. Gen-gen yang bersifat unggul tentunya akan diwariskan kepada anaknya sehingga diperoleh tanaman atau hewan yang dibudidayakan berkualitas tinggi.

Seleksi pada tanaman misalnya seleksi terhadap berbagai varietas padi, gandum dan kentang yang memperluhatkan sifat tahan terhadap hama atau menghasilkan panen/ produksi tinggi. Seleksi pada hewan misalnya pada sapi hereford yang dapat menghasilkan kualitas dan kuantita daging yang baik.

b. Penyilangan (hibridisasi)

Hibridisasi atau penyilangan merupakan perkawinan diantara dua individu tanaman atau hewan yang berasal dari spesies yang sama tetapi berbeda varietasnya/ sifat genetiknya.

c. Mutasi Buatan

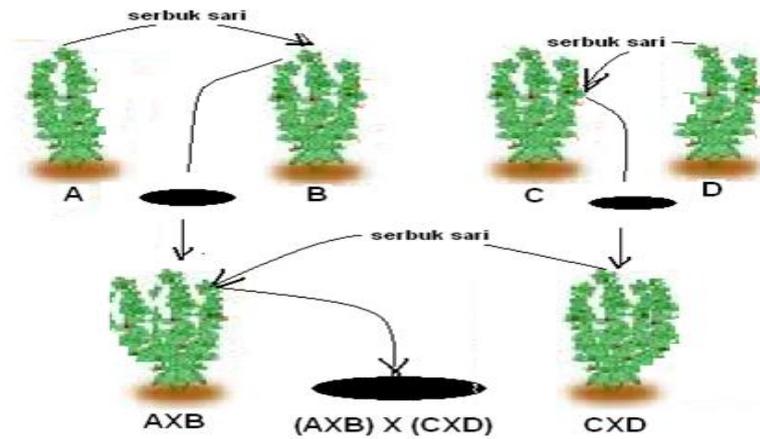
Selain dengan seleksi dan penyilangan, untuk memperoleh jenis unggul dapat juga dilakukan melalui mutasi buatan. Mutasi buatan merupakan perubahan susunan atau jumlah materi genetik / DNA (mutasi gen) atau kromosom (mutasi kromosom) pada sel-sel tubuh makhluk hidup, yang dilakukan dengan sengaja oleh manusia. Mutasi buatan dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu radiasi sinar radioaktif (radioisotop) misalnya sinar X, alpha, beta, dan gamma atau dengan snyawa kimia berupa kolkisin.

Mutasi buatan paling banyak dilakukan pada tanaman, misalnya tomat, anggur, jambu, semangka, kubis (kol) dan sebagainya. Mutasi buatan dengan radiasi sinar gamma pada biji-biji tanaman padi dan palawija yang dilakukan oleh BATAN (Badan Tenaga Atom Naional) telah menghasilkan padi Atomita I dan Atomita II yang berumur pendek, produksi tinggi dan tahan terhadap serangan hama wereng, contoh lainnya kedelai muria.

Mutasi buatan dengan perendaman biji-biji tanaman perkebunan dan pertanian dalam zat kolkisin akan menghasilkan tanaman poliploid, yaitu tanaman yang kromosomnya menjadi lebih banyak (lebih dari $2n$). Melalui mutasi buatan ini buah yang dihasilkan besar-besar dan tanpa biji. Dipandang dari tanaman itu sendiri tanaman poliploid tidak menguntungkan karena gagal membentuk alat generatif. Untuk itu pada tanaman poliploid harus dilakukan pembibitan secara terus menerus.

2. Penerapan Hukum Mendel Bidang Pertanian

Hewan dan tumbuhan unggul memiliki kelebihan dalam hal-hal tertentu seperti produksi tinggi, tahan terhadap penyakit, rasa enak, berbuah cepat dan sebagainya. Hewan dan tumbuhan yang memiliki kelebihan itulah yang disebut bibit unggul. Penerapan hukum Mendel di bidang pertanian bertujuan untuk memperoleh bibit unggul, misalnya tanaman yang produksinya tinggi, cepat berbuah, buahnya besar, rasanya enak, tahan terhadap hama, tahan terhadap kekeringan dan sebagainya. Penyilangan pada tanaman misalnya penyilangan ganda pada jagung yang menghasilkan jagung super. Perhatikan gambar di bawah ini !



Gambar 8. Penyilangan ganda pada tanaman untuk menghasilkan tanaman super

Ataupun penyilangan pada bunga, contohnya penyilangan bunga A yang mempunyai karakter warna merah (MM), bunga mekar seragam (GG), namun ukuran bunga kecil (ss), dan jumlah bunga sedikit (nn), dengan bunga B yang mempunyai karakter warna putih (mm), bunga mekar tidak seragam (gg), namun ukuran bunga besar (SS) dan jumlah bunga banyak (NN). Hasil penyilangan adalah bunga hibrid dengan semua sifat dominan dan hibrid merupakan heterozigot. Oleh karena hibrid merupakan heterozigot dan bukan merupakan galur murni, maka untuk mendapatkan hibrid F1 yang sama perlu dilakukan penyilangan secara terus menerus dengan menggunakan parental yang sama. Bila ingin memperoleh galur murni maka hibrid F1 disilang kembali dengan sesamanya. Melalui penyilangan yang berulang-ulang galur murni dengan karakter yang diinginkan. contoh lain adalah kelapa hibrida yang merupakan varietas kelapa unggul hasil persilangan antara varietas kelapa dalam dengan kelapa genyah. Karakter kelapa hibrida perpaduan karakteristik unggul yang dimiliki oleh varietas kelapa dalam dan varietas kelapa genyah.

Karakteristik	Kelapa Dalam	Kelapa Genyah	Kelapa Hibrida
Produksi buah (butir/pohon/tahun)	90	140	140
Produksi kopra pada umur tahun (ton/ha/tahun)	1,0	0,5	6,0 – 7,0
Daging buah	Tebal dan keras	Tebal dan keras	Tebal dan keras
Kadar minyak daging buah	Tinggi	Rendah	Tinggi
Ketahanan terhadap penyakit	Kurang peka	Peka	Kurang peka

Contoh persilangan Hukum Mendel dengan mengambil karakteristik dari masing-masing varietas kelapa tersebut untuk mendapatkan kelapa hibrida yang bersifat unggul

P1	Ttmm		X	ttMM	
	(produksi tinggi-minyak rendah)			(produksi rendah-minyak tinggi)	
G	Tm			tM	
F1	TtMm				
	(produksi tinggi-minyak tinggi)				
P2	TtMm		X	TtMm	
	(produksi tinggi-minyak tinggi)			(produksi tinggi-minyak tinggi)	
G	TM, Tm, tM, tm			TM, Tm, tM, tm	
F2		TM	Tm	tM	tm
	TM	TTMM	TTMm	TtMM	TtMm
	Tm	TTMm	TTmm	TtMm	Ttmm
	tM	TtMM	TtMm	ttMM	ttMm
	tm	TtMm	Ttmm	ttMm	ttmm

Berdasarkan tabel persilangan dapat diketahui munculnya karakteristik dari persilangan tersebut adalah :

- > kelapa dengan karakteristik produksi tinggi-minyak tinggi = 9/16
- > kelapa dengan karakteristik produksi tinggi-minyak rendah = 3/16
- > kelapa dengan karakteristik produksi rendah-minyak tinggi = 3/16
- > kelapa dengan karakteristik produksi rendah-minyak rendah = 1/16

Berdasarkan hasil persilangan dua varietas kelapa dengan karakter yang berbeda dapat disimpulkan bahwa peluang munculnya kelapa dengan sifat yang unggul adalah 9/16. Pemuliaan tanaman memiliki peranan yang cukup penting dalam kehidupan sehari-hari dengan menggunakan berbagai macam jenis unggul dari tanaman dalam meningkatkan produksi. Untuk itu beberapa sifat unggul yang diharapkan dari pemuliaan tanaman adalah menghasilkan jenis baru yang berproduksi lebih tinggi dari jenis yang sudah ada, tahan hama, tahan terhadap penyakit dan adaptif terhadap lingkungan, masaknya awal atau berumur genjah serta produktifitas yang tinggi. Gambar di bawah ini adalah beberapa jenis tanaman unggul.



Gambar 9. Beberapa Jenis Tanaman Padi Unggul Hasil Persilangan



Gambar 10. Beberapa Jenis Sayuran Unggul Hasil Persilangan

3. Penerapan Hukum Mendel Bidang Peternakan

Dalam bidang peternakan penerapan hukum Mendel juga untuk menghasilkan bibit unggul dengan karakter ternak misalnya untuk ayam dengan sifat unggul yaitu cepat bertelur, produktivitas tinggi, tahan terhadap penyakit atau sapi

dengan sifat unggul menghasilkan susu yang banyak, badanya gemuk dan sebagainya.

Peningkatan Mutu Genetik Ternak/produktivitas ternak dapat dilakukan melalui perbaikan mutu pakan dan program pemuliaan melalui seleksi dan persilangan. Perbaikan mutu pakan dan manajemen dapat meningkatkan produktivitas, tapi tidak meningkatkan mutu genetik. Perbaikan produktivitas tersebut sering kali bersifat sementara dan tidak diwariskan pada turunannya. Perkawinan silang dapat meningkatkan produktivitas dan mutu genetik, namun membutuhkan biaya besar dan harus dilakukan secara bijak dan terarah, karena dapat mengancam kemurniaan ternak asli. Mencermati hal tersebut di atas maka upaya seleksi dipandang merupakan pilihan yang baik dan rasional. Perbaikan mutu genetik biasanya bersifat permanen dan dapat diwariskan dari generasi ke generasi berikutnya.

Tujuan dari seleksi pada ternak adalah mengubah frekuensi gen dari suatu populasi ternak. Akan tetapi kenyataan di lapang menunjukkan pemilihan ternak yang akan digunakan sebagai bibit atau yang akan disisihkan dari populasi hanya ditetapkan berdasarkan fenotipenya, bukan berdasarkan atas genotipenya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat kuantitatif pada ternak hampir tak mungkin ditetapkan genotipenya secara pasti. Oleh karena itu pengukuran fenotipe seekor ternak harus dilakukan seakurat mungkin dan meminimalkan pengaruh lingkungan sehingga fenotipe yang terukur merupakan pencerminan potensi genetiknya. Genotipe ditentukan sewaktu terjadi pembuahan (fertilisasi) dan akan tetap selama hidupnya, kecuali jika terjadi mutasi. Fenotipe merupakan kombinasi dari faktor genetik dan faktor lingkungan. Adanya keragaman fenotipe dari sifat-sifat dalam populasi disebabkan oleh faktor genetik, lingkungan dan interaksi genetik dengan lingkungan.

Faktor genetik ditentukan oleh susunan gen dan kromosom yang dimiliki individu dari orang tuanya. Faktor lingkungan dapat dikatakan sebagai kesempatan yang dimiliki individu, yang meliputi faktor nongenetik antara lain pakan, suhu, penyakit dan lainnya. Interaksi faktor genetik dan lingkungan dapat diartikan ternak dengan genotipe tertentu lebih adaptif pada suatu lingkungan dibandingkan dengan lingkungan yang lain. Seleksi dapat menyebabkan perubahan keragaman genetik, tergantung dari cara seleksi yang digunakan. Seleksi secara langsung mengakibatkan ragam genetik berkurang sampai tercapainya keadaan konstan pada suatu generasi tertentu Dengan seleksi terarah suatu sifat yang dikehendaki maka mutu genetik dapat ditingkatkan. Dalam memilih suatu sifat untuk dijadikan dasar seleksi perlu dipertimbangkan beberapa hal, yaitu tujuan program seleksi, nilai ekonomi dari adanya peningkatan sifat serta biaya dan waktu dari program seleksi. Perkawinan silang atau persilangan merupakan jalan pintas untuk memperoleh individu-individu yang memiliki sejumlah sifat unggul yang dipunyai oleh kedua bangsa tetuanya.

Di negara berkembang, ternak tidak diseleksi secara intensif untuk sifat tertentu seperti penambahan bobot badan, akan tetapi bangsa ternak asli sering mempunyai resistensi yang tinggi terhadap parasit, toleransi tinggi terhadap keadaan cuaca yang kurang menguntungkan serta dapat tumbuh baik pada kondisi pakan yang berkualitas jelek. Bila disilangkan dengan bangsa ternak produktif dari negara lain, maka turunan pertamanya sering lebih baik hasilnya dibanding dengan ternak asli. Turunan ini ternyata menggabungkan gen-gen untuk produktivitas dengan daya adaptasi dari kedua bangsa tetua. Tetapi perlu diperhatikan bahwa kelemahan grading up adalah bila persilangan dilakukan

secara terus menerus ke arah ternak impor, maka kualitas adaptasi dapat hilang serta produksi menjadi turun dan bahkan jauh lebih rendah dari bangsa ternak asli. Karena itu sebelum melaksanakan program grading up, harus direncanakan sampai generasi keberapa persilangan dilakukan dan untuk tujuan apa turunan persilangan tersebut digunakan.

Seperti diketahui, apa yang diharapkan dari persilangan adalah adanya produksi yang melebihi rata-rata kedua bangsa tetuanya, misalnya pada ternak kambing yang diharapkan adalah kecepatan pertumbuhan yang tinggi sehingga mencapai bobot potong muda yang cukup tinggi, kualitas daging yang baik dan penggunaan pakan yang efisien serta daya adaptasi dengan lingkungan yang cukup baik. Metoda kawin silang digunakan untuk memperoleh individu yang memiliki sifat produksi unggul dalam waktu singkat.

Contoh persilangan antara sapi yang memiliki sifat kualitas daging baik dan ukuran tubuh kecil (DDkk) dengan sapi yang memiliki sifat kualitas daging kurang baik dan ukuran tubuh besar (ddKK).

P1	DDkk	X	ddKK																										
	(daging kualitas baik,tubuh kecil)		(daging kualitas kurang baik,tubuh besar)																										
G	Dk		dK																										
F1	DdKk																												
	(daging kualitas baik,tubuh besar)																												
P2	DdKk	X	DdKk																										
	(daging kualitas baik,tubuh besar)		(daging kualitas baik,tubuh besar)																										
G	DK, Dk, dK, dk		DK, Dk, dK, dk																										
F2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4a7ebb; color: white;"> <th></th> <th>DK</th> <th>Dk</th> <th>dK</th> <th>dk</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>DK</th> <td>DDKK</td> <td>DDKk</td> <td>DdKK</td> <td>DdKk</td> </tr> </tbody> </table>					DK	Dk	dK	dk	DK	DDKK	DDKk	DdKK	DdKk	Dk	DDKk	DDkk	DdKk	Ddkk	dK	DdKK	DdKk	ddKK	ddKk	dk	DdKk	Ddkk	ddKk	ddkk
	DK	Dk	dK	dk																									
DK	DDKK	DDKk	DdKK	DdKk																									
Dk	DDKk	DDkk	DdKk	Ddkk																									
dK	DdKK	DdKk	ddKK	ddKk																									
dk	DdKk	Ddkk	ddKk	ddkk																									

Berdasarkan tabel persilangan dapat diketahui munculnya karakteristik dari persilangan tersebut adalah :

- kelapa dengan karakteristik daging kualitas baik,tubuh besar = 9/16
- kelapa dengan karakteristik daging kualitas baik,tubuh kecil = 3/16
- kelapa dengan karakteristik daging kualitas kurang baik,tubuh besar = 3/16
- kelapa dengan karakteristik daging kualitas kurang baik,tubuh kecil = 1/16

Jadi perkawinan silang bertujuan untuk memperoleh jenis unggul, teori plasma benih memberi petunjuk bagi kita bahwa sifat-sifat dari induk dapat diwariskan melalui sel-sel kelamin kedua induknya. Dengan demikian kita dapat menyeleksi sifat-sifat yang dimiliki oleh kedua varietas untuk diturunkan kepada kedua anak-anaknya melalui perkawinan kedua varietas tersebut. Untuk menyeleksi jenis unggul dari suatu persilangan harus hati-hati, karena turunan yang dihasilkan ada yang bersifat heterozigot. Dengan demikian dalam persilangan heterozigot maka kita akan memperoleh keturunan yang tidak sama dengan induknya atau keturunan yang tidak kita inginkan.

Pada penyilangan hewan ternak terutama bertujuan meningkatkan sumber protein dalam waktu relatif singkat. Sebagai contoh, perbaikan mutu genetik kambing kacang melalui persilangannya dengan kambing Ettawah. Kambing kacang memiliki sifat unggul seperti sifat resistensi tinggi terhadap parasit, daya tahan tinggi terhadap perubahan cuaca, kemampuan bertahan hidup pada kondisi

pakan berkualitas rendah serta tingkat reproduktivitas yang cukup tinggi. Sifat unggul yang diharapkan dari kambing Ettawah adalah sifat pertumbuhannya yang cepat, kualitas daging yang cukup baik serta adaptasi terhadap lingkungan yang cukup baik pula. Dari kambing persilangan kita kehendaki adanya heterosis dalam performa produksinya. Heterosis merupakan fungsi dari perbedaan keturunan persilangan dari rataan keturunan murni. contoh lainnya ayam pedaging atau sapi yang pertumbuhannya cepat dengan badan yang cepat gemuk atau sapi perah yang air susu dan lemak susunya banyak.

Beberapa jenis hewan yang memiliki sifat unggul.



Gambar 11. Beberapa Jenis Sapi Unggul



Gambar 12. Beberapa Jenis Domba Unggul



Gambar 13. Beberapa jenis ayam unggul

Teknik untuk memperbaiki keturunan pada ternak, dapat dilakukan sesuai dengan tujuan yang diharapkan, misalnya dapat dilakukan dengan cara purebreeding, inbreeding, outcrossing, crossbreeding, upbreeding.

- a. *Purebreeding*, mengawinkan ternak jantan dan betina yang sama jenisnya. Hal ini bertujuan untuk mempertinggi sifat homozigot. Misalnya perkawinan sapi Madura di Pulau Madura.
- b. *Inbreeding*, perkawinan antara ternak jantan dan betina yang masih ada hubungan famili. Inbreeding yang dilakukan dalam hubungan keluarga yang sangat dekat, misalnya induk jantan dengan anak-anak beinanya disebut clossbreeding. Inbreeding yang terjadi untuk beberapa generasi dapat merugikan, karena munculnya homozigot resesif.
- c. *Outcrossing*, perkawinan antar seekor pejantan dari suatu kelompok dengan betina-betina dari kelompok lain, tetapi semuanya masih dalam satu ras yang

- sama. Misalnya sapi bali dari daerah A dengan sapi bali dari daerah B. hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya inbreeding atau closebreeding.
- d. *Crossbreeding*, perkawinan silang antara dua bangsa yang berdarah murni. Perkawinan ini bertujuan untuk mendapatkan ras baru yang memiliki sifat-sifat yang lebih menonjol. Misalnya perkawinan antar sapi Fries Holland dengan sapi Madura.
 - e. *Upbreeding*, perkawinan antara pejantan yang telah diketahui mutunya (biasanya didatangkan dari luar negeri) , dengan betina-netina setempat. Perkawinan ini bertujuan untuk memperbaiki mutu ternak rakyat.

4. Jenis-jenis Tanaman dan Hewan Unggul

Beberapa contoh jenis tanaman dan hewan unggul adalah sebagai berikut !

Jenis Tanaman

- Yang dihasilkan melalui seleksi dan hibridisasi antara lain Si gadis, Bogowonto, Mahakam, Bengawan, barito, Cisadane, Klara, Pelita I dan Pelita II.
- Yang dihasilkan melalui penelitian International Rice Research Institute (IRRI) di Filipina antara lain IR 5, IR 8 kemudian di Indonesia kita kenal dengan nama PB 5 dan PB 8 (Peta Baru) karena asalnya dari bibit unggul peta yang terdapat di Indonesia.
- Yang dihasilkan melalui radiasi sinar gamma Atomita I dan Atomita II, bibit ini dapat hidup di darah kering dan tahan terhadap bakteri pucuk (*Xantomonas oryzae*).

Jenis Ternak

- Sapi unggul adalah sapi Friesian, sapi Jersey, sapi Hereford, sapiGuernsey dan sapi Aberdeen Angus. Perhatikan gambar di bawah ini !
- Domba unggul adalah domba Poll dorset, domba Marino dan domba Leicester. Perhatikan gambar di bawah ini !
- Ayam unggul adalah ayam Leghorn, ayam Minorca, ayam Light susex, ayam Barred plymouth, ayam Rhode island.

C. Rangkuman

1. Dalam pemuliaan tanaman dan hewan diperlukan faktor-faktor berikut ini, yaitu:
 - a. Adanya keragaman genetik.
 - b. Sistem-sistem logis dalam pemindahan fiksasi gen.
 - c. Konsepsi dan tujuan yang jelas.
 - d. Mekanisme penyebarluasan kepada masyarakat.
2. Perbaikan mutu genetik pada tanaman dan hewan dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu:
 - a. Seleksi
 - b. Penyilangan/hibridisasi
3. Mutasi buatan
4. Teknik untuk memperbaiki keturunan pada ternak dapat dilakukan sesuai dengan tujuan yang diharapkan, dapat dilakukan dengan cara *purebreeding*, *outcrossing*, *crossbreeding*, *upbreeding*.

D. Latihan Soal

1. Pada kelapa sifat batang tinggi (T) dominan terhadap batang pendek (t), sedangkan sifat buah banyak (B) dominan terhadap buah sedikit (b). Persilangan antara 2 pohon kelapa batang tinggi buah banyak (TTBB) dengan kelapa batang

- pendek buah sedikit (ttbb) menghasilkan keturunan F2 dengan ratio 9 : 3 : 3 : 1. Keturunan F2 yang paling baik digunakan untuk bibit bergenotif....
- TTBB
 - TtBb
 - ttBB
 - TtBB
 - ttBb
- Yang bukan merupakan ciri dari pemuliaan tanaman dengan cara konvensional adalah....
 - menghasilkan jenis baru dengan persilangan
 - memanfaatkan keragaman yang tersedia di alam
 - terjadi secara acak tidak terarah
 - menghasilkan jenis baru dengan dasar genetik
 - waktu yang digunakan lama
 - Mengawinkan ternak jantan dan betina yang sama jenisnya bertujuan untuk mempertinggi sifat homozigot....
 - Purebreeding
 - Inbreeding
 - Outcrossing
 - Crossbreeding
 - Upbreeding
 - F.
 - Berikut di bawah ini yang merupakan contoh teknik upbreeding adalah....
 - Sapi pejantan dari luar negeri dengan sapi betina setempat
 - Sapi pejantan Madura dengan sapi betina Madura juga
 - Perkawinan antara sapi *Fries Holland* dengan sapi Madura
 - Kelompok dengan betina dari kelompok lain yang masih dalam satu ras
 - Perkawinan sapi bali dari kelompok A dengan sapi bali dari kelompok B
 - Tes cross/uji silang adalah persilangan antara suatu individu dengan salah satu induknya yang resesif (bb), jika test cross menghasilkan keturunan dengan fenotif yang seragam. Genotif dari individu tersebut adalah....
 - Bb dengan bb
 - BB dengan bb
 - Bb dengan Bb
 - BB dengan Bb
 - Bb dengan Bb
 - Hal yang paling penting dalam menentukan organisme yang memiliki sifat unggul dengan cara hibridisasi adalah....
 - Plasma nutfah
 - Sinar ultra violet
 - Laboratorium
 - Lokasi persilangan
 - Tenaga ahli
 - Perkawinan inbreeding yang terjadi untuk beberapa generasi dapat merugikan. Hal ini karena....
 - Munculnya sifat homozigot resesif
 - Munculnya sifat homozigot dominan
 - Menghasilkan keturunan yang heterozigot
 - Sifat resesif akan hilang

- E. Sifat dominan akan lebih menonjol
8. Persilangan mangga berbuah besar dan rasa manis heterozigot disilangkan dengan mangga berbuah kecil rasa asam heterozigot, jika buah besar rasa asam bersifat dominan maka prosentase keturunannya yang diharapkan berbuah besar rasa manis adalah....%
- A. 75
 - B. 56,25
 - C. 50
 - D. 25
 - E. 18,75
9. Tujuan dari uji silang (test cross) adalah....
- A. Menguji kemurnian suatu galur
 - B. Memperbanyak sifat homozigot
 - C. Memperbanyak sifat heterozigot
 - D. Mengetahui sifat heterozigot individu
 - E. Menentukan bibit unggul
10. Jika pohon tinggi dominan terhadap pohon pendek dan bunga merah dominan terhadap bunga hijau. Persilangan dihibrida antara individu heterozigot sempurna dan individu homozigot resesif menghasilkan keturunan dengan perbandingan fenotif
- A. 9 : 3 : 3 : 1
 - B. 2 : 2 : 1 : 1
 - C. 1 : 1 : 1 : 1
 - D. 9 : 7
 - E. 9 : 3 : 7

Kunci Jawaban, pembahasan, dan pedoman penilaian

No	Kunci Jawaban	Pembahasan
1.	B	Pada persilangan dihidrid rasio fenotifnya 9 : 3 : 3 : 1 ,dimana hasil keturunan yg heterozigot yg paling dominan muncul.
2.	A	Hasil jenis baru yang dihasilkan dari persilangan bukan merupakan ciri dari pemuliaan tanaman dengan cara konvensional.
3.	A	Purebreeding, mengawinkan ternak jantan dan betina yang sama jenisnya. Hal ini bertujuan untuk mempertinggi sifat homozigot. Misalnya perkawinan sapi Madura di Pulau Madura.
4.	A	Upbreeding, perkawinan antara pejantan yang telah diketahui mutunya (biasanya didatangkan dari luar negeri) , dengan betina-netina setempat. Perkawinan ini bertujuan untuk memperbaiki mutu ternak rakyat.
5.	B	BB dengan bb merupakan keturunan dengan fenotif yang seragam
6.	A	Plasma nutfah merupakan Hal yang paling penting dalam menentukan organisme yang memiliki sifat unggul dengan cara hibridisasi.
7.	A	Munculnya sifat homozigot resesif merupakan contoh perkawinan inbreeding yang terjadi untuk beberapa generasi dapat merugikan.
8.	C	<p>P : mangga besar manis heterozigot x mangga kecil asam heterozigot</p> $\begin{array}{ccc} BbMm & \times & bbmm \\ G : & & BM,Bm,bM,bn \quad \quad \quad bm,bm \end{array}$ <p>F1: Mangga besar rasa manis (BbMm) = 2 Mangga besar rasa asam (Bbmm) = 2 Mangga kecil rasa manis (bbMM) = 2 Mangga kecil rasa asam (bbmm) = 2 Maka $\frac{2}{8} \times 100 \% = 25\%$</p>
9.	D	Tujuan test cross dilakukan untuk mengetahui genotifnyadengan induk yang homozigot resesif.
10.	A	Pada persilangan dihibrida akan menghasilkan perbandingan fenotif 9 : 3 : 3 : 1

Setiap jawaban benar diberi skor = 1

Keterangan : $\text{nilai yang didapat} = \frac{\text{jumlah skor}}{10} \times 100$

E. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1.	Apakah Anda telah dapat menjelaskan cara memperoleh sifat unggul tanaman dan hewan melalui persilangan?		

2.	Apakah Anda telah memahami tehnik persilangan hukum Mendel?		
3.	Apakah Anda dapat memberi contoh tanaman/hewan dengan sifat unggul?		
4.	Apakah Anda dapat menjelaskan penerapan hukum mendel di bidang pertanian?		
5.	Apakah Anda dapat menjelaskan penerapan hukum Mendel di bidang peternakan?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

EVALUASI

1. Pada tanaman labu gen B (bulat) dominan terhadap b (kisut), gen T (tinggi) dominan terhadap t (rendah). Tanaman labu bergenotip BbTt dibastarkan dengan Bbtt. Akan menghasilkan keturunan : bulat-tinggi, kisut-tinggi, bulat-rendah, dan kisut-rendah dengan perbandingan....
 - A. 3 : 1 : 3 : 1
 - B. 1 : 3 : 3 : 1
 - C. 1 : 1 : 1 : 1
 - D. 3 : 3 : 1 : 1
 - E. 3 : 1 : 3 : 1
2. Bunga merah muda disilangkan dengan bunga putih semua fenotif anaknya merah muda, jika bunga merah muda heterozigot disilangkan sesamanya. Kemungkinan akan diperoleh keturunan....
 - A. 100% fenotifnya merah muda
 - B. Merah : putih = 3 : 1
 - C. Merah muda : putih = 3 : 1
 - D. Merah muda : putih = 2 : 2
 - E. Merah : merah muda : putih = 1 : 2 : 1
3. Apakah yang terjadi apabila dua buah gen bukan alelnya mengalami pautan sempurna?
 - A. Gen-gen tersebut akan diwariskan secara terpisah pada keturunannya
 - B. Gen-gen tersebut akan mengalami pindah silang
 - C. Gen-gen tersebut selalu diwariskan secara bersama-sama pada keturunannya
 - D. Gen-gen tersebut tidak akan diwariskan pada keturunannya
 - E. Gen-gen tersebut terkadang diwariskan terpisah atau terkadang bersama-sama pada keturunannya.
4. Sifat heterozigot dari suatu individu dapat diketahui dengan
 - A. Melihat genotifnya
 - B. Persilangan balik
 - C. Persilangan resiprok
 - D. Melihat fenotifnya
 - E. Melihat genotif parentalnya
5. Pada kelapa sifat batang tidak tinggi tinggi (T) dominan terhadap batang pendek (t), sedangkan sifat buah banyaj (B) dominan terhadap buah sedikit (b). persilangan antara 2 pohon kelapa tersebut menghasilkan keturunan F2 dengan rasio fenotif 9 : 3 : 3 : 1.
Keturunan F2 yang sifatnya paling baik untuk bibit adalah....
 - A. TtBb
 - B. ttBB
 - C. TtBB
 - D. TTBB
 - E. TTBb
6. Diketahui semangka warna hijau dominan terhadap yang bergaris-garis dan bentuk pendek dominan terhadap bentuk panjang. Gen yang mengontrol sifat tersebut diturunkan secara bebas. Persilangan aemngka hijau pendek doubke set sesamanya

- akan menghasilkan keturunan. Berapa bagian hasil persilangan yang diharapkan berbuah hijau panjang?
- A. $9/6$
 - B. $1/4$
 - C. $3/16$
 - D. $1/2$
 - E. $1/16$
7. Persilangan antara kacang ercis berbiji kuning bentuk bulat (AaBb) dengan ercis berbiji hijau bentuk bulat (aaBb). Dari persilangan tersebut akan dihasilkan tanaman....
- A. Kuning bulat 100%
 - B. Hijau bulat 100%
 - C. Kuning bulat : hijau bulat = 75% : 25%
 - D. Kuning bulat : hijau bulat = 50% : 50%
 - E. Kuning bulat : hijau bulat = 25% : 75%
8. Individu dengan genotif BbKkWw, maka jumlah macam gamet yang terbentuk saat meiosis adalah....
- A. 2-BKW,bkw
 - B. 3-Bb,Kk,Ww
 - C. 4-BKW,BKw,bKW,bKw
 - D. 6-BB,bb,KK,kk,WW,ww
 - E. 8-BKW,BKw,BkW,Bkw,bKW,bKw,bkW,bkw
9. Kemungkinan untuk memperoleh keturunan dengan genotif aabbcc dari perkawinan antara individu dengan genotif AaBbCc x AaBbCc adalah....
- A. $1/64$
 - B. $1/16$
 - C. $1/8$
 - D. $\frac{1}{4}$
 - E. $\frac{1}{2}$
10. Pemuliaan tanaman dan hewan dengan cara hibridisasi faktor yang paling penting adalah....
- A. Plasma nutfah
 - B. Tenaga ahli
 - C. Lahan penelitian
 - D. Waktu yang digunakan
 - E. Teknologi

KUNCI JAWABAN DAN PEDOMAN PENILAIAN

Nomor soal	Kunci jawaban	Nomor soal	Kunci jawaban
1.	A	6.	A
2.	B	7.	B
3.	A	8.	C
4.	D	9.	D
5.	E	10.	E

Setiap jawaban benar diberi skor = 1

Keterangan : $nilai\ yang\ didapat = \frac{jumlah\ skor}{10} \times 100$

DAFTAR PUSTAKA

Ben Watson. nationalgardening.com

Depdiknas. 2003. *Pengembangan silabus dan penilaian*, Jakarta: Ditjen Dikmenum.

Dorling Kindersley. 1997. *Kehidupan*, Jakarta: Balai Pustaka.

Deptan. 2004. *Pemuliaan dan bioteknologi tanaman*, Jakarta: Departemen Pertanian Pusat.

Istamar Syamsuri. 2003. *Biologi 2000 3A*, Jakarta: Erlangga.

Michael R. Cumming. 1991. *Human heredity (2eds)*. USA: West Publishing Company.

Moh Amien. 1995. *Biologi 3 petunjuk guru*, Jakarta: Depdikbud,

Moh Amien. 1995. *Biologi 3 SMU*. Jakarta: Depdikbud,

Robert F.W. dan Philip W.H. 1989. *Genetics*, USA: Wm. C. Brown Publisher

Suryo. 1986. *Genetika*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press,

Tim Intan Pariwara. 2004 *Biologi 3a*, Klaten: PT Intan Pariwara,

World Image google, yahoo



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

BIOLOGI



KELAS
XII



POLA-POLA HEREDITAS PADA MAKHLUK HIDUP
BIOLOGI
XII

PENYUSUN
Elvi Julianida Daulay, S.Pd, M.Si
SMA Negeri 1 Sunggal

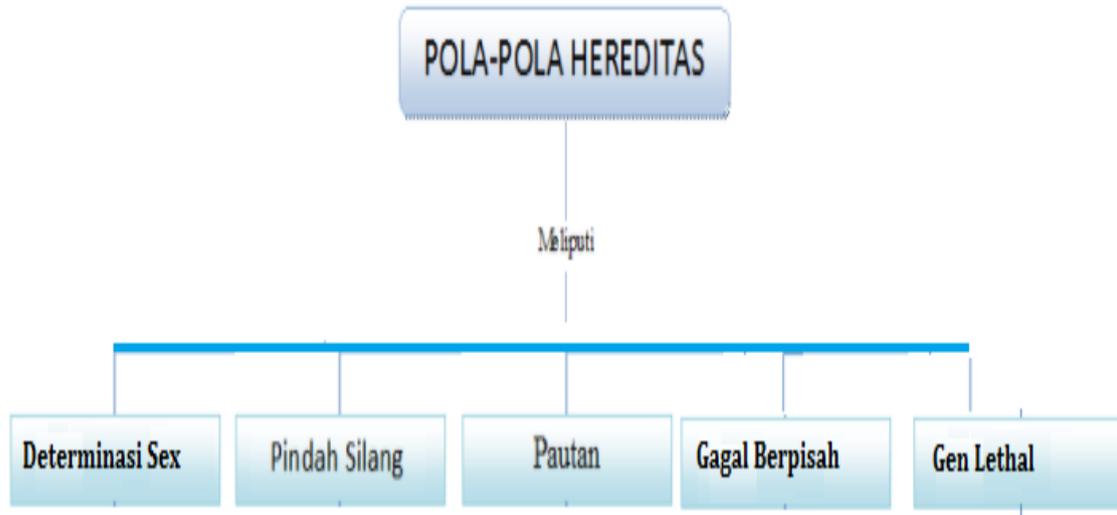
DAFTAR ISI

PENYUSUN	2
DAFTAR ISI	3
GLOSARIUM	4
PETA KONSEP.....	5
PENDAHULUAN.....	6
A. Identitas Modul	6
B. Kompetensi Dasar.....	6
C. Deskripsi Singkat Materi	6
D. Petunjuk Penggunaan Modul	6
E. Materi Pembelajaran	7
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	8
POLA-POLA HEREDITAS PADA MAKHLUK HIDUP	8
A. Tujuan Pembelajaran	8
B. Uraian Materi.....	8
C. Rangkuman	17
D. Penugasan Mandiri (optional).....	17
E. Latihan Soal (<i>Lengkapi dengan Kunci dan Pembahasan</i>)	18
F. Penilaian Diri	20
EVALUASI	20
DAFTAR PUSTAKA	24

GLOSARIUM

Crossing over	: pindah silang yang memungkinkan terbentuknya rekombinan (kombinasi gen baru).
Gen	: unit terkecil materi genetic yang mengendalikan sifat-sifat hereditas suatu organisme.
Gen letal	: gen yang dapat menyebabkan kematian dalam keadaan homozigotik.
Genotipe	: susunan genetic organisme berupa pasangan gen dalam kromosom homolog.
Gonosom	: kromosom yang menentukan jenis kelamin.
Heterogametik	: individu dengan dua macam gonosom.
Homogametik	: individu dengan satu macam gonosom.
Nondisjunction	: peristiwa gagalnya satu kromosom atau lebih untuk berpisah ke arah kutub yang berlawananpada saat meiosis I maupun meiosis II.
Pautan	: peristiwa dua gen atau lebih yang terletak pada kromosom yang sama dan tidak dapat memisah secara bebas pada waktu pembelahan meiosis.

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: Biologi
Kelas	: XII
Alokasi Waktu	: 4 JP
Judul Modul	: Pola-Pola Hereditas pada makhluk Hidup

B. Kompetensi Dasar

- 3.6 Menganalisis pola-pola hereditas pada makhluk hidup.
- 4.6 Menyajikan hasil penerapan pola-pola hereditas dalam perhitungan peluang dari persilangan yang melibatkan peristiwa pautan dan pindah silang.

C. Deskripsi Singkat Materi

Pernah tidak Anda berpikir mengapa bentuk rambut Anda mirip dengan ayah, warna kulit yang mirip dengan ibu, atau bahkan bentuk mata mirip nenek Anda. Ternyata, sifat-sifat itu ada kaitannya dengan materi pewarisan sifat yang sudah kita pelajari sebelumnya. Pola-pola pewarisan sifat dari orang tua kepada anak-anaknya inilah yang dinamakan hereditas. Namun, tidak semua individu yang lahir mewarisi sifat-sifat dari induknya, misal kucing kaliko (kucing dengan tiga macam warna). Kucing kaliko memiliki warna yang berbeda dari kedua induknya. Peristiwa ini terjadi karena adanya penyimpangan-penyimpangan sifat yang salah satunya mengakibatkan perubahan fenotipe suatu makhluk hidup. Penyimpangan-penyimpangan sifat ini dapat disebabkan oleh pola-pola hereditas pautan. Agar lebih memahami, kali ini kita akan mengupas tentang Pola-pola Hereditas pada Makhluk Hidup yang mencakup materi tentang Tautan Gen (*Gen Linkage*), Pindah Silang (*Crossing over*), Gagal Berpisah (*Non disjunction*), *Determinasi sex* (penentuan jenis kelamin), dan Gen Letal.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Supaya anda berhasil mencapai kompetensi dalam mempelajari modul ini, maka ikuti petunjuk – petunjuk berikut :

1. Pelajari daftar isi dengan cermat dan teliti karena dalam modul ini akan tampak kedudukan modul yang sedang anda pelajari.
2. Pahami setiap materi yang diuraikan dalam modul ini, sehingga memudahkan anda untuk mengerjakan tugas dan penilaian dengan hasil yang maksimal.
3. Jawablah latihan soal dengan baik, kemudian cocokkanlah hasil jawaban kamu dengan kunci jawaban.
4. Apabila jawaban anda sudah mencapai 85% anda bisa melanjutkan ke kegiatan berikutnya.
5. Bila terdapat penugasan, kerjakan tugas tersebut dengan baik.
6. Catatlah kesulitan kesulitan yang anda temui dalam modul ini untuk dikonsultasikan ke guru mata pelajaran.

E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi **1** kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini terdiri dari:

Pertama : Penentuan jenis kelamin (*Determinasi Seks*)

Kedua : Pautan

Ketiga : Pindah Silang (*Crossing Over*)

Keempat : Gagal berpisah (*Non-Disjunction*)

Kelima : Gen Letal

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

POLA-POLA HEREDITAS PADA MAKHLUK HIDUP

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat menjelaskan tentang penurunan sifat pada peristiwa penentuan jenis kelamin, pautan, pindah silang, gagal berpisah dan gen letal, dapat menerapkan konsep pautan, pautan seks, pindah silang, gagal berpisah, dan gen letal dalam menyelesaikan persoalan dengan latihan soal, dan dapat mengaitkan adanya perbedaan variasi dalam satu keturunan dengan pola pewarisan sifat Mendelian.

B. Uraian Materi

1) Penentuan Jenis Kelamin (Determinasi Seks)

Determinasi seks adalah proses penentuan jenis kelamin pada makhluk hidup berdasarkan kromosom kelamin (gonosom). Gonosom yang menentukan jenis kelamin suatu individu tersebut diperoleh dari kedua induknya saat terjadi fertilisasi. Berdasarkan jenis gonosom yang diperoleh dari kedua induknya, dapat dibedakan individu homogametik dan individu heterogametik. Individu homogametik mempunyai satu macam gonosom, misalnya wanita (XX) dan ayam jantan (ZZ). Sementara itu, individu heterogametik mempunyai dua macam gonosom, misalnya laki-laki (XY) dan ayam betina (ZW)

1) Penentuan Jenis kelamin pada Tumbuhan

Umumnya tumbuhan memiliki bunga dengan benang sari dan putik sebagai alat kelaminnya. Oleh karena itu, umumnya tumbuhan tidak dibedakan jenis kelaminnya. Namun, beberapa tumbuhan dapat dibedakan jantan atau betina sesuai dengan system XY. Tumbuhan jantan bergonosom XY dan betina bergonosom XX, misalnya pada tanaman salak.

2) Penentuan Jenis Kelamin pada Hewan

Beberapa tipe penentuan jenis kelamin pada hewan antara lain tipe XY, XO, ZW, dan tipe ploidi.

a. Tipe XY

Tipe XY terdapat pada lalat buah (*Drosophila melanogaster*), manusia, dan semua mamalia. Lalat buah betina memiliki sepasang kromosom X, sedangkan lalat buah jantan memiliki satu kromosom X dan satu kromosom Y. Gonosom Y pada lalat buah tidak menentukan jenis kelamin, tetapi menentukan kesuburan (fertilitas). Jenis kelamin lalat buah dapat ditentukan dengan perimbangan jumlah gonosom X dengan jumlah set autosom (indeks kelamin).



Seorang ahli genetika bernama **Calvin Blackman Bridges** mengemukakan bahwa jenis kelamin lalat buah dapat ditentukan menggunakan **Indeks Kelamin (IK)**, yaitu dengan membandingkan antara kromosom X dengan kromosom tubuh (autosom). Teori ini kemudian disebut dengan **teori keseimbangan dari Bridges**.

Rumus Indeks Kelamin (IK):

$$IK = \frac{\text{Jumlah kromosom X}}{\text{Jumlah autosom}}$$

Keterangan:

- Apabila hasilnya $\leq 0,5$, maka lalat buah itu berjenis kelamin jantan.
- Apabila hasilnya ≥ 1 maka lalat buah itu berjenis kelamin betina.
- Apabila hasilnya $0,5 > X < 1$ maka lalat buah itu berjenis kelamin interseks.

Gambar 1. Indeks kelamin lalat buah
Sumber: blogruangguru.com

Contoh:

- Lalat diploid, berkromosom $3AA,XX \rightarrow X/A = 2/2 = 1$ adalah betina.
- Lalat diploid, berkromosom $3AA,XY \rightarrow X/A = 1/2 = 0,5$ adalah jantan, fertile.
- Lalat diploid, berkromosom $3AA,XO \rightarrow X/A = 1/2 = 0,5$ adalah jantan, tetapi steril.
- Lalat diploid, berkromosom $3AA,XXX \rightarrow X/A = 3/2 = 1,5$ adalah betina super.
- Lalat triploid, berkromosom $3AA,XXY \rightarrow X/A = 2/3 = 0,67$ adalah interseks (sifat antara jantan dan betina).

b. Tipe XO

Tipe XO terdapat pada beberapa serangga (belalang, kecoa, dan kutu daun). Individu yang memiliki kromosom X homozigot (XX) berjenis kelamin betina. Sedangkan individu yang memiliki hanya satu kromosom X atau XO berjenis kelamin jantan.

Contoh:

- Belalang berkromosom $22A+XX = 24 \rightarrow$ betina
- Belalang berkromosom $22A+XO = 23 \rightarrow$ jantan

c. Tipe ZW

Tipe ZW terdapat pada burung, ikan, dan beberapa jenis kupu-kupu. Individu ZW adalah betina, sedangkan individu ZZ adalah jantan.

Contoh:

- Ayam berkromosom $19AA+ZW \rightarrow$ betina
- Ayam berkromosom $19AA+ZZ \rightarrow$ jantan

d. Tipe haploid-diploid

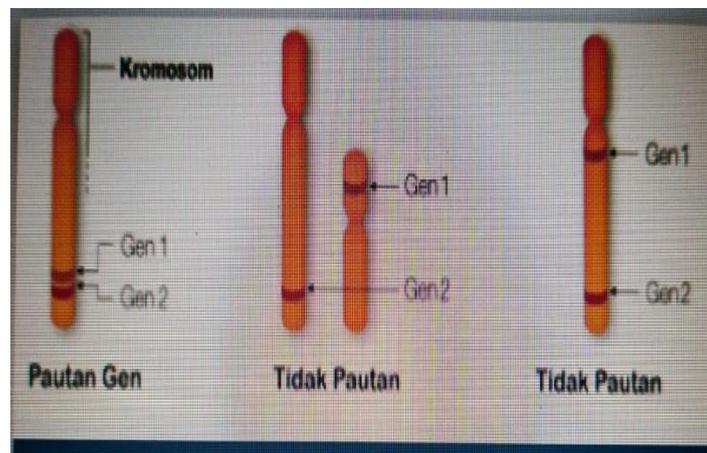
Tipe haploid-diploid terdapat pada beberapa serangga yang dapat melakukan parthenogenesis (terbentuknya individu baru dari sel telur tanpa didahului pembuahan oleh sel sperma), misalnya pada lebah madu. Peristiwa parthenogenesis terjadi pada pembentukan lebah jantan sehingga bersifat haploid (n) yang memiliki 16 buah kromosom. Sedangkan lebah madu betina (lebah ratu dan pekerja) terbentuk dari hasil perkawinan sehingga bersifat diploid ($2n$) yang memiliki 32 kromosom. Karena perbedaan tempat dan makanannya, lebah ratu yang dihasilkan bersifat fertile sedangkan lebah pekerja bersifat steril. Oleh karena itu, penentuan jenis kelamin pada tipe ini tidak dipengaruhi oleh kromosom kelamin, melainkan tergantung dari sifat ploidi dari makhluknya.

2) Pautan

Pautan (*linkage*) adalah peristiwa dua gen atau lebih yang terletak pada kromosom yang sama dan tidak dapat memisah secara bebas pada waktu pembelahan meiosis. Gen-gen tersebut berada dalam keadaan tertaut sehingga cenderung diturunkan bersama-sama. Pautan dapat terjadi pada kromosom tubuh (pautan gen) maupun kromosom seks (pautan seks).

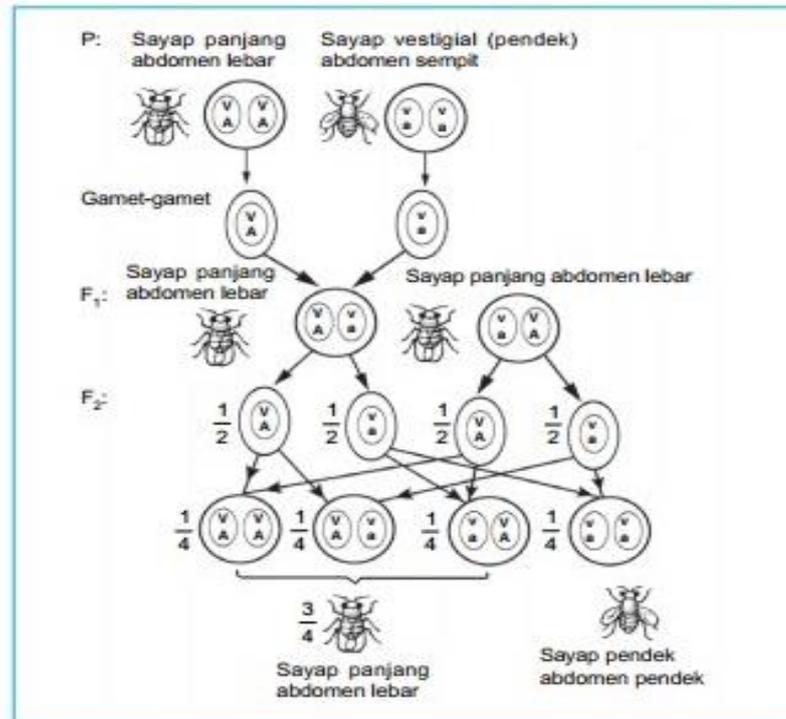
1) Pautan gen

Setiap kromosom mengandung gen yang tersimpan di tempat khusus yang disebut lokus. Gen-gen ini dapat berada pada kromosom yang sama atau kromosom yang berbeda. Gen-gen yang berada dalam satu kromosom homolog yang sama dan letaknya saling berdekatan inilah yang disebut pautan gen (*gene linkage*). Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar berikut.



Gambar : 2. Contoh gen berpautan dan gen tidak berpautan
sumber: generasi biologi.com

Akibat letaknya yang saling berdekatan, gen-gen tersebut akan tetap bersama sampai saat pembentukan gamet. Pautan dari dua macam gen atau lebih akan menghasilkan jumlah gamet yang lebih sedikit, sehingga keturunan yang dihasilkan akan memiliki perbandingan fenotip dan genotip yang lebih sedikit pula. Contoh peristiwa pautan gen dapat Anda temui pada *Drosophila melanogaster*.



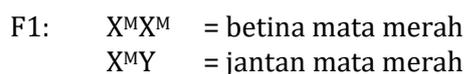
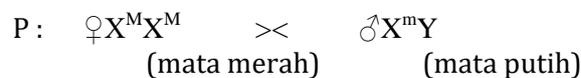
Gambar 3. Diagram peristiwa pautan pada lalat buah
 Sumber: bioharyono.blogspot.com

2) Pautan seks

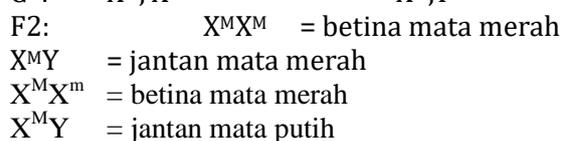
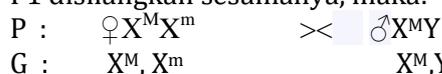
Dalam kehidupan sehari-hari, mungkin Anda pernah mengamati adanya suatu sifat khas individu yang hanya dimiliki oleh wanita saja atau laki-laki saja. Peristiwa ini terjadi karena adanya pautan seks. Peristiwa terdapatnya gen dalam kromosom kelamin disebut terpaut seks (sex linkage). Gen-gennya disebut gen-gen terpaut seks (sex linked genes). Oleh karena kromosom X lebih panjang dari kromosom Y, jumlah gen-gen yang terpaut kromosom X lebih banyak daripada gen-gen terpaut kromosom Y.

a. Pautan seks pada *Drosophila melanogaster*

Sifat warna mata *Drosophila melanogaster* terpaut pada kromosom X. *Drosophila melanogaster* bermata putih selalu berkelamin jantan. Hal ini menunjukkan warna mata merah lebih dominan daripada warna mata putih. Perhatikan diagram persilangan berikut.



F1 disilangkan sesamanya, maka:



b. Pautan seks pada manusia

Pautan seks pada manusia dapat dibedakan pada gen dominan dengan gen resesif. Pautan gen pada gen dominan misal gigi coklat dan *hypertrichosis* . Adapun pautan seks pada gen resesif missal hemophilia, buta warna, dan anadontia.

c. Pautan seks pada kucing

Sifat warna rambut terpaut pada kromosom X. Akibatnya, kucing kaliko yang berambut belang tiga selalu berkelamin betina. Namun pernah dijumpai kucing kaliko berkelamin jantan. Kucing kaliko jantan mempunyai kelebihan kromosom X sehingga susunan kromosom kelaminnya XXY. Hal ini terjadi karena adanya nondisjunction selama induk jantan membentuk gamet. Perhatikan diagram persilangan berikut.

$$\begin{array}{l}
 P: \quad \text{♀} X^b X^b \qquad \times \qquad \text{♂} X^B Y \\
 \qquad \text{(oranye)} \qquad \qquad \qquad \qquad \text{(hitam)} \\
 \\
 G: \quad X^b \qquad \qquad \qquad X^B Y, O \\
 F1: X^B X^b Y \qquad = \text{jantan kaliko} \\
 \quad X^b O \qquad = \text{betina oranye}
 \end{array}$$

d. Pautan seks pada ayam

Penentuan jenis kelamin pada ayam mengikuti tipe ZW. Ayam betina memiliki tipe ZW, sedangkan ayam jantan memiliki tipe ZZ. Pautan seks pada ayam berpengaruh pada penentuan warna bulu. Warna bulu ayam ditentukan oleh gen-gen yang terpaut pada kromosom seks, misal:

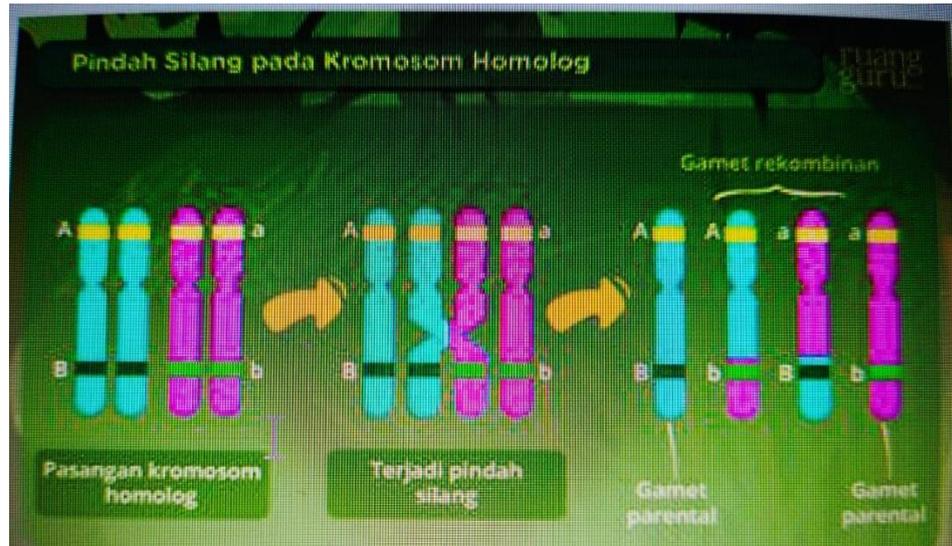
B = gen untuk bulu bergaris-garis (blorok)
 b = gen untuk bulu polos

Perkawinan antara ayam betina berbulu blorok dengan ayam jantan berbulu polos akan menghasilkan keturunan berupa ayam betina berbulu polos dan ayam jantan berbulu blorok. Perhatikan diagram persilangan berikut.

$$\begin{array}{l}
 P: \quad \text{♀} Z^B W \qquad \times \qquad \text{♂} Z^b Z^b \\
 \text{(blorok)} \qquad \qquad \qquad \text{(polos)} \\
 \\
 G: Z^B Z^b = \text{jantan blorok} \\
 \quad Z^b W \quad = \text{betina polos}
 \end{array}$$

3) Pindah Silang (Crossing Over)

Pindah silang adalah peristiwa pertukaran segmen kromatid yang bukan saudaranya dari sepasang kromosom homolog. Pindah silang terjadi saat pembelahan meiosis I, yaitu pada akhir profase I atau awal metaphase I. Peristiwa tersebut menghasilkan kombinasi baru (rekombinan gen) dari sifat induknya. Pindah silang mengakibatkan terbentuknya empat macam gamet, dua macam gamet yang sifatnya sama dengan induknya (tipe parental) dan dua macam gamet yang merupakan hasil pindah silang (tipe rekombinan). Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar berikut.



Gambar: 4. Pindah Silang
 Sumber: blog.ruangguru.com

Menurut Suryo (1992), ada beberapa faktor yang kemungkinan mempengaruhi peristiwa pindah silang, antara lain:

- 1) Jarak antara gen-gen yang terangkai.
 Makin jauh letak satu gen dengan gen lainnya, makin besar kemungkinan terjadinya pindah silang.
- 2) Suhu
 Di atas atau di bawah suhu normal akan memperbesar kemungkinan terjadinya pindah silang.
- 3) Umur
 Makin tua umur individu, makin kecil peluang terjadinya pindah silang.
- 4) Zat kimia
 Ada zat kimia tertentu yang memperbesar kemungkinan pindah silang.
- 5) Jenis kelamin
 Pindah silang umumnya terjadi pada individu jantan dan betina, tetapi pada ulat sutera (*Bombyx mori*) hanya ulat sutera jantan yang mengalami pindah silang. Demikian pula pada lalat buah (*Drosophila*) jantan.

Dalam peristiwa pindah silang akan terbentuk kombinasi parental dan kombinasi rekombinan (kombinasi baru). Gen-gen yang berpautan tidak selamanya terpaut. Pindah silang menyebabkan pergantian alel di antara kromosom-kromosom homolog, menghasilkan kombinasi yang tidak ditemukan pada induknya. Pindah silang meningkatkan keanekaragaman genetik selain yang dihasilkan oleh pengelompokan gen secara bebas.

Peristiwa pindah silang akan **menghasilkan keturunan dengan sifat yang baru**. Hal ini disebabkan karena adanya **rekombinasi gen**, yaitu penggabungan dari sebagian gen induk jantan dengan sebagian gen induk betina pada saat proses fertilisasi (pembuahan), sehingga menghasilkan susunan pasangan gen yang berbeda dari gen-gen induknya. Nah, kamu tahu *nggak*, ternyata kita bisa menghitung nilai persentase rekombinasi dari hasil terjadinya pindah silang. Caranya dengan menggunakan rumus:

$$\text{NPS} = \frac{\text{Jumlah rekombinan (RK)}}{\text{Jumlah rekombinan (RK)} + \text{Jumlah kombinasi parental (KP)}} \times 100\%$$

Keterangan:

- RK (Rekombinan) adalah individu yang merupakan rekombinasi dari kedua induknya.
- KP (Kombinasi Parental) adalah individu yang sama dengan salah satu induknya.

Sekarang, ayo kita coba kerjakan bersama-sama contoh soal di bawah ini.

Contoh soal 1:

Hasil persilangan antara mangga besar manis (BbMm) dengan mangga kecil asam (bbmm) memperoleh hasil sebagai berikut:

Besar asam = 150

Besar manis = 750

Kecil manis = 100

Kecil asam = 500

Tentukan nilai pindah silangnya?

Pembahasan:

Diketahui bahwa mangga besar manis dan mangga kecil asam adalah parental, sedangkan mangga besar asam dan mangga kecil manis merupakan rekombinan. Jadi, nilai pindah silangnya adalah

$$\begin{aligned} \text{NPS} &= \frac{\text{Jumlah rekombinan (RK)}}{\text{Jumlah rekombinan (RK)} + \text{Jumlah kombinasi parental (KP)}} \times 100\% \\ &= \frac{150 + 100}{(150 + 100) + (750 + 500)} \times 100\% \\ &= \frac{250}{1500} \times 100\% \\ &= 16,67\% \end{aligned}$$

Contoh soal 2:

Pada persilangan lalat buah jantan bermata merah-sayap normal (PPVv) dengan lalat buah betina bermata ungu-sayap keriput (ppvv) didapatkan keturunan sebagai berikut.

Fenotipe	Jumlah
Mata merah-sayap normal (PpVv)	382
Mata merah –sayap keriput (Ppvv)	16
Mata ungu-sayap normal (ppVv)	22
Mata ungu-sayap keriput (ppvv)	353

Berapakah persentase Kombinasi Parental, Rekombinan, dan NPS pada persilangan tersebut?

Pembahasan:

Kombinasi parental = (merah, normal + ungu, keriput) = 382 + 353 = 735

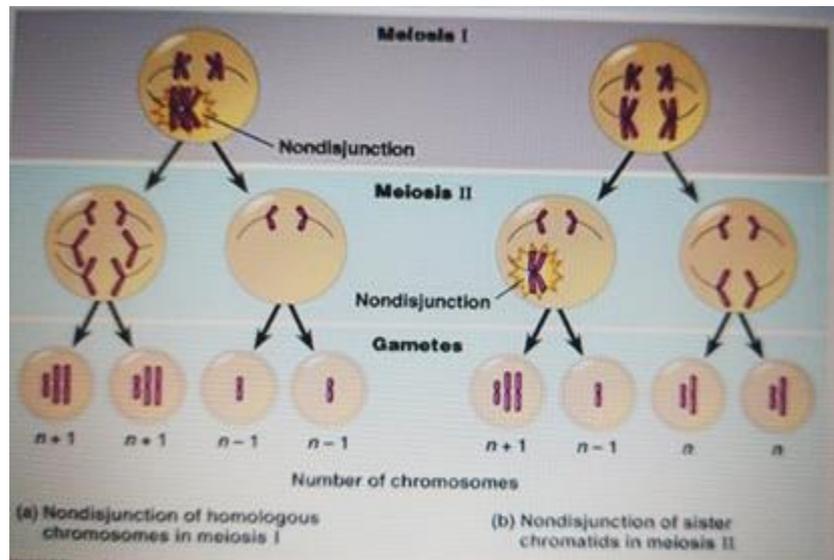
Rekombinan = (merah,keriput + ungu,normal) = 16 + 22 = 38

Jumlah total keturunan = 735 + 38 = 773

3) Gagal Berpisah (Non-Disjunction)

Gagal berpisah adalah peristiwa gagalnya satu kromosom atau lebih untuk berpisah ke arah kutub yang berlawanan pada saat anaphase meiosis I maupun

meiosis II. Gagal berpisah mengakibatkan sel anak kelebihan atau kekurangan kromosom (sel aneuploid). Gagal berpisah dapat terjadi pada gonosom maupun autosom. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 5. Peristiwa gagal berpisah
Sumber: brainly.co.id

Pada manusia, gagal berpisah dapat mengakibatkan sindrom Down atau idiot mongoloid ($45A + XX$ atau XY), sindrom Turner ($44A + X$), sindrom Klinefelter ($44A + XXY$), sindrom X tripel atau wanita super ($44A + XXX$), dan sindrom Jacobs ($44A + XYY$).

6) Gen Letal

Gen letal adalah gen yang menyebabkan kematian individu dalam keadaan homozigot, sedangkan dalam keadaan heterozigot, seseorang dalam keadaan normal atau sub letal. Ada dua macam gen letal yang perlu Anda ketahui:

1) Gen letal dominan

Gen letal dominan merupakan gen yang menyebabkan kematian individu dalam keadaan homozigot dominan. Sedangkan dalam keadaan heterozigot, seorang individu dapat bersifat subletal yang mengakibatkan terjadinya kelainan. Contoh gen yang menyebabkan kaki dan sayap pendek (redep) pada ayam, gen warna rambut kuning pada tikus, gen Huntington's Disease, dan gen yang menyebabkan pemendekan ruas-ruas jari (*brakidactili*) pada manusia.



Gambar 6. Ayam redep/ceper
Sumber: ayamhias.com

a) Ayam redep atau ayam creeper

Pertumbuhan tulang pada ayam ditentukan oleh gen c. Alelnya, gen C, menyebabkan ketidaknormalan pada pertumbuhan tulang. Ayam bergenotipe CC tidak pernah ada karena mati sewaktu embrio. Ayam bergenotipe Cc dapat hidup, tetapi cacat, yaitu kaki dan sayap pendek. Ayam itu disebut ayam redep atau creeper. Perkawinan ayam redep jantan dan ayam redep betina akan menghasilkan keturunan dengan perbandingan 2 ayam redep : 1 ayam normal.

P : ayam normal >< ayam normal
(Cc) (Cc)
G : C, c
F1 : CC = ayam letal
Cc = ayam redep
Cc = ayam redep
cc = ayam normal

b) Tikus kuning

Tikus yang normal umumnya berwarna hitam atau abu-abu. Pembentukan pigmen hitam atau abu-abu ditentukan oleh gen resesif y. Alelnya gen Y (yellow), menyebabkan tikus tidak berwarna hitam atau abu-abu, melainkan berwarna kuning. Tikus kuning yang hidup bergenotipe Yy, sedangkan tikus YY tidak pernah ada karena letal. Tikus normal bergenotipe yy. Perkawinan dua tikus kuning akan menghasilkan keturunan dengan perbandingan 2 tikus kuning : 1 tikus abu-abu.

P : tikus kuning >< tikus kuning
(Yy) (Yy)
G : Y, y
F1 : YY = tikus letal
Yy = tikus kuning
Yy = tikus kuning
yy = tikus abu-abu

2) Gen letal resesif

Gen letal resesif merupakan gen yang menyebabkan kematian individu dalam keadaan homozigot resesif. Sedangkan dalam keadaan heterozigot, dapat bersifat carrier (pembawa sifat) yang dapat diwariskan pada keturunannya. Contohnya adalah gen yang dapat menyebabkan kelainan albino pada tanaman jagung. Sifat albino ini muncul karena tidak terbentuk klorofil. Karena tidak memiliki klorofil, maka tanaman tersebut tidak dapat melakukan fotosintesis sehingga akan segera mati setelah berkecambah. Sifat albino ditentukan oleh gen resesif a dan alelnya, gen A, menyebabkan tanaman dapat membuat klorofil. Tanaman albino bergenotipe aa, sedangkan tanaman normal bergenotipe homozigot AA atau heterozigot Aa. Tanaman yang bergenotipe Aa, meskipun normal, daunnya agak kekuningan.

Jika tanaman normal heterozigot dibiarkan menyerbuk sendiri, keturunannya akan memiliki perbandingan 1 tanaman normal homozigot : 2 tanaman normal heterozigot. Meskipun demikian, hal itu dapat dikatakan 100% normal.

P : tanaman normal (Aa) >< tanaman normal (Aa)
G : A, a
F1 : AA = tanaman normal (berklorofil)
Aa = tanaman normal (berklorofil)
Aa = tanaman normal (berklorofil)
aa = tanaman letal (albino)



Gambar 7. Jagung albino
Sumber: ruangguru.com

C. Rangkuman

1. Bentuk pola-pola hereditas meliputi determinasi seks, pautan, pindah silang, gagal berpisah, dan gen letal.
2. Determinasi seks adalah proses penentuan jenis kelamin pada makhluk hidup berdasarkan kromosom kelamin (gonosom).
3. Berdasarkan susunan kromosom kelamin, tipe penentuan jenis kelamin makhluk hidup dapat dibedakan menjadi empat tipe yaitu, tipe XY, tipe XO, tipe ZW, dan tipe haplo-diploid.
4. Pautan gen terjadi akibat gen-gen terletak pada lokus yang berdekatan sehingga pembentukan gamet saling berkait dan berikatan.
5. Pindah silang merupakan pemisahan dan pertukaran bagian kromatid dari sepasang kromosom homolog.
6. Gagal berpisah (non-disjunction) merupakan peristiwa gagal berpisahnya kromosom homolog pada saat anaphase dari pembelahan meiosis I atau meiosis II. Oleh karena itu, terdapat lebih banyak kromosom pada sel anakan yang satu daripada sel anakan yang lain setelah pemisahan.
7. Gen letal adalah gen yang dapat menyebabkan kematian dalam keadaan homozigot. Gen letal dapat berupa homozigot dominan maupun homozigot resesif.

D. Penugasan Mandiri

Berikan pendapat dan alasanmu jika terjadi pautan seks, pindah silang, dan gagal berpisah pada manusia secara kontinu terhadap perbedaan variasi pada manusia!

E. Latihan Soal

Latihan Soal Essay

Petunjuk: Jawablah soal-soal berimut sesuai perintahnya!

1. Jelaskan penentuan jenis kelamin pada lalat buah (*Drosophila melanogaster*)
2. Jelaskan mengapa pautan dapat terjadi!
3. Sebutkan contoh pautan pada manusia!
4. Jelaskan yang dimaksud dengan pindah silang (Crossing Over)!
5. Jelaskan perbedaan gen letal dominan dengan gen letal resesif?

Latihan Pilihan Ganda

Petunjuk: Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

1. Seorang laki-laki normal menikah dengan wanita karier buta warna. Jika anak perempuannya yang normal menikah dengan laki-laki buta warna, kemungkinan fenotip anak yang lahir dari perkawinan tersebut adalah
 - A. 25% perempuan normal
 - B. 50% perempuan karier
 - C. 50% laki-laki buta warna
 - D. 75% laki-laki normal
 - E. 100% laki-laki normal
2. Peristiwa gagal berpisah (non-disjunction) terjadi pada....
 - A. telopase I
 - B. profase II
 - C. metafase II
 - D. profase I
 - E. anafase I
3. Manakah kelainan/penyakit pada manusia berikut ini yang disebabkan oleh peristiwa non-disjunction adalah
 - A. buta warna
 - B. hemofilia
 - C. anadontia
 - D. leukeumia
 - E. sindrom down
4. Manakah contoh organisme yang akan bersifat letal dalam keadaan homozigot dominan adalah
 - A. tikus albino
 - B. sickle cell pada manusia
 - C. kucing kaliko
 - D. jagung albino
 - E. ayam redep
5. Peristiwa pindah silang (crossing over) terjadi pada
 - A. Anafase II
 - B. Telofase I
 - C. Anafase I
 - D. Metafase II
 - E. Profase I

Kunci jawaban soal essay dan pedoman penilaian

No.	Kunci Jawaban	Skor
1.	Lalat buah betina memiliki sepasang kromosom X, sedangkan lalat buah jantan memiliki satu kromosom X dan satu kromosom Y. Gonosom Y pada lalat buah tidak menentukan jenis kelamin, tetapi menentukan kesuburan (fertilitas). Jenis kelamin lalat buah dapat ditentukan dengan perimbangan jumlah gonosom X dengan jumlah set autosom (indeks kelamin)	2
2.	Pautan (linkage) adalah peristiwa dua gen atau lebih yang terletak pada kromosom yang sama dan tidak dapat memisah secara bebas pada waktu pembelahan meiosis. Gen-gen tersebut berada dalam keadaan tertaut sehingga cenderung diturunkan bersama-sama. Pautan dapat terjadi pada kromosom tubuh (pautan gen) maupun kromosom seks (pautan seks)	2
3.	Pautan seks pada manusia dapat dibedakan pada gen dominan dengan gen resesif. Pautan gen pada gen dominan misal gigi coklat dan hypertrichosis . Adapun pautan seks pada gen resesif missal hemophilia, buta warna, dan anadontia.	2
4.	Pindah silang adalah peristiwa pertukaran segmen kromatid yang bukan saudaranya dari sepasang kromosom homolog. Pindah silang terjadi saat pembelahan meiosis I, yaitu pada akhir profase I atau awal metafase I. Peristiwa tersebut menghasilkan kombinasi baru (rekombinan gen) dari sifat induknya. Pindah silang mengakibatkan terbentuknya empat macam gamet, dua macam gamet yang sifatnya sama dengan induknya (tipe parental) dan dua macam gamet yang merupakan hasil pindah silang (tipe rekombinan)	2
5.	Gen letal dominan merupakan gen yang menyebabkan kematian individu dalam keadaan homozigot dominan sedangkan Gen letal resesif merupakan gen yang menyebabkan kematian individu dalam keadaan homozigot resesif.	2

Keterangan : $nilai\ yang\ didapat = \frac{jumlah\ skor}{10} \times 100$

Kunci jawaban soal pilihan ganda dan pedoman penilaian

No	Kunci jawaban	Pembahasan
1.	C	<p>P : ♀ normal x ♂ buta warna $(X^C X^C)$ x $(X^c Y)$</p> <p>G : X^C, X^c x X^c, Y</p> <p>F1 : $X^C X^c =$ perempuan carrier = 50% $X^c Y$ (laki-laki buta warna) = 50%</p>
2.	E	Gagal berpisah adalah peristiwa gagalnya satu kromosom atau lebih untuk berpisah ke arah kutub yang berlawanan pada saat anafase meiosis I maupun meiosis II.
3.	E	Pada manusia, gagal berpisah dapat mengakibatkan sindrom Down atau idiot mongoloid ($45A + XX$ atau XY), sindrom Turner ($44A + X$), sindrom Klinefelter ($44A + XXY$), sindrom X tripel atau wanita super ($44A + XXX$), dan sindrom Jacobs ($44A + XYY$).

4.	E	Gen letal dominan merupakan gen yang menyebabkan kematian individu dalam keadaan homozigot dominan. Sedangkan dalam keadaan heterozigot, seorang individu dapat bersifat subletal yang mengakibatkan terjadinya kelainan. Contoh gen yang menyebabkan kaki dan sayap pendek (redep) pada ayam
5.	E	Pindah silang terjadi saat pembelahan meiosis I, yaitu pada akhir profase I atau awal metaphase I.

Setiap jawaban benar diberi skor=1

Keterangan : $nilai\ yang\ didapat = \frac{jumlah\ skor}{5} \times 100$

Nilai Total = $\frac{Nilai\ Essay + Nilai\ Pilihan\ Ganda}{2}$

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1.	Apakah Anda dapat menjelaskan proses penentuan jenis kelamin (determinasi seks)?		
2.	Apakah Anda dapat menjelaskan proses peristiwa pautan?		
3.	Apakah Anda dapat menjelaskan pindah silang?		
4.	Apakah Anda dapat menjelaskan tentang gagal berpisah ?		
5.	Apakah Anda dapat menjelaskan tentang gen letal ?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

EVALUASI

Petunjuk: Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

1. Diketahui genotype CC bersifat letal. Pembastaran antara ayam bergenotipe Cc dengan sesamanya akan menghasilkan keturunan yang diharapkan hidup sebesar
 - A. 25%
 - B. 40%
 - C. 50%
 - D. 60%
 - E. 75%
2. Gen untuk warna mata pada Drosophila adalah terpaut seks. Disilangkan lalat betina bermata merah dengan jantan bermata putih, F1 dibastarkan sesamanya, maka perbandingan fenotip F2....
 - A. 50% betina mata merah : 25% jantan mata merah : 25% jantan mata putih
 - B. 25% betina mata putih : 50% jantan mata putih : 25% betina mata putih
 - C. 50% betina mata putih : 25% jantan mata putih : 25% jantan mata merah
 - D. 75% betina mata putih : 12,5% jantan mata merah : 12,5% jantan mata putih
 - E. 25% betina mata merah : 25% betina mata putih : 50% jantan mata putih
3. Hasil testcross pada lalat betina mata merah sayap normal (PpVv) dengan jantan mata ungu sayap keriput (ppvv) adalah....
 - A. 45,2%
 - B. 40,5%
 - C. 35,4%
 - D. 30%
 - E. 25%
4. Drosophila melanogaster yang memiliki formula kromosom 3AA+XXY, berjenis kelamin....
 - A. Betina super
 - B. Betina fertile
 - C. Jantan steril
 - D. Jantan letal
 - E. Interseks steril
5. Perkawinan antara ayam creeper jantan dengan ayam creeper betina menghasilkan 40 telur. Setelah dierami, ternyata sebagian telur gagal menetas. Anak ayam yang berfenotipe creeper adalah....
 - A. 5 ekor
 - B. 10 ekor
 - C. 15 ekor
 - D. 20 ekor
 - E. 30 ekor
6. Pada peristiwa pindah silang sebagian kromosom berpindah menuju kromosom lain sehingga terbentuk individu yang mempunyai perpaduan sifat dari kedua induknya (tipe rekombinan). Faktor yang bukan merupakan penentu penyebab peristiwa tersebut adalah....
 - A. Umur
 - B. Zat kimia
 - C. Temperatur

- D. Jarak antar gen
E. Varietas kedua induk berbeda
7. Pada tanaman jagung, gen A (daun berklorofil), gen a (daun tidak berklorofil), gen B (batang tinggi), gen b (batang pendek). Jika genotype aa bersifat letal, hasil persilangan AaBb dengan Aabb akan diperoleh keturunan dengan perbandingan fenotipe....
- A. Hijau-tinggi : hijau pendek = 1 : 1
 - B. Hijau-tinggi : hijau pendek = 3 : 1
 - C. Hijau-tinggi : putih pendek = 1 : 1
 - D. Hijau-tinggi : putih pendek = 2 : 1
 - E. Putih-tinggi : hijau pendek = 3 : 1
8. Kucing betina berwarna oranye disilangkan dengan kucing jantan berwarna hitam. Warna rambut kucing terpaut pada kromosom X. warna rambut hitam dominan terhadap oranye. Persentase kemungkinan anak kucing yang berambut tiga warna (kaliko) adalah....
- A. 0%
 - B. 25%
 - C. 50%
 - D. 75%
 - E. 100%
9. Drosophila jantan sayap panjang-badan lebar (VvAa) disilangkan dengan Drosophila betina sayap pendek-badan sempit (vvaa). Jika gen V terpaut gen A dan gen v terpaut gen a, keturunannya akan memiliki perbandingan genotype sebesar
- A. 1 : 1
 - B. 3 : 1
 - C. 9 : 3 : 4
 - D. 9 : 3 : 3 : 1
 - E. 1 : 1 : 1 : 1
10. Pada jagung gen A mengakibatkan daun hijau, sedangkan gen a dalam keadaan homozigot mengakibatkan albino letal. Apabila jagung berdaun hijau heterozigot disilangkan sesamanya, persentase keturunan yang diharapkan dapat hidup adalah....
- A. 10%
 - B. 20%
 - C. 25%
 - D. 50%
 - E. 75%

KUNCI JAWABAN DAN PEDOMAN PENILAIAN

Nomor soal	Kunci jawaban	Nomor soal	Kunci jawaban
1.	E	6.	E
2.	A	7.	B
3.	C	8.	C
4.	E	9.	A
5.	B	10.	E

Setiap jawaban benar diberi skor = 1

Keterangan : $nilai\ yang\ didapat = \frac{jumlah\ skor}{10} \times 100$

DAFTAR PUSTAKA

Ben Watson. nationalgardening.com

Depdiknas. 2003. *Pengembangan silabus dan penilaian*, Jakarta: Ditjen Dikmenum.

Dorling Kindersley. 1997. *Kehidupan, Jakarta*: Balai Pustaka.

Deptan. 2004. *Pemuliaan dan bioteknologi tanaman*, Jakarta: Departemen Pertanian Pusat.

Istamar Syamsuri. 2003. *Biologi 2000 3A*, Jakarta: Erlangga.

Michael R. Cumming. 1991. *Human heredity (2eds)*. USA: West Publishing Company.

Moh Amien. 1995. *Biologi 3 petunjuk guru*, Jakarta: Depdikbud.

Moh Amien. 1995. *Biologi 3 SMU*. Jakarta: Depdikbud.

Robert F.W. dan Philip W.H. 1989. *Genetics*, USA: Wm. C. Brown Publisher

Suryo. 1986. *Genetika*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Tim Intan Pariwara. 2004 *Biologi 3a*, Klaten: PT Intan Pariwara.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

BIOLOGI



KELAS
XII



HEREDITAS MANUSIA
BIOLOGI
XII

PENYUSUN
ELVI JULIANIDA DAULAY, S.Pd, M.Si
SMA N 1 SUNGGAL

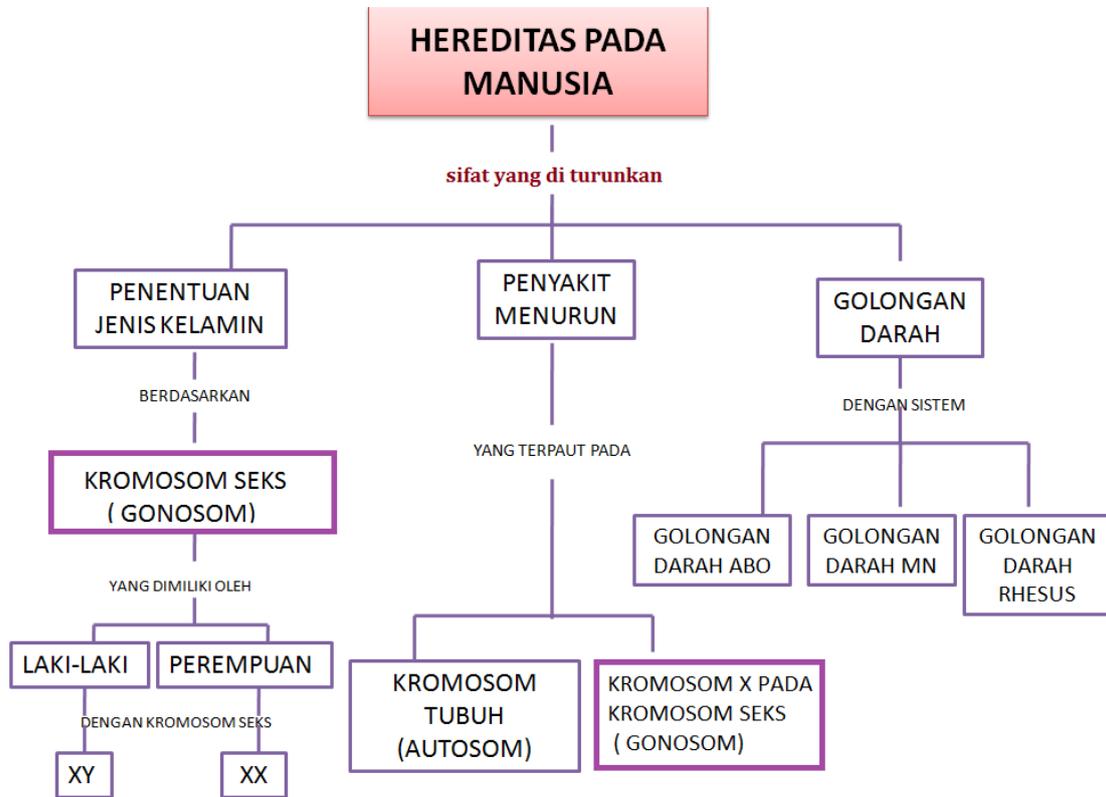
DAFTAR ISI

PENYUSUN	2
DAFTAR ISI	3
GLOSARIUM	4
PETA KONSEP.....	5
PENDAHULUAN.....	6
A. Identitas Modul	6
B. Kompetensi Dasar.....	6
C. Deskripsi Singkat Materi	6
D. Petunjuk Penggunaan Modul	6
E. Materi Pembelajaran	6
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	7
PENENTUAN JENIS KELAMIN DAN KELAINAN/PENYAKIT MENURUN MELALUI AOTOSOM.....	7
A. Tujuan Pembelajaran	7
B. Uraian Materi.....	7
C. Rangkuman	11
D. Penugasan Mandiri	11
E. Latihan Soal	12
F. Penilaian Diri	13
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	14
KELAINAN/PENYAKIT MENURUN MELALUI GONOSOM DAN GOLONGAN DARAH	14
A. Tujuan Pembelajaran	14
B. Uraian Materi.....	14
C. Rangkuman	17
D. Penugasan Mandiri	17
E. Latihan Soal	17
F. Penilaian Diri	20
EVALUASI	21
DAFTAR PUSTAKA	24

GLOSARIUM

- Albino** : Kelainan menurun dimana pada kulit manusia tidak mempunyai pigmen pewarna kulit.
- Autosom** : setiap kromosom sel tubuh (selain kromosom sel kelamin)
- Brachydactily** : merupakan kelainan berupa jari-jari yang pendek karena tulang palanges (ruas jari) pendek. Buta warna adalah penyakit keturunan yang menyebabkan seseorang tidak bisa membedakan warna merah dengan biru, atau kuning dengan hijau. Penyakit keturunan ini disebabkan oleh gen resesif cb (color blind)
- Dentinogenesis Imperfecta** : kelainan pada gigi manusia yang menyebabkan tulang gigi (dentin) berwarna seperti air susu. Kelainan ini disebabkan oleh gen dominan Dt
- Dominan** : sifat yang menguasai/mengalahkan sifat lainnya
- Gonosom** : merupakan sel kelamin jantan atau betina
- Hemofilia** : penyakit keturunan yang mengakibatkan darah seseorang sukar membeku
- Heterozigot** : genotif dengan alel yang berbeda.
- Homozigot** : genotif dengan alel yang sama.
- Polidactily** : merupakan kelainan berupa kelebihan jumlah jari tangan dan kaki. Kelainan/cacat ini bersifat menurun. Kelainan ini diwariskan oleh gen autosom dominan P
- Resesif** : sifat yang dikuasai/dikalahkan oleh sifat lainnya
- Thalasemia** : Thalasemia menyebabkan kemampuan eritrosit dalam mengangkut oksigen menjadi rendah sehingga menyebabkan anemia

PETA KONSEP



Gambar 1. Peta Konsep Hereditas Pada Manusia

PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: Biologi
Kelas	: XII
Alokasi Waktu	: 4 JP
Judul Modul	: Hereditas pada Manusia

B. Kompetensi Dasar

- 3.7. Menganalisis pola-pola hereditas pada manusia berdasarkan studi kasus dalam berbagai aspek kehidupan.
- 4.7 Menyajikan data hasil analisis dari berbagai sumber tentang pola-pola hereditas pada manusia.

C. Deskripsi Singkat Materi

Melalui modul ini Anda akan mempelajari pola-pola hereditas pada manusia diantaranya menggunakan *Pedigree* (peta silsilah). Secara runtut modul ini mempelajari pola-pola hereditas manusia yang meliputi penentuan jenis kelamin dan penyakit/kelainan menurun melalui autosom dan kromosom kelamin dan penurunan golongan darah

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Supaya anda berhasil mencapai kompetensi dalam mempelajari modul ini, maka ikuti petunjuk – petunjuk berikut :

1. Pelajari daftar isi dengan cermat dan teliti karena dalam modul ini akan tampak kedudukan modul yang sedang anda pelajari.
2. Pahami setiap materi yang diuraikan dalam modul ini, sehingga memudahkan anda untuk mengerjakan tugas dan penilaian dengan hasil yang maksimal
3. Jawablah latihan soal dengan baik, kemudian cocokkanlah hasil jawaban kamu dengan kunci jawaban
4. Apabila jawaban anda sudah mencapai 85% anda bisa melanjutkan ke kegiatan berikutnya
5. Bila terdapat penugasan, kerjakan tugas tersebut dengan baik
Catatlah kesulitan kesulitan yang anda temui dalam modul ini untuk dikonsultasikan ke guru mata pelajaran.

E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini terdiri dari:

- Pertama : Penentuan Jenis Kelamin dan Kelainan/Penyakit yang diturunkan melalui Autosom
- Kedua : Kelainan/Penyakit yang diturunkan melalui Ganosom dan Golongan Darah

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

PENENTUAN JENIS KELAMIN DAN KELAINAN/PENYAKIT MENURUN MELALUI AOTOSOM

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan Anda mampu :

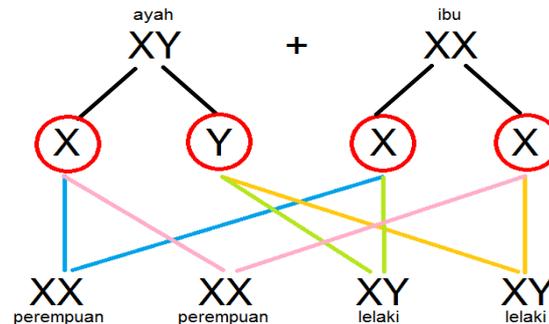
1. Menjelaskan penentuan jenis kelamin pada manusia.
2. Menganalisis kelainan/penyakit yang diturunkan melalui autosom.

B. Uraian Materi

1. Penentuan Jenis Kelamin

Jenis kelamin itu ditentukan oleh sepasang kromosom kelamin, yaitu X dan Y. Jika kromosom kelaminnya XX, maka jenis kelaminnya wanita. Jika kromosom kelaminnya XY, maka jenis kelaminnya pria. XX atau XY terbentuk saat proses pembuahan.

Manusia : mempunyai 46 kromosom / 23 pasang kromosom, yang terdiri atas 22 pasang kromosom tubuh, dan sepasang kromosom seks. Kromosom kelamin ada 2 macam yaitu kromosom X dan Y



Gambar 1. Skema Penentuan jenis Kelamin
Sumber : <https://sjuelfarahin.blogspot.com/>

2. Kelainan/Penyakit yang diturunkan melalui Autosom

a. Albino

Albino merupakan kelainan yang disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh dalam membentuk pigmen melanin. Hal ini menyebabkan seseorang menderita albino, warna kulit dan rambutnya menjadi putih (tidak berpigmen). Keadaan tersebut menyebabkan penderita albino tampak seperti bule. Selain itu, warna retina penderita albino biasanya juga kekurangan pigmen sehingga penderita albino merasa perih matanya jika melihat cahaya matahari yang terang, selain itu penderita albino juga sangat mudah terkena kanker kulit dan sedikit kurang pendengarannya.

Albino dikendalikan oleh gen autosom yang bersifat resesif dengan simbol a sebagai gen penyebab albino dan A sebagai gen normal. Jika seseorang

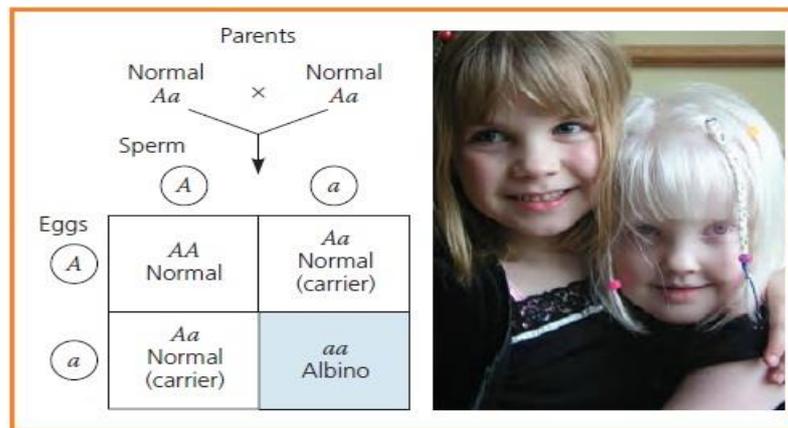
bergentip aa maka orang tersebut akan menderita albino, sedangkan orang yang bergentip Aa merupakan orang yang normal, tetapi berpotensi sebagai pembawa albino. Orang yang normal memiliki genotip AA.

Contoh, jika seorang perempuan yang normal heterozigot menikah dengan laki-laki normal heterozigot maka kemungkinannya 25% memiliki anak albino.

P (Parental) : perempuan normal heterozigot x laki-laki normal heterozigot
 (Aa) x (Aa)

G (Gamet) : A,a A,a

F1 (Filial 1) : 1 AA : normal homozigot (25%)
 2 Aa : normal heterozigot (50%)
 1 aa : albino (25%)



Gambar 2. Skema penurunan sifat albino (aa)
 Sumber : <https://biologigonz.blogspot.com/>

b. Brakidaktili

Brakidaktili merupakan kelainan genetik yang menyebabkan jari-jari tangan dan kaki menjadi pendek. Kelainan ini disebabkan oleh adanya gen letal dominan yang disimbolkan dengan B. dalam keadaan homozigot, gen tersebut bersifat letal. Individu yang mengandung gen homozigot akan dilahirkan tanpa jari tangan dan jari kaki dengan kerusakan lain pada rangka sehingga menyebabkan kematian. Orang yang heterozigot hanya memiliki dua ruas jari karena ruas jari tengah sangat pendek dan tumbuh bersatu dengan ruas jari yang lain. Orang normal bergentip bb.



Gambar 3. Brakidaktili
 Sumber : <http://meilankiky.blogspot.com/>

Jika sesama penderita brakidaktili menikah maka kemungkinan mempunyai anak yang normal hanya 25%.

P : perempuan brakidaktili x laki-laki brakidaktili
 (Bb) (Bb)
 G : B,b B,b
 F1 : BB = meninggal (25%)
 Bb = brakidaktili (50%)
 bb = normal (25%)

c. Gangguan Mental (Phenil ketonuria/PKU)

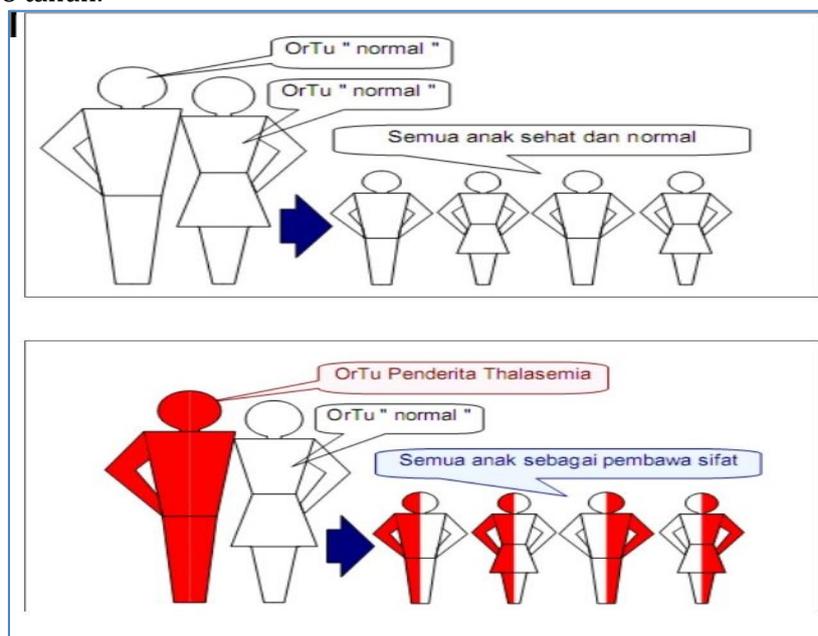
Kelainan ini disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh dalam mensintesis enzim yang mengubah asam amino fenil alanine menjadi asam amino tirosin. Akibatnya, kadar asam amino fenil alanin dalam darah meningkat. Kadar asam amino fenil alanine yang tinggi tersebut sebagian dikeluarkan dalam bentuk urine dan sebagian lagi akan diubah menjadi fenil piruvat yang dapat merusak kerja sistem saraf manusia.

Penderita fenil ketonuria akan mengalami keterbelakangan mental. Jika sudah dewasa biasanya penderita mengalami gangguan jiwa. Penderita juga memiliki ciri-ciri lain seperti rambut cepat beruban dan bau keringat yang tidak enak. Kelainan ini dikendalikan oleh gen resesif pada autosom. Gen yang menyebabkan kelainan ini disimbolkan dengan huruf f, sedangkan alel dominannya F. Seorang penderita gangguan mental memiliki genotif ff, sedangkan orang yang normal bergenotif FF (homozigot dominan) atau Ff (heterozigot).

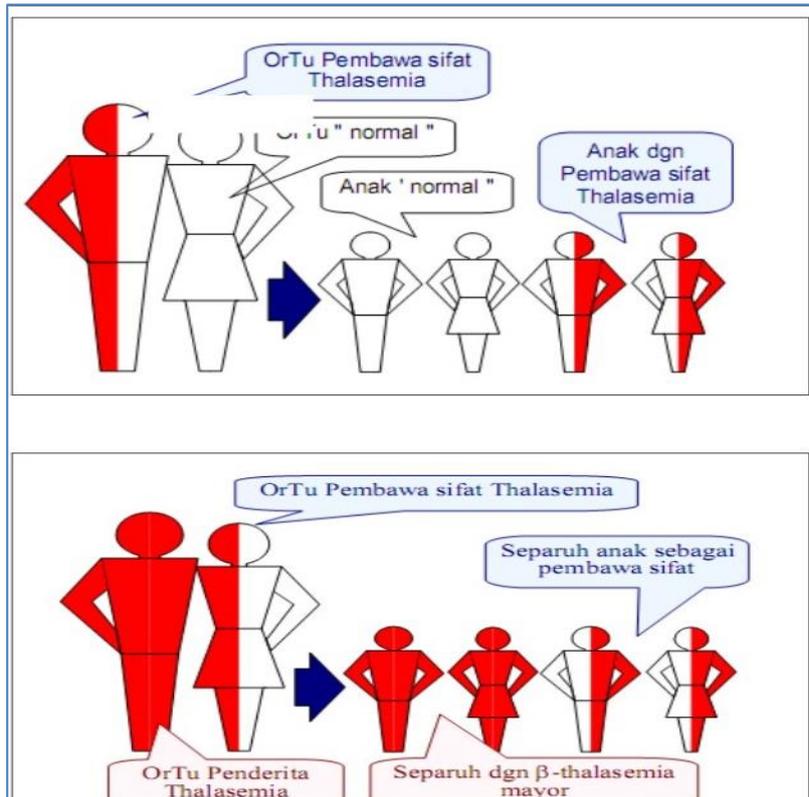
Jika wanita normal heterozigot menikah dengan pria normal heterozigot maka kemungkinan untuk memiliki anak yang menderita gangguan mental sebesar 25%.

d. Talasemia

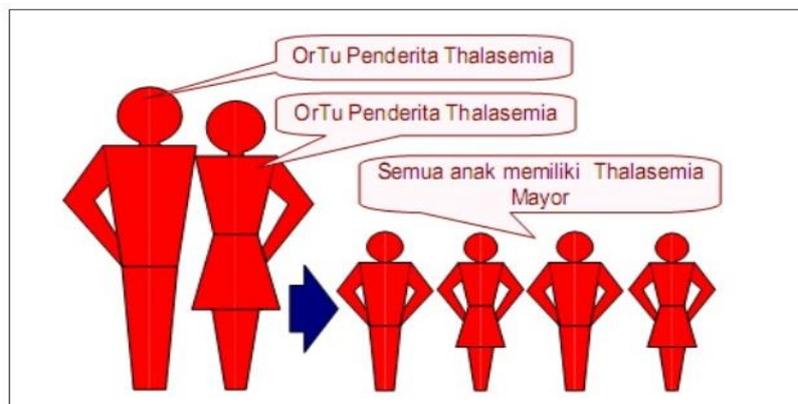
Talasemia merupakan salah satu jenis anemia hemolitik dan merupakan penyakit keturunan yang diturunkan secara autosomal yang paling banyak dijumpai di Indonesia dan di Italia. Enam sampai sepuluh dari setiap 100 orang Indonesia membawa gen penyakit ini. Kalau sepasang dari mereka menikah, kemungkinan untuk mempunyai anak penderita talasemia berat adalah 25%, 50% menjadi pembawa sifat (carrier) talasemia, dan 25% kemungkinan bebas talasemia. Sebagian besar penderita talasemia adalah anak-anak usia 0 hingga 18 tahun.



Gambar 4. Skema Hereditas Thallasemia (Bagian 1)



Gambar 5. Skema Hereditas Thallasemia (Bagian 2)



Gambar 6. Skema Hereditas Thallasemia (Bagian 3)

C. Rangkuman

1. Jenis kelamin pada manusia dikendalikan oleh sepasang kromosom seks, yaitu kromosom XX untuk perempuan dan kromosom XY untuk laki-laki. Berdasarkan susunan tersebut, kromosom perempuan bersifat homogametik, sedangkan susunan kromosom seks laki-laki bersifat heterogametik. Bila terjadi pembelahan meiosis, maka seorang perempuan hanya akan menghasilkan satu macam sel gamet yaitu X, sedangkan laki-laki akan menghasilkan dua macam sel gamet yaitu X dan Y
2. Kelainan/Penyakit yang diturunkan melalui autosom bersifat dominan antara lain: brakidaktil dan polidakti.
3. Kelainan/Penyakit yang diturunkan melalui autosom bersifat resesif antara lain: albino, imbisil (gangguan mental), dan sikleミア

D. Penugasan Mandiri

Perhatikan dan lengkapi table berikut

Gambar	Penyakit/Kelainan	Penyebab
		
		
		

E. Latihan Soal

1. Dalam sel tubuh dan sel kelamin terdapat autosom dan kromosom seks.
Tuliskan jumlah kromosom pada spermatozoa manusia!
2. Jika seseorang albino menikah dengan orang normal homozigot, bagaimanakah keturunannya?

PEMBAHASAN

No.	Pembahasan	Skor
1.	Manusia mempunyai 46 kromosom / 23 pasang kromosom, yang terdiri atas 22 pasang kromosom tubuh, dan 1 pasang kromosom seks. Kromosom seks ini ada 2 jenis yaitu XY (pria) dan XX (wanita). Karena kromosom sel kelamin bersifat haploid, maka: a. Kromosom di dalam inti ovum : 22 autosom + X b. Kromosom di dalam inti spermatozoa: 22 autosom+ X atau 22 autosom + Y	2
2.	P : aa >< AA G : a A F1 : Aa(normal carier) = 100% Jika F1 menikah dengan orang albino maka : P : Aa >< aa G : A,a a,a F2 : Aa = normal carier = 50% Aa = albino = 50 %	4

Keterangan : $nilai\ yang\ didapat = \frac{jumlah\ skor}{10} \times 100$

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1.	Apakah Anda telah mampu menjelaskan penentuan jenis kelamin (determinasi seks) pada manusia?		
2.	Apakah Anda telah mampu menjelaskan berbagai macam kelainan/penyakit yang diturunkan melalui autosom?		
3.	Apakah Anda telah mampu mengidentifikasi genotip dan fenotip berbagai kelainan/penyakit yang diturunkan melalui autosom?		
4.	Apakah Anda telah mampu menghitung rasio fenotip hasil keturunan dari suatu tipe perkawinan berkaitan dengan suatu kelainan/yang diturunkan melalui autosom?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

KELAINAN/PENYAKIT MENURUN MELALUI GONOSOM DAN GOLONGAN DARAH

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan Anda mampu :

1. Menganalisis kelainan/penyakit yang diturunkan melalui gonosom.
2. Menganalisis penurunan golongan darah pada manusia

B. Uraian Materi

Kelainan/penyakit menurun yang diturunkan melalui sel kelamin (gonosom) ada yang terpaut kromosom X dan ada yang terpaut kromosom Y.

1. Kelainan/Penyakit genetic terpaut Kromosom X

a. Hemofilia

Hemofilia adalah penyakit genetik yang ditandai dengan darah yang sulit membeku. Hal ini karena tubuh penderita hemofilia kekurangan faktor pembeku darah sehingga darah sulit membeku. Apabila seorang penderita hemofilia mengalami luka maka akan mengalami pendarahan terus menerus sehingga luka sekecil apapun dapat menyebabkan penderita meninggal karena kehabisan darah.

Darah yang normal akan membeku dalam waktu 5 menit, sedangkan darah penderita hemofilia memerlukan waktu antar 16 menit-20 menit untuk membeku. Dalam jangka waktu tersebut sudah cukup bagi penderita hemofilia untuk kehabisan darah jika terjadi pendarahan.

Penyakit ini dikendalikan oleh gen h yang bersifat resesif yang terpaut pada kromosom X. Penderita hemofilia biasanya laki-laki yang bergenotip X^hY . Penyakit hemofilia tidak ditemukan pada wanita karena gen h penyebab hemofilia bersifat letal jika dalam keadaan homozigot resesif. Dengan demikian, perempuan yang bergenotif X^hX^h akan meninggal sebelum dilahirkan atau ketika masih bayi. Perempuan yang bergenotip X^HX^h adalah perempuan normal, akan tetapi perempuan tersebut merupakan pembawa hemofilia.

Semua perempuan yang bergenotip heterozigot adalah carrier. Jika perempuan tersebut menikah dengan laki-laki normal, maka ada kemungkinan anak laki-laki dari keturunannya menderita hemofilia. Hal ini dapat di gambarkan sebagai berikut:

P (Parental)	:	perempuan hemofilia	><	laki-laki normal
	:	X^HX^h	><	X^HY
G (Gamet)	:	X^H, X^h	><	X^H, Y
F (keturunan)	:	$X^HX^H, X^HY, X^HX^h, X^hY$		
Rasio Fenotip	:	25% perempuan normal		
		25% laki-laki normal		
		25% perempuan carrier hemofilia		
		25% laki-laki hemophilia		

b. Buta Warna

Buta warna adalah kelainan yang ditandai dengan ketidakmampuan untuk membedakan warna. Buta warna dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu buta warna parsial (sebagian) dan buta warna total. Penderita buta warna parsial tidak bisa membedakan warna merah dan warna hijau, sedangkan buta warna total tidak bisa membedakan semua warna, dalam penglihatannya hanya warna hitam dan putih saja. Kelainan ini dikendalikan oleh gen c yang bersifat resesif sehingga perempuan yang bergenotip X^cX^c akan meninggal ketika dia masih dalam kandungan atau ketika masih dalam bayi. Dengan demikian, penderita buta warna kebanyakan adalah laki-laki. Laki-laki penderita buta warna bergenotip X^cY , sedangkan laki-laki normal bergenotip X^CY . Perempuan yang bergenotip X^CX^c merupakan perempuan normal, tetapi pembawa buta warna (carrier). Apabila dalam pasangan alel dengan kromosom X yang normal, maka cacat buta warna tidak akan terjadi, tetapi bila berpasangan dengan kromosom y, maka laki-laki akan menderita buta warna. Jika perempuan pembawa buta warna menikah dengan lelaki normal maka kemungkinan anaknya ada yang buta warna.

Contoh: Jika perempuan pembawa buta warna menikah dengan laki-laki normal, maka kemungkinan anaknya ada yang buta warna.

P	: Perempuan pembawa buta warna	x	Laki-laki normal
	(X^CX^c)	x	(X^CY)
G	:	x	X^C, X^c
F1	:		X^CX^C (Normal) X^CY (Normal) X^CX^c (Wanita carrier) X^cY (laki-laki buta warna)
	Rasio Fenotip :		25% perempuan normal 25% laki-laki normal 25% perempuan pembawa buta warna (carrier) 25% laki-laki buta warna

c. Anodontia

Anodontia merupakan suatu keadaan dimana benih gigi tidak terbentuk sama sekali disebabkan oleh gen resesif pada kromosom X. Meskipun semua gigi sulung terbentuk dalam jumlah yang tepat, anodontia dapat terjadi pada periode gigi tetap/ permanen. Namun sebenarnya kondisi ini sangat jarang terjadi. Biasanya anodontia melibatkan baik gigi susu maupun gigi tetap. Namun sebagian besar kasus ditemukan anodontia yang terjadi pada gigi tetap. Kondisi ini sering dikaitkan dengan sindrom pada saraf, yaitu ektodermal displasia dan kelaian pada kulit. Gangguan ini dapat menyebabkan terjadinya komplikasi berupa kesulitan dalam aktivitas yang melibatkan fungsi gigi. Misalnya seperti pengunyahan, bicara, dan juga gangguan estetis.

Wanita bergigi coklat heterozigot jika menikah dengan pria normal, kemungkinan akan memiliki anak yang bergigi coklat dan bergigi normal.

P	: perempuan gigi coklat	x	laki-laki gigi normal
	(X^BX^b)		(X^bY)
G	:		X^B, X^b
F1	:		X^BX^b (Perempuan gigi coklat) X^bX^b (Perempuan gigi normal) X^BY (Laki-laki gigi coklat) X^bY (Laki-laki gigi normal)
	Rasio fenotip	:	Gigi coklat : Gigi normal 50% : 50%

2. Kelainan/Penyakit genetic terpaut Kromosom Y

Selain pada kromosom X, ada juga gen terpaut pada kromosom Y yang menyebabkan kelainan genetik. Gen-gen yang terpaut kromosom Y disebut holandrik. Oleh karena gen-gen tersebut terpaut pada kromosom Y maka anak perempuan tidak mendapatkannya. Kelainan dan penyakit genetik terpaut pada kromosom Y, misalnya *hypertrichosis*.

Hypertrichosis merupakan kelainan yang berupa adanya pertumbuhan rambut pada tepi daun telinga. Kelainan ini disebabkan oleh adanya gen h yang bersifat resesif dan terpaut pada kromosom Y.

Jika seorang wanita menikah dengan laki-laki yang menderita kelainan *hypertrichosis* maka mempunyai anak perempuan yang semuanya normal, sedangkan semua anak laki-lakinya akan menderita *hypertrichosis*.

P : perempuan normal x laki-laki *hypertrichosis*
 (XX) (XY^h)
 G : X X, Y^h
 F1 : XX = wanita normal (50%)
 XY^h = laki-laki penderita *hypertrichosis*(50%)

3. Golongan Darah

a. Sistem ABO

Penggolongan darah ini didasarkan atas macam antigen dalam eritrosit. Antigen-antigen itu diwariskan oleh seri alel ganda dengan simbol I. Huruf I ini berasal dari kata isoaglutinin, yaitu antigen yang mengakibatkan empat golongan darah tersebut. Gen I^A dominan terhadap I^O. Gen I^B dominan terhadap I^O. I^A dan I^B sama-sama dominan terhadap I^O sehingga genotip I^AI^B menunjukkan golongan darah AB. Jadi, gen I^O mempunyai alel I^A dan alel I^B

Golongan Darah (Fenotip)	Alel dalam Kromosom	Genotip
A	I ^A	I ^A I ^A atau I ^A I ^O
B	I ^B	I ^B I ^B atau I ^B I ^O
AB	I ^A I ^B	I ^A I ^B
O	I ^O	I ^O I ^O

b. Sistem Rhesus

Golongan darah pada manusia dibedakan menjadi Rh⁺, yaitu jika mempunyai antigen Rh dan golongan darah Rh⁻, jika tidak mempunyai antigen Rh

Golongan Darah (Fenotip)	Alel dalam Kromosom	Genotip
Rhesus Positif (Rh ⁺)	Rh ⁺ dan Rh ⁻	Rh ⁺ Rh ⁺ atau Rh ⁺ Rh ⁻
Rhesus Negatif (Rh ⁻)	Rh ⁻	Rh ⁻ Rh ⁻

c. Sistem MN

Sistem M dan N dimana darah seseorang tidak mengandung antibodi M atau N dalam darah manusia, maka penggolongan darahnya M,N, MN

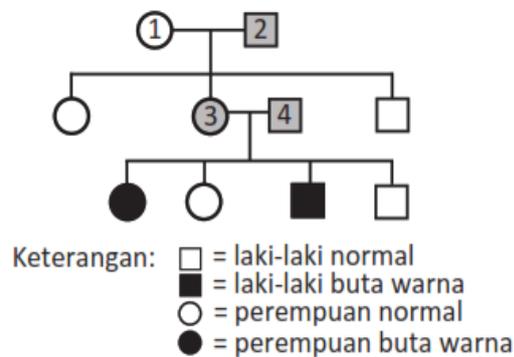
Golongan Darah (Fenotip)	Alel dalam Kromosom	Genotip
M	L ^M	I ^M I ^M
N	L ^N	I ^N I ^N
MN	L ^M L ^N	I ^M I ^N

C. Rangkuman

1. Kelainan/penyakit menurun yang diturunkan melalui sel kelamin (gonosom) ada yang terpaut kromosom X dan ada yang terpaut kromosom Y.
2. Kelainan/penyakit menurun yang terpaut kromosom kelamin X antara lain: hemofili, buta warna, dan anodontia.
3. Kelainan/penyakit menurun yang terpaut kromosom kelamin Y antara lain: hypertrochosis.
4. Golongan darah terdapat beberapa sisitem yaitu ABO, Rhesus dan MN dan bersifat menurun

D. Penugasan Mandiri

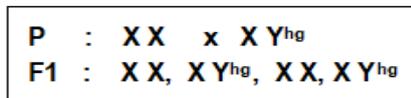
Perhatikan peta silsilah keluarga yang diantara anggota keluarga tersebut terdapat penderita buta warna.



Apabila individu 1 bersifat normal homozigot, maka tentukan genotipe indovidu 2, 3, dan 4 !

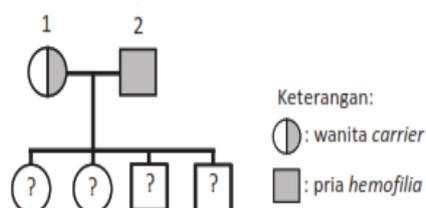
E. Latihan Soal

1. Berikut ini diagram pewarisan gen hystrixgravier, yaitu pertumbuhan rambut kasar seperti landak (hg)



Kasus yang pewarisannya sama dengan pola pewarisan gen di atas adalah

- A. thalassemia, dari gen dominan ayah dan ibunya
 - B. hemofili dari gen terpaut kromosom X
 - C. hypertrichosis dari gen terpaut kromosom Y
 - D. bisu dan tuli dari interaksi gen ayah dan ibunya
 - E. Albino dari gen resesif ayah dan ibunya
2. Perhatikan peta silsilah berikut!



Pernyataan yang tepat berdasarkan perkawinan antara individu 1 dengan individu 2 adalah

- A. Semua anak-anaknya bersifat hemofilia
 - B. Persentase kelahiran anak laki-laki normal 50%
 - C. Persentase kelahiran anak laki-laki hemofilia 25%
 - D. Persentase kelahiran anak perempuan hemofilia 100%
 - E. Persentase kelahiran anak perempuan normal *carrier* 50%
3. Orang yang tuli biasanya juga bisu. Hal ini dikarenakan sifat bisu tuli dikendalikan oleh gen D dan E secara bersamaan. Apabila salah satu gen tersebut tidak muncul, akan muncul sifat bisu tuli. Seorang laki-laki bisu tuli (Ddee) menikah dengan wanita normal (DdEe) maka persentase fenotip kemungkinan anak-anak mereka bisu tuli adalah....
- A. 12,5%
 - B. 25%
 - C. 37,5%
 - D. 62,5%
 - E. 100%
4. Berikut ini diagram pewarisan gen buta warna pada manusia:

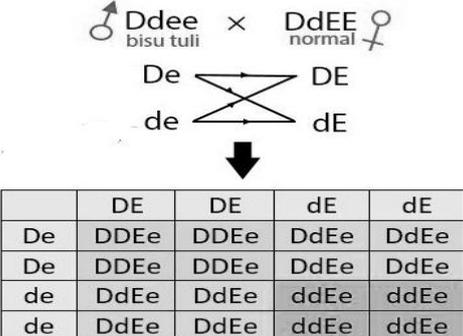
$$P : XX^c \times X^cY$$

$$F_1 : XX^c, XY, X^cX^c, X^cY$$

Kasus yang pewarisannya sama dengan pola pewarisan gen di atas adalah

- A. albino, dari gen resesif ayah dan ibunya
- B. thalassemia, dari gen dominan ayah dan ibunya
- C. bisu tuli, dari interaksi antara gen ayah dan ibunya
- D. hipertrichosis, dari gen yang terpaut pada kromosom Y
- E. hemofili, dari gen yang terpaut pada kromosom X

Kunci jawaban, pembahasan, dan pedoman penilaian

No.	Kunci Jawaban	Pembahasan
1.	C	<p><i>Hypertrichosis</i> merupakan kelainan yang berupa adanya pertumbuhan rambut pada tepi daun telinga. Kelainan ini disebabkan oleh adanya gen h yang bersifat resesif dan terpaut pada kromosom Y.</p> <p>Contoh: P : perempuan normal x laki-laki <i>hypertrichosis</i> (XX) (XY^h)</p> <p>G : X X, Y^h</p> <p>F1 : XX = wanita normal (50%) XY^h = laki-laki penderita <i>hypertrichosis</i> (50%)</p>
2.	C	<p>Hemofilia merupakan penyakit keturunan yang dikendalikan oleh gen resesif (h) yang terpaut kromosom X. Diagram persilangan pada soal sebagai berikut.</p> <p>P : ♀ X^HX^h <> ♂ X^hY (individu 1/ibu <i>carrier</i>) (individu 2/ayah hemofilia)</p> <p>G: X^H dan X^h X^h dan Y</p> <p>F : X^HX^h = perempuan <i>carrier</i> X^hX^h = perempuan hemofilia X^HY = laki-laki normal X^hY = laki-laki hemofilia</p> <p>Jadi, persentase kelahiran anak laki-laki hemofilia 25%.</p>
3.	B	 <p>Sehingga diperoleh perbandingan DDEe : DdEe : ddEe = 4 : 8 : 4 = 1 : 2 : 1. Perbandingan sifat bisu tuli (ddEe) = 1 Jadi, persentase fenotip kemungkinan anak – anak mereka bisu tuli adalah 25%.</p>
4.	E	<p>Kelainan/penyakit menurun yang terpaut kromosom kelamin X antara lain: hemofili, buta warna, dan anodontia.</p>

Setiap jawaban benar diberi skor = 1

Keterangan : $nilai\ yang\ didapat = \frac{jumlah\ skor}{4} \times 100$

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
1.	Apakah Anda telah mampu menjelaskan berbagai macam kelainan/penyakit yang diturunkan melalui gonosom?		
2.	Apakah Anda telah mampu mengidentifikasi genotip dan fenotip berbagai kelainan/penyakit yang diturunkan melalui gonosom?		
3.	Apakah Anda telah mampu menghitung rasio fenotip hasil keturunan dari suatu tipe perkawinan berkaitan dengan suatu kelainan/yang diturunkan melalui gonosom?		

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

EVALUASI

1. Kromosom sel somatik wanita normal, terdiri atas
 - A. 44 autosom dan satu kromosom X
 - B. 22 pasang autosom dan satu kromosom X
 - C. 23 pasang autosom dan sepasang kromosom X
 - D. 44 autosom dan sepasang kromosom X
 - E. 22 autosom dan sepasang kromosom X

2. Berikut ini yang *bukan* ciri penyakit menurun (cacat yang diwariskan) adalah....
 - A. umumnya dikendalikan oleh gen resesif
 - B. tidak dapat menular
 - C. tidak dapat disembuhkan
 - D. dapat dihindarkan
 - E. terpaut kromosom kelamin

3. Lima belas bersaudara kandung terdiri atas 5 wanita dan 10 pria. Kesepuluh pria pada keluarga tersebut mengalami kelainan pada salah satu anggota badannya, sedangkan ke 5 wanitanya normal.
Kelainan tersebut disebabkan oleh faktor genetik akibat peristiwa
 - A. pindah silang
 - B. pautan seks
 - C. gagal berpisah
 - D. anaphase lag
 - E. duplikasi gen

4. Seorang wanita berkulit normal dan penglihatannya normal, mempunyai anak laki-laki albino yang buta warna. Anak tersebut mewarisi gen
 - A. Albino dan buta warna dari kedua orang tuanya
 - B. Albino dan buta warna dari ayahnya
 - C. Albino dan buta warna dari ibunya
 - D. Albino dari kedua orang tua dan buta warna dari ibunya
 - E. Albino dari kedua orang tua dan buta warna dari ayahnya

5. Talasemia dikendalikan oleh alel dominan autosomal. Individu yang bergenotipe heterozigot (Thth) bersifat....
 - A. Normal
 - B. normal carrier
 - C. talasemia minor
 - D. talasemia major
 - E. letal

6. Seorang anak laki-laki ompong (anodontia) dan brachidactily. Kelak jika dia berkeluarga sifat tersebut akan dia wariskan kepada
 - A. Anodontia pada anak perempuan, brachidactily pada anak laki-laki
 - B. Anodontia pada perempuan, brachidactily pada anak laki-laki dan perempuan
 - C. Anodontia pada anak laki-laki, brachidactily pada anak perempuan
 - D. Anodontia dan brachidactily akan diwariskan pada anak laki-laki maupun yang perempuan
 - E. Anodontia dan brachidactily akan diwariskan pada anak laki-laki maupun yang perempuan

7. Di wilayah pakistan, ditemukan beberapa laki-laki dewasa yang dibagian telinganya tumbuh rambut. Pernyataan yang paling benar berkaitan dengan kemunculan sifat tersebut adalah....
 - A. dikendalikan oleh gen resesif
 - B. dikendalikan oleh gen dominan yang terapat pada kromosom
 - C. dipengaruhi oleh gen yang terapat pada autosom
 - D. gen yang mempengaruhi sifat terapat pada kromosom X
 - E. gen yang mempengaruhi sifat terapat pada kromosom Y

8. Kelainan genetik yang yang terapat pada autosom, antar lain....
 - A. buta warna, talasemia, dan sidaktili
 - B. hemofilia, progeria, dan sindrom marfan
 - C. talsemia, albino, dan sikleミア
 - D. progeria, polidaktili, dan gigi ompong
 - E. brakidaktili, hypertrichosis, dan buta warna

9. Eritroblastosis fetalis dapat terjadi pada tipe perkawinan....
 - A. ♂ RhRh >< ♀ RhRh
 - B. Rhrh >< ♀ Rhrh
 - C. ♂ rhrh >< ♀ rhrh
 - D. ♂ Rhrh >< ♀ rhrh
 - E. ♂ rhrh >< ♀ RhRh

10. Seorang pria dengan keterbelakangan mental karena menderita FKU (fenilketonuria) menikah dengan seorang wanita normal homozigot. Kemungkinan anak yang lahir dari pasangan tersebut adalah
 - A. semuanya normal
 - B. semuanya FKU
 - C. 50% normal dan 50% FKU
 - D. semua anak laki - laki FKU
 - E. semua anak wanita FKU

Kunci jawaban dan pedoman penilaian

Nomor soal	Kunci jawaban	Nomor soal	Kunci jawaban
1.	D	6.	A
2.	E	7.	E
3.	B	8.	C
4.	D	9.	E
5.	C	10.	A

Setiap jawaban benar diberi skor = 1

Keterangan : *nilai yang didapat* = $\frac{\text{jumlah skor}}{10} \times 100$

DAFTAR PUSTAKA

- <https://biologiklaten.wordpress.com/bab-24-hereditas-pada-manusia-xii>
<https://biologigonz.blogspot.com/2015/11/contoh-soal-ujian-genetika-gonz-2015.html>
<https://dosenbiologi.com/manusia/pewarisan-sifat>
Irnaningtyas. 2013. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII Kelompok Peminatan Matematika dan Ilmu Alam*. Jakarta: Erlangga
Ririn Safitri, 2018. *Biologi untuk SMA / MA Kelas XII Kelompok Peminatan Matematika dan Ilmu Alam*. Surakarta: Mediatama
Sri Nur Rohmah, 2009, *Biologi SMA/MA Kelas XI*, Jakarta, BSE ,Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

BIOLOGI



KELAS
XII



MUTASI PADA MAHLUK HIDUP
BIOLOGI KELAS XII

PENYUSUN
Drs. MUNAWIR
SMA NEGERI 8 BEKASI

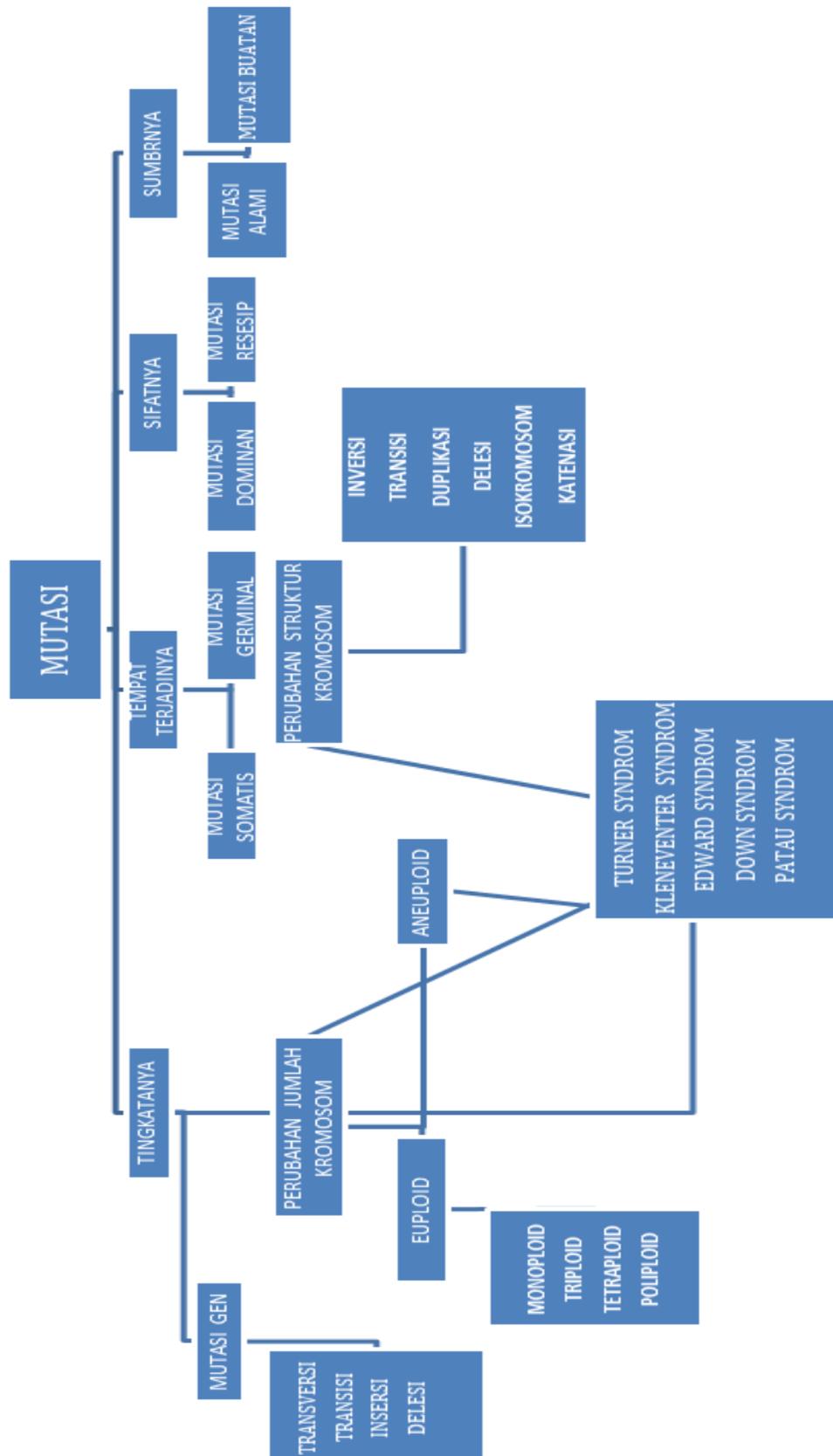
DAFTAR ISI

PENYUSUN.....	2
DAFTAR ISI	3
GLOSARIUM	4
PETA KONSEP	5
PENDAHULUAN	6
A. Identitas Modul.....	6
B. Kompetensi Dasar	6
C. Deskripsi Singkat Materi.....	6
D. Petunjuk Penggunaan Modul.....	6
E. Materi Pembelajaran	7
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	8
MUTASI DAN JENIS-JENIS MUTASI.....	8
A. Tujuan Pembelajaran	8
B. Uraian Materi	8
C. Rangkuman	155
D. Penugasan Mandiri.....	15
E. Latihan Soal.....	155
F. Penilaian Diri	188
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	19
PENYEBAB MUTASI	19
A. Tujuan Pembelajaran	19
B. Uraian Materi	19
C. Rangkuman	27
D. Latihan Soal.....	28
E. Penilaian Diri	311
EVALUASI.....	322
DAFTAR PUSTAKA.....	35

GLOSARIUM

- Gen** : Satuan informasi genetik yang terdiri atas suatu urutan nukleotida spesifik dalam DNA(atau RNA, pada beberapa Virus)
- Kromosom** : Pembawa sifat menurun yang terdapat dalam inti sel, perkembangan dari kromatin, dan akan tampak pada saat sel akan membelah.
- Mutasi** : Peristiwa perubahan bahan genetik (DNA) dari suatu organisme yang bersifat menurun
- Nukleotida** : Suatu satuan monomer yang terdiri dari satu gula, satu basa nitrogen dan satu fosfat
- Replikasi** : Kemampuan DNA membentuk DNA baru yang sama persis dengan DNA asal.

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: BIOLOGI
Kelas	: XII
Alokasi Waktu	: 4 JP
Judul Modul	: MUTASI PADA MAHLUK HIDUP

B. Kompetensi Dasar

- 3.8 Menganalisis peristiwa mutasi pada makhluk hidup.
- 4.8 Menyajikan data hasil eksplorasi peristiwa mutasi yang menyebabkan variasi dan kelainan sifat pada makhluk Hidup.

C. Deskripsi Singkat Materi

Salam Biologi, tetap semangat dalam belajar ya, selalu menjadi bagian dari generasi emas bangsa Indonesia . Masih ingatkah kalian dengan materi Keanekaragaman Makhluk Hidup ? Ya benar, keanekaragaman itu disebabkan oleh adanya variasi pada makhluk hidup baik pada tingkat gen, spesies, dan ekosistem. Mutasi merupakan salah satu penyebab terjadi variasi makhluk hidup. Dalam modul ini kalian akan mempelajari tentang “Mutasi Gen” Pada modul ini kalian akan mempelajari pengertian Mutasi, jenis Mutasi tingkat Gen, dan perbedaan urutan asam amino pada dengan hemoglobin penderita siklemia akibat mutasi gen. Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran dalam modul ini kami berharap kalian mampu menguasai kompetensi sesuai dengan yang diharapkan. Manfaat terbesar dari kegiatan pembelajaran modul kali ini, kalian akan lebih bersyukur atas rahmat yang telah diberikan Allah swt dengan menjaga apa yang telah dianugerahkan agar senantiasa terpelihara dengan baik.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Modul ini berisi kegiatan-kegiatan belajar yang disajikan dalam bentuk paparan yang memuat materi, latihan, rangkuman, dan penilaian diri.

Pada bagian Uraian Materi merupakan paparan sejumlah pengetahuan yang akan membekali kalian untuk menguasai kompetensi yang dikemas dalam satu satuan aktivitas belajar dalam rangka mempermudah kalian menguasai kompetensi yang diharapkan. Di bagian Latihan kalian akan melakukan kegiatan atau tugas yang bertujuan untuk memperkuat penguasaan kompetensi yang diharapkan. Sementara itu di bagian rangkuman , kalian akan mendapatkan informasi mengenai garis besar materi pada kegiatan belajar yang baru saja kalian pelajari.

Untuk mengetahui sejauh mana kalian telah menguasai materi dan keterampilan yang kalian pelajari, kalian akan melakukan kegiatan Penilaian Diri. Pada bagian akhir modul ini disajikan Tes Akhir yang dapat kalian gunakan untuk menguji kemampuan kalian dalam menguasai kompetensi yang diharapkan apakah sudah tercapai atau

belum. Sikap jujur sangat diharapkan ketika kalian melakukan kegiatan ini dari awal sampai akhir.

E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi **2** kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini terdiri dari:

Pertama : Pengertian dan jenis jenis mutasi.

Kedua : Penyebab mutasi

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

MUTASI DAN JENIS-JENIS MUTASI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat:

1. Menjelaskan berbagai macam mutasi dan penyebabnya.
2. Menganalisis peristiwa mutasi pada kromosom dan gen.

B. Uraian Materi

Mutasi didefinisikan sebagai suatu perubahan yang bersifat mendadak dan bersifat menurun sebagai akibat penyesuaian diri terhadap perubahan lingkungan. Dalam teori evolusi, proses mutasi merupakan "bahan baku" yang menyebabkan terjadinya variasi-variasi gen dari makhluk hidup. Adanya variasi-variasi genetik dari makhluk hidup menyebabkan bentuk makhluk hidup tidak tetap dari waktu ke waktu.

Mutasi pertama kali dikemukakan oleh **Seth Wright** (1870) yang melihat adanya kelainan pada kaki domba yang lebih pendek dari kaki domba lainnya, kelainan ini diturunkan kepada keturunannya. Selanjutnya, **Hugo de Vries** (1901) dalam bukunya "The Mutation Theory" mengenalkan istilah Mutasi. Dilanjutkan oleh **Thomas Hunt Morgan** (1910) dalam penelitiannya menemukan adanya lalat buah (*Drosophilla melanogaster*) yang bermata putih dan bermata merah. Kemudian, Herman Joseph Muller berhasil melakukan mutasi buatan dengan menggunakan sinar X. Proses terjadinya mutasi dikenal dengan istilah mutagenesis, sedangkan organisme yang mengalami perubahan tersebut dikenal dengan istilah mutan. Faktor yang menjadi penyebab terjadinya mutasi disebutkan **mutagen**. Makhluk hidup yang mengalami mutasi disebut **mutan**.

Syarat terjadinya mutasi adalah:

1. Adanya perubahan pada materi genetik
2. Perubahan tersebut bersifat dapat atau tidak dapat diperbaiki
3. Hasil perubahan tersebut diwariskan secara genetik pada keturunan berikutnya.

Mutasi terjadi pada frekuensi rendah di alam, biasanya lebih rendah daripada 1:10.000 individu. Mutasi di alam dapat terjadi akibat zat pembangkit mutasi (**mutagen**, termasuk karsinogen), radiasi surya maupun radioaktif, serta loncatan energi listrik seperti petir. Individu yang memperlihatkan perubahan sifat (fenotipe) akibat mutasi disebut **mutan**. Dalam kajian genetik, mutan biasa dibandingkan dengan individu yang tidak mengalami perubahan sifat (individu *tipe liar* atau "wild type"). Karakter mutan antara lain:

- Gen yang mengalami mutasi pada suatu individu, biasanya adalah gen resesif, sehingga dalam keadaan homozigot karakter perubahannya belum dapat dilihat.
- Gen yang mengalami mutasi umumnya bersifat lethal, sehingga jumlah makhluk hidup yang mengalami mutasi tampak sedikit.
- Individu yang mengalami mutasi biasanya mati sebelum dilahirkan atau sebelum dewasa.

Berdasarkan sel yang bermutasi ada 2 jenis mutasi yaitu:

1. Mutasi somatik

Mutasi somatic adalah mutasi yang terjadi pada sel somatik, yaitu sel tubuh seperti sel kulit. Mutasi ini tidak akan diwariskan pada keturunannya. Mutasi somatis adalah mutasi yang terjadi pada sel soma . bila perubahan sel somatis demikian besar, sel-sel dapat mati. Dan, kalau dapat bertahan hidup memiliki kelainan atau tak berfungsi secara normal. Bila sel somatis tidak tidak meliputi daerah yang luas, yang kurang penting, tidak membahayakan. Tetapi bila meliputi daerah yang luas atau alat yang amat penting dapat membahayakan bahkan dapat mematikan.

Bila perubahan sel itu terjadi ketiak sel somatis sedang giat membelah seperti dalam embrio dapat mengakibatkan karakter abnormal waktu lahir, tetapi tidak diturunkan kepada generasi berikutnya. makin muda jaringan yang mengalami perubahan genetik makin luas akibat abnormalan yang ditimbulkannya sebliknya makin dewasa jaringan itu ketika mengalami keabnormalan dan dapt ditolerir. Dalam bidang pertanian mutasi vegetatif banyak dipakai untuk meninggikan produksi dan mutu, seperti terhadap apel . anggur dan jeruk. Dibuat perubahan induksi pada suatu cabang pohon dewasa (misalnya dengan colchicine). Lalu cabang distek atau dicangkok , dan dibiakkan secara vegetatif pula. Sedangkan secara alamiah perubahan vegetatif pada tumbuhan dapat menimbulkan beraneka warna (belang) pada endosperm (biji), daun dan mahkota bunga. Misalnya pada ercis dan bunga pukul 4 (*Mirabilis jalapa*)

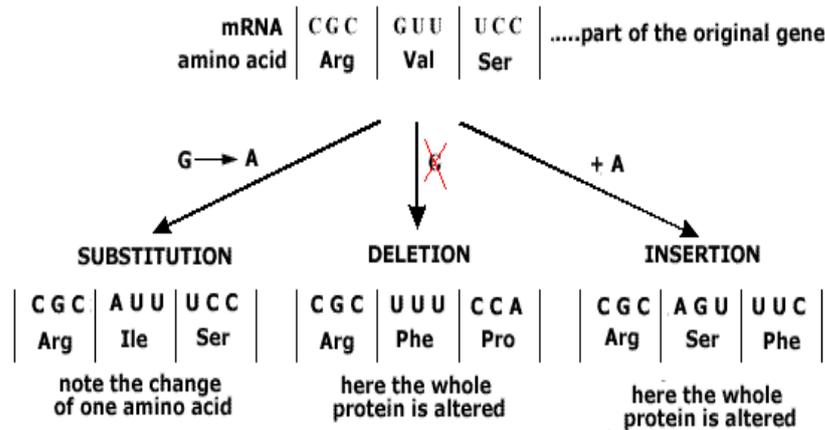
2. Mutasi Gametik/Germinal

Mutasi germinal adalah mutasi yang terjadi pada sel gamet, yaitu sel organ reproduksi yang meliputi sperma dan ovum pada manusia. Karena terjadinya di sel gamet, maka akan diwariskan kepada keturunannya. Hal ini terjadi terdapat pada makhluk hidup bersel banyak dan bukan yang bersel satu. Atau strukturnya yang lebih sederhana. Bila perubahan berlangsung pada gamet. maka akibat yang ditimbulkan begitu hebat dan gametpun segera mati. Selain itu terkaang menyebabkan gamet tidak mampu melakukan pembuahan dengan wajar. Oleh karena itu tak diteruskan pada keturunannya. Tetapi bila perubahan tidak begitu hebat dan gamet dapat melakukan pembuahan, terjadi generasi baru yang menerima perubahan bahan genetik tersebut.

Bila gonad terkena langsung radiasi atau diberi bahan kimia seperti gas murtad, maka kemungkinan besar mengalami perubahan genetik pada gamet, namun kalau radiasi terjadi pad bagian tubuh yang lain, bukan langsung ke gonad, suatu saat gonad menerima akibat radiasi secara tidak langsung itu. Bila radiasi menimbulkan ionisasi berantai pada jaringan dan akhirnya mencapai inti sel gamet. Makin dekat bagian tubuh yang kena radiasi ke gonad, makin besar kemungkinan gamet menerima perubahan genetik . sebaliknya semakin jauh bagian tubuh yang kena radiasi dari gonad ,makin kecil kemungkinan gamet menerima perubahan genetik itu.

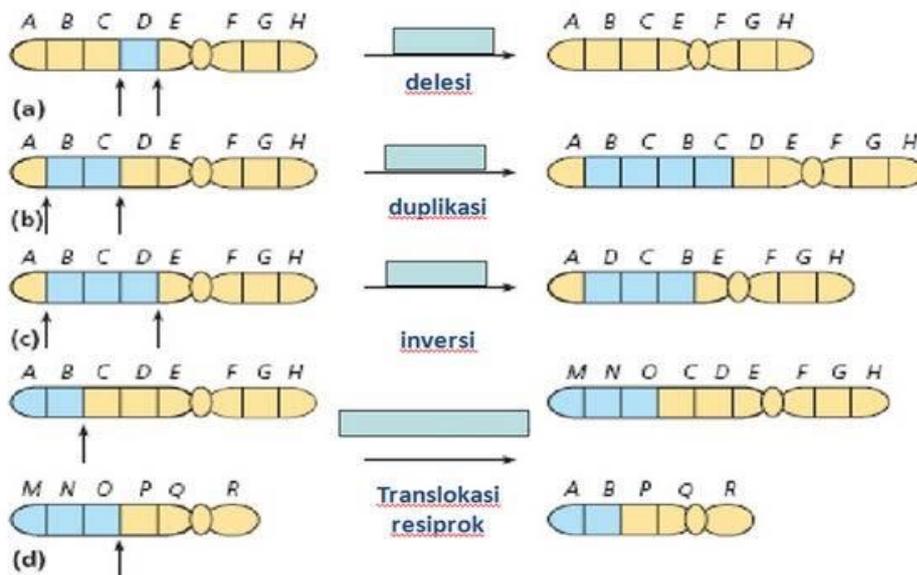
Berdasarkan tempat mutasi bermutasi ada 2 jenis mutasi yaitu:

- **Mutasi Kecil** (*point mutation*) adalah perubahan yang terjadi pada susunan molekul gen (DNA) sedangkan lokus gennya tetap Mutasi jenis ini menimbulkan alela . Mutasi ini biasa disebut mutasi gen.



Gambar 1. Mutasi Gen
sumber: <https://www.edubio.info>

- **Mutasi besar** (*gross mutation*) adalah perubahan yang terjadi pada struktur dan susunan kromosom . Istilah khusus untuk mutasi kromosom adalah aberasi . Mutasi ini biasa disebut mutasi kromosom atau aberasi.



Gambar 2. Mutasi Kromosom
sumber: www.edubio.info

Mutasi kromosom ini mengakibatkan perubahan sejumlah basa yang berdampingan pada rantai DNA atau perubahan runtunan nukleotida dalam suatu ruas gen sehingga akibat yang ditimbulkan pada fenotip individu menjadi lebih nyata. Mutasi kromosom sering terjadi karena kesalahan meiosis. Mutasi kromosom dibedakan menjadi dua yaitu, perubahan jumlah kromosom dan perubahan struktur kromosom.

Perubahan jumlah kromosom dapat dibedakan menjadi aneuploidi (penambahan atau pengurangan satu atau beberapa kromosom) dan euploidi (penambahan atau pengurangan set kromosom).

a) Euploidi

Euploidi adalah perubahan pada set kromosom pada tingkat ploidi. Individu normal (*wild type*) memiliki genom $2n$ (diploid). Namun mutasi dapat mengakibatkan terjadinya perubahan pada tingkat ploidi sehingga menjadi $3n$ (triploid), $4n$ (tetraploid), dan banyak n (poliploid). Banyak tumbuhan budidaya yang telah dimutasikan sehingga menghasilkan tumbuhan poliploid yang memiliki sifat unggul. Namun penambahan set kromosom pada hewan dan manusia biasanya akan menimbulkan kematian sebelum lahir karena metabolisme yang tidak seimbang.

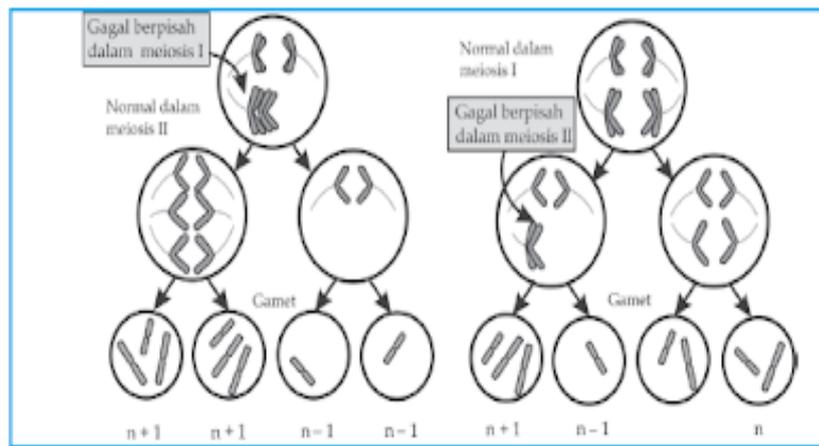
Tabel perubahan genom pada euploidi

Euploidi	Formula Kromosom	Perangkat Kromosom
Monoploid	n	A B C
Diploid	$2n$	AA BB CC
Triploid	$3n$	AAA BBB CCC
Tetraploid	$4n$	AAAA BBBB CCCC
Pentaploid	$5n$	AAAAA BBBBBB CCCCC
dst	$6n$	AAAAAA BBBBBB CCCCCC

b) Aneuploidi

Aneuploidi merupakan mutasi kromosom yang tidak melibatkan perubahan pada seluruh genom, tetapi terjadi hanya pada salah satu kromosom dari genom. Aneuploidi terjadi karena beberapa hal, diantaranya :

- **Anafase Lag**, yaitu peristiwa tidak melekatnya kromatid pada gelendong pada proses anafase meiosis I.
- **Nondisjunction**, yaitu peristiwa gagal berpisahnya kromosom homolog pada proses anafase dari meiosis I atau II . Pada peristiwa gagal berpisah, terdapat pasangan kromosom homolog dan pasangan kromatid yang melekat satu sama lain, tidak berpisah. Akibatnya terdapat gamet abnormal dengan kromosom berlebih dan kurang.



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 3. Mutasi Kromosom
sumber: www.edubio.info

Aneuploidi pada manusia dapat terjadi pada sel telur diantaranya:

- **Digini** adalah dua inti sel telur yang tetap terlindung satu plasma dan selanjutnya dibuahi satu sperma, yang sering terjadi karena kegagalan sel kutub (polosit) memisah.
- **Diandri** adalah satu sel telur yang dibuahi satu sperma, yang sering pada terlambatnya pembuahan. Seseorang yang mengalami aneuploidi umumnya berumur pendek, di samping itu pada sel-sel soma yang mengalami kanker juga dapat terjadi peristiwa aneuploidi.

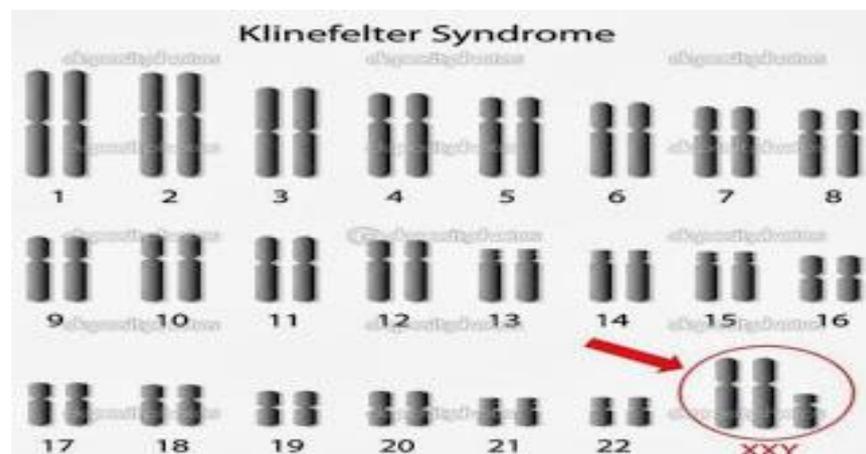
Bentuk-bentuk peristiwa aneuploid berakhiran dengan somi, sehingga aneuploid disebut juga dengan *aneusomi*. Jumlah kromosom aneuploidi antara lain sebagai berikut:

1. Monosomik ($2n-1$); yaitu mutasi karena kekurangan satu kromosom.
2. Nullisomik ($2n-2$); yaitu mutasi karena kekurangan dua kromosom.
3. Trisomik ($2n + 1$); yaitu mutasi karena kelebihan satu kromosom.
4. Tetrasomik ($2n + 2$); yaitu mutasi karena kelebihan dua kromosom..

Aneuploidi pada manusia dapat menyebabkan beberapa kelainan antara lain:

1) Sindrom Klinefelter

kariotipe ($22 AA+XXY$) ditemukan oleh H. F. Klinefelter , mengalami trisomik pada kromosom gonosom. Penderita Sindrom Klinefelter berjenis kelamin laki-laki, namun testisnya tidak berkembang (testicular disgenesis) sehingga tidak bisa menghasilkan sperma (aspermia) dan mandul (gynaecomastis) serta payudaranya tumbuh.

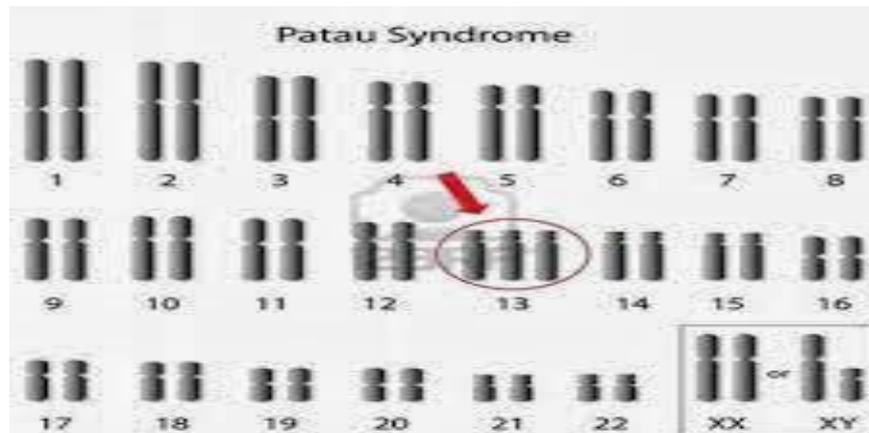


Gambar 4. Mutasi Kromosom pada sindrom Klinefelter
sumber: www.edubio.info

2) Sindrom Patau

Dengan kariotipe ($45A+XX/XY$), ditemukan oleh K. Patau pada tahun 1960. Sindrom ini disebabkan trisomik pada kromosom autosomnya mengalami kelainan pada kromosom nomor 13, 14, atau 15. Penderita Sindrom patau memiliki mata serius, kerusakan pada otak dan peredaran darah serta langit-langit mulut yang terbelah, Bayi

yang mengalami Sindrom Patau jarang bertahan hidup lebih dari satu tahun.



Gambar 5. Mutasi Kromosom pada sindrom Patau
sumber: www.edubio.info

3) Sindrom Turner,

Dengan kariotipe (22AA+X0) ditemukan oleh H. H. Turner pada tahun 1938. Jumlah kromosomnya 45 dan kehilangan 1 kromosom kelamin. Penderita Sindrom Turner berjenis kelamin wanita. Meskipun penderitanya memiliki jenis kelamin wanita, ia tidak memiliki ovarium yang sempurna, steril (mandul), ciri seksualnya tidak berkembang, dan cenderung lebih pendek arena terdapat kekurangan pada kromosom nomor 23.



Gambar 6. Mutasi Kromosom pada sindrom Turner
sumber: www.edubio.info

4) Sindrom Jacobs

Kariotipe (22AA+XYY), trisomik pada kromosom gonosom. Penderita sindrom ini umumnya berwajah kriminal, suka menusuk-nusuk mata dengan benda tajam, seperti pensil,dll dan juga sering berbuat kriminal. Penelitian di luar negeri mengatakan bahwa sebagian besar orang-orang yang masuk penjara adalah orang-orang yang menderita Sindrom Jacobs.

5) Sindrom Edward,

Kariotipe (45A+XX/XY), trisomik pada autosom. Autosom mengalami kelainan pada kromosom nomor 18. Sindrom ini

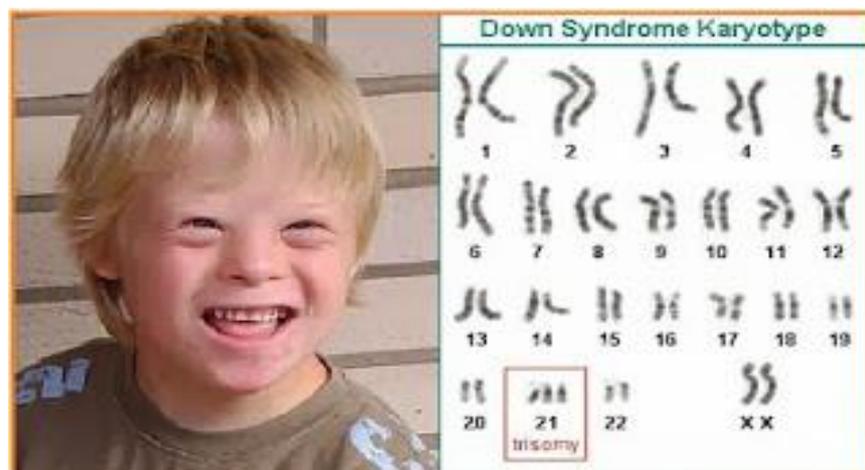
ditemukan oleh I . H . Edwards tahun 1960 . Penderita sindrom ini mempunyai tengkorak lonjong, bahu lebar pendek, telinga agak ke bawah dan tidak wajar.



Gambar 7. Mutasi Kromosom pada sindrom Edward
sumber: www.edubio.info

6) Sindrom down

Dengan mempunyai karotipe $2n + 1$ ($45A + XX$ atau $45A + XY$) . susunan kromosonya mengalami trisomi pada autosom , yaitu kromosom nomor 21 . Pengaruhnya menyebabkan pertumbuhan mental terhambat dan berkurangnya ketahanan terhadap infeksi . Ciri-ciri penderita ini bermata sipit, kaki pendek, dan berjalan lambat.



Gambar 8. Mutasi Kromosom pada sindrom Down
sumber: www.edubio.info

C. Rangkuman

1. Mutasi adalah perubahan struktur materi genetik yang dapat diturunkan kepada generasi berikutnya jika terjadi pada sel gamet dan tidak diturunkan jika terjadi pada sel tubuh.
2. Berdasarkan tingkatan terjadinya, mutasi dibedakan menjadi dua, yaitu Mutasi gen dan Mutasi kromosom
3. Mutasi gen dapat dibagi menjadi dua kategori umum berdasarkan mekanisme perubahan susunan basa nukleotida yaitu substitusi pasangan basa dan penambahan atau pengurangan pasangan basa. Salah satu contoh mutasi gen yang terjadi pada manusia yang menyebabkan terjadinya perubahan fungsi akibat terbentuknya protein baru, yaitu kelainan sickle cell anemia. Gen penderita kelainan ini mengalami pergantian satu jenis basa dan menghasilkan kesalahan dalam susunan rantai polipeptida asam amino pada molekul hemoglobin.
4. Mutasi besar (*gross mutation*) adalah perubahan yang terjadi pada struktur dan susunan kromosom. Mutasi ini biasa disebut mutasi kromosom atau aberasi, yang terdiri dari delesi, duplikasi, inversi, dan traslokasi.
5. Mutasi kromosom sering terjadi karena kesalahan meiosis. Mutasi kromosom dibedakan menjadi dua yaitu, perubahan jumlah kromosom dan perubahan struktur kromosom. Perubahan jumlah kromosom dapat dibedakan menjadi aneuploidi (penambahan atau pengurangan satu atau beberapa kromosom) dan euploidi (penambahan atau pengurangan set kromosom).

D. Penugasan Mandiri

Kerjakan semua soal di bawah ini di kertas, kemudian cocokan dengan alternatif penyelesaiannya!

1. Apa yang dimaksud dengan mutasi!
2. Jelaskan perbedaan mutan dan mutagen?
3. Apa yang dimaksud dengan mutasi gen?
4. Tuliskan 3 pengaruh yang ditimbulkan akibat substitusi basa nukleotida pada untai DNA!
5. Jenis mutasi kromosom pada gambar berikut ini adalah!



E. Latihan Soal

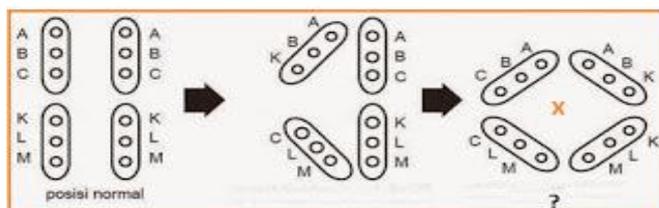
1. Kita sering mendengar istilah Mutagenesis yang dimaksud dengan hal ini adalah
 - A. mutasi yang terjadi pada bentuk kromosom
 - B. peristiwa terjadinya mutasi
 - C. perubahan pada basa nitrogen
 - D. Faktor yang menyebabkan mutasi
 - E. mutasi yang terjadi pada fenotipe

2. Salah satu keuntungan mutasi yang dilakukan pada tumbuhan adalah dihasilkannya semangka tanpa biji. Jika dilihat dari kelestarian tumbuhan tersebut dapat merugikan, karena
 - A. tidak dapat melakukan pembelahan sel
 - B. tidak ada kromosom yang terbentuk
 - C. gagalnya proses nondisjunction
 - D. tidak dapat meneruskan keturunan sebab tidak ada sel-sel generatif
 - E. tidak adanya sel-sel vegetative

3. Berikut yang bukan merupakan faktor-faktor penyebab terjadinya mutasi kromosom adalah ...
 - A. depurisasi
 - B. delesi
 - C. duplikasi
 - D. translokasi
 - E. inversi

4. Semangka tanpa biji merupakan hasil mutasi. Hasil mutasi ini menghasilkan keturunan
 - A. tetrapoliploidi
 - B. autopoliploidi
 - C. diploidi
 - D. triploidi
 - E. poliploid

5. Perhatikan gambar berikut.



- Gambar yang ditunjukkan X tersebut menunjukkan mutasi kromosom abrasi jenis
- A. inversi
 - B. translokasi
 - C. duplikasi
 - D. katenasi
 - E. delesi

Kunci jawaban dan pedoman penilaian

NO.	KUNCI	SKOR
1.	B	<p>Mutasi adalah perubahan struktur materi genetik pada tingkat gen maupun kromosom, yang diwariskan kepada generasi berikutnya (keturunannya).</p> <p>Mutagen adalah sejumlah zat penyebab terjadinya mutasi.</p> <p>Mutagenesis adalah proses terjadinya peristiwa mutasi.</p> <p>Mutan adalah organisme yang mengalami perubahan genetik akibat mutasi</p>
2.	D	<p>Buah semangka tanpa biji merupakan salah satu hasil peristiwa mutasi yang memanfaatkan kolkisin sebagai mutagen. Dengan adanya kolkisin, pembentukan benang-benang spindel dari mikrotubulus pada fase anafase pembelahan mitosis atau meiosis akan terhambat. Akibatnya, gerakan kromatid ke kutub-kutub sel terhambat dan membentuk poliploidi. Poliploidi ini dimanfaatkan untuk memproduksi buah-buahan tanpa biji tetapi tidak dapat meneruskan keturunan</p>
3.	A	<p>Mutasi kromosom adalah mutasi materi genetik yang dapat menyebabkan susunan kromosom berubah. Perubahan susunan kromosom dapat disebabkan oleh: Translokasi, Duplikasi, Delesi, Duplikasi dan Inversi</p>
4.	E	<p>Buah semangka tanpa biji merupakan salah satu hasil peristiwa mutasi. Dengan adanya kolkisin, pembentukan benang-benang spindel dari mikrotubulus pada fase anafase pembelahan mitosis atau meiosis akan terhambat. Akibatnya, gerakan kromatid ke kutub-kutub sel terhambat dan membentuk poliploidi.</p>
5.	D	<p>Beberapa jenis aberasi kromosom, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Delesi yaitu hilangnya beberapa bagian dari lengan kromosom - Inversi adalah mutasi yang terjadi selama meiosis kromosom terpilih dan terjadinya kiasma, maka terjadi perubahan letak atau kedudukan gen-gen. - Duplikasi, yaitu terjadinya penambahan bagian lengan kromosom dari bagian kromosom itu sendiri - Katenasi, yaitu perubahan kromosom akibat pasangan kromosom homolog kedua ujungnya saling melekat satu sama lain sehingga membentuk lingkaran - Translokasi, yaitu perubahan kromosom yang berupa penambahan bagian lengan kromosom dari kromosom lain yang bukan homolog

Pedoman Penskoran

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

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No.	Pertanyaan	Jawaban	
01.	Apakah Anda telah dapat menjelaskan definisi mutasi dengan benar?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
02.	Apakah Anda telah dapat menjelaskan macam-macam mutasi berdasarkan tempat terjadinya?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
03.	Apakah Anda dapat menganalisis macam mutasi tingkat gen dengan benar?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
04.	Apakah Anda telah dapat menganalisis mutasi berdasarkan sel yang bermutasi?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
05.	Apakah Anda telah dapat menjelaskan akibat mutasi pada manusia?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Apabila semua jawaban "YA" maka anda bisa melanjutkan

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

PENYEBAB MUTASI

A. Tujuan Pembelajaran

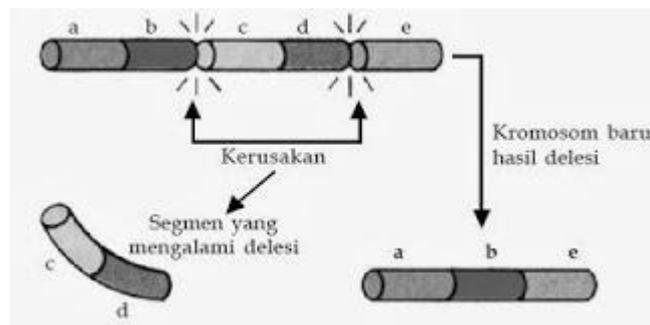
Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan dapat menjelaskan faktor-faktor penyebab terjadinya mutasi.

B. Uraian Materi

1. Perubahan struktur kromosom

Mutasi karena perubahan struktur kromosom berlangsung secara spontan, dan dapat juga dilakukan secara eksperimental dengan induksi bahan kimia atau radiasi. Perubahan ini umumnya dapat dilihat pada sel selama mitosis atau meiosis. Beberapa hal yang menyebabkan perubahan struktur kromosom adalah sebagai berikut:

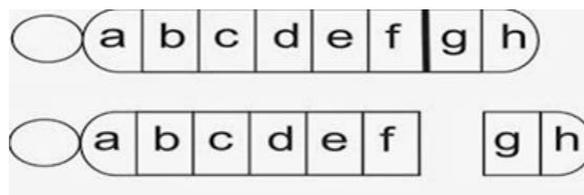
a. Delesi kromosom



Gambar 9. Delesi kromosom
sumber: www.edubio.info

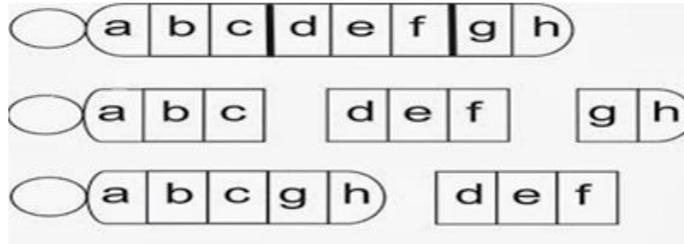
Delesi adalah mutasi akibat hilangnya dua atau lebih nukleotida yang berdampingan. Apabila rangkaian basa yang hilang merupakan suatu ruas yang lebih kecil dari panjang gen, maka gen tersebut akan bermutasi, tetapi bila rangkaian nukleotida yang hilang lebih besar dari ruas suatu gen, maka gen tersebut akan hilang dari kromosom.

Delesi dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain sebagai berikut:
1) Delesi terminal, yaitu delesi yang kehilangan ujung segmen kromosom.



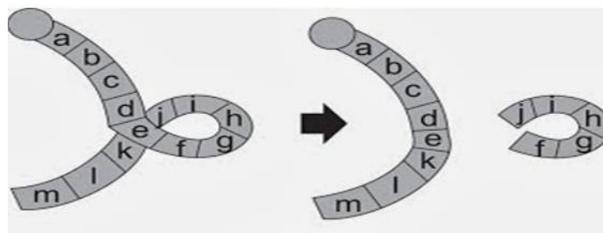
Gambar 10. Delesi terminal
sumber: www.edubio.info

- 2) Delesi interstitial/interkalar, yaitu delesi yang kehilangan bagian tengah kromosom.



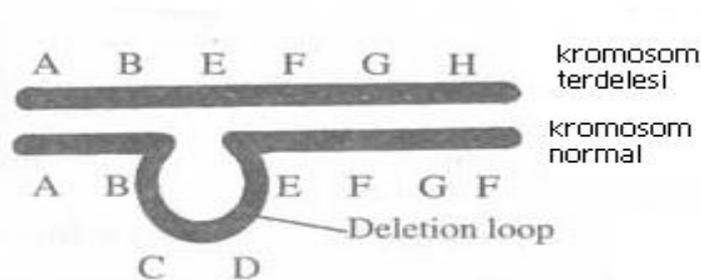
Gambar 11. Delesi interkalar
Sumber: : www.edubio.info

- 3) Delesi cincin, yaitu delesi yang kehilangan segmen kromosom sehingga berbentuk lingkaran seperti cincin.



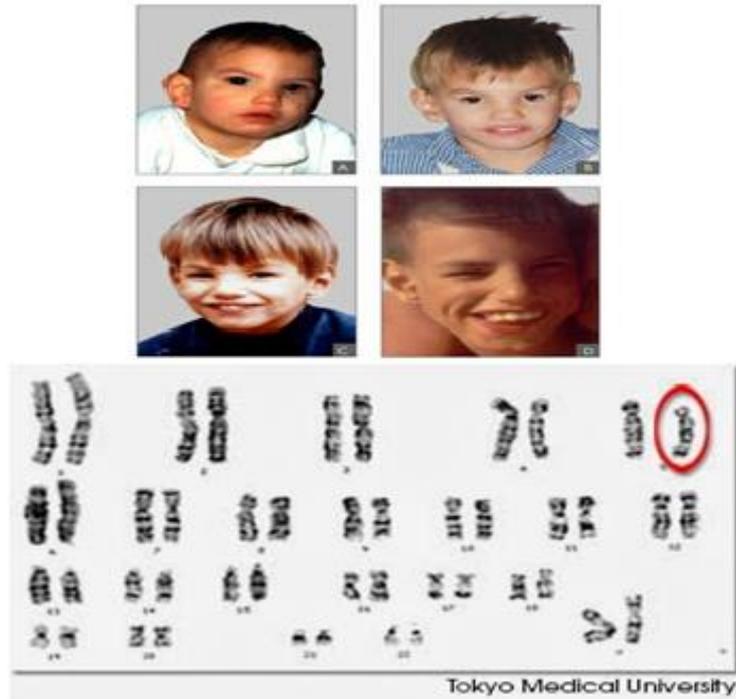
Gambar 12. Delesi cincin
Sumber: : www.edubio.info

- 4) Delesi loop, yaitu delesi cincin yang membentuk lengkungan pada kromosom lainnya. Hal ini terjadi pada waktu meiosis, sehingga memungkinkan adanya kromosom lain (homolognya) yang tetap normal.



Gambar 13. Delesi loop
Sumber: : www.edubio.info

Satu contoh delesi yang terkenal pada manusia adalah yang menimbulkan sindrom *Cri-du-chat*. Delesi penyebab timbulnya sindrom itu bersifat heterozigot. Delesi terjadi pada lengan pendek kromosom 5B. Teriakan para bayi pengidap sindrom ini terdengar seperti bunyi meong kucing. Sindrom itu juga ditandai dengan ukuran kepala yang kecil, abnormalitas pertumbuhan yang parah, serta adanya keterbelakangan mental. Para penderita biasanya meninggal pada masa bayi atau awal masa kanak-kanak sekaipun ada juga yang tetap hidup hingga dewasa.

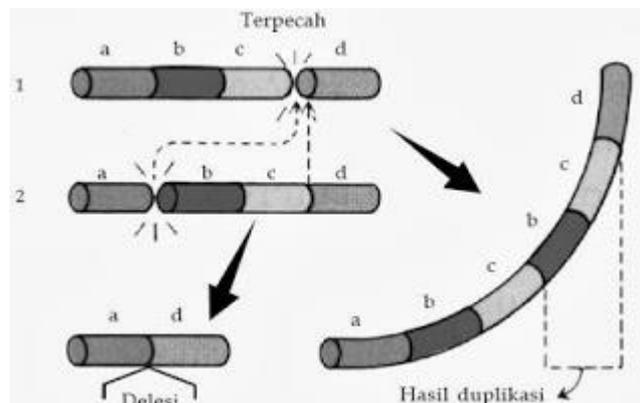


Gambar 14. Sindrom *Cri-du-chat* karena delesi kromosom
 Sumber: : www.edubio.info

b. Duplikasi kromosom

Duplikasi adalah mutasi yang terjadi karena penambahan ruas kromosom atau gen dengan ruas yang telah ada sebelumnya. Sehingga, terjadi pengulangan ruas-ruas DNA dengan runtunan basa yang sama yang mengakibatkan kromosom mutan lebih panjang.

Contoh perubahan fenotip akibat proses duplikasi adalah gen bar pada *Drosophila melanogaster*. Penambahan gen pada kromosom lalat buah ini mengakibatkan peningkatan enzim tertentu yang menyebabkan ketidakseimbangan metabolisme.

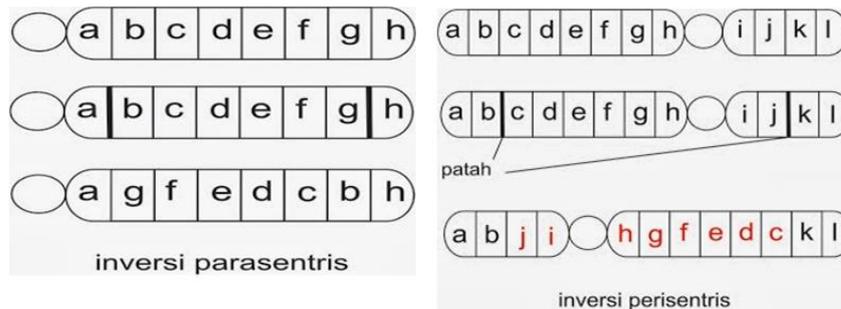


Gambar 15. Duplikasi kromosom
 sumber: www.edubio.info

c. Inversi kromosom.

Inversi adalah perubahan urutan letak gen dalam suatu kromosom . Misalnya pada satu ruas kromosom terdapat urutan ruas ABCDEF, setelah inversi diperoleh ruas AEDCBF. Jadi, terjadi pemutaran ruas BCDE.

Inversi dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu: inversi parasentrik dan inversi perisentrik. *Inversi parasentris*, yaitu bila sentromer berada di luar ruas yang terbalik, sedangkan *inversi perisentris*, yaitu bila sentromer terdapat dalam segmen yang berputar.



Gambar 16. Inversi kromosom
sumber: www.edubio.info

d. Translokasi kromosom

Translokasi adalah mutasi yang terjadi akibat perpindahan ruas DNA (segmen kromosom) ke tempat yang baru, baik dalam satu kromosom atau antarkromosom yang berbeda.

Translokasi dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yakni sebagai berikut:

- 1) Translokasi tunggal, jika kromosom yang patah pada satu tempat, kemudian bagian yang patah tersebut bersambungan dengan kromosom lain yang bukan homolognya.



Gambar 16. Translokasi tunggal
sumber: www.edubio

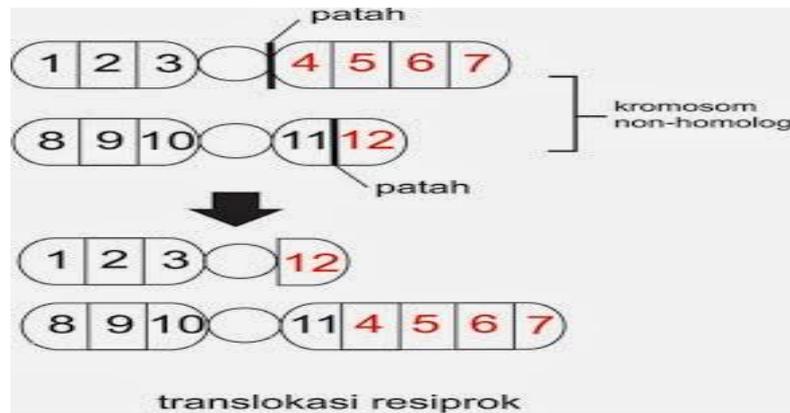
- 2) Translokasi perpindahan, terjadi jika kromosom patah di dua tempat dan patahannya bersambungan dengan kromosom lain yang bukan homolognya.



Gambar 17. Translokasi perpondahan
sumber: www.edubio

3) Translokasi resiprok

Terjadi jika dua buah kromosom yang bukan homolognya patah pada tempat tertentu, kemudian patahan tersebut saling bertukar.



Gambar 18. Translokasi resiprok
sumber: www.edubio

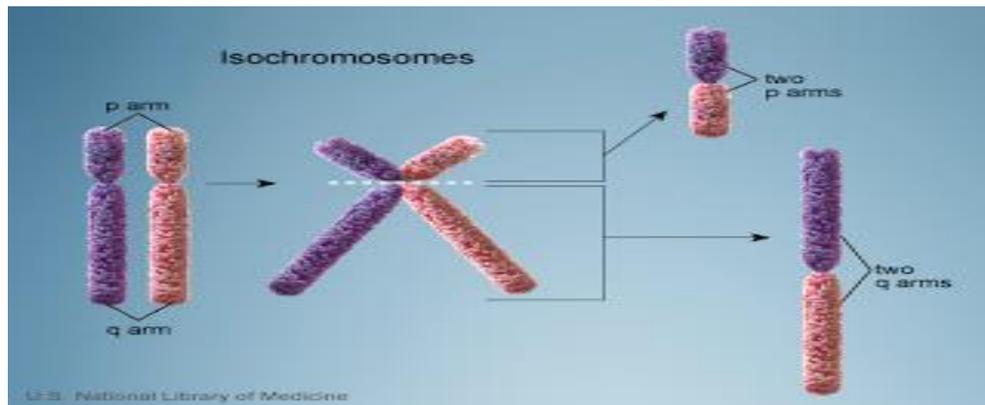
Translokasi resiprok dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

- Translokasi resiprok homozigot, yaitu translokasi homozigot ialah translokasi yang mengalami pertukaran segmen dua kromosom homolog dengan segmen dua kromosom non homolog.
- Translokasi resiprok heterozigot, yaitu translokasi heterozigot ialah translokasi yang hanya mengalami pertukaran satu segmen kromosom ke satu segmen kromosom nonhomolognya.
- Translokasi Robertson, yaitu translokasi Robertson ialah translokasi yang terjadi karena penggabungan dua romosom akrosentrik menjadi satu kromosom metasentrik. Peristiwa semacam ini dapat disebut juga fusion (penggabungan).

e. Isokromosom.

Isokromosom ialah mutasi kromosom yang terjadi pada waktu menduplikasikan diri, pembelahan sentromernya mengalami perubahan arah pembelahan sehingga terbentuklah dua kromosom yang masing-masing berlengan identik (sama). Dilihat dari pembelahan sentromer maka isokromosom disebut juga fision, jadi peristiwanya berlawanan dengan

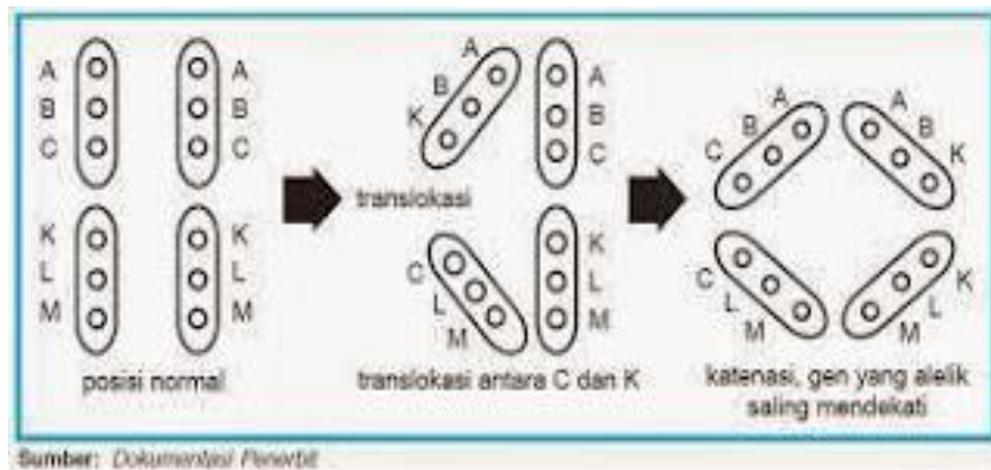
translokasi Robertson (fusion) yang mengalami penggabungan.



Gambar 19. Isokromosom
sumber: www.edubio

f. Katenasi

Katenasi adalah mutasi kromosom yang terjadi pada dua kromosom non homolog yang pada waktu membelah menjadi empat kromosom, saling bertemu ujung-ujungnya sehingga membentuk lingkaran.



Gambar 20. Katenasi
sumber: www.edubio

2. Mutagen

Mutasi gen disebut juga **mutasi titik** (point mutation). Mutasi ini terjadi karena adanya perubahan struktur gen (DNA), akibatnya asam amino yang dikodekan berubah sehingga terbentuk protein yang salah.

Kejadian mutasi gen sangat jarang terlihat, hal ini disebabkan mutasi yang terjadi pada suatu gen tidak dapat menunjukkan penampakannya, karena jumlah gen yang terdapat dalam satu individu banyak sekali yang bermutasi bersifat letal, sehingga gejala mutasi tidak dapat diamati sebab individu segera mati sebelum dewasa. Gen yang bermutasi umumnya bersifat resesif, sehingga selama dalam keadaan heterozigot tidak akan terlihat.

Penyebab beberapa penyebab mutasi gen, antara lain:

- Delesi : hilangnya satu atau beberapa basa nitrogen.
- Addisi : penambahan satu atau beberapa basa nitrogen (sering disebut juga insersi).
- Substitusi : pertukaran pasangan basa nitrogen.

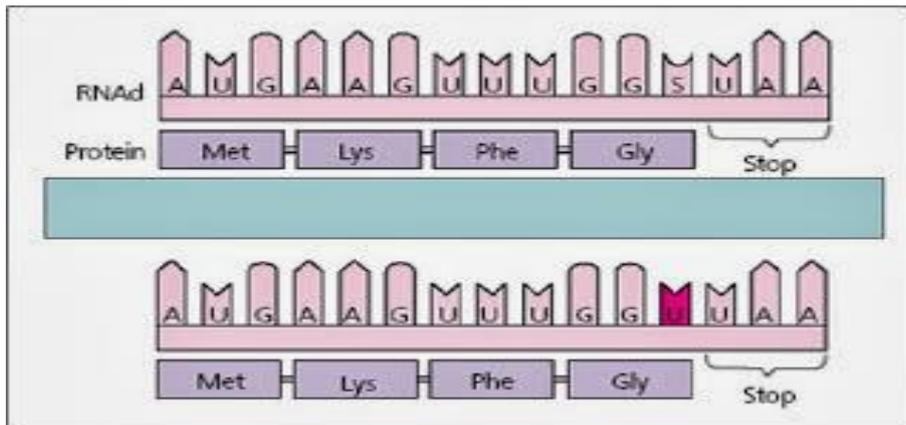
Jenis –jenis mutasi gen :

- **Mutasi salah arti** (*missens mutation*), yaitu perubahan suatu kode genetik umumnya pada posisi 1 dan 2 pada kodon) sehingga menyebabkan asam amino terkait (pada polipeptida) berubah . perubahan pada asam amino dapat menghasilkan fenotip mutan apabila asam amino yang berubah merupakan asam amino esensial bagi protein tersebut . jenis mutasi ini dapat disebabkan oleh peristiwa transisi dan transversi.



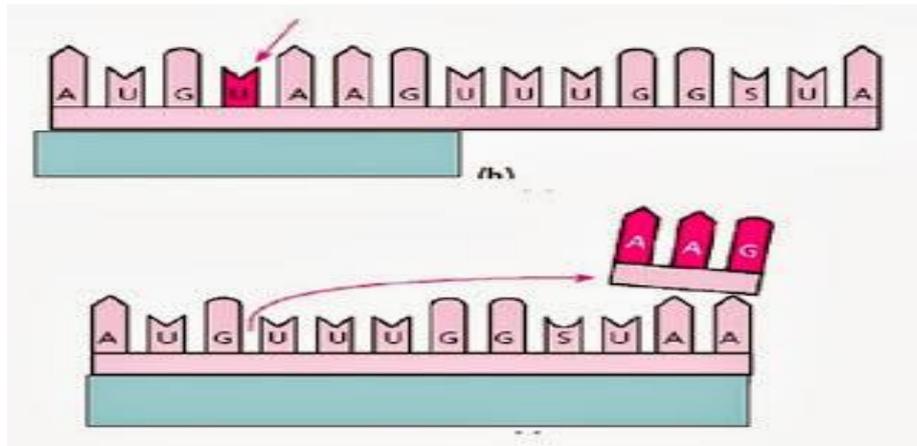
Gambar 21. Mutasi salah arti
sumber: www.edubio

- **Mutasi diam** (*silent mutation*), yaitu perubahan suatu pasangan basa dalam gen (pada posisi 3 kodon) yang menimbulkan perubahan satu kode genetik tetapi tidak mengakibatkan perubahan atau pergantian asam amino yang dikode. mutasi diam biasanya disebabkan karena terjadinya mutasi transisi dan tranversi.



Gambar 21. Mutasi diam
sumber: www.edubio

- **Mutasi tanpa arti** (*nonsense mutation*), yaitu perubahan kodon asam amino tertentu menjadi kodon stop . hampir semua mutasi tanpa arti mengarah pada inaktifnya suatu protein sehingga menghasilkan fenotip mutan . mutasi ini dapat terjadi baik oleh tranversi, delesi maupun insersi.



Gambar 22. Mutasi tanpa arti
sumber: www.edubio

3. Faktor Penyebab Mutasi

Zat atau sesuatu yang menyebabkan mutasi disebut dengan mutagen. Macam-macam penyebab mutasi dapat di bedakan sebagai berikut :

- 1) Mutasi alami (mutasi spontan)
Mutasi spontan adalah perubahan yang terjadi secara alamiah atau dengan sendirinya. Diduga faktor penyebabnya adalah panas, radiasi sinar kosmis, batuan radioaktif, sinar ultraviolet matahari, radiasi dan ionisasi internal mikroorganisme serta kesalahan DNA dalam metabolisme.
- 2) Mutasi buatan
Mutasi buatan adalah mutasi yang disebabkan oleh usaha manusia, antara lain dengan :
 - a. Pemakaian bahan radioaktif untuk diagnosis, terapi, deteksi suatu penyakit, sterilisasi dan pengawetan makanan.
 - b. Penggunaan senjata nuklir.
 - c. Penggunaan roket dan televisi.

Mutagen merupakan faktor yang menyebabkan terjadinya mutasi. Mutagen dibagi menjadi 3, yaitu:

- Mutagen bahan kimia , contohnya adalah kolkisin dan zat digitonin. Kolkisin adalah zat yang dapat menghalangi terbentuknya benang-benang spindel pada proses anafase dan dapat menghambat pembelahan sel pada anafase.
- Mutagen bahan fisika , contohnya sinar ultraviolet , sinar radioaktif, dan sinar gamma. Sinar ultraviolet dapat menyebabkan kanker kulit.
- Mutagen bahan biologi, diduga virus dan bakteri dapat menyebabkan terjadinya mutasi. Bagian virus yang dapat menyebabkan terjadinya mutasi adalah DNA-nya.

4. Pemanfaatan Mutasi

Pemanfaatan mutasi dibedakan menjadi dua yaitu pemanfaatan yang menguntungkan dan pemanfaatan yang merugikan. Beberapa contoh pemanfaatan mutasi yang menguntungkan antara lain:

- 1) Terapi sel-sel tumor
Aplikasi radiasi sinar mengion (dikenal sebagai radioterapi , seperti penyinaran dengan sinar X) dan kemoterapi untuk menghambat perkembangan sel-sel tumor dan kanker.

- 2) Pemuliaan
Radiasi sinar mengion, seperti sinar gamma dari Co-60, atau terhadap beberapa kemikalia, seperti EMS dan DS, digunakan untuk mengubah susunan basa nitrogen pada DNA atau untuk menyebabkan mutasi segmental dan harapannya sel yang akan mengalami mutasi akan menguntungkan. Cara pemuliaan kebanyakan dilakukan terhadap tanaman hortikultura, seperti tanaman sayuran dan tanaman hias (ornamental).
- 3) Zat kimia seperti digitonin igundan kolkisin dakan untuk mendapatkan benih yang bersifat unggul seperti gandum, tomat, dan kol poliploidi.
- 4) Tanaman Poliploidi dianggap menguntungkan karena memiliki buah besar, tidak berbiji, dan produktivitasnya tinggi.



Gambar 23. Pemuliaan tanaman
sumber: Slideshare.com

Dampak mutasi yang merugikan antara lain:

- 1) Terjadi mutasi gen menyebabkan beberapa kelainan pada manusia antara lain sindrom turner , sindrom down , albino.
- 2) Penggunaan sinar radioaktif pada proses mutasi dapat menyebabkan tumbuhnya sel kanker dan cacat bawaan pada janin dalam rahim.
- 3) Pemberian insektisida yang tidak sesuai dosisnya dapat mengakibatkan mutasi pada hama sehingga akan mengalami peledakan hama dalam jumlah besar untuk merusak tanaman.

C. Rangkuman

1. Penyebab mutasi kromosom karena perubahan struktur kromosom berlangsung secara spontan, dan dapat juga dilakukan secara eksperimental dengan induksi bahan kimia atau radiasi. Perubahan ini umumnya dapat dilihat pada sel selama mitosis atau miosis. Beberapa penyebabnya antara lain: delesi kromosom, duplikasi kromosom, inversi kromosom, traanslokasi kromosom, isokromosom dan katenasi.

2. Penyebab mutasi gen terjadi karena adanya perubahan struktur gen (DNA), akibatnya asam amino yang dikodekan berubah sehingga terbentuk protein yang salah. Penyebabnya antara lain: delesi, addisi, dan substitusi.
3. Mutasi terjadi karena faktor alami maupun buatan, sedangkan penyebab mutasi (mutagen) terdiri dari mutagen kimia, mutagen fisik, dan mutagen biologi.
4. Pemanfaatan mutasi dibedakan menjadi dua yaitu pemanfaatan yang menguntungkan dan pemanfaatan yang merugikan. Beberapa contoh pemanfaatan mutasi yang menguntungkan misalnya: terapi sel tumor, pemuliaan tanaman, dan tanaman poliploidi.

D. Latihan Soal

1. Mutasi gen dapat disebabkan oleh beberapa hal berikut, yaitu
 - A. depurinasi, translokasi, inversi
 - B. dimer timin, depurinasi, inversi
 - C. deaminasi, depurinasi, inversi
 - D. translokasi, delesi, duplikasi
 - E. depurinasi, deaminasi, dimer timin
2. Apabila kita melihat seseorang yang berkariotipe 47 XXY atau 44A+XXY maka hal ini mengalami kelainan yang disebut
 - A. sindrom Jacobs
 - B. sindrom Patau
 - C. sindrom Turner
 - D. sindrom Klinefelter
 - E. sindrom Edwards
3. Berikut yang dapat dikelompokkan dalam mutagen fisika, adalah
 - A. DDT, sinar , sinar
 - B. fumigant, DDT, gliserol
 - C. gliserol, formaldehida, pestisida
 - D. fumigant, formaldehida, sinar
 - E. sinar kosmis, sinar gamma, ultraviolet
4. Apabila kita melihat seseorang yang memiliki ciri ciri seperti pada gambar terjadi karena kelebihan satu kromosom, tepatnya pada kromosom nomor



- A. 13
- B. 14
- C. 15
- D. 21
- E. 22

5. Pada umumnya orang lebih menyukai mengkonsumsi semangka tanpa biji dibandingkan semangka berbiji. Semangka tanpa biji merupakan contoh mutasi karena jumlah kromosomnya lebih dari dua genom. Berdasarkan hal tersebut, mutasi adalah....
- A. berubah komposisi set kromosom
 - B. perubahan autosom dan gonosom
 - C. perubahan kromosom di dalam gen
 - D. perubahan ukuran kromosom
 - E. perubahan gen dalam kromosom

Kunci jawaban dan pedoman penilaian

NO.	KUNCI	SKOR
1.	E	Penyebab beberapa penyebab mutasi gen, antara lain: - Delesi : hilangnya satu atau beberapa basa nitrogen. - Addisi : penambahan satu atau beberapa basa nitrogen (sering disebut juga insersi). - Substitusi : pertukaran pasangan basa nitrogen.
2.	D	Sindrom Klinefelter adalah kelainan genetik yang disebabkan oleh adanya salinan kromosom X tambahan. Sindrom klinefelter disebabkan oleh adanya salinan kromosom seks X tambahan. Kondisi ini terjadi pada laki-laki, terjadi secara acak, dan tidak diturunkan. Laki-laki yang mengalami sindrom Klinifelter klasik akan memiliki kromosom 47 XXY
3.	E	Mutagen Fisika, mutagen yang disebabkan oleh radiaksi peng - ion dan bukan peng - ion, contoh: sinar gamma, sinar X, dan sinar UV sebagai mutagen. susunan gen makhluk hidup dapat berubah jika terpapar pancaran sinar gamma, sinar X, dan sinar UV. mutasi yang terjadi adalah perubahan susunan materi genetik dalam skala kromosom.
4.	D	<i>Down syndrome</i> atau trisomi 21 disebabkan adanya penambahan kromosom pada pasangan kromosom ke 21. Gejala <i>down syndrome</i> antara lain berat badan lahir rendah, ukuran kepala kecil, kepala bagian belakang datar, sudut mata luar naik ke atas, kelainan bentuk telinga dan hidung, dan beberapa lainnya. Selain menyebabkan kelainan fisik, <i>down syndrome</i> juga menyebabkan gangguan perkembangan penderitanya. Umumnya penderita <i>down syndrome</i> memiliki <i>intelligence quotient</i> (IQ) yang lebih rendah.
5.	A	Aneuploidi terjadi karena hilangnya atau bertambahnya perangkat kromosom (<i>genom</i>) makhluk hidup normal, umumnya bersifat <i>diploid</i> (mempunyai dua perangkat kromosom atau dua genom). Pada <i>aneuploid</i> dikenal individu monoploidi (mempunyai satu perangkat kromosom) dan <i>poliploid</i> (mempunyai banyak perangkat kromosom)

Pedoman Penskoran

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

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No.	Pertanyaan	Jawaban	
1.	Apakah Anda telah dapat menjelaskan berbagai penyebab mutasi kromosom?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
2.	Apakah Anda telah dapat menjelaskan berbagai penyebab mutasi gen?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
3.	Apakah Anda telah dapat menjelaskan akibat mutasi pada manusia?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Apabila semua jawaban "YA" maka anda bisa melanjutkan

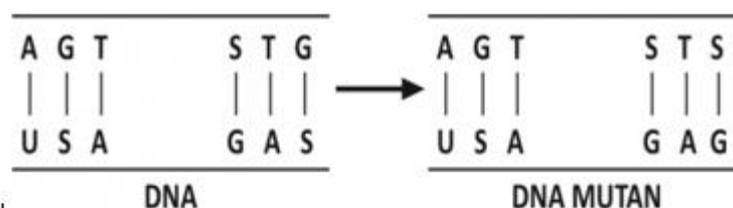
EVALUASI

- Berdasarkan mutasi genetiknya, mutasi gen merupakan proses perubahan yang terjadi pada tempat-tempat berikut, *kecuali*....
 - Lokusnya
 - Susunan molekul DNA
 - Rantai sense dan anti sensenya
 - Basa purin dan pirimidinnya
 - Basa nukleotida DNA
- Pernyataan berikut yang tidak benar mengenai mutasi adalah....
 - Mutasi hanya terjadi pada kromosom kelamin
 - Mutasi terjadi pada tingkat gen dan kromosom
 - Mutasi dapat memberikan dampak merugikan dan menguntungkan
 - Beberapa kelainan akibat mutasi tidak diwariskan pada keturunannya
 - Selalu terjadi perubahan materi genetik(DNA) pada individu yang mengalami mutasi.
- Perhatikan beberapa kodon berikut.
 - UGC
 - UGA
 - UAG
 - UAA
 - AUG

Perubahan genetik pada gen dapat mengakibatkan translasi protein terhenti jika terbentuk triplet nomor....

 - 1), 2), dan 3)
 - 1), 2), dan 3)
 - 1), 3), dan 5)
 - 2), 3), dan 4)
 - 2), 4), dan 5)
- Transisi sebagai mutasi pergantian basa terjadi apabila....
 - Basa guanin berpasangan dengan sitosin
 - Basa guanin berpasangan dengan guanin yang lain
 - Basa adenin berpasangan dengan guanine
 - Basa kimia berpasangan dengan guanine
 - Basa urasil berpasangan dengan timin

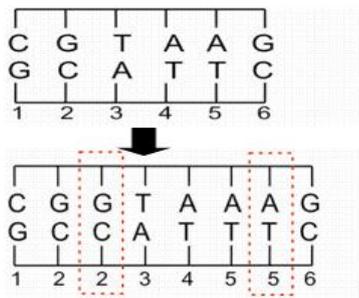
- Perhatikan diagram berikut ini!



Mutasi yang terjadi pada potongan DNA tersebut adalah....

- Transisi
- Inseri
- Inversi
- Transversi
- Translokasi

6. Perhatikan diagram berikut ini!



Mutasi yang terjadi pada sepotong DNA tersebut adalah...

- A. Transisi
 - B. Insersi
 - C. Inversi
 - D. Transversi
 - E. Translokasi
7. Kandungan dalam suatu produk makanan kaleng terdiri atas : daging sapi, terigu, protein, garam, gula, bumbu, MSG, tokoferon, glisikol, dan natrium nitrit. Dari zat-zat tersebut yang berpotensi sebagai mutagen adalah
- A. MSG, gula, dan garam
 - B. garam, gula dan bumbu
 - C. protein, garam, dan terigu
 - D. MSG, tokoferol, dan bumbu
 - E. MSG, glisikol, dan Natrium nitrit
8. Semangka tanpa biji(3n) dapat terbentuk karena pengaruhâ....
- A. senyawa kolkisin yang menyebabkan hasil penggandaan tidak memisah
 - B. senyawa kolkisin yang menyebabkan kromosom tidak melakukan penggandaan
 - C. sinar X yang memengaruhi pembentukan mikrospora
 - D. sinar X yang memengaruhi pembentukan ovum
 - E. sinar X yang menghambat pembelahan mitosis
9. Para pekerja yang bekerja di dalam ruang rontgen, pada beberapa bagian tubuhnya harus ditutup dengan pengaman. Hal ini dilakukan karena sinar rontgen dapat....
- A. menimbulkan efek bersifat letal
 - B. merusak jaringan tubuh
 - C. menyebabkan terjadinya gagal berpisah
 - D. menyebabkan mutasi gen sel-sel kelamin
 - E. mengakibatkan tidak berfungsinya salah satu organ tubuh
10. Mutasi sel somatik merupakan mutasi
- A. sebagai akibat gagal berpisah
 - B. terjadi dalam sel gamet
 - C. dapat diwariskan kepada generasi berikutnya
 - D. hanya diwariskan pada anak sel yang dihasilkan oleh mitosis
 - E. sebagai akibat pindah silang

Kunci Jawaban valuasi dn pedoman penilaian

NO.	KUNCI	SKOR	NO.	KUNCI	SKOR
1.	B	10		B	10
2.	A	10		E	10
3.	D	10		A	10
4.	B	10		D	10
5.	A	10		D	10

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{50} \times 100 \%$$

DAFTAR PUSTAKA

- Pratiwi, DA, dkk. 2014. *Biologi Untuk SMA Jilid 3*. Jakarta: Erlangga
- Rachmawati, Faidah. 2009. *Buku Biologi SMA/MA Kelas XII BSE*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional
- Irnaningtyas. 2014. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII Kelompok peminatan Matematika dan Ilmu Alam*. Jakarta: Erlangga
- Nurhayati, Nunung dan Resty Wijayanti. 2017. *Biologi SMA/MA Kelas XII*. Bandung: Yrama Widya
- Omegawati, W.O. dkk. 2018. *Biologi SMA/MA Kelas XII Peminatan Matematika dan Ilmu-ilmu Alam*. Klaten: Intan Pariwara.
- <http://hanifanan.blogspot.com/2013/08/mutasi-biologi-kelas-xii.html>



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

BIOLOGI



KELAS
XII



**EVOLUSI
BIOLOGI KELAS XII**

**PENYUSUN
Drs. MUNAWIR
SMA NEGERI 8 BEKASI**

DAFTAR ISI

PENYUSUN	2
DAFTAR ISI	3
GLOSARIUM	4
PETA KONSEP.....	5
PENDAHULUAN.....	6
A. Identitas Modul	6
B. Kompetensi Dasar	6
C. Deskripsi Singkat Materi	6
D. Petunjuk Penggunaan Modul	6
E. Materi Pembelajaran.....	7
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	8
ASAL USUL KEHIDUPAN	8
A. Tujuan Pembelajaran.....	8
B. Uraian Materi.....	8
C. Rangkuman	14
D. Penugasan	14
E. Latihan Soal	15
F. Penilaian Diri	17
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	18
PETUNJUK DAN MEKANISME EVOLUSI	18
A. Tujuan Pembelajaran.....	18
B. Uraian Materi.....	18
C. Rangkuman	26
D. Latihan Soal	26
E. Penilaian Diri	28
EVALUASI	29
DAFTAR PUSTAKA	33

GLOSARIUM

- Evolusi** : Perubahan struktur tubuh makhluk hidup yang berlangsung secara perlahan-lahan dalam waktu yang sangat lama.
- Omne Vivum ex Ovo, Omne Ovum ex Vivo, Omne Vivum ex Vivo** : Kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari makhluk hidup dan kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya.
- Fosil** : Sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang telah membatu atau dapat juga berupa jejak-jejak organisme yang terdapat pada batu-batuan.
- Homologi** : Organ-organ makhluk hidup yang mempunyai bentuk asal (dasar) yang sama, kemudian berubah strukturnya sehingga fungsinya berbeda.
- Analogi** : Organ-organ tubuh yang mempunyai fungsi sama tetapi bentuk asalnya berbeda.
- Spesiasi** : Pembentukan dua atau lebih spesies dari satu spesies yang telah ada atau telah punah.
- Seleksi Alam** : Kemampuan alam untuk memilih makhluk hidup yang mampu hidup di lingkungannya.
- Mutasi** : Perubahan pada materi genetik yang mengakibatkan perubahan ekspresi gen.

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: BIOLOGI
Kelas	: XII
Alokasi Waktu	: 4 JP
Judul Modul	: EVOLUSI

B. Kompetensi Dasar

- 3.9 Menjelaskan teori, prinsip dan mekanisme evolusi serta pandangan terkini para ahli terkait spesiasi.
- 4.9 Menyajikan karya ilmiah terhadap gagasan baru tentang kemungkinan-kemungkinan pandangan evolusi berdasarkan pemahaman yang dimilikinya.

C. Deskripsi Singkat Materi

Pada Masyarakat banyak persepsi yang mengatakan bahwa manusia berasal dari kera, artinya nenek moyang manusia adalah kera. Apakah persepsi tersebut benar? Kalian dapat melihat bahwa manusia berasal dari primata sebagai cikal bakalnya, kemudian primata akan mengalami proses perubahan dan perkembangan lebih lanjut. Makhluk hidup memiliki struktur morfologi yang beranekaragaman. Ada beberapa yang memiliki persamaan, namun banyak pula yang berlainan sama sekali. Perbedaan tersebut dapat dipelajari dengan melihat pola hubungan kekerabatan. Pola hubungan kekerabatan dapat menunjukkan tingkatan makhluk hidup yang memiliki struktur sederhana hingga yang kompleks. Pola hubungan kekerabatan makhluk hidup selanjutnya akan dibahas dalam proses evolusi. Secara bahasa evolusi berasal dari kata *evolve* (Bahasa Inggris) yang berarti berubah secara perlahan, sedangkan dalam bahasa Latin disebut *evoluto* yang berarti menggulir. Teori evolusi dapat mengajari kita dalam memahami beberapa hal, diantaranya ialah memahami proses kepunahan; kemampuan proses bertahan hidup; dan terjadinya perubahan secara kontinyu dalam waktu yang lama. Pada modul pembelajaran berikut ini, akan disajikan asal-usul makhluk hidup, teori evolusi dan mekanismenya. Setelah mempelajari modul ini, diharapkan siswa lebih memahami dan memudahkan penyampaiannya kepada siswa dan para siswa dapat terbantu untuk lebih mudah dalam memahami esensi ilmu pengetahuan yang menyangkut perubahan struktur morfologi makhluk hidup.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Modul ini berisi kegiatan-kegiatan belajar yang disajikan dalam bentuk paparan yang memuat materi, latihan, rangkuman, dan penilaian diri.

Pada bagian Uraian Materi merupakan paparan sejumlah pengetahuan yang akan membekali anda untuk menguasai kompetensi yang dikemas dalam satu satuan aktivitas belajar dalam rangka mempermudah kalian menguasai kompetensi yang diharapkan. Di bagian latihan kalian akan melakukan kegiatan atau tugas yang

bertujuan untuk memperkuat penguasaan kompetensi yang diharapkan. Sementara itu di bagian rangkuman, kalian akan mendapatkan informasi mengenai garis besar materi pada kegiatan belajar yang baru saja kalian pelajari.

Untuk mengetahui sejauh mana kalian telah menguasai materi dan keterampilan yang kalian pelajari, kalian akan melakukan kegiatan Penilaian Diri. Pada bagian akhir modul ini disajikan Tes Akhir yang dapat kalian gunakan untuk menguji kemampuan kalian dalam menguasai kompetensi yang diharapkan apakah sudah tercapai atau belum. Sikap jujur sangat diharapkan ketika kalian melakukan kegiatan ini dari awal sampai akhir.

E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini terdiri dari:

1. Asal usul kehidupan'
 - a. Teori abiogenesis
 - b. Teori Biogenesis
 - c. Teori evolusi kimia
 - d. Teori evolusi darwin dan Lamarck
2. Petunjuk dan mekanisme evolusi

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

ASAL USUL KEHIDUPAN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat:

1. Menjelaskan teori-teori asal usul Makhhluk hidup.
2. Menjelaskan prinsip-prinsip teori evolusi menurut para ahli.
3. Membedakan prinsip evolusi sehingga terjadi spesiasi menurut Darwin dan Lamarck.

B. Uraian Materi

1) Asal Usul Kehidupan

a. Teori Abiogenesis /*Generatio Spontanea*

Teori Abiogenesis adalah teori yang menyatakan bahwa Makhhluk hidup terjadi begitu saja secara spontan atau makhluk hidup berasal dari benda tidak hidup.

Teori ini dikemukakan oleh Aristoteles, dan didukung oleh:

- **Antonie van Leeuwenhoek**, dengan pendapatnya bahwa mikroorganisme (benda hidup) berasal dari air (benda mati). Percobaannya: pada abad ke-17 dengan penemuannya terhadap mikroskop, ia melihat adanya mikroorganisme (makhhluk hidup sangat kecil) dalam sampel air hujan dan air rendaman jerami.
- **Needham**, berpendapat bahwa mikroorganisme (benda hidup) terjadi dari air kaldu (benda mati). Hal ini sesuai dengan percobaannya yaitu dengan merebus daging, kemudian air kaldu disimpan dalam keadaan terbuka. Setelah beberapa hari terlihat air kaldu menjadi keruh karena adanya mikroorganisme.

b. Teori Biogenesis

Makhhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya.

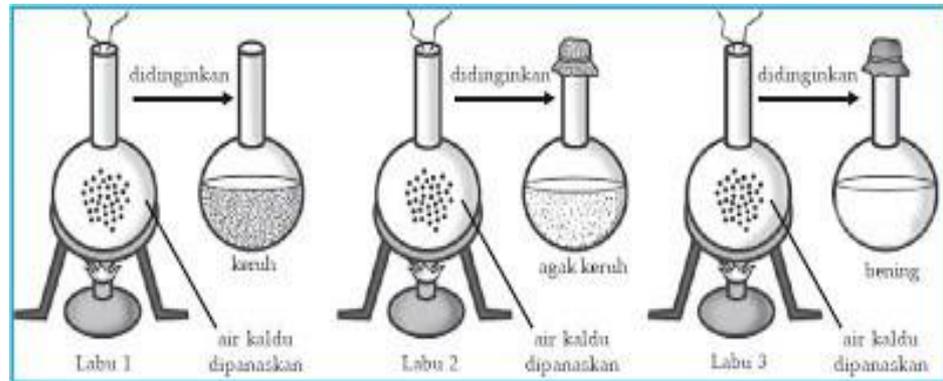
Teori ini merupakan kesimpulan dari percobaan

- 1) **Francesco Redi**, dengan percobaannya tentang munculnya ulat yang dapat muncul dalam daging yang disimpan dalam stoples terbuka tetapi tidak muncul dalam stoples tertutup. Larva (suatu kehidupan) bukan berasal dari daging (benda mati) tetapi berasal dari telur lalat yang masuk dan bertelur pada daging.



Gambar 1. Percobaan Fransisco Redi
sumber: www.biologi

- 2) **Lazaro Spallazani**, dengan percobaannya mendidihkan kaldu dalam labu kemudian ditutup rapat-rapat. Kaldu tetap bening dan steril. Adanya mikroorganisme pada tabung terbuka berasal dari udara, bukan berasal dari air kaldu (benda mati). Tidak adanya mikroorganisme pada tabung tertutup menunjukkan bahwa mikroorganisme bukan berasal dari kaldu (benda mati).



Gambar 2. Percobaan Lazzaro spalanzani (sumber: abisjatuhbangunlagi.wordpress.com)

- 3) **Louis Pasteur**, percobaannya mendidihkan kaldu pada labu, kemudian labu ditutup dengan pipa seperti huruf S sehingga mulut labu tetap terbuka. Kondisi tersebut memungkinkan zat hidup tetap dapat masuk, namun kondisi kaldu tetap jernih (bening) dan steril. Dari percobaan ini timbullah anggapan bahwa: *Omne Vivum ex Ovo Omne Ovum ex Vivo* yang berarti kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari makhluk hidup.



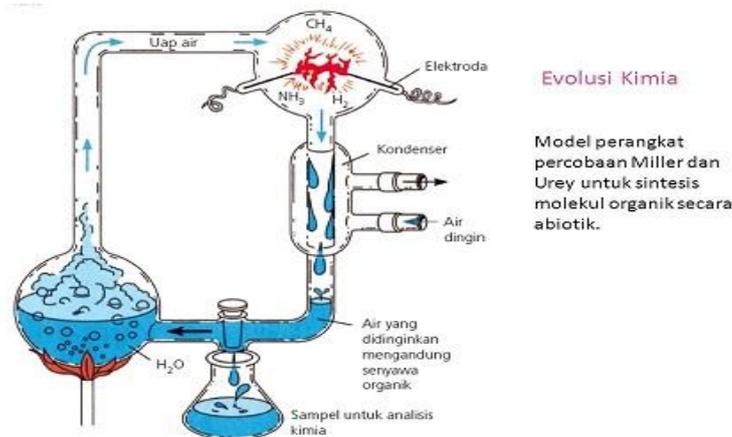
Gambar 3. Percobaan Louis Pateur <https://blog.ruangguru.com/>

c. **Teori Evolusi Kimia:**

Menurut teori evolusi kimia, asal mula kehidupan berasal dari reaksi antara CH_4 , NH_3 , H_2 , dan H_2O di atmosfer dengan sinar kosmis dan halilintar yang menghasilkan senyawa organik serupa asam amino.

Ilmuwan yang mengemukakan teori evolusi kimia adalah **Harold Urey**, menyatakan bahwa asal-usul kehidupan diawali dengan adanya senyawa anorganik di atmosfer yang berupa gas-gas seperti metana (CH_4), hidrogen (H_2), uap air (H_2O) dan amino (NH_3) yang bereaksi dengan bantuan energi dari sinar kosmis dan kilatan listrik halilintar sehingga terbentuk asam amino yang merupakan bahan dasar pembangun kehidupan. Percobaan **Stanley Miller**

berhasil membuktikan teori Urey dengan percobaannya di laboratorium dengan menggunakan alat yang diberi nama pesawat uratmosfera. Kesimpulan yang diperolehnya bahwa senyawa anorganik dapat diubah menjadi asam amino (organik) dengan pesawat uratmosfera. Jadi, satuan-satuan kompleks di dalam sistem kehidupan, seperti lipida, gula, asam amino, dan nukleotida, dapat terbentuk dari kondisi abiotik.



Gambar 4. Percobaan Stanley Miller
sumber: www.slideshare.net

Menurut **Alexander L. Oparin** dalam teori evolusi biologi, asal usul kehidupan berasal dari reaksi antara gas-gas metana (CH_4), hidrogen (H_2), uap air (H_2O), dan amonia (NH_3) yang mudah menguap ke atmosfer yang berada di cekungan air laut dengan energi radiasi benda-benda angkasa yang menghasilkan senyawa organik serupa alkohol dan asam amino. Hasil reaksi berupa asam amino berada pada cekungan laut membentuk sup purba (primordial sup).

Teori-teori yang telah diterangkan di atas belum dapat menjawab darimana dan bagaimana kehidupan pertama kali ada di bumi. Berikut ini beberapa teori tentang perkembangan sel:

- 1) Dari prokariotik ke eukarioti, Sel eukariotik terjadi karena simbiosis erat antara dua organisme, salah satunya menjadi inang dan lainnya masuk ke tubuh inang (endosimbuosis). Dalam kasus ini, bakteri purba ditelan oleh sel prokariotik sebagai inang. Bakteri ini berfungsi melakukan segala reaksi kimia. Hal inilah yang dianggap sebagai cikal bakal mitokondria.
- 2) Dari laut ke darat, Sel-sel diduga pertama kali berasal dari laut, dan berkembang menjadi organisme yang hidup di dalam air. Beberapa organisme ada yang mencoba untuk beralih hidup dari lingkungan air ke lingkungan darat karena telah terjadi kompetisi di dalam lingkungan air. Fakta yang mendukung teori ini adalah siklus hidup amfibi sebagian di air. Dari fertilisasi sampai berudu amfibi hidup di air, dan kemudian mengalami metamorfosis untuk hidup di darat.

2. Petunjuk Evolusi dan Mekanisme Evolusi

Evolusi adalah perubahan genotip pada satu populasi yang berlangsung secara perlahan-lahan dan dalam waktu yang sangat lama.

Beberapa teori yang menjadi dasar lahirnya teori evolusi adalah:

a) Teori Kreasionisme

- Penciptaan makhluk hidup terjadi dalam sekali saja secara lengkap, tidak ada evolusi atau perubahan lagi terhadap makhluk hidup.
 - Tokoh yang mendukung teori ini adalah Aristoteles.
 - Tidak valid karena terdapat beberapa makhluk hidup pada zaman yang berbeda.
- b) Teori Katatropisme**
- Terjadi bencana alam (katastrofi) yang tiba-tiba yang menyebabkan tumbuhan dan hewan di tempat itu mati.
 - Masuk bentuk kehidupan baru dari daerah lain.
 - Akibatnya, terjadi perubahan spesies yang tiba-tiba.
 - Tokoh: George Cuvier, ia menemukan lapisan batuan fosil yang mewakili tiap zaman yang berbeda yang menjadi petunjuk dari teori ini.
- c) Teori Gradualisme**
- Evolusi: Perubahan geologis berlangsung pelan-pelan tapi pasti
 - Tokoh: James Hutton
- d) Teori Uniformitarianisme**
- Evolusi merupakan proses geologis, pola seragam, kecepatan dan pengaruh perubahan selalu seimbang dalam kurun waktu
 - Contoh: terbentuknya gunung serta erosi gunung yang terjadi membuktikan keseimbangan
 - Tidak menjelaskan terbentuknya spesies.
 - Tokoh: Charles Lyell
- e) Teori Evolusi Jean Lamarck**
- Pokok-pokok pikiran teori evolusi Lamarck
 - 1) Makhluk hidup sederhana adalah nenek moyang dari makhluk hidup yang sempurna.
 - 2) Makhluk hidup akan senantiasa beradaptasi dan menyesuaikan diri dengan lingkungannya.
 - 3) Organ yang mengalami perubahan karena terus-menerus dipakai dan berkembang makin sempurna. Sedangkan organ yang tidak diperlukan lagi perkembangannya akan menurun, dan akhirnya rudiment (*teori use and disuse*).
 - 4) Evolusi organik terjadi karena perubahan-perubahan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan dapat diturunkan.

Contoh evolusi Lamarck pada jerapah.



Gambar 5. Evolusi Jerapah menurut Lamarck
<https://pak.pandani.web.id>

f) Teori Evolusi Charles Darwin

Charles Robert Darwin (1809-1882) yang dikenal sebagai Bapak Teori Evolusi lahir di daerah Inggris bagian barat. Teori Evolusi Darwin tidak

muncul begitu saja, namun berdasarkan hasil perjalanannya dengan kapal Beagle ke kepulauan Galapagos dan studi terhadap berbagai disiplin ilmu.

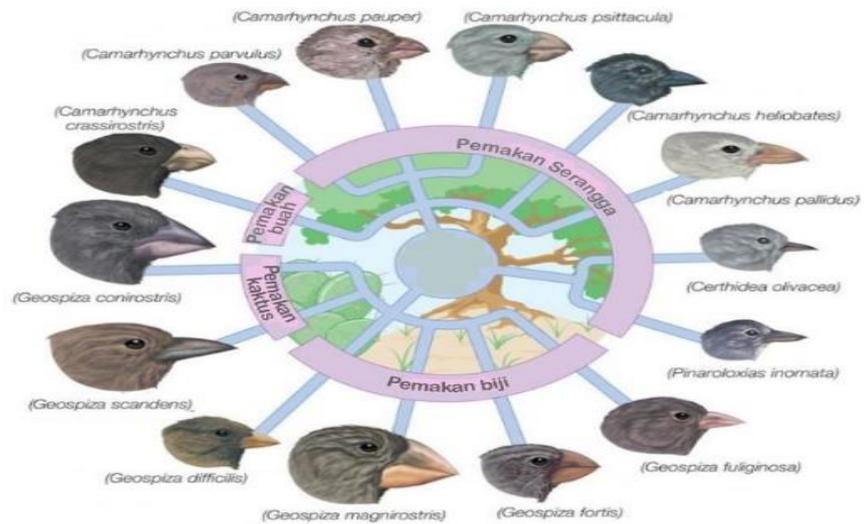
1) Pelayaran Darwin ke Kepulauan Galapagos

Saat berlayar dari Inggris menggunakan kapal HMS Beagle, Darwin berusia 22 tahun (bulan Desember 1831). Tujuan utama pelayaran tersebut adalah untuk memetakan pesisir pantai Amerika Selatan yang masih belum jelas. Pada saat awak kapal sibuk memetakan pesisir pantai, Darwin turun ke pantai, mengamati, dan mengoleksi ratusan spesimen fauna dan flora Amerika Selatan yang beraneka ragam dan endemik.

Selain itu, saat kapal mengelilingi benua Amerika, Darwin mengamati berbagai adaptasi tumbuhan dan hewan yang menempati hutan Brazil, bentangan padang rumput di Argentina, daratan terpencil Tierra del Fuego dekat Argentina dan pegunungan Andes.

Setelah mencatat flora dan fauna di berbagai wilayah Amerika Selatan, Darwin menyimpulkan bahwa flora dan fauna di Amerika Selatan mempunyai karakteristik khusus yang sangat berbeda dengan flora dan fauna di Eropa. Darwin juga mengatakan bahwa flora dan fauna di daerah beriklim sedang mempunyai hubungan yang lebih dekat dengan spesies yang hidup di wilayah tropis benua tersebut, dibandingkan spesies di daerah beriklim sedang di Eropa.

Fauna yang paling membingungkan Darwin ditemukan di *Kepulauan Galapagos*, yaitu kepulauan yang berada di sebelah barat pesisir Amerika Selatan. Pada umumnya, spesies fauna di Galapagos tidak ditemukan hidup di tempat lain, meskipun ada kesamaan dengan hewan di Amerika Selatan. Darwin menemukan jenis-jenis burung finch yang berbeda bentuk praruhnya. Perbedaan bentuk dan ukuran paruhnya yang merupakan adaptasi terhadap makanan tertentu. Kelompok pertama burung Finch yang hidup di tanah (*Geospiza magnirostris*) mempunyai paruh yang besar yang teradaptasi untuk memecahkan biji, kelompok kedua finch (*Camarhynchus pallidus*) yang menggunakan suatu duri kaktus atau ranting kecil sebagai alat untuk mengorek semut atau serangga lainnya, dan kelompok ketiga adalah kelompok kecil finch (*Camarhynchus parvulus*) yang menggunakan paruhnya untuk menangkap serangga.



Gambar 6. Variasi burung Finch
<https://www.utakatikotak.com>

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.

2) Pokok-pokok teori Darwin

Pengalaman Darwin di kepulauan Galapagos memunculkan ide tentang evolusi yang pokok pikirannya adalah:

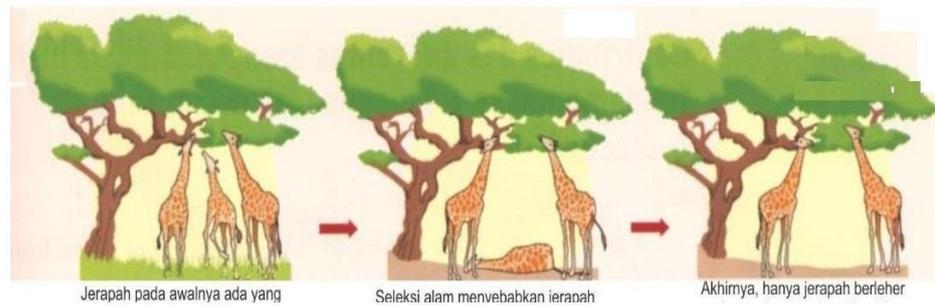
- Spesies yang hidup sekarang berasal dari spesies-spesies yang hidup di masa silam.
- Evolusi terjadi melalui seleksi alam.

Dua pokok pikiran atau teori utama Darwin merupakan hasil pengalaman dari pengamatan:

- *Pengamatan ke-1*, setiap spesies mempunyai potensial fertilisasi yang besar sehingga ukuran populasinya akan meningkat secara eksponensial bila setiap individu yang dilahirkan berhasil melakukan percobaan.
- *Pengamatan ke-2*, ukuran populasi cenderung menjadi stabil kecuali fluktuasi musiman.
- *Pengamatan ke-3*, sumber daya alam terbatas.
- *Pengamatan ke-4*, individu-individu populasi sangat bervariasi dalam hal ciri-ciri tubuh, namun tidak ada dua individu yang benar-benar sama.
- *Pengamatan ke-5*, kebanyakan variasi diwariskan pada keturunannya.

Setelah Darwin menyelesaikan perjalanannya dan kembali ke Inggris, ia banyak mempelajari geologi, terutama tentang fosil. Buku yang berpengaruh besar terhadap Darwin adalah *Principles of Geology* (Prinsip-Prinsip Geologi) karangan Charles Lyell.

Teori evolusi Jerapah menurut Darwin



Gambar 7. Evolusi Jerapah menurut Darwin
<https://pak.pandani.web.id/>

C. Rangkuman

1. Kehidupan yang ada di bumi saat ini merupakan kelanjutan yang berkesinambungan dari makhluk hidup pertama di bumi.
2. Perkembangan teori asal-usul kehidupan yaitu teori abiogenesis klasik, teori biogenesis, dan teori abiogenesis modern. Teori abiogenesis klasik menerangkan bahwa asal mula makhluk hidup dari benda mati. Teori biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup. Teori abiogenesis modern menyatakan bahwa atmosfer bumi pada zaman purba berkecenderungan menyintesis senyawa organik dari molekul anorganik purba.
3. Evolusi biologi menyatakan bahwa makhluk hidup pertama merupakan hasil evolusi molekul anorganik. Evolusi biologi membahas asal-usul sel prokariotik dan eukariotik. Sel prokariotik muncul sebelum sel eukariotik dan sel prokariotik merupakan prekursor bagi munculnya sel eukariotik.
4. Teori evolusi Darwin dikenal dengan teori seleksi alam. Teori seleksi alam mengandung dua pemahaman, yaitu bahwa spesies sekarang berasal dari spesies dahulu dan terbentuknya spesies karena seleksi alam.
5. Teori evolusi sintetis menyatakan bahwa evolusi biologi bukan semata-mata didasari teori Darwin, tetapi juga teori evolusi pasca Darwin.

D. Penugasan

Setelah mempelajari Bab Evolusi, Anda telah mengetahui bahwa evolusi pada makhluk hidup berlangsung sangat lama, hal ini menyebabkan evolusi sulit dibuktikan. Namun, sejak teori evolusi dikemukakan Darwin, para ilmuwan mulai sadar akan adanya seleksi alam dan mencatat kejadian-kejadian yang terkait. Meski perubahan yang terjadi akibat seleksi alam yang tercatat tergolong kecil, namun hal tersebut dapat menjadi bukti dan indikasi evolusi yang mengakibatkan perubahan besar. Sekarang, tugas Anda adalah **mencari bukti teori evolusi, seperti perubahan-perubahan evolusi pada virus, resistensi hama, dan kasus seleksi alam lain yang tercatat**. Carilah referensi dari buku, majalah, koran, dan internet. **Buatlah dalam sebuah karya tulis**. Kumpulkan untuk selanjutnya diadakan diskusi kelas

E. Latihan Soal

1. Pernyataan ini yang merupakan definisi dari evolusi yaitu....
 - A. Evolusi adalah pewarisan sifat organisme yang berubah dari generasi ke generasi berikutnya dalam jangka waktu jutaan tahun.
 - B. Evolusi adalah proses adaptasi terhadap lingkungan
 - C. Evolusi adalah variasi dalam keturunan
 - D. Evolusi adalah perubahan-perubahan organisme akibat suatu genetika dalam jangka waktu yang pendek.
 - E. Evolusi adalah proses seleksi alam
2. Adanya mikroorganisme pada rendaman jerami yang teramati dengan mikroskop buatan Antonie Van Leeuwenhoek pada akhir abad ke XIV ditafsirkan sebagai gejala....
 - A. Biogenesis
 - B. Metagenesis
 - C. Biosintesis
 - D. Antibiosis
 - E. Abiogenesis
3. Teori abiogenesis runtuh karena percobaan yang dilakukan oleh
 - A. Aristoteles
 - B. Alexander Oparin
 - C. Harold Urey
 - D. Anthonie van Leeuwenhoek
 - E. Louis Pasteur
4. Francesco Redi mengemukakan dari hasil penelitiannya bahwa makhluk hidup berasal dari....
 - A. Makhluk hidup
 - B. Benda mati
 - C. Zat kimia
 - D. Ledakan materi angkasa
 - E. Nenek moyang
5. Louis Pasteur melakukan percobaan menggunakan labu leher angsa untuk mengetahui asal-usul kehidupan. Fungsi pipa leher angsa pada tabung tersebut adalah
 - A. Mencegah hubungan dengan udara luar
 - B. Membiarkan mikroorganisme dan udara keluar masuk
 - C. Mencegah masuknya udara luar dan membiarkan mikroorganisme masuk
 - D. Menghalangi mikroorganisme masuk dan membiarkan udara keluar masuk
 - E. Menghambat pernapasan mikroorganisme dalam kaldu dengan udara luar

Kunci jawaban dn pembahasan

No.	Kunci Jawaban	Pembahasan	Skor
1.	A	Evolusi adalah pewarisan sifat organisme yang berubah dari generasi ke generasi berikutnya dalam jangka waktu jutaan tahun.	20
2.	E	AnAbiogenesis antonie van Leeuwenhoek, dengan pendapatnya bahwa mikroorganisme (benda hidup) berasal dari air (benda mati). Percobaannya: pada abad ke-17 dengan penemuannya terhadap mikroskop, ia melihat adanya mikroorganisme (makhluk hidup sangat kecil) dalam sampel air hujan dan air rendaman jerami.	20
3.	E	Leuis Pasteur Dari percobaan ini timbullah anggapan bahwa: Omne Vivum ex Ovo Omne Ovum ex Vivo yang berarti kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari makhluk hidup.	20
4.	A	percobaannya tentang munculnya ulat yang dapat muncul dalam daging yang disimpan dalam stoples terbuka tetapi tidak muncul dalam stoples tertutup. Larva (suatu kehidupan) bukan berasal dari daging (benda mati) tetapi berasal dari telur lalat yang masuk dan bertelur pada daging.	20
5.	C	Kondisi tersebut memungkinkan zat hidup tetap dapat masuk, namun kondisi kaldu tetap jernih (bening) dan steril. Dari percobaan ini timbullah anggapan bahwa: Omne Vivum ex Ovo Omne Ovum ex Vivo yang berarti kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari makhluk hidup.	20

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

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No.	Pertanyaan	Jawaban	
01.	Apakah Anda telah memahami teori Abiogenesis ?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
02.	Apakah Anda telah memahami teori biogenesis ?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
03.	Apakah Anda telah mampu menjelaskan teori-teori evolusi Pra-Darwin?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
04.	Apakah Anda telah mampu menganalisis prinsip teori evolusi Charles Darwin?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
05.	Apakah Anda telah mampu menganalisis prinsip teori evolusi Lamarck?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

PETUNJUK DAN MEKANISME EVOLUSI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat:

1. Menjelaskan petunjuk-petunjuk adanya evolusi.
2. Menjelaskan mekanisme terjadinya evolusi makhluk hidup.
3. Mendeskripsikan terjadinya variasi makhluk hidup sebagai dasar terjadinya proses evolusi.

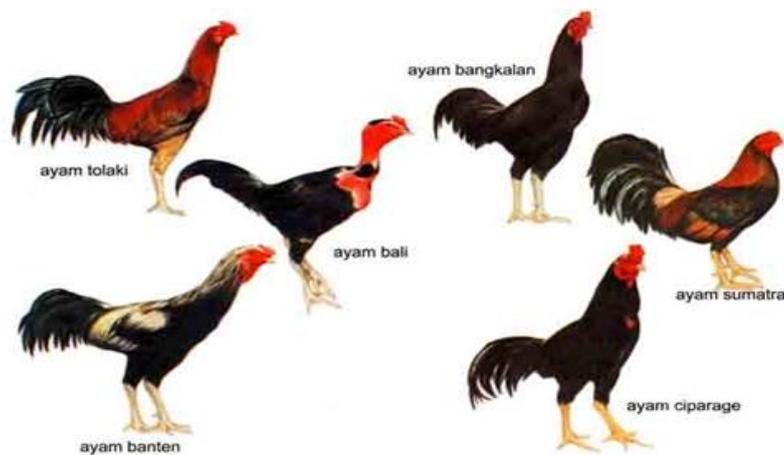
B. Uraian Materi

1. Petunjuk evolusi

Beberapa bukti yang dianggap memberikan petunjuk adanya evolusi antara lain:

a. Variasi makhluk hidup

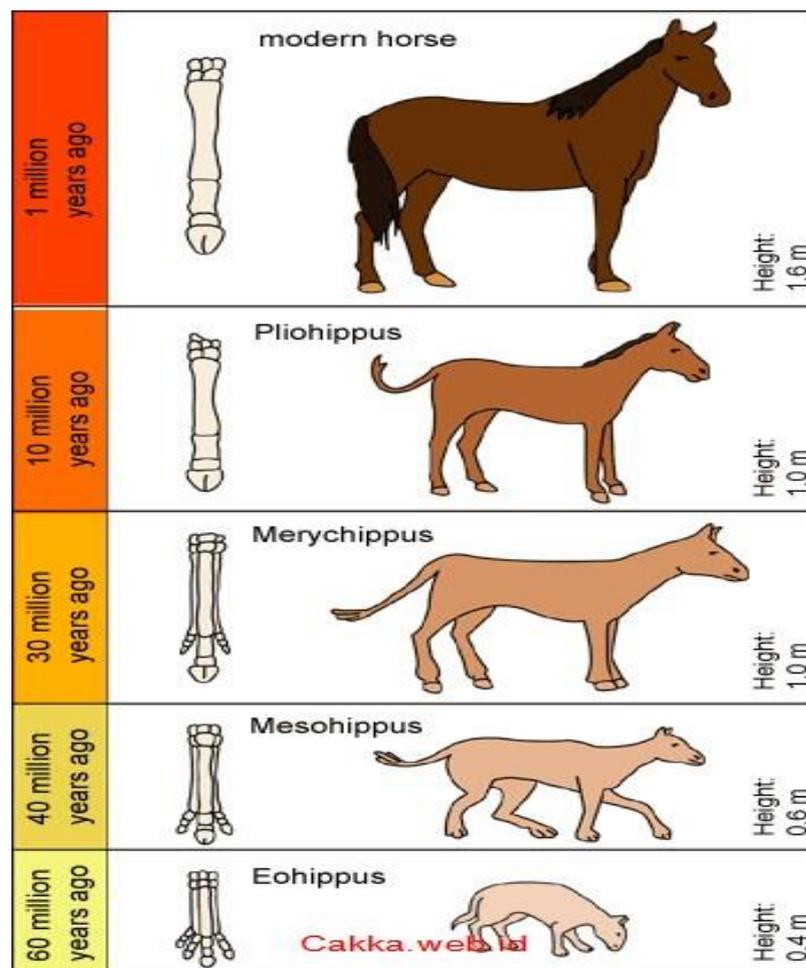
Variasi adalah perbedaan yang ditemukan pada individu-individu dalam satu spesies. Jika varian tersebut hidup pada lingkungan yang berbeda, maka akan menghasilkan keturunan yang berbeda pula. Jadi, adanya variasi merupakan petunjuk adanya evolusi yang menuju ke arah terbentuknya spesies baru.



Gambar 8. Variasi Genetik Pada Ayam
Sumber: ratnandroet.blogspot.com

b. Fosil

Fosil-fosil yang ditemukan dalam lapisan bumi dari lapisan tua sampai muda menunjukkan adanya perubahan secara berangsur-angsur. Dengan membandingkan fosil-fosil yang ditemukan di berbagai lapisan bumi dapat diketahui adanya proses evolusi. Sejarah perkembangan kuda merupakan satu contoh yang paling dikenal untuk menerangkan adanya perubahan-perubahan bentuk dari masa ke masa.

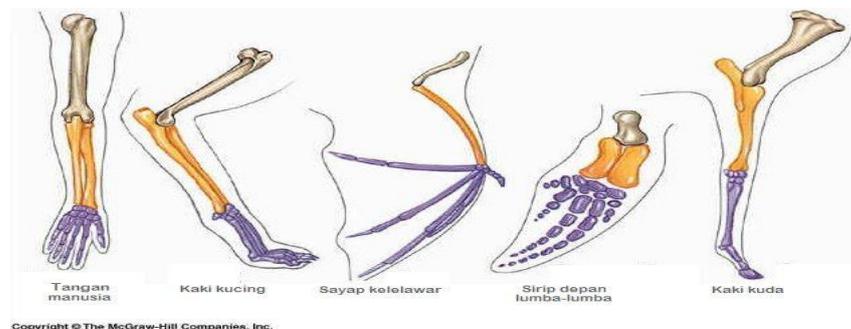


Gambar 9. Perbandingan fosil kuda
Sumber:biologiclara.blogspot.com

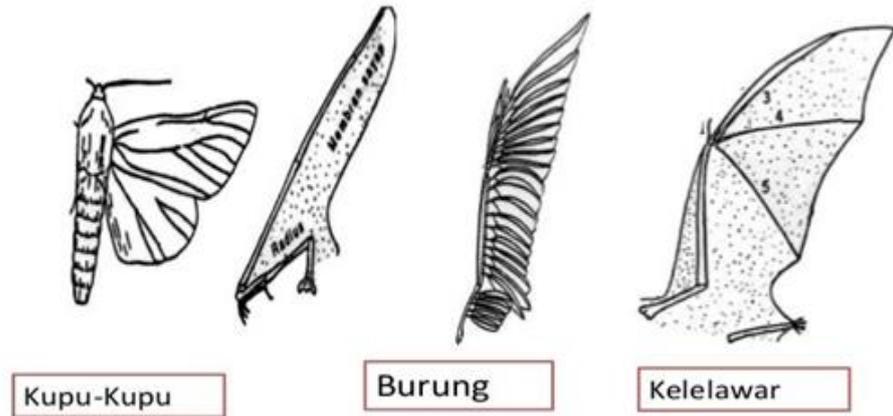
c. Homologi dan analogi organ tubuh

Homologi adalah organ-organ makhluk hidup yang mempunyai bentuk asal (dasar) yang sama, kemudian berubah strukturnya sehingga fungsinya berbeda. Misalnya, sayap burung homolog dengan tangan manusia. Kaki depan kuda homolog dengan sirip dada ikan paus.

Analogi adalah organ-organ tubuh yang mempunyai fungsi sama tetapi bentuk asalnya berbeda. Contoh: sayap serangga dengan sayap burung.



Gambar 10. Homologi perbandingan
sumber: piterest.com

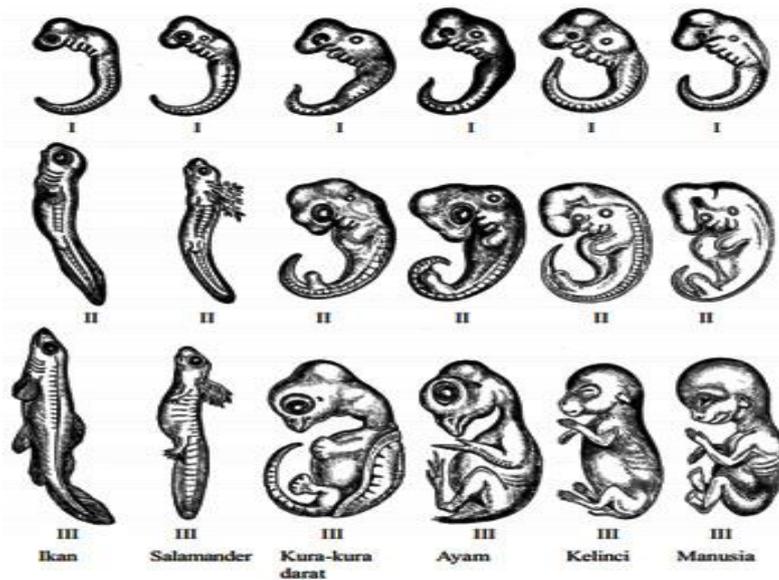


Gambar 11. Analogi perbandingan
Sumber:biologiclara.blogspot.com

d. Embriologi perbandingan

Beberapa kelas vertebrata, seperti: ikan, reptil, burung dan mamalia, walaupun tubuh individu dewasanya berbeda jenis satu sama lainnya, namun fase awal dari perkembangan embrionya sangat mirip. Makin mirip, makin dekat kekerabatannya.

Ontogeni adalah perkembangan individu dari satu sel menjadi individu dewasa. Filogeni adalah sejarah perkembangan makhluk hidup dari makhluk yang hidup sebelumnya. Para ahli berpendapat bahwa ontogeni (perkembangan individu) adalah ulangan dari revolusi filogeni (perkembangan hubungan kekerabatan organisme). Kaidah ini dianggap terlalu berlebihan karena tidak benar bahwa vertebrata berevolusi dari bentuk ikan menjadi bentuk reptil, kemudian menjadi bentuk berkaki empat.



Gambar 12. Kemiripan embriologi
Sumber: biologisites.blogspot

e. Petunjuk secara Biokimia

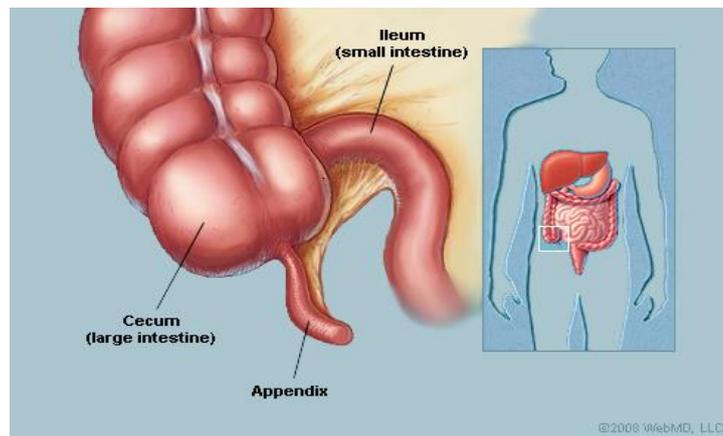
Jauh dekatnya hubungan kekerabatan antara organisme satu dengan lainnya dapat ditunjukkan dengan uji secara biokimia yang disebut uji presipitin. Uji presipitin adalah uji adanya reaksi antara antigen-antibodi. Banyak sedikitnya endapan yang terbentuk akibat reaksi tersebut dapat digunakan untuk menentukan jauh dekatnya hubungan kekerabatan antara suatu organisme dengan organisme lainnya.

f. Perbandingan fisiologi

Organisme Organisme mempunyai ciri-ciri fisiologi yang sama, seperti respirasi, ekskresi, dan sebagainya. Meskipun ciri morfologi dan jumlah sel yang membentuk setiap organisme berbeda-beda, terdapat kemiripan-kemiripan dalam fisiologinya.

g. Petunjuk alat tubuh yang tersisa

Pada manusia dan beberapa jenis hewan dapat dijumpai berbagai alat tubuh yang tidak berfungsi. Alat tubuh manusia yang tersisa antara lain umbai cacing (apendiks) dan tulang ekor. Pada burung kiwi, burung yang tidak dapat terbang, terdapat alat tubuh yang tersisa sebagai akibat penyusutan sayap.



Gambar 13. Apendiks
Sumber: brilio.net

2. Mekanisme Evolusi

Proses evolusi dapat terjadi karena adanya seleksi alam dan variasi genetik sehingga akan memunculkan sifat-sifat baru yang akan diwariskan pada keturunannya. Adanya seleksi alam mengharuskan semua makhluk hidup berjuang untuk bertahap hidup. Dalam upaya agar dapat lolos seleksi alam, setiap makhluk hidup dapat mengalami perubahan baik secara morfologis, fisiologis, dan tingkah laku. Berikut faktor-faktor yang berperan dalam mekanisme evolusi, meliputi:

a. Mutasi

Mutasi merupakan peristiwa yang menyebabkan terjadinya perubahan pada frekuensi gen, sehingga mempengaruhi fenotipe dan genotipe. Mutasi ini bisa menguntungkan atau bahkan merugikan. Menguntungkan apabila:

- Berpotensi menghasilkan sifat baru yang lebih menguntungkan.
- Menghasilkan spesies yang dapat beradaptasi.
- Memiliki kemampuan bereproduksi dengan bibit unggul.

Jika sifat yang dihasilkan berkebalikan dengan sifat seperti tersebut di atas, maka mutasi yang terjadi merugikan.

b. Genetic Drift

Genetic Drift merupakan perubahan acak pada frekuensi gen pada populasi gen yang disebabkan oleh kematian, migrasi, ataupun isolasi. Genetic drift dapat disebabkan oleh dua kondisi, (1) the bottleneck effect, merupakan bencana alam seperti kebaran, gempa bumi sehingga populasi yang tinggal sangat sedikit, (2) the founder effect, ketika sejumlah kecil dari organisme berpindah ke suatu tempat lain.

c. Aliran gen

Aliran gen terjadi ketika terjadinya migrasi dan kawin pada individu di antara populasi-populasi. Aliran gen ini sangat bergantung pada jumlah individu yang datang dan seberapa banyak perbedaan genetik individu-individu yang datang bergabung.

d. Rekombinasi seksual

Adanya kemampuan reproduksi secara seksual pada setiap individu akan menghasilkan keturunan yang dapat berbeda dengan induknya. Hal ini dipengaruhi oleh penggabungan kromosom yang terjadi secara acak antara dua sel gamet pada tahap meiosis. Sehingga memberi peluang dihasilkannya keturunan yang viabilitasnya tinggi dan berpengaruh terhadap evolusi populasi. Perkawinan yang tidak acak akan mengakibatkan terbentuknya gen resesif pada keturunan karena alel yang cenderung disukai akan mendominasi dalam populasi.

e. Seleksi Alam dan Adaptasi

Suatu adaptasi pada individu akan selalu diikuti oleh proses seleksi alam. Individu yang adaptatif, cenderung dapat lolos dari seleksi alam dengan perubahan sifat tertentu sehingga dapat bertahap hidup dan mewariskan sifat tersebut pada keturunannya.

Jadi, dapat disimpulkan bahwasanya evolusi merupakan peristiwa yang sifatnya fleksibel dan terus terjadi mengikuti perkembangan zaman. Setiap makhluk hidup harus mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungannya sehingga dapat lolos dari seleksi alam dan mampu bertahan hidup sehingga dapat melakukan rekombinasi seksual untuk melestarikan keturunannya meskipun sifatnya tidak identik.

3. Hukum Hardy Weinberg

Pada proses evolusi terjadi perubahan frekuensi gen. Bila perbandingan antara genotip-genotip dalam satu populasi tidak berubah dari satu generasi ke generasi, maka frekuensi gen dalam populasi tersebut ada dalam keadaan seimbang, artinya tidak terjadi evolusi.

Frekuensi gen berada dalam keseimbangan apabila:

- tidak terjadi migrasi;
- tidak ada mutasi, atau harus ada keseimbangan mutasi di mana perubahan genetik ke satu arah diimbangi oleh sejumlah mutasi yang sama dalam arah berlawanan;
- tidak terjadi seleksi;
- reproduksi harus berlangsung acak;
- populasi harus besar.

Bila frekuensi gen dalam satu populasi ada dalam keadaan seimbang berlaku Hukum Hardy Weinberg.

Apabila frekuensi gen yang satu dinyatakan dengan simbol p, dan alelnya dengan simbol q, maka: $(p+q) = 1$

Bila frekuensi gen A = p dan frekuensi gen a = q, maka frekuensi genotip AA : Aa : aa = $p^2 : 2pq : q^2$.

Cara mencari frekuensi gen

Jika dalam suatu populasi diketahui frekuensi genotipnya, maka frekuensi gennya dapat dicari. Contohnya, frekuensi genotip aa dalam suatu populasi 0,25. Tentukan frekuensi gen A : a serta frekuensi genotip AA, Aa, dan aa.

Jawab:

$$\text{Frekuensi gen a} = \sqrt{aa} = 0,25 = 0,5$$

$$\text{Jumlah frekuensi gen A + a} = 1$$

$$\text{Jadi, frekuensi gen A} = 1 - 0,5 = 0,5$$

$$\text{Frekuensi genotip AA : Aa : aa} = (0,5 A + 0,5a) (0,5$$

$$A + 0,5 a) = 0,25 AA : 0,50 Aa : 0,25 aa.$$

Penerapan hukum Hardy-Weinberg untuk menghitung frekuensi gen dalam populasi sebagai berikut:

- a) Dalam suatu populasi terdapat kelompok perasa pahit kertas PTC (*phenil thiocarbamide*) sebesar 64%, sedangkan yang lainnya bukan perasa PTC. Bukan perasa PTC dikendalikan oleh gen t dan perasa PTC dikendalikan oleh gen T. Tentukan frekuensi gen dan genotip populasi orang PTC dan non PTC.

Jawab:

$$\text{Jumlah PTC dan non-PTC} = 100\% \text{ orang PTC (genotip TT atau Tt)} = 64\%$$

$$\text{Frekuensi orang tidak perasa PTC (bergenotip tt} = q^2) =$$

$$100\% - 64\% = 36\% \quad q^2 = 36\% = 0,36$$

$$\text{maka frekuensi gen t} = q = 0,36 = 0,6$$

$$T + t = 1, \text{ maka frekuensi T} = 1 - 0,6 = 0,4$$

$$\text{frekuensi T : t} = 0,4 : 0,6 \text{ frekuensi genotip TT}$$

$$: Tt : tt = (T + t) (T + t)$$

$$= (0,4 T + 0,6 t) (0,4 T + 0,6 t)$$

$$= 0,16 TT + 2(0,24 Tt) + 0,36 tt = 0,16 TT + 0,48 Tt +$$

$$0,36 tt$$

$$\text{Jadi, frekuensi genotip TT : Tt : tt} = 16 : 48 : 36 = 4 : 12 : 9$$

Untuk mencari frekuensi gen, coba kamu cari dahulu frekuensi individu yang bergenotip homozigot resesif, sebab genotif dominan bisa bergenotip TT atau Tt.

- b) Diketahui frekuensi orang albino pada suatu masyarakat adalah 25 di antara 10.000 orang. Berapa persentase orang pembawa sifat albino yang heterozigot?

Jawab:

$$\text{Orang albino aa (} q^2)$$

$$q^2 = \frac{25}{10.000} = 0,0025 \quad q =$$

$$0,0025$$

$$= 0,05 \quad p + q = 1$$

$$p + 0,05 = 1 \rightarrow p = 1 - 0,05 = 0,95$$

$$\text{Orang pembawa sifat albino dinotasikan dengan } 2pq$$

$$= 2(0,95 \times 0,05)$$

$$= 0,0475$$

$$= 0,0475 \times 100\%$$

$$= 4,75\%$$

4. Perubahan perbandingan frekuensi gen pada populasi

Saat ini, telah diketahui beberapa faktor penting yang menyebabkan perubahan keseimbangan genetik di dalam suatu populasi. Faktor-faktor tersebut, antara lain: mutasi, seleksi alam, emigrasi dan imigrasi, rekombinasi dan seleksi, dan *genetic drift*. Untuk lebih mengetahui, mari cermati uraian berikut ini.

a. Mutasi

Apabila ada satu atau beberapa gen yang bermutasi, maka akan terjadi perubahan keseimbangan gen-gen dalam suatu populasi.

Contoh:

Gen b yang mempengaruhi rambut tikus berwarna putih adalah normal. Kemudian, bermutasi menjadi gen B yang menyebabkan rambut tikus berwarna kuning. Gen ini menyebabkan letal apabila dalam keadaan homozigot BB, maka:

$$\begin{array}{rcccl}
 P : & Bb & \times & Bb & \\
 & \text{(kuning)} & & \text{(kuning)} & \\
 \\
 F : & \underline{BB} & & \underline{Bb} \underline{Bb} & \underline{bb} \\
 & 1 & & 1 \quad 1 & 1 \\
 \\
 & \boxed{2} & & 2 & \\
 & \text{Letal} & & \text{kuning} & \text{putih}
 \end{array}$$

Dengan demikian, rasio genotip yang dihasilkan Bb : bb = 2 : 1, karena BB letal.

b. Seleksi alam

Di danau buatan di Amerika Serikat pernah ditemukan jenis katak berkaki banyak dan jenis katak normal. Katak yang berkaki banyak fertilitasnya rendah atau mandul dan bersifat resesif. Sedangkan, katak berkaki normal mempunyai fertilitas normal dan bersifat dominan. Karena katak berkaki banyak bersifat mandul, maka katak ini dapat dihasilkan dari perkawinan antara katak berkaki normal heterozigot.

Jadi, apabila katak berkaki normal heterozigot (Nn) dikawinkan dengan yang berkaki normal Nn, maka akan dihasilkan rasio keturunannya, sebagai berikut:

$$\begin{array}{rcccl}
 P : & Nn & \times & Nn & \\
 F & \underbrace{NN}_{25\%} & : & \underbrace{(Nn + Nn)}_{50\%} & : \underbrace{nn}_{25\%}
 \end{array}$$

Katak yang bergenotif nn adalah mandul sehingga yang mampu menghasilkan keturunan yang bergenotif NN dan Nn, atau 75% dari seluruh populasi.

b. Spesiasi

Spesiasi atau pembentukan spesies pada dasarnya dapat digunakan sebagai saksi hidup mengenai apa yang terjadi di masa lalu, maka dari itu proses spesiasi dapat pula dianggap sebagai bukti bahwa proses evolusi memang berlangsung.

Syarat terjadinya spesiasi adalah :

1. Adanya perubahan lingkungan, Perubahan lingkungan dapat menyebabkan perubahan evolusi. Contohnya, bencana alam dapat menyebabkan timbulnya kepunahan massal di muka bumi.
2. Adanya relung (niche) yang kosong, Relung merupakan tempat hidup dan interaksi suatu organisme. Suatu spesies selalu menempati relung tertentu. Suatu relung umumnya hanya dapat ditempati oleh satu jenis

spesies saja. Kepunahan massal akan menimbulkan relung-relung kosong yang akan menyebabkan relung-relung baru terisi kembali dalam jangka waktu yang panjang. Apabila relung tersebut kosong (tidak ada organisme yang menempatinya), maka akan ada banyak organisme yang berusaha menempati relung tersebut.

3. Adanya keanekaragaman suatu kelompok organisme. Selalu akan ada sejumlah organisme yang mencoba mengisi relung yang kosong. Keberhasilan suatu organisme mengisi relung ditentukan oleh seberapa besar kecocokan organisme tersebut dibandingkan dengan persyaratan relung yang kosong.

c. Isolasi Geografi

Isolasi geografi/batas alam. Apabila batas alam tidak dapat dilewati, suatu populasi tidak akan pernah bertemu dengan populasi lainnya maka dapat menyebabkan terjadinya spesiasi baik simpatri maupun tidak simpatri

- Proses spesiasi simpatri: proses spesiasi yang terjadi dalam area geografi yang sama dari suatu spesies yang paling berkerabat. Spesiasi terjadi karena aspek genetik, morfologi, tingkah laku, fisiologi, dan lain-lain. Contoh: populasi mencit di Eropa Barat memiliki sejumlah populasi kecil yang tidak interfertilisasi dengan populasi di sebelahnya walaupun penyebarannya sangat luas di Eropa Barat.
- Spesiasi tidak simpatri: proses spesiasi yang terdapat dalam area geografi yang berbeda dibandingkan dengan area geografi suatu spesies yang paling berkerabat. Dibagi menjadi 3 yaitu:
 1. Spesiasi alopatri: proses spesiasi yang terjadi di daerah yang berjauhan atau berlainan dari suatu spesies yang paling dekat hubungan kekerabatannya. Sebagian dari populasi suatu spesies terpisah dan hidup di daerah yang berlainan. Karena adanya pemisahan, keanekaragaman yang terbawa dari populasi yang terpisah, berbeda dalam frekuensi alelnya. Oleh karena kedua daerah memiliki perbedaan dalam banyak hal, seleksi alam yang bekerja pada masing-masing area akan berbeda pula. Ketika kedua populasi tersebut bertemu di kemudian hari, tidak ada lagi interaksi social di antara kedua populasi tersebut. Contoh: *Macaca brunnescens* dianggap jenis berbeda dari *Macaca ochreata* karena terpisah secara geografi.
 2. Spesiasi parapatri: proses spesiasi yang terjadi di daerah yang bersebelahan dengan daerah dari suatu spesies yang paling dekat hubungan kekerabatannya. Daerah penyebaran meliputi lebih dari satu macam habitat dengan persyaratan yang berbeda. Dengan berjalannya waktu, terbentuklah suatu populasi yang tetap bersebelahan tetapi kemampuan interfertilnya secara gradual menurun, berbanding lurus dengan jarak antara dua populasi. Akhirnya pada suatu keadaan akan ada dua populasi yang sudah tidak mampu berinteraksi secara interfertil, sehingga harus dianggap sebagai spesies tersendiri.
 3. Spesiasi peripatri: proses spesiasi yang terjadi di daerah pinggir dari daerah suatu spesies yang paling dekat hubungan kekerabatannya. Suatu organisme memiliki kisaran toleransi tertentu, akibatnya jenis tersebut akan menempati daerah tertentu. Semakin jauh dari pusat penyebarannya, maka lingkungannya pun makin berbeda. Dengan demikian spesies yang menempati daerah tersebut akan semakin berbeda dengan spesies yang menempati pusat. Dengan demikian, interaksi antara populasi tersebut dengan populasi satu spesiesnya menjadi sangat terbatas.

d. Isolasi Reproduksi

Proses spesiasi yang ditinjau dari: keberhasilan terjadinya pembuahan (kemungkinan pertemuan antara dua jenis sel gamet proses pra-kawin) dan keberhasilan suatu perkawinan (proses pasca kawin).

1. Spesiasi pra kawin meliputi:

- Kromosomal: perbedaan jumlah, bentuk, urutan kromosom berpengaruh dalam perubahan.
- Musim: perbedaan musim kawin atau musim berbunga menyebabkan individu hanya dapat saling membuahi individu tertentu yang cocok.
- Parthenogenesis: individu identik dengan induk yang menghasilkannya.
- Morfologi atau struktural: perbedaan struktur tubuh (morfologi) menyebabkan pembuahan menjadi tidak mungkin.

2. Spesiasi pasca kawin meliputi:

- Letalitas: adanya embrio yang letal
- Sterilitas: individu yang dilahirkan tidak dapat memiliki keturunan.
- Semi-letal: individu yang dihasilkan, meskipun hidup normal dan dapat memiliki keturunan, memiliki vitalitas yang sangat rendah.

C. Rangkuman

1. Evolusi merupakan proses satu arah dalam waktu yang tidak terbalikkan. Proses evolusi hanya dapat dipelajari dari petunjuk-petunjuk yang ada yaitu adanya variasi makhluk hidup, fosil-fosil yang ditemukan, homologi dan analogi organ, embriologi perbandingan, petunjuk biokimia, perbandingan fisiologi, alat tubuh yang tersisa.
2. Mekanisme evolusi dapat terjadi melalui mutasi, genetik drif, aliran gen, rekombinasi seksual, seleksi alam, dan adaptasi.

D. Latihan Soal

Kerjakan semua soal di bawah ini di kertas, kemudian cocokkan dengan kunci jawaban yang tersedia untuk penyelesaiannya!

1. Salah satu petunjuk evolusi adalah homologi organ tubuh. Jelaskan yang dimaksud dengan Homolog!
2. Bagaimana teori Darwin dan Lamarck menjelaskan fenomena jerapah berleher panjang!
3. Sebutkan akibat dari terjadinya seleksi alam!
4. Sebutkan kelemahan teori evolusi Darwin menurut August Weismann!

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar, kemudian gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

No.	Kunci jawaban	Skor
1.	Organ homolog adalah organ-organ yang memiliki struktur asal sama, tetapi fungsinya, berbeda. Tangan manusia homolog dengan kaki depan kadal, sayap burung, sayap, kelelawar, maupun sirip lumba-lumba. Akan tetapi, tangan manusia tidak homolog, dengan sayap kupu-kupu karena keduanya tidak memiliki struktur asal yang sama.	25
2.	Menurut teori Darwin, panjangnya leher jerapah merupakan salah satu contoh seleksi alam. Jerapah memiliki leher yang bervariasi, ada yang panjang dan ada yang pendek. Jerapah berleher panjang mampu meraih daun-daun yang ada di pucuk pohon sebagai makanannya, sedangkan jerapah berleher pendek tidak. Akibatnya, jerapah berleher pendek tidak mampu bertahan hidup dan jumlahnya terus berkurang sehingga yang tersisa adalah jerapah berleher panjang. Menurut teori Lamarck, dahulu semua jerapah berleher pendek. Namun, akibat tertarik selama bertahun-tahun untuk meraih daun-daun di pucuk pohon, leher jerapah menjadi panjang. Selanjutnya, leher panjang itu diwariskan kepada keturunannya.	25
3.	Organisme yang dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya yang baru akan dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya, Organisme yang tidak dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya yang baru akan mati atau pindah ke daerah lain yang tidak mengalami perubahan lingkungan.	25
4.	Weismann berpendapat bahwa sifat leher panjang dan leher pendek pada jerapah dikendalikan oleh gen. Gen untuk leher panjang bersifat dominan, sedangkan gen untuk leher pendek bersifat resesif. Oleh karena itu, jerapah berleher panjang merupakan keturunan yang bersifat homozigot dominan atau heterozigot. Sebaliknya, jerapah berleher pendek merupakan keturunan yang bersifat homozigot resesif. Jerapah berleher pendek yang homozigot resesif tidak mampu beradaptasi dengan lingkungannya sehingga akhirnya punah. Weismann berpendapat bahwa evolusi berkaitan dengan gejala seleksi alam terhadap faktor-faktor genetik.	25

E. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No.	Pertanyaan	Jawaban	
1.	Apakah Anda telah mampu menjelaskan tentang petunjuk-petunjuk evolusi ?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
2.	Apakah Anda telah mampu membedakan petunjuk evolusi antara homologi dan analogi organ?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
3.	Apakah Anda telah mampu menjelaskan tentang urutan fosil kuda sebagai petunjuk evolusi?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
4.	Apakah Anda telah mampu menjelaskan mekanisme evolusi ?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak
5.	Apakah Anda telah mampu menghitung frekuensi gen dalam populasi dengan menggunakan hukum hardi weinberg?	<input type="radio"/> Ya	<input type="radio"/> Tidak

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

EVALUASI

1. Pernyataan *omne vivum ex ovo, omne ovum ex vivo* menjelaskan bahwa
 - A. kehidupan selalu berasal dari organisme yang bertelur
 - B. kehidupan dapat berasal dari benda mati
 - C. tak ada kehidupan tanpa telur
 - D. sebelum ada individu, maka harus ada telur terlebih dahulu
 - E. kehidupan ada karena telah ada kehidupan sebelumnya

2. Evolusi merupakan perubahan pada suatu individu yang disebabkan oleh lingkungan dan bersifat diturunkan. Pendapat tersebut merupakan gagasan dari
 - A. De Lamarck
 - B. C. Darwin
 - C. Lelley
 - D. Antoni
 - E. August. W

3. Populasi jerapah adalah heterogen, ada yang berleher pendek dan ada yang berleher panjang. Dalam kompetisi mendapatkan makanan, jerapah yang berleher panjanglah yang lestari, sedangkan jerapah berleher pendek lenyap secara perlahan-lahan. Peristiwa tersebut mengingatkan teori evolusi yang dikemukakan oleh
 - A. Weismann
 - B. Gerabah
 - C. Charles Darwin
 - D. Lamarck
 - E. Gregor Johan Mendel

4. Seorang sejarawan melakukan penelitian mengenai evolusi dan menemukan beberapa fakta yang terjadi di alam antara lain:
 - 1) Terdapat homologi organ
 - 2) Adanya variasi individu dalam satu keturunan
 - 3) Ditemukannya hewan yang sama pada tempat yang berbeda
 - 4) Semua species mempunyai potensi reproduksi yang tinggiFakta yang diperoleh dan dapat dijadikan sebagai dasar teori evolusi adalah...
 - A. 1 dan 2
 - B. 1 dan 3
 - C. 2 dan 3
 - D. 2 dan 4
 - E. 3 dan 4

5. Hal - hal berikut yang bukan merupakan petunjuk evolusi adalah
 - A. fosil pada berbagai lapisan batuan
 - B. anatomi perbandingan yang bersifat analog
 - C. anatomi perbandingan yang bersifat homolog
 - D. embriologi perbandingan
 - E. perkawinan silang

6. Di bawah ini organ-organ dari berbagai hewan:
 - 1) sayap kelelawar
 - 2) kaki manusia
 - 3) sayap kupu-kupu
 - 4) kaki depan kuda
 - 5) sirip paus

- Organ tubuh yang bersifat homologi adalah....
- A. 1, 2, 5
 - B. 2, 4, 5
 - C. 2, 4, 5
 - D. 2, 4, 5
 - E. 3, 4, 5
7. Bila 2 jenis hewan memiliki banyak organ yang homolog, maka ini dapat diartikan bahwa kedua jenis hewan tersebut
- A. dekat hubungan secara evolusi
 - B. besar kemampuan untuk beradaptasi
 - C. banyak persamaan habitatnya
 - D. tinggi tingkatan pertumbuhan evolusinya
 - E. besar kemungkinan untuk bersimbiosis
8. Sayap lebah dan sayap kelelawar termasuk organ yang analog, karena
- A. bentuk dasar berbeda
 - B. bentuk berbeda, fungsi sama
 - C. asal sama, fungsi sama
 - D. asal berbeda, fungsi berbeda
 - E. tidak ada persamaan apapun
9. Filogeni menjelaskan perkembangan makhluk hidup dalam evolusi, sedangkan ontogeni mempersoalkan perkembangan zigot sampai dewasa, pernyataan berikut yang benar
- A. filogeni sangat bertentangan dengan ontogeni
 - B. filogeni sangat erat hubungannya dengan evolusi
 - C. filogeni merupakan rekapitulasi dari ontogeni
 - D. ontogeni sangat erat hubungannya dengan evolusi
 - E. ontogeni merupakan rekapitulasi dari filogeni
10. Alat-alat yang tersisa pada organisme dapat di anggap sebagai petunjuk adanya evolusi. Pada manusia yang bukan merupakan alat tubuh yang tersisa adalah....
- A. Rambut pada dada
 - B. Tulang telapak tangan
 - C. Umbai cacing (usus buntu)
 - D. Gigi taring yang runcing
 - E. Otot-otot (penggerak) telinga
11. Faktor utama yang mengakibatkan penurunan populasi kupu-kupu jenis biston betularia bersayap cerah setelah adanya revolusi industri adalah
- A. seleksi alam
 - B. adaptasi terhadap lingkungan
 - C. persaingan dalam hal panga
 - D. perubahan warna cerah menjadi gelap
 - E. warna gelap lebih adaptif dengan lingkungan
12. Perhatikan pernyataan berikut!
- 1) Perubahan struktur materi genetik yang diturunkan kepada generasi berikutnya.
 - 2) Proses penyesuaian diri makhluk hidup terhadap lingkungan.
 - 3) proses penggabungan gen dari organisme yang berbeda.
 - 4) pemilihan yang dilakukan oleh alam untuk memilih makhluk hidup yang dapat terus bertahan hidup dan tidak dapat terus bertahan hidup.

Perubahan burung Finch di Kepulauan Galapagos sebagai contoh terjadinya evolusi yang disebabkan oleh

- A. 1 dan 2
 - B. 1 dan 3
 - C. 2 dan 3
 - D. 2 dan 4
 - E. 3 dan 4
13. Pada suatu daerah dengan 10.000 penduduk terdapat 4% warga albino, maka perbandingan jumlah orang yang berkulit homozigot dan normal heterozigot berturut-turut adalah ...
- A. 6.400 dan 1.600
 - B. 6.400 dan 3.200
 - C. 3.200 dan 1.600
 - D. 3.200 dan 4.00
 - E. 1.600 dan 4.00
14. Suatu populasi burung terpisah menjadi dua populasi. Setelah ribuan tahun kedua populasi burung tersebut bersatu kembali, tetapi gagal melakukan perkawinan. Berikut ini yang bukan penjelasan untuk hal tersebut adalah ...
- A. Masa kawin kedua populasi tersebut berubah
 - B. Populasi asal berevolusi menjadi dua spesies berbeda
 - C. Tidak terjadi isolasi gamet
 - D. Dua populasi tersebut menjadi terisolasi secara geografis
 - E. Telah terjadi isolasi gamet
15. Kesimpulan dari teori Darwin adalah ...
- A. Manusia bisa saja berasal dari monyet
 - B. Homologi menjadi dasar makhluk hidup berevolusi
 - C. Makhluk hidup dapat berubah sendiri secara spontan
 - D. Makhluk hidup dapat berubah sendiri secara spontan
 - E. Hanya melalui mutasi makhluk hidup berubah bentuk dan berevolusi
 - F. Makhluk hidup berubah bentuk karena seleksi dan adaptasi

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

- 90 - 100% = baik sekali
- 80 - 89% = baik
- 70 - 79% = cukup
- < 70% = kurang

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

Kunci jawaban soal evaluasi

Nomor soal	Kunci jawaban	Nomor soal	Kunci jawaban	Nomor soal	Kunci jawaban
1.	A	6.	B	11.	A
2.	B	7.	A	12.	D
3.	C	8.	B	13.	B
4.	A	9.	C	14.	C
5.	E	10.	C	15.	E

DAFTAR PUSTAKA

- Aryilina, Diah. Dkk, 2007. *Biologi SMA dan MA untuk Kelas XII*, Jakarta, Erlangga
- Irmaningtyas. 2014. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XI Kelompok peminatan Matematika dan Ilmu Alam*. Jakarta: Erlangga
- Kusumawati, Rohana. 2010 *Biologi Untuk SMA/MA*. Klaten: Intan Pariwara
- Pratiwi, Bakti. 2018. *Biologi SMA/MA*. Bandung: YMARA WIDYA
- Safitri, Ririn. 2016. *Buku Guru Biologi Untuk SMA/MA Kelas XII*. Surakarta: Mediatama
- <http://belajarbioduk.blogspot.com/2011/04/bab-7-evolusi.html>
- <https://biologigonz.blogspot.com/2009/09/evolusi.html>
- <https://www.softilmu.com/2015/11/pengertian-dan-mekanisme-terjadinya-evolusi.html>



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

BIOLOGI



KELAS
XII



**BIOTEKNOLOGI
BIOLOGI KELAS XII**

**PENYUSUN
Drs. MUNAWIR
SMA NEGERI 8 BEKASI**

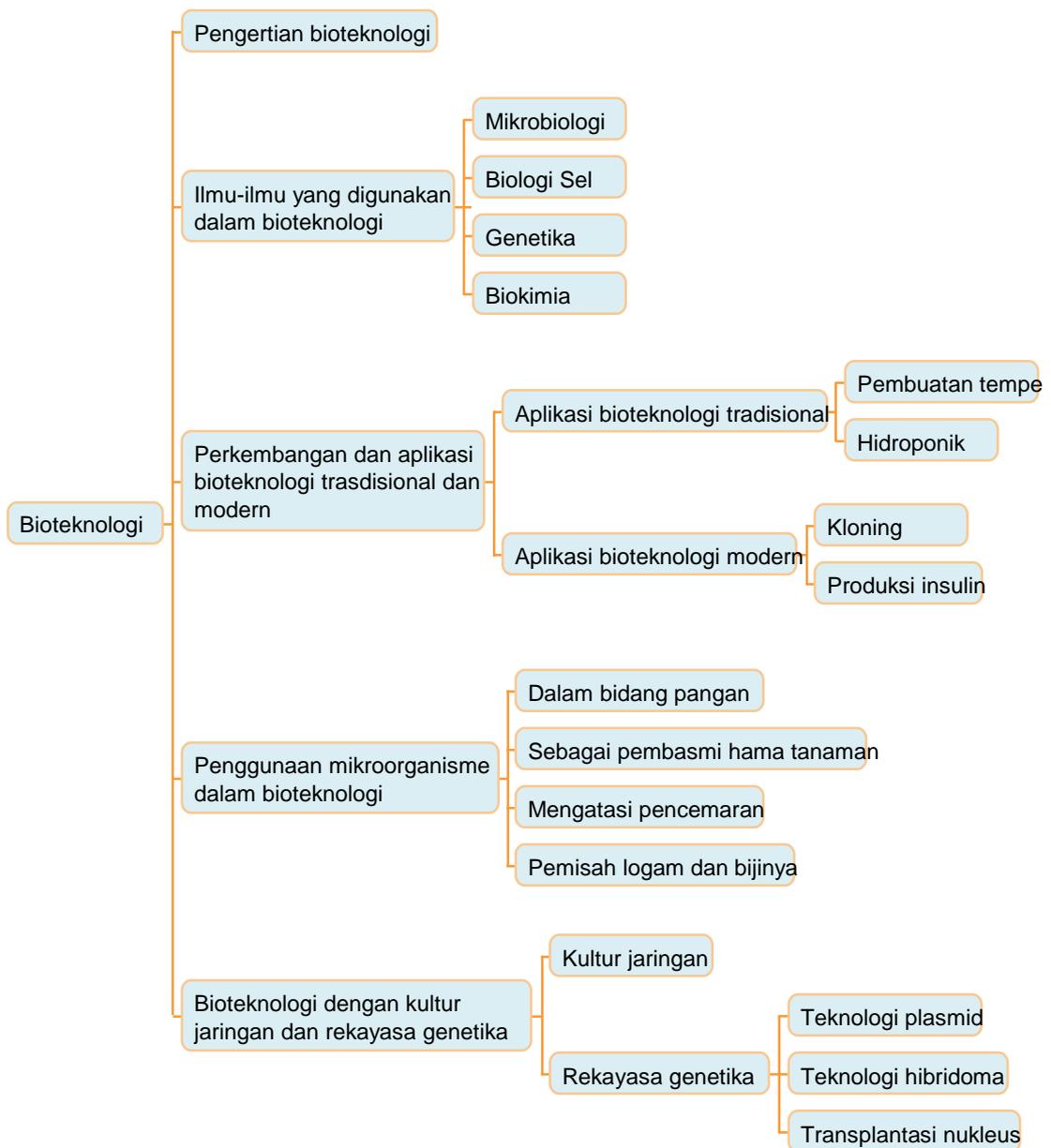
DAFTAR ISI

PENYUSUN.....	2
DAFTAR ISI.....	3
GLOSARIUM	4
PETA KONSEP	5
PENDAHULUAN	6
A. Identitas Modul.....	6
B. Kompetensi Dasar	6
C. Deskripsi Singkat Materi.....	6
D. Petunjuk Penggunaan Modul.....	6
E. Materi Pembelajaran	7
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	8
Prinsip-prinsip Bioteknologi	8
A. Tujuan Pembelajaran	8
B. Uraian Materi	8
C. Rangkuman	27
D. Latihan Soal.....	28
E. Penilaian Diri	32
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	33
Penerapan Bioteknologi.....	33
A. Tujuan Pembelajaran	33
B. Uraian Materi	33
C. Rangkuman	38
D. Latihan Soal.....	39
E. Penilaian Diri	42
EVALUASI.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	48

GLOSARIUM

Bioteknologi	: proses yang melibatkan berbagai agen biologi berupa mikroba
Eksplan	: potongan atau bagian tubuh tumbuhan yang akan dikembangkan dalam kultur jaringan
Fusi protoplasma	: penggabungan dua sel dari jaringan yang sama atau dua sel dari organisme yang berbeda dalam suatu medan listrik
Hibridoma	: sel-sel hasil fusi dua sel dari organisme yang sama atau berbeda
Kalus	: Implantasi : penempelan, penanaman, pelekatan embrio pada dinding uterus
Kloning	: sekumpulan sel hasil perkembangan dari eksplan yang belum mengalami diferensiasi : upaya mengembangbiakkan hewan atau tumbuhan secara tidak kawin dan menghasilkan keturunan yang identik secara genetik
Kultur jaringan	: proses memperbanyak tumbuhan secara vegetative dengan memperbanyak sel tubuh pada media kultur yang steril dan terkontrol
Plantlet	: tanaman kecil
Rekayasa genetika	: usaha mengubah atau memanipulasi bahan atau materi genetik organisme secara in vitro
Rekombinan	: teknik mengubah susunan DNA suatu organisme dengan cara menyisipkan gen asing ke organisme tersebut sehingga diperoleh sifat baru yang tidak dimiliki sebelumnya
Transplantasi gen	: proses mentransfer gen ke gen lainnya

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: BIOLOGI
Kelas	: XII
Alokasi Waktu	: 8 JP
Judul Modul	: BIOTEKNOLOGI

B. Kompetensi Dasar

3. 10. Menganalisis prinsip-prinsip Bioteknologi dan penerapannya sebagai upaya peningkatan kesejahteraan manusia.
- 4.10. Menyajikan laporan hasil percobaan penerapan prinsip- prinsip bioteknologi konvensional berdasarkan *scientific method*.

C. Deskripsi Singkat Materi

Bioteknologi merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan manusia untuk mendapatkan barang dan jasa dalam skala industri untuk memenuhi kebutuhan manusia dengan menggunakan atau memanfaatkan organisme atau bagian-bagiannya. Kalian pasti bertanya bagaimana proses atau teknologi yang memanfaatkan organisme dalam menciptakan barang dan jasa secara teknologi.

Modul ini akan membantu untuk mempelajari bioteknologi yang dapat dilakukan baik secara konvensional maupun secara modern. Modul ini juga sangat membantu dalam mempelajari materi bioteknologi karena modul ini dilengkapi dengan gambar-gambar tentang proses bioteknologi, latihan soal dan kunci jawaban. Sehingga kalian dapat dengan mudah mempelajari materi ini.

Untuk menjelaskan konsep tentang bioteknologi maka modul ini akan membahas tentang bioteknologi yang dilakukan secara konvensional dan bioteknologi yang dilakukan secara modern beserta contoh-contoh hasil bioteknologinya.

Untuk menyelesaikan pembelajaran pada modul ini, anda akan melalui dua kegiatan pembelajaran yaitu pembelajaran 1 dan pembelajaran 2.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Agar modul dapat digunakan secara maksimal maka kalian diharapkan melakukan langkah- langkah sebagai berikut :

1. Pelajari dan pahami peta materi yang disajikan dalam setiap modul
2. Pelajari dan pahami tujuan yang tercantum dalam setiap kegiatan pembelajaran

3. Pelajari uraian materi secara sistematis dan mendalam dalam setiap kegiatan pembelajaran.
4. Lakukan uji kompetensi di setiap akhir kegiatan pembelajaran untuk menguasai tingkat penguasaan materi.
5. Diskusikan dengan guru atau teman jika mengalami kesulitan dalam pemahaman materi. Lanjutkan pada modul berikutnya jika sudah mencapai ketuntasan yang diharapkan.

E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini terdiri dari:

Pertama : Prinsip prinsip Bioteknologi.

Kedua : Penerapan Bioteknologi.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

Prinsip-Prinsip Bioteknologi

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan mampu:

1. Menjelaskan prinsip-prinsip bioteknologi
2. Membedakan bioteknologi tradisional dan modern.
3. Menganalisis penerapan bioteknologi di berbagai bidang.
4. Menjelaskan manfaat dan dampak bioteknologi bagi manusia.

B. Uraian Materi

1. Pengertian dan Prinsip Dasar Bioteknologi

Bioteknologi berasal dari kata Bio (hidup) dan Teknos (teknologi) yang berarti ilmu yang menerapkan prinsip-prinsip biologi. Secara klasik atau konvensional, bioteknologi berarti sebagai teknologi yang memanfaatkan organisme atau bagian-bagiannya untuk mendapatkan barang dan jasa dalam skala industri untuk memenuhi kebutuhan manusia.

Sementara itu, dalam perkembangan lebih lanjut bioteknologi dapat diratikan sebagai pemanfaatan prinsip-prinsip dan kerekesayaan terhadap organisme, sistem, atau proses biologi untuk meningkatkan potensi organisme maupun menghasilkan produk dan jasa bagi kepentingan hidup manusia.

2. Jenis-jenis bioteknologi

Menurut perkembangannya, secara umum bioteknologi dibagi menjadi dua jenis:

a. Bioteknologi Konvensional (sederhana)

Bioteknologi Konvensional adalah bioteknologi yang memanfaatkan organisme secara langsung untuk menghasilkan produk barang dan jasa yang bermanfaat bagi manusia. Bioteknologi ini masih sangat sederhana atau tradisional, karena teknik dan peralatan yang digunakan masih sederhana. Pada bioteknologi konvensional menggunakan mikroorganisme, proses biokimia, dan proses genetik alami. Manipulasi yang biasa dilakukan hanya pada media tumbuh (substrat) dan kondisi lingkungan belum sampai pada tahap rekayasa genetik, walaupun ada rekayasa genetik masih merupakan rekayasa genetik yang sederhana dan perubahan genetik yang dihasilkan tidak tepat sasaran.

Kelebihan dan kekurangan bioteknologi konvensional adalah sebagai berikut;

1) Kelebihan :

- a. Biaya produksi murah.
- b. Teknologi menggunakan peralatan sederhana.
- c. Pengaruh jangka panjang sudah diketahui.

2) Kelemahan :

- a. Perbaikan genetik tidak terarah.

- b. Memerlukan waktu relatif lama .
- c. Belum ada pengkajian prinsip-prinsip ilmiah.
- d. Hasil tidak dapat diperkirakan sebelumnya.
- e. Tidak dapat mengatasi mengatasi ketidaksesuaian genetic.
- f. Reproduksi dalam skala kecil.
- g. Proses relatif belum steril.
- h. Kualitas hasil belum terjamin.

Bioteknologi konvensional dimanfaatkan dalam beberapa bidang:

1) Bidang Makanan

Dalam bidang makanan Proses yang dibantu mikroorganisme, misalnya dengan fermentasi, hasilnya antara lain : yoghurt , keju , tempe, roti, kecap, ,cuka, dan sebagainya.

a) Yogurt

Yogurt merupakan minuman hasil fermentasi susu yang menggunakan bakteri *Streptococcus thermophilus* atau *Lactobacillus bulgaricus*. Bakteri ini akan mengubah laktosa pada susu menjadi asam laktat. Efek lain dari proses fermentasi adalah pecahnya protein pada susu yang menyebabkan susu menjadi kental. Hasil akhirnya susu akan terasa asam dan kental. Proses penguraian ini disebut fermentasi asam laktat dan hasil akhirnya dinamakan.



Gambar 1. Yogurt
www.uniwiwied.com

b) Keju

Keju merupakan bahan makanan yang dihasilkan dengan memisahkan zat-zat padat pada susu melalui proses pengentalan atau koagulasi. Proses pengentalan ini dilakukan dengan bantuan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Bakteri ini akan menghasilkan enzim renin, sehingga protein pada susu akan menggumpal dan membagi susu menjadi cair dan padatan (dadih).

Selanjutnya enzim renin akan mengubah gula laktosa dalam susu menjadi asam dan protein yang ada pada dadih. Dadih inilah yang akan diproses

lebih lanjut melalui proses pematangan dan pengemasan sehingga terbentuk olahan makanan yang dikenal dengan keju.



Gambar 2. Keju
<http://www.sehat.com>

c) Roti

Pembuatan roti juga memanfaatkan peristiwa fermentasi yang dibantu oleh *yeast* atau khamir. *Yeast* merupakan sejenis jamur yang ditambah pada adonan tepung dan akan menimbulkan proses fermentasi. Proses ini akan menghasilkan gas karbondioksida dan alkohol.

Gas karbondioksida berperan dalam mengembangkan roti, sedangkan alkohol akan mempengaruhi aroma dan memberi rasa pada roti. Adonan akan tampak lebih mengembang dan membesar pada saat adonan dimasukkan ke oven, karena gas akan mengembang pada suhu tinggi.



Gambar 3. Roti
Sumber: <http://www.dinimon.com>

d) Kecap

Kecap merupakan salah satu produk hasil bioteknologi yang terbuat dari kacang kedelai. Kedelai akan difermentasi dengan menggunakan jamur *Aspergillus wentii*. Kemudian dikeringkan dan direndam di dalam larutan garam. Pembuatan kecap dilakukan melalui proses perendaman kedelai dengan larutan garam, sehingga pembuatan kecap dinamakan fermentasi garam. Jamur *Aspergillus wentii* akan merombak protein menjadi asam amino, komponen rasa, asam, dan aroma khas.



Gambar 4. Kecap

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

e) Tempe

Tempe adalah makanan tradisional khas Indonesia yang sering dikonsumsi menjadi salah satu makanan favorit. Proses pembuatan tempe menggunakan teknik fermentasi. Fermentasi dilakukan dengan menumbuhkan jamur *Rhizopus oryzae* dan *Rhizopus oligosporus* pada biji kedelai. Jamur akan menghasilkan benang-benang yang disebut dengan hifa. Benang-benang itu mengakibatkan biji-bijian kedelai saling terikat dan membentuk struktur yang kompak.



Gambar 5. Tempe

www.tasti-indonesian-food.com

f) Cuka

Bahan dasar pada proses pembuatan cuka adalah etanol yang dihasilkan oleh fermentasi anaerob oleh ragi. Bakteri yang digunakan, seperti *Acetobacter* dan *Gluconobacter*. Bakteri akan mengoksidasi etanol menjadi asam asetat.



Gambar 6. Cuka
www.tasti-indonesian-food.com

2) Bidang Pertanian

Di bidang pertanian, bioteknologi memberi andil dalam usaha pemenuhan kebutuhan makanan. Bioteknologi konvensional dalam bidang pertanian diantaranya adalah:

a) Kultur Jaringan

kultur jaringan berarti membudidayakan suatu jaringan makhluk hidup menjadi individu baru yang mempunyai sifat sama seperti induknya.

Kultur jaringan tumbuhan dilakukan berdasarkan teori sel yang dikemukakan oleh Schleiden dan Schwann, yaitu sel tumbuhan mempunyai kemampuan totipotensi. Totipotensi adalah kemampuan setiap sel tumbuhan (dari bagian mana saja sel tersebut diambil) yang jika diletakkan dalam lingkungan yang sesuai, akan tumbuh menjadi tumbuhan yang sempurna. Kultur jaringan akan lebih besar keberhasilannya apabila menggunakan jaringan meristem.

b) Pembastaran

Pembastaran atau persilangan merupakan perkawinan antara dua individu tanaman yang sejenis tetapi berbeda varietas. Pembastaran merupakan cara yang sederhana, murah, dan paling mudah untuk menghasilkan tanaman pangan varietas unggul. Contoh, padi varietas X yang memiliki produksi gabah tinggi dan tidak cepat rebah dikawinkan dengan padi varietas Y yang memiliki sifat tahan hama dan umur panen pendek. Dari perkawinan ini, dapat dihasilkan padi varietas baru yang memiliki sifat perpaduan dari keduanya, yaitu produksi gabah tinggi, tahan hama, tidak cepat rebah, dan umur panen pendek.

c) Hidroponik

Hidroponik adalah teknik bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai media tanamnya. Termasuk juga bercocok tanam di dalam pot atau wadah lainnya yang menggunakan air atau bahan yang bersifat

porus, seperti pecahan genting, pasir kali, batu, kerikil, spons, sabut kelapa, arang kayu, dan sebagainya.

3) Bidang Industri

Di bidang industri misalnya teknik bioremediasi, yaitu suatu proses pengelolaan limbah yang mengandung zat-zat yang berbahaya (logam berat) menjadi limbah yang kurang berbahaya. Bioremediasi melibatkan mikroba tertentu, diantaranya *Xanthomonas campestris* dan *Pseudomonas foetida*. Caranya dengan melepaskan langsung bakteri tersebut ke limbah pabrik yang tercemar.

4) Bidang Pengobatan

Di bidang pengobatan, misalnya *antibiotik penisilin* yang digunakan untuk pengobatan, diisolasi dari bakteri dan jamur, dan vaksin yang merupakan mikroorganisme yang toksinnya telah dimatikan bermanfaat untuk meningkatkan imunitas.

5) Bidang Peternakan

Di bidang peternakan, misalnya pada domba *ankon* yang merupakan domba berkaki pendek dan bengkok, sebagai hasil mutasi alami dan sapi *Jersey* yang diseleksi oleh manusia agar menghasilkan susu dengan kandungan krim lebih banyak.

b. Bioteknologi Modern

Kelebihan dan kekurangan bioteknologi modern antara lain :

1. Kelebihan :

- a. Hasil dapat diperhitungkan.
- b. Dapat mengatasi kendala ketidaksesuaian genetik.
- c. Perbaikan genetic dapat dilakukan secara terarah.
- d. Menghasilkan individu yang memiliki sifat baru (tidak sama) dengan sifat alaminya.

2. Kelemahan :

- a. Biaya produksi relative mahal.
- b. Menjadikan jenis tanaman mono kultur.
- c. Menyebabkan degradasi gen jenis lokal.
- d. Memerlukan teknologi canggih.
- e. Pengaruh jangka panjang belum diketahui.

Bioteknologi modern mempunyai peranan penting dalam bidang kedokteran sehingga semakin menonjol setelah adanya penelitian dan penerapan ilmiah. Bioteknologi modern dibidang kedokteran hampir sama dengan di bioteknologi konvensional tetapi hasilnya jauh lebih banyak dan lebih terjamin menggunakan bioteknologi modern karena dibantu oleh alat-alat canggih lainnya misalnya pembuatan antibodi monoklonal, vaksin, antibiotika, dan hormon.

Ilmu-ilmu pendukung dalam bioteknologi diantaranya adalah mikrobiologi, biokimia, genetika, biologi sel, teknik kimia, dan enzimologi. Saat ini, aplikasi bioteknologi tidak hanya pada mikroorganisme saja, namun pada tumbuhan

dan hewan. Terdapat 4 prinsip dasar bioteknologi, yaitu: Penggunaan agen biologi, menggunakan metode tertentu, dihasilkannya suatu produk turunan, dan melibatkan banyak disiplin ilmu.

Bioteknologi modern sangat erat dengan rekayasa genetika, karena manipulasi yang dilakukan bukan hanya pada kondisi lingkungan dan media tumbuh melainkan juga dilakukan pada susunan gen dalam kromosom makhluk hidup. Namun tidak semua penerapan bioteknologi modern menggunakan teknik rekayasa genetika, misalnya seperti kultur jaringan dan kloning. Kultur jaringan dan kloning dikatakan sebagai bioteknologi modern karena alat yang digunakan dalam prosesnya merupakan peralatan yang canggih. Rekayasa genetik bertujuan untuk menghasilkan organisme transgenik yakni organisme yang susunan gen dalam kromosomnya telah dirubah sehingga mempunyai sifat yang menguntungkan sesuai dengan yang dikehendaki. Sehingga dapat dikatakan bahwa hasil dari rekayasa genetic lebih terarah dan dapat diramalkan sebelumnya.

Bioteknologi modern dalam produksi pangan dilakukan dengan menerapkan teknik rekayasa genetik. Rekayasa genetik adalah kegiatan manipulasi gen untuk mendapatkan produk baru dengan cara membuat DNA baru. Manipulasi materi genetik dilakukan dengan cara menambah atau menghilangkan gen tertentu. Salah satu produk hasil rekayasa genetik adalah dengan membuat organisme transgenik.

1) Tanaman Transgenik

Tanaman transgenik adalah tanaman yang telah mengalami perubahan susunan informasi genetik dalam tubuhnya. Tanaman ini merupakan suatu alternatif agar tanaman tahan terhadap hama sehingga hasil panen dapat melimpah. Bahkan, tanaman juga dapat direkayasa agar mampu membunuh hama yang menyerang tumbuhan tersebut.



Gambar 7. Contoh-contoh tanaman transgenik

www.slideplayer.biz.tr

Untuk membuat suatu tanaman transgenik, dilakukan beberapa tahapan

- a) pertama-tama dilakukan identifikasi atau pencarian gen yang akan menghasilkan sifat tertentu (sifat yang diinginkan).
- b) Gen yang diinginkan dapat diambil dari tanaman lain, hewan, cendawan, atau bakteri.
- c) Pada tahapan kloning gen, DNA asing akan dimasukkan ke dalam vektor kloning (agen pembawa DNA), contohnya plasmid (DNA yang digunakan untuk transfer gen).
- d) Kemudian, vektor kloning akan dimasukkan ke dalam bakteri sehingga DNA dapat diperbanyak seiring dengan perkembangbiakan bakteri tersebut.
- e) Apabila gen yang diinginkan telah diperbanyak dalam jumlah yang cukup maka akan dilakukan transfer gen asing tersebut ke dalam sel tumbuhan yang berasal dari bagian tertentu, salah satunya adalah bagian daun.
- f) Transfer gen ini dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode senjata gen, metode transformasi DNA yang diperantarai bakteri *Agrobacterium tumefaciens*, dan elektroporasi (metode transfer DNA dengan bantuan listrik).

Beberapa tanaman transgenik telah diaplikasikan untuk menghasilkan tiga macam sifat unggul, yaitu tahan hama, tahan herbisida, dan buah yang dihasilkan tidak mudah busuk.

2) Hewan Transgenik

Selain tumbuhan transgenik, juga ada hewan-hewan transgenik. Pada awalnya hewan transgenik merupakan bahan penelitian para ilmuwan untuk menemukan jenis penyakit yang menyerang hewan tertentu dan cara penanggulangannya. Perkembangan selanjutnya, penerapan teknologi rekayasa genetik pada hewan bertujuan untuk menghasilkan hewan ternak yang memproduksi susu dan daging yang berkualitas, ikan yang cepat besar dan mengandung vitamin tertentu, dan sebagainya.



Gambar 8. Contoh-contoh hewan transgenik
www.guruipa.com

3. Teknik yang digunakan dalam bioteknologi modern.

Pada bioteknologi konvensional prosesnya melibatkan reaksi fermentasi dalam menghasilkan suatu produk, lain halnya dengan bioteknologi modern sudah melibatkan teknik rekayasa genetika yaitu dengan menggunakan teknik DNA rekombinan yaitu teknik mengubah susunan DNA suatu organisme dengan menyisipkan gen asing ke organisme tersebut sehingga diperoleh sifat baru yang tidak dimiliki sebelumnya. Teknik ini digunakan untuk menghasilkan organisme transgenik.

Proses DNA rekombinan meliputi :

a. Isolasi DNA

Dilakukan untuk menyeleksi DNA yang dikehendaki.

Langkah-langkah proses isolasi DNA, berikut:

1) Isolasi jaringan

Langkah pertama mengisolasi jaringan yang akan digunakan

2) Pelisisan dinding sel dan membrane sel

Melisiskan dinding dan membrane sel dengan penggerusan (homogenasi), sentrifugasi dengan kecepatan lebih dari 1000 rpm atau dengan menggunakan larutan pelisis sel atau buffer ekstraksi. Inti sel harus dilisiskan, karena substansi gen yang diinginkan ada didalamnya. Larutan pelisis sel ini bertujuan untuk melisiskan sel yang tidak mengandung DNA agar sel yang mengandung inti sel dapat diisolasi atau dipisahkan dari komponen-komponen sel lainnya yang tidak berfungsi

3) Pengekstrasian dalam larutan

Supernatan yang terbentuk dibuang dan kemudian dilakukan ekstraksi di dalam larutan, hal tersebut bertujuan agar di dapat ekstrak

4) Purifikasi

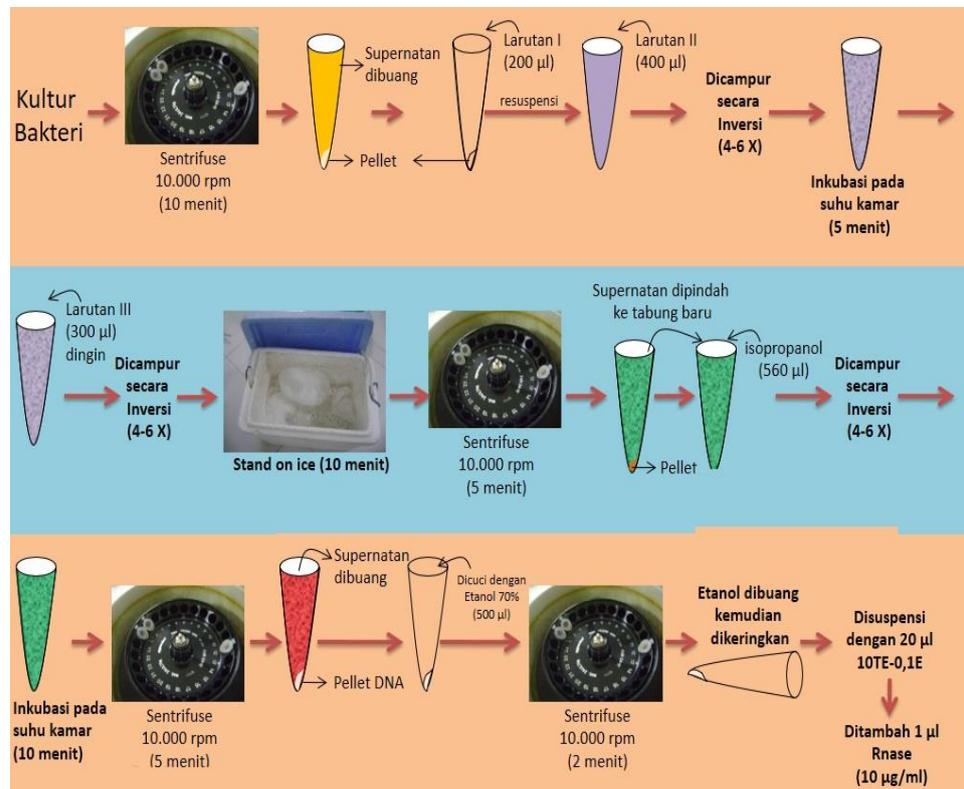
Pada tahap ini dilakukan pembersihan hasil ekstrak dan zat-zat lainnya. Pada larutan diberikan RNase dan diinkubasi selama 10 menit pada suhu 65°C, hal ini bertujuan agar mengoptimalkan kerja enzim. Penambahan RNase berguna untuk menyingkirkan kontaminasi RNA sehingga DNA dapat diisolasi secara utuh.

5) Presipitasi

Bertujuan untuk mengendapkan protein histon, sehingga untai DNA tidak lagi menggulung dan berikatan dengan protein histon sehingga DNA dapat terlihat. Tahap ini dilakukan dengan cara meneteskan larutan presipitasi dan kemudian di vortex sehingga larutan homogen.

Protein presipitasi terdiri dari asam asetat yang jika berikatan dengan protein mengakibatkan terbentuknya senyawa baru dengan kelarutan lebih rendah, sehingga menyebabkan protein mengendap. Larutan kemudian di sentrifugasi untuk memisahkan substansi berdasarkan berat jenis molekul, substansi yang lebih berat akan berada di dasar, yang lebih ringan akan terletak di atas.

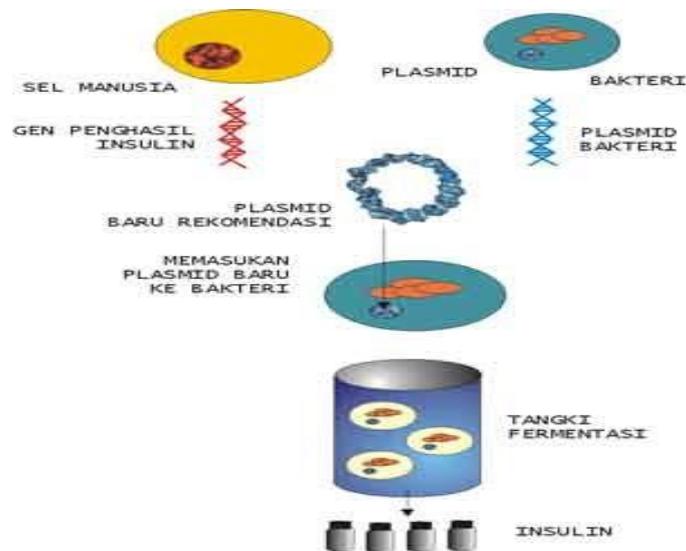
Berikut ini gambar dari teknik isolasi DNA.



Gambar 9. Teknik Isolasi DNA
www.biofilimu.wordpress.com

b. Transplantasi Gen atau DNA

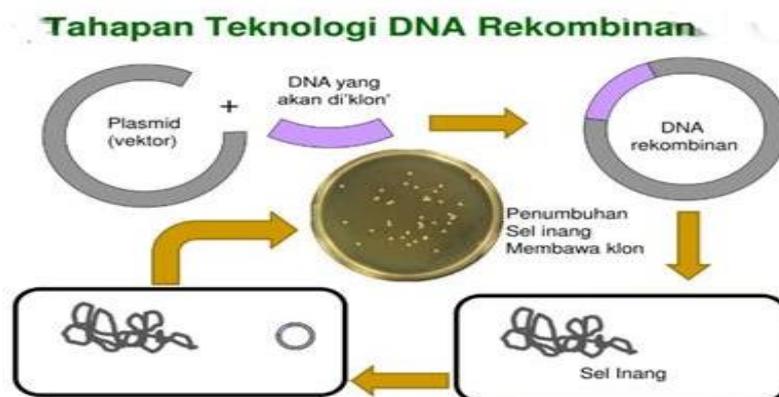
Transplantasi gen dilakukan dengan cara menyambung gen yang telah diisolasi ke dalam DNA plasmid vektor menggunakan enzim ligase. Enzim ligase mampu menyambung ujung-ujung nukleotida dan hasil penyambungan ini disebut DNA rekombinan yang mengandung DNA asli vektor dan DNA asing yang diinginkan. Berikut ini gambar tentang proses transplantasi gen.



Gambar 10. proses transplantasi gen
www.biologigonz.blogspot.com

c. Memasukkan DNA Rekombinan ke dalam sel hidup

DNA rekombinan dimasukkan ke vector sel bakteri ataupun virus melalui pemanasan dalam larutan NaCl atau melalui elektroporasi. Sel bakteri atau virus tersebut melakukan replikasi dengan cara membelah diri sehingga diperoleh DNA rekombinan dalam jumlah banyak. Berikut ini gambar dari proses rekombinasi gen.



Gambar 11 Tahapan Tehnologi DNA Rekombinan
www.slideplayer.info

Selain teknik rekayasa genetika yang digunakan dalam bioteknologi modern, ada juga teknik-teknik lain yang dapat menghasilkan produk unggul, yaitu :

a. Kultur jaringan

Kultur jaringan merupakan teknik perbanyakan tanaman secara vegetatif buatan yang didasarkan pada sifat totipotensi tumbuhan.

Prinsip kultur jaringan adalah menumbuhkan jaringan maupun sel tumbuhan dalam suatu media buatan secara aseptik. Secara teori dikatakan bahwa setiap sel tumbuhan mempunyai kemampuan untuk tumbuh menjadi individu baru

apabila ditempatkan pada lingkungan yang sesuai. Sifat individu baru yang dihasilkan sama persis dengan sifat induknya.

Bagian tumbuhan yang ditumbuhkan dalam media kultur disebut eksplan, dan media yang biasa digunakan adalah media agar-agar yang diberi tambahan unsur hara dan vitamin serta hormone pertumbuhan.

Aspek bioteknologi yang penting pada tanaman adalah *kultur jaringan tumbuhan*. Kultur jaringan tumbuhan merupakan **dengan Kultur** salah satu teknik kloning tumbuhan. Suatu klon tumbuhan **Jaringan dan** merupakan populasi tumbuhan yang diproduksi secara aseksual dari satu nenek moyang. **Rekayasa Genetika** Kultur jaringan tumbuhan (mikropropagasi) adalah bentuk perbanyakan (propagasi) tumbuhan secara vegetatif dengan memanipulasi jaringan somatik (jaringan tubuh) tumbuhan di dalam kultur aseptik (bebas kuman) dengan lingkungan terkontrol.

Kultur jaringan tumbuhan utuh dapat dihasilkan dari bagian atau potongan akar, batang, atau daun yang disebut *eksplan* yang masih hidup.

Eksplan dapat membentuk tumbuhan yang utuh (*plantlet*) karena adanya sifat totipotensi. Totipotensi pada tumbuhan merupakan kemampuan sel tumbuhan untuk berkembang menjadi tumbuhan yang utuh. Pada tumbuhan, semua bagian sel-sel mudanya yang masih aktif, misalnya ujung akar, ujung batang, dan meristem sekunder (kambium) merupakan sel yang totipoten.

Potongan jaringan tumbuhan yang terdiri atas sejumlah kecil sel-sel pada medium kultur yang sesuai dan dibiarkan tumbuh menjadi massa sel yang belum terdiferensiasi disebut sebagai kalus. Medium kultur membutuhkan gula, garam-garam anorganik, nitrogen organik, dan unsur-unsur mikro. Di dalam medium ditambahkan juga hormon pertumbuhan untuk tumbuh, yaitu auksin dan sitokinin. Komposisi yang tepat dari medium kultur tergantung pada spesies tumbuhan yang akan di klon.

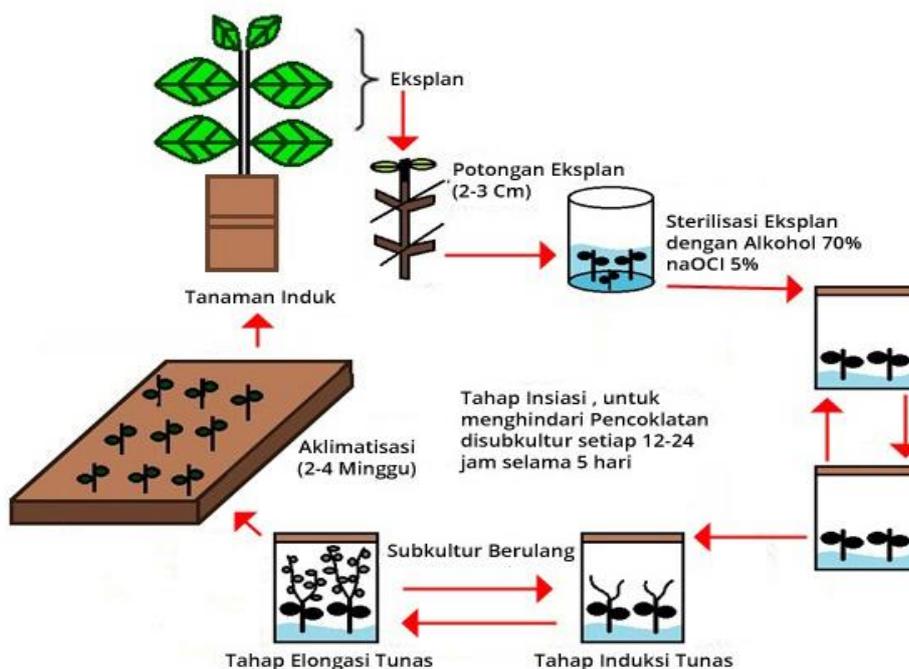
Rangkaian tahap kultur jaringan sebagai berikut :

1. Sterilisasi eksplan dengan cara merendam eksplan dalam bahan kimia (sterilan) selama beberapa menit, lalu cuci dengan air steril.
2. Penanaman eksplan pada media kultur pada medium agar yang telah dibuat.
3. Meletakkan botol yang berisi eksplan dalam ruangan yang suhu dan penyiaran terkontrol hingga terbentuk kalus.
4. Subkultur dilakukan beberapa kali sampai kalus tumbuh menjadi plantlet.
5. Plantlet dikeluarkan dari botol dan akarnya dibersihkan dengan air bersih.
6. Plantlet ditanam kedalam pot-pot kecil dan diletakkan ditempat yang tidsk tertera saat sudah kembali un ta bawah.
7. Apabila plantlet sudah tumbuh kuat tanaman bias dipindahkan ke media tanah atau lahan pertanian yang terkena sinar matahari.

Keunggulan-keunggulan teknik kultur jaringan sebagai berikut :

1. Tidak memerlukan lahan luas untuk memproduksi banyak bibit tanaman.
2. Menghasilkan bibit tanaman yang sifatnya identik dengan sifat induknya.

3. Menghasilkan bibit tanaman dalam jumlah banyak dan dalam waktu singkat. Berikut ini gambar contoh proses kultur jaringan.

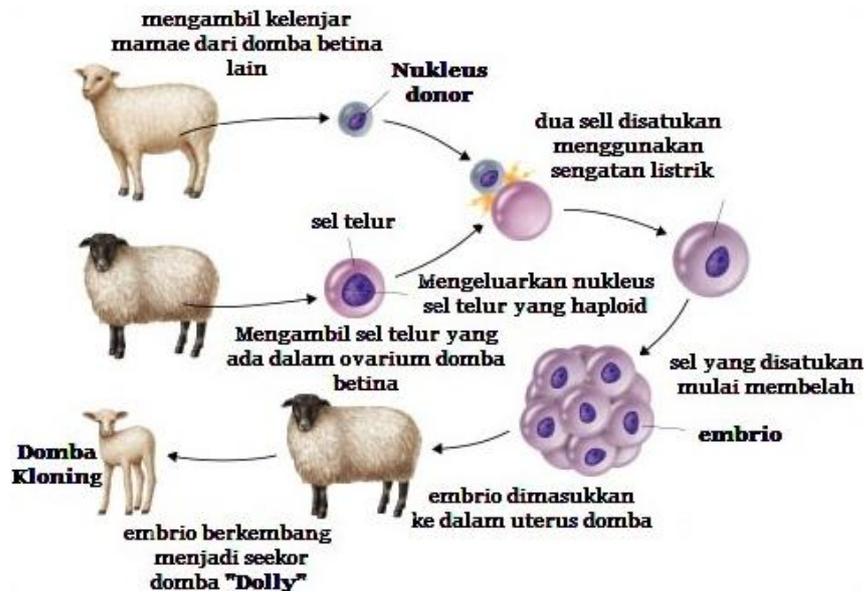


Gambar 12. Tehnik Kultur Jaringan
Sumber: pustekom.kemdikbud

b. Kloning

Kloning atau tranpalantasi atau pencangkakan nukleus digunakan untuk menghasilkan individu yang secara genetik dengan induknya. Proses kloning dilakukan dengan cara memasukkan inti sel donor ke sel telur yang telah dihilangkan inti selnya. Selanjutnya, sel telur tersebut diberi kejutan listrik atau zat kimia untuk memacu pembelahan sel. Ketika klon embrio telah mencapai tahap yang sesuai, embrio dimasukkan ke rahim hewan betina lainnya yang sejenis. Hewan tersebut selanjutnya akan mengandung embrio yang ditanam dan melahirkan anak hasil kloning.

Berikut ini contoh gambar proses kloning pada hewan.

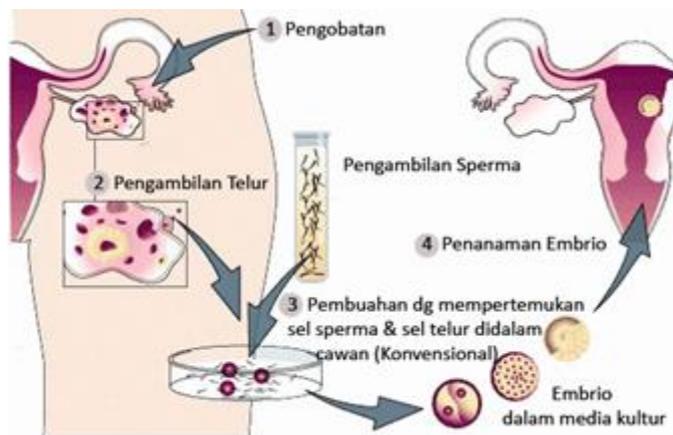


Gambar 13. Proses Kloning Pada Hewan
 Sumber : <https://www.slideshare.net>

c. Teknik Bayi Tabung

Teknik bayi tabung bertujuan untuk membantu pasangan suami istri yang sulit memperoleh keturunan. Hal ini dikarenakan berbagai faktor yang mungkin dialami oleh pasangan suami dan istri tersebut sehingga mengakibatkan pembuahan tidak dapat terjadi, misalnya, tersumbatnya saluran telur.

Pembuahan pada bayi tabung terjadi di luar tubuh induk betina (fertilisasi in vitro). Sel telur yang telah dibuahi akan membentuk embrio. Selanjutnya embrio ditanam (diimplantasi) pada rahim seorang wanita yang diambil sel telurnya. Embrio tersebut tumbuh menjadi anak yang siap dilahirkan. Berikut gambar contoh proses teknik bayi tabung.



Gambar 14. Proses Tehnik Bayi Tabung
 Sumber : <https://nakita.grid.id>

d. Fusi Protoplasma

Fusi protoplasma disebut juga teknologi hibridoma yaitu teknik penggabungan dua sel yang berasal dari jaringan berbeda sehingga menghasilkan sel hibrid yang memiliki sifat kedua sel tersebut. Penggabungan sel terjadi dalam suatu medan listrik. Teknik ini digunakan untuk menghasilkan organisme transgenik. Teknik fusi protoplasma sebagai berikut :

1. Menyiapkan protoplasma dari tumbuhan.
2. Menghilangkan dinding sel tumbuhan dan mengisolasi protoplasmanya.
3. Menguji viabilitas (aktivitas hidup) protoplasma yang diperoleh.
4. Melakukan fusi protoplasma dalam suatu medan listrik.
5. Menyeleksi hasil fusi protoplasma.
6. Membiakkan hasil fusi protoplasma yang dikehendaki.

Fusi protoplasma pada sel hewan atau manusia dimanfaatkan untuk menghasilkan hibridoma (sel hibrid). Misalnya hasil fusi antara sel pembentuk antibodi (sel limfosit B) dengan sel meloma (sel kanker). Sel hibridoma yang dihasilkan dapat membelah secara tidak terbatas seperti sel kanker, tetapi juga menghasilkan sel antibodi seperti limfosit B. Setiap sel hibridoma menghasilkan antibodi yang sifatnya khas sehingga hibridoma yang dihasilkan harus diseleksi terlebih dahulu untuk selanjutnya digunakan. Berikut ini contoh gambar fusi protoplasma.

e. Mikroorganisme sebagai Pembasmi Hama Tanaman

Banyak bakteri yang hidup sebagai parasit pada jenis organisme saja dan tidak mengganggu atau merugikan organisme jenis lainnya. Sifat mikroorganisme semacam ini dapat dimanfaatkan dalam Bioteknologi pembasmian hama atau dikenal dengan *biological control*. Contohnya, adalah bakteri hasil rekayasa yang disebut *bakteri minumes*, merupakan keturunan dari *Pseudomonas*. Bakteri ini dapat melawan pembentukan es selama musim dingin. Contoh lain adalah penggunaan bakteri *Bacillus thuringensis* yang patogen terhadap ulat hama tanaman. Pengembangan bakteri memberikan banyak keuntungan. Pembasmian ulat hama dengan menggunakan *Bacillus thuringensis* ternyata tidak menimbulkan dampak negatif kepada lingkungan serta tidak meninggalkan residu.

Cara lain mengatasi hama tanaman adalah dengan menghambat perkembangbiakan hewan hama. Caranya adalah menyempatkan *feromon insekta* pada lahan pertanian. *Feromon* adalah substansi yang dikeluarkan hewan dan menyebabkan

f. Peran Mikroorganisme dalam Mengatasi Pencemaran

Salah satu dampak dari peledakan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi adalah pencemaran terhadap lingkungan. Sebenarnya, pada batas-batas tertentu lingkungan sekitar kita masih mampu membersihkan dirinya dari segala macam zat pencemar. Namun, kalau jumlahnya sudah melebihi kemampuan lingkungan, maka untuk mengatasinya memerlukan keterlibatan manusia.

Untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan ini, para pakar telah mencoba merekayasa mikroba untuk mendapatkan strain mikroba yang membantu mengatasi pencemaran, khususnya pencemaran limbah beracun. Apabila konsentrasinya berada di atas ambang batas, maka akan mengancam kelangsungan organisme yang lain.

Yang dikembangkan saat ini antara lain, penanganan limbah oleh mikroorganisme yang mampu menghasilkan gas hidrogen. Mikroba tersebut adalah *Clostridium butyrium*. Dalam hal ini, bakteri akan mencerna dan menguraikan gula serta menghasilkan gas hidrogen. Gas ini dapat digunakan sebagai bahan bakar yang tidak menimbulkan polusi.

g. Mikroorganisme sebagai Pemisah Logam dari Bijihnya

Selama ribuan tahun, penyulingan minyak atau mineral dan memisahkan tembaga dari bijih yang berkualitas rendah dengan proses *leaching* atau meluluhkan. Pada 1957, berhasil dikembangkan teknik pemisahan tembaga dari bijinya dengan menggunakan jasa bakteri.

Bakteri yang dapat memisahkan tembaga dari bijihnya adalah *Thiobacillus ferrooxidans* yang berasal dari hasil oksidasi senyawa anorganik khususnya senyawa besi dan belerang. Bakteri ini termasuk jenis bakteri *khemolitotrop* atau bakteri pemakan batuan. Bakteri *khemolitotrop* tumbuh subur pada lingkungan yang miskin senyawa organik, karena mampu mengekstrak karbon langsung dari CO₂ di atmosfer.

Proses pemisahan tembaga dari bijihnya berlangsung sebagai berikut:

- Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* mengoksidasi senyawa besi belerang (besi sulfida) di sekelilingnya. Proses ini membebaskan sejumlah energi yang digunakan untuk membentuk senyawa yang diperlukannya. Selain energi, proses oksidasi tersebut juga menghasilkan senyawa asam sulfat dan besi sulfat yang dapat menyerang batuan di sekitarnya serta melepaskan logam tembaga dari bijihnya. Jadi, aktivitas *Thiobacillus ferrooxidans* akan mengubah tembaga sulfida yang tidak larut dalam air menjadi tembaga sulfat yang larut dalam air.
- Pada saat air mengalir melalui bebatuan, senyawa tembaga sulfat (CuSO₄) akan ikut terbawa dan lambat laun terkumpul pada kolam berwarna biru cemerlang.

Proses pemisahan logam dari bijihnya secara besar-besaran dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Bakteri ini secara alami terdapat di dalam larutan peluluh. Penambang tembaga akan menggerus batu pengikat logam atau tembaga dan akan menyimpannya ke dalam lubang tempat buangan. Kemudian, mereka menuangkan larutan asam sulfat ke tempat buangan tersebut. Saat larutan peluluh mengalir melalui dasar tempat buangan, larutan peluluh akan mengandung tembaga sulfat. Selanjutnya, penambang akan menambah logam besi ke dalam larutan peluluh. Tembaga sulfat akan bereaksi dengan besi membentuk besi sulfat yang mampu memisahkan logam tembaga dari bijinya.



Secara umum, *Thiobacillus ferrooxidans* membebaskan tembaga dari bijih tembaga dengan cara bereaksi dengan besi dan belerang yang melekat pada batuan sehingga batuan mengandung senyawa besi dan belerang, misalnya FeS_2 . Saat larutan peluluh mengalir melalui batu pengikat bijih, bakteri mengoksidasi ion Fe^{2+} dan mengubahnya menjadi Fe^{3+} .

Unsur belerang yang terdapat dalam senyawa FeS_2 dapat bergabung dengan ion H^+ dan molekul O_2 membentuk asam sulfat (H_2SO_4). Bijih yang mengandung tembaga dan belerang, misalnya CuS , ion Fe^{3+} akan mengoksidasi ion Cu^+ menjadi tembaga divalen atau Cu^{2+} . Selanjutnya, bergabung dengan ion sulfat (SO_4^{2-}) yang diberikan oleh asam sulfat untuk membentuk CuSO_4 . Dengan cara tersebut, bakteri tersebut mampu menghasilkan tembaga kelas tinggi. Selain itu, bakteri pencuci, seperti *Thiobacillus* juga dapat digunakan untuk memperoleh logam berkualitas tinggi, seperti emas, galium, mangan, kadmium, nikel, dan uranium.

h. Rekayasa Genetika

Keberhasilan *Watson* dan *Crick* menemukan model DNA, dan pemecahan masalah sandi genetik oleh *Nirenberg* dan *Mather* membuka jalan bagi penelitian-penelitian selanjutnya di bidang rekayasa genetika. Sandi-sandi genetik pada gen (DNA) ini digunakan untuk penentuan urutan asam-asam amino pembentuk protein (enzim). Pengetahuan ini memungkinkan manipulasi sifat makhluk hidup atau manipulasi genetik untuk menghasilkan makhluk hidup dengan sifat yang diinginkan. Manipulasi atau perakitan materi genetik dengan menggabungkan dua DNA dari sumber yang berbeda akan menghasilkan DNA rekombinan.

Penggunaan DNA dalam rekayasa genetika untuk menggabungkan sifat makhluk hidup, karena DNA mengatur sifat-sifat makhluk hidup yang dapat diturunkan dan struktur DNA dari makhluk hidup apapun adalah sama.

Ada beberapa cara untuk mendapatkan DNA rekombinan melalui rekayasa genetika, di antaranya adalah teknologi plasmid, fusi sel (teknologi hibridoma), dan transplantasi inti.

i. Teknologi Plasmid

Molekul DNA berbentuk sirkuler yang terdapat dalam sel bakteri atau ragi disebut *plasmid*. Plasmid merupakan molekul DNA nonkromosom yang dapat berpindah dari bakteri satu ke bakteri yang lain dan mempunyai sifat pada keturunan bakteri sama dengan induknya.

Selain itu, plasmid juga dapat memperbanyak diri melalui proses replikasi sehingga dapat terjadi pengklonan DNA yang menghasilkan plasmid dalam jumlah banyak. Karena sifat-sifat plasmid yang menguntungkan, maka plasmid digunakan sebagai vektor atau pembawa gen untuk memasukkan gen ke dalam sel target.

Contoh aplikasi penggunaan teknologi plasmid yang telah dikembangkan manusia adalah produksi insulin secara besar-besaran. Insulin dibuat di dalam

tubuh manusia dengan dikontrol oleh gen insulin. Insulin ini kemudian diambil dari pulau langerhans tubuh manusia, lalu disambungkan ke dalam plasmid bakteri. Untuk menghubungkan gen insulin dengan plasmid diperlukan rekombinasi genetik. Dalam rekombinasi DNA dilakukan pemotongan dan penyambungan DNA.

Proses pemotongan dan penyambungan tersebut menggunakan enzim pemotong dan penyambung. Enzim pemotong dikenal sebagai enzim restriksi atau enzim penggunting yang bernama *restriksi endonuklease*. Enzim pemotong ini jumlahnya banyak dan setiap enzim hanya dapat memotong urutan basa tertentu pada DNA. Hasil pemotongannya berupa sepenggal DNA berujung runcing yang komplemen. Selanjutnya, DNA manusia yang diinginkan disambungkan ke bagian benang plasmid yang terbuka dengan menggunakan enzim ligase DNA yang mengkatalis ikatan fosfodiester antara dua rantai DNA.

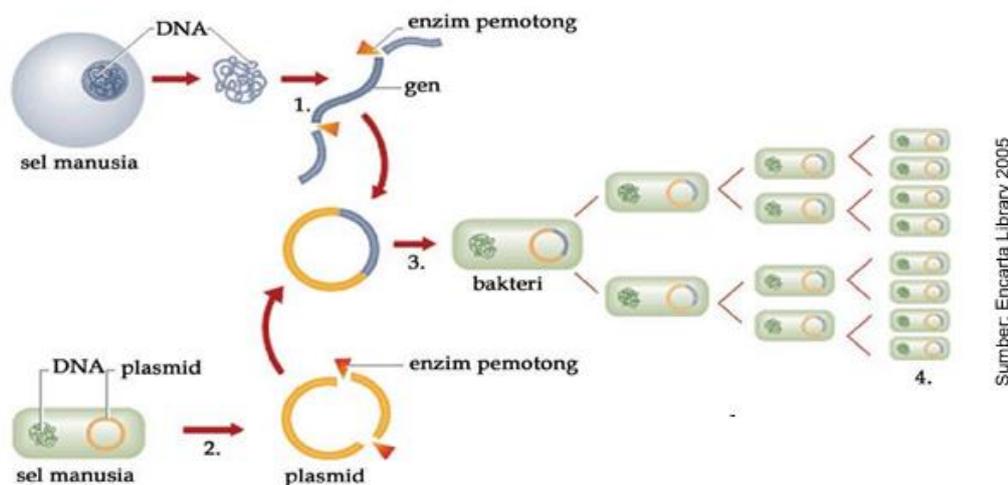
Potongan DNA antara gen manusia dengan benang plasmid ini bisa menyambung karena endonuklease yang digunakan untuk memotong DNA manusia dan benang plasmid tersebut sama jenisnya. Sehingga, dihasilkan ujung-ujung yang sama strukturnya.

Gen manusia dan plasmid yang telah menyatu membentuk lingkaran plasmid ini disebut *kimera* (DNA rekombinan). Kimera tersebut kemudian dimasukkan ke dalam sel target *E. coli*. Bakteri ini akan hidup normal dan memiliki tambahan yang sesuai dengan sifat gen yang disisipkan. Bakteri *E. coli* kemudian di kultur untuk dikembangbiakkan. Bakteri tersebut kemudian mampu menghasilkan hormon insulin manusia.

Hormon insulin ini akhirnya dapat dipanen untuk digunakan oleh orang yang membutuhkannya. Keuntungan dari insulin hasil rekayasa genetik ini adalah insulin tersebut , penyatuan dua sel dari jaringan atau spesies yang sama atau berbeda sehingga dihasilkan sel tunggal yang mengandung gen-gen dari kedua sel yang berbeda tersebut. Sel tunggal ini dinamakan *hibridoma* yang mempunyai sifat-sifat kedua sel.

Contoh penggunaan teknologi hibridoma adalah produksi antibodi dalam skala besar. Antibodi adalah protein yang dihasilkan oleh sel limfosit B atau sel T yang bertugas melawan setiap benda asing (anti gen) yang masuk kedalam tubuh. Anti bodi tertentu akan melawan antigen tertentu pula. Dalam proses fusi sel, sel B atau sel T dijadikan sebagai sel sumber gen yang memiliki sifat yang diinginkan, yaitu mampu memproduksi anti bodi. Sedangkan, sel wadah atau sel target digunakan sel mieloma atau sel kanker yang mampu membelah diri dengan cepat dan tidak membahayakan manusia. Kemudian, sel B atau sel T difusikan dengan sel mieloma. Untuk mempercepat fusi sel, digunakan fusi gen (zat yang mempercepat terjadinya fusi). Contoh fusi gen adalah $CaCl_2$, polietilenglikol (PEG), virus, dan $NaNO_3$. Hasil fusi antara sel limfosit B dengan sel mieloma menghasilkan hibridoma yang memiliki gen penghasil antibodi seperti induknya (sel B) dan dapat membelah dengan cepat seperti sel mieloma.

Manfaat teknologi hibridoma yang lain, misalnya dalam pemetaan genom manusia dan menyilangkan spesies secara genetik dalam sel eukariotik.



Gambar.16 Proses pembuatan insulin dengan teknologi plasmid
<http://lensapejalan.blogspot.com/>

j. Transplantasi Inti (nukleus)

Transplantasi inti (nukleus) ialah pemindahan inti dari sel satu ke sel yang lain. Sehingga diperoleh individu baru yang mempunyai sifat sesuai dengan inti yang diterima.

Transplantasi nukleus contohnya pada sel domba. Nukleus dari sel-sel ambing domba yang diploid dimasukkan ke dalam ovum tanpa inti sehingga terbentuk ovum berinti diploid dari ambing domba. Kemudian ovum melakukan pembelahan mitosis berulang kali menghasilkan *morula*, kemudian *blastula*. Lalu *blastula* diklonkan menjadi banyak sel dan inti dari setiap sel diambil untuk dimasukkan ke dalam ovum tak berinti yang berbeda sehingga terbentuk ovum diploid dalam jumlah banyak. Masing-masing ovum dikultur secara *in vitro* dan akhirnya setiap ovum menjadi individu baru yang memiliki sifat dan jenis kelamin yang sama.

E. coli dipilih sebagai sel target karena *E. coli* mudah diperoleh dan dipelihara, tidak mengandung gen yang membahayakan dan dapat membelah diri setiap 20 menit sekali.

C. Rangkuman

1. Bioteknologi berasal dari istilah Latin, yaitu *Bio* (hidup), *tekno* (teknologi = penerapan), dan *logos* (ilmu). Artinya, ilmu yang mempelajari penerapan prinsip-prinsip biologi.
2. Bioteknologi sebagai perpaduan dari ilmu pengetahuan alam dan ilmu rekayasa yang bertujuan untuk meningkatkan aplikasi organisme hidup, sel, bagian dari organisme hidup, dan/atau analog molekuler untuk menghasilkan barang dan jasa.
3. Terdapat 4 prinsip dasar bioteknologi, yaitu: Penggunaan agen biologi, menggunakan metode tertentu bioteknologi merupakan upaya-upaya yang dapat dilakukan oleh manusia untuk memperoleh produk-produk yang dapat bermanfaat dalam kehidupan. Ilmu-ilmu pendukung dalam bioteknologi diantaranya adalah mikrobiologi, biokimia, genetika, biologi sel, teknik kimia, dan enzimologi. Saat ini, aplikasi bioteknologi tidak hanya pada mikroorganisme saja, namun pada tumbuhan dan hewan.

D. Latihan Soal

Kerjakan semua soal di bawah ini di kertas, kemudian cocokan dengan jawaban atau pembahasan di lembar berikutnya!

Soal Uraian

1. Tuliskan pengertian bioteknologi!
2. Tuliskan kelebihan bioteknologi konvensional!
3. Tuliskan kelebihan bioteknologi modern !
4. Jelaskan kelemahan bioteknologi modern !
5. Tuliskan manfaat bioteknologi tradisional !

Soal Pilihan Ganda

1. Perhatikan ciri-ciri bioteknologi berikut !
 - 1) Perbaikan genetik tidak terarah.
 - 2) Hasil tidak dapat diperkirakan
 - 3) Memerlukan waktu relative lama
 - 4) Pengaruh jangka panjang belum diketahuiMemerlukan teknologi canggih
Ciri bioteknologi konvensional ditunjukkan oleh angka....
 - A. 1), 2), dan 3)
 - B. 1), 3), dan 5)
 - C. 2), 3), dan 4)
 - D. 2), 4), dan 5)
 - E. 3),4), dan 5)
2. Kloning merupakan salah satu teknik dalam bioteknologi modern yang dapat dilakukan dengan cara
 - A. menggabungkan dua sel yang berasal dari jaringan yang berbeda dalam suatu medan listrik.
 - B. menyisipkan gen asing ke organisme sehingga diperoleh sifat yang tidak sama dengan induknya.
 - C. menumbuhkan jaringan atau sel tumbuhan dalam suatu media buatan secara septik.
 - D. memasukkan inti sel donor ke sel telur yang telah dihilangkan inti selnya.
 - E. membiakkan sel telur dan sel sperma secara in vitro di laboratorium.
3. Dalam teknik kultur jaringan, bagian tumbuhan yang ditumbuhkan dalam media kultur dinamakan....
 - A. Kalus
 - B. Eksplan
 - C. Planlet
 - D. Jaringan
 - E. Subkultur

4. Teknologi DNA rekombinan dimanfaatkan dalam dunia kesehatan untuk memproduksi vaksin. Prinsip pembuatan vaksin dengan teknologi ini adalah..
 - A. mengisolasi gen pengkode senyawa antigen dari mikroorganisme untuk dilemahkan dan menghasilkan antigen murni.
 - B. mensterilkan gen pengkode senyawa antigen pada sel mikroorganisme untuk disisipi dengan plasmid pengode vaksin.
 - C. memotong gen pengode senyawa antigen pada mikroorganisme untuk digabungkan dengan sel tubuh.
 - D. menyimpan sel inti tubuh dengan sel pengode senyawa patogen pada plasmid mikroba.
 - A. menyuntikkan mikroorganisme patogen yang sudah dilemahkan ke tubuh sehat agar terbentuk antibodi.

5. Pada teknik perbanyakan tanaman melalui kultur jaringan, perkembangan tanaman yang dilalui secara berurutan adalah....
 - A. Kalus-plantlet-eksplan
 - B. Eksplan-plantlet-kalus
 - C. Eksplan-kalus-plantlet
 - D. Plantlet-kalus-eksplan
 - E. Plantlet-eksplan-kalus

Kunci jawaban latihan soal Essay

No.	Kunci Jawaban	Skor
1.	Bioteknologi berarti sebagai teknologi yang memanfaatkan organisme atau bagian-bagiannya untuk mendapatkan barang dan jasa dalam skala industri untuk memenuhi kebutuhan manusia.	20
2.	a. Biaya produksi murah. b. Teknologi menggunakan peralatan sederhana. c. Pengaruh jangka panjang sudah diketahui.	20
3.	a. Hasil dapat diperhitungkan. b. Dapat mengatasi kendala ketidaksesuaian genetic. c. Perbaikan genetic dapat dilakukan secara terarah. d. Menghasilkan individu yang memiliki sifat baru (tidak sama) dengan sifat alaminya.	20
4.	a. Biaya produksi relative mahal. b. Menjadikan jenis tanaman mono kultur. c. Menyebabkan degradasi gen jenis lokal. d. Memerlukan teknologi canggih. e. Pengaruh jangka panjang belum diketahui.	20
5.	a. Meningkatkan kandungan protein pada makanan. b. Memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi. c. Meningkatkan hasil pertanian tanpa menghilangkan gen aslinya. d. Biaya yang dikeluarkan relatif murah.	20

Kunci jawaban dan pembahasan soal pilihan ganda

NO	Kunci jawaban	Rubrik	Skor
1	A	a. Perbaikan genetic tidak terarah b. Memerlukan waktu relatif lama c. Belum ada pengkajian prinsip-prinsip ilmiah d. Hasil tidak dapat diperkirakan sebelumnya e. Tidak dapat mengatasi mengatasi ketidaksesuaian genetic f. Reproduksi dalam skala kecil g. Proses relative belum steril h. Kualitas hasil belum terjamin	20
2	D	Proses kloning dilakukan dengan cara memasukkan inti sel donor ke sel telur yang telah dihilangkan inti selnya. Selanjutnya, sel telur tersebut diberi kejutan listrik atau zat kimia untuk memacu pembelahan sel. Ketika klon embrio telah mencapai tahap yang sesuai, embrio dimasukkan ke rahim hewan betina lainnya yang sejenis. Hewan tersebut selanjutnya akan mengandung embrio yang ditanam dan melahirkan anak hasil kloning.	20
3	B	a. Sterilisasi eksplan dengan cara merendam eksplan	20

		<p>dalam bahan kimia (sterilan) selama beberapa menit, lalu cuci dengan air steril.</p> <p>b. Penanaman eksplan pada media kultur pada medium agar yang telah dibuat.</p> <p>c. Meletakkan botol yang berisi eksplan dalam ruangan yang suhu dan penyinaran terkontrol hingga terbentuk kalus.</p> <p>d. Subkultur dilakukan beberapa kali sampai kalus tumbuh menjadi plantlet.</p> <p>e. Plantlet dikeluarkan dari botol dan akarnya dibersihkan dengan air bersih</p> <p>f. Plantlet ditanam kedalam pot-pot kecil dan diletakkan ditempat yang tedak tertera saat sudah kembali un ta bawah.</p> <p>g. Apabila plantlet sudah tumbuh kuat tanaman bias dipindahkan ke media tanah atau lahan pertanian yang terkena sinar matahari</p>	
4	C	Teknik-teknik tersebut meliputi: - Teknik untuk mengisolasi DNA.- Teknik untuk memotong DNA.- Teknik untuk menggabung atau menyambung DNA.- Teknik untuk memasukkan DNA ke dalam sel hidup.	20
5	A	Pada teknik perbanyakan tanaman melalui kultur jaringan, perkembangan tanaman yang dilalui secara berurutan Kalus-plantlet-eksplan	20

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

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

E. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No.	Pertanyaan	Jawaban	
1.	Apakah Anda telah mengetahui pengertian dan prinsip dasar bioteknologi?	Ya	Tidak
2.	Apakah Anda telah mengidentifikasi jenis-jenis bioteknologi?	Ya	Tidak
3.	Apakah Anda telah mengetahui berdasarkan jenis produk dan jasa teknik yang digunakan dalam bioteknologi modern?	Ya	Tidak
4.	Apakah Anda telah mengidentifikasi penerapan bioteknologi diberbagai bidang?	Ya	Tidak
5.	Apakah Anda telah mengetahui dampak penerapan bioteknologi bagi kehidupan?	Ya	Tidak

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

Penerapan Bioteknologi

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan mampu:

1. Memberi contoh-contoh penerapan bioteknologi di berbagai bidang.
2. Mengidentifikasi dampak penerapan bioteknologi.

B. Uraian Materi

1. Penerapan bioteknologi

Saat ini bioteknologi sudah dikembangkan di berbagai bidang dengan tujuan untuk menghasilkan produk barnag dan jasa yang memberikan manfaat bagi manusia.

a. Bidang pangan

Dalam bidang pangan, bioteknologi konvensional telah banyak menghasilkan produk yang sudah sering dikonsumsi oleh manusia, diantaranya tempe, kecap, tapai, roti, yoghurt, keju, mentega, minuman beralkohol, sayuran fermentasi (acar), nata de coco. Bioteknologi modern dalam pangan misalnya berupa PST (protein sel tunggal) dan mikroprotein.

1) Protein Sel Tunggal (PST)

PST adalah suatu istilah untuk menyebut protein yang berasal dari organisme uniseluler dan multiseluler yang strukturnya sederhana. PST dapat dibuat dari bakteri, alga maupun jamur.

Mikroorganisme penghasil PST mempunyai beberapa keunggulan sebagai berikut:

- 1) Mempunyai kemampuan berkembang biak relatif cepat.
- 2) Mempunyai kandungan protein lebih tinggi dari protein hewan/tumbuhan.
- 3) Dapat menggunakan substrat limbah sebagai media kultur.

Mikroba yang dapat digunakan untuk membuat PST adalah *Saccharomyces cerevisiae* dan *Candida utilis*. Protein yang dihasilkan kedua mikrob ini mengandung asam nukleat tinggi sehingga tidak cocok bagi manusia. PST yang dihasilkan dari kedua mikrob hanya digunakan sebagai suplemen makanan ternak. Mikroba lainnya yang digunakan adalah *Spirulina* dan *Chlorella*.

2) Mikoprotein

Mikoprotein merupakan bahan makanan sumber protein yang berasal dari miselium jamur.

b. Bidang pertanian dan peternakan

Bidang pertanian:

- 1) Padi transgenik

Contoh : padi rojolele transgenik yang mampu mengekspresikan laktoferin dan tanaman padi yang tahan terhadap cuaca dingin. Cara mendapatkan tanaman padi yang tahan terhadap cuaca dingin yaitu dengan memasukkan gen tahan dingin dari hewan yang hidup di tempat dingin ke dalam kromosom tanaman padi.

2) Tembakau resisten terhadap virus

Contoh : tanaman tembakau yang tahan terhadap penyakit TMV. Untuk mendapatkannya dilakukan dengan cara menggabungkan plasmid T dengan gen yang tahan terhadap penyakit TMV dan dimasukkan ke kromosom tembakau. Kromosom tersebut diperbanyak melalui teknik kultur jaringan.

3) Bunga antilayu

Contoh: bunga anyelir transgenik yang mampu bertahan segar selama 3 minggu, sementara itu, anyelir normal hanya mampu bertahan selama 3 hari.

4) Buah tanpa busuk

Contoh : Buah yang tetap segar dalam waktu yang lama. Untuk mendapatkannya dilakukan dengan cara menghambat kerja dari gen penghasil etilen.

5) Tanaman kapas antiserangga

Tanaman kapas ini diperoleh dengan memasukkan gen delta endotoksin *Bacillus thuringiensis* ke tanaman kapas melalui teknik DNA rekombinan. Tanaman tersebut akan memproduksi protein delta endotoksin yang akan bereaksi dengan enzim yang diproduksi lambung serangga, sehingga enzim tersebut akan berubah menjadi racun. Jika serangga memakan tanaman tersebut maka akan mengalami keracunan hingga mati.

6) Pembuatan pupuk organik

Contoh : pupuk superfosfat yang dibuat melalui teknologi Bio-SP menggunakan mikroorganisme pelarut fosfat.

c. Bidang peternakan

1) Sapi perah dengan hormon manusia, contoh: sapi Herman

Sapi Herman merupakan contoh teknologi DNA rekombinan. Teknik ini dilakukan dengan menyisipkan gen laktiferin dari manusia yang akan memproduksi HLF (Hunan laktiferin) kepada sapi perah. Dengan penyisipan akan dihasilkan sapi yang mengandung laktiferin.

2) Bovin Somatotrop

Teknologi ini dilakukan dengan menyisipkan gen somatotropin sapi pada plasmid *Escherichia coli* untuk menghasilkan BST, BST yang ditambahkan pada makanan ternak sehingga dapat meningkatkan produksi daging dan susu ternak.

d. Bidang Kedokteran

1) Antibiotik

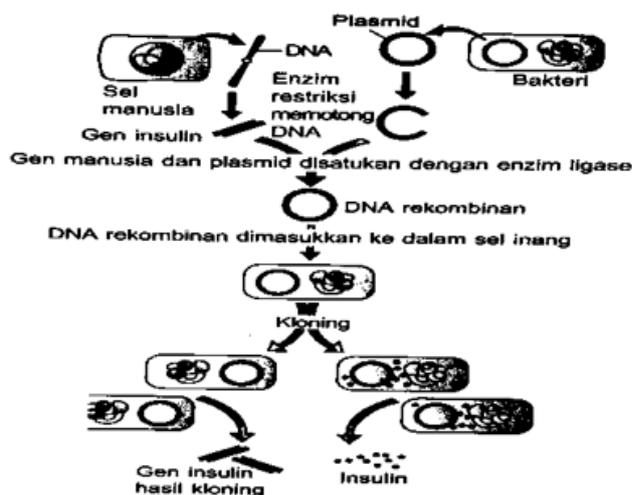
Pembuatan antibiotik termasuk penerapan bioteknologi konvensional. Antibiotik adalah senyawa yang dihasilkan oleh mikroorganisme untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain. Mikroorganisme yang dimanfaatkan menghasilkan antibiotik antara lain :

- a. Jamur *Cephalosporium sp*, penghasil antibiotik sefalosporin untuk membunuh bakteriyang kebal terhadap penicillin.

- b. Bakteri *Streptomyces griseus*, menghasilkan antibiotik streptomisin untuk membunuh bakteri yang kebal terhadap antibiotik penisilin dan sefalosporin.
- c. Jamur *Penicillium notatum* dan *Penicillium chrysogenum* menghasilkan antibiotic penisilin untuk melawan infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Staphylococcus*.

1) Insulin

Merupakan hormon yang diproduksi kelenjar pancreas dan berfungsi mengatur kadar gula dalam darah. Berikut ini gambar dari langkah-langkah pembuatan insulin.



Gambar 17. Langkah Pembuatan Insulin

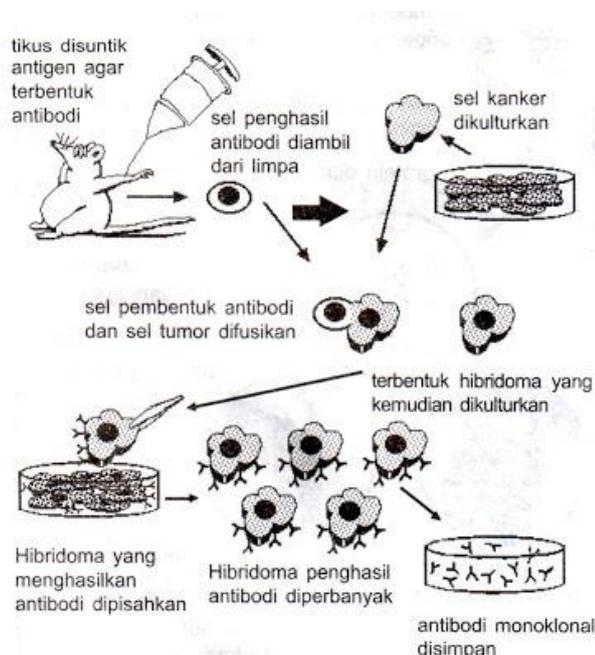
Sumber : <https://www.nafiun.com>

2) Vaksin transgenik

Vaksin adalah siapan antigen yang dimasukkan ke tubuh untuk memicu terbentuknya sistem kekebalan tubuh. Pembuatan vaksin dilakukan melalui teknik DNA rekombinan dengan mengisolasi gen yang mengode senyawa penyebab penyakit (antigen) dari mikro yang bersangkutan. Berikut ini gambar skema pembuatan vaksin transgenik.

3) Antibodi Monoklonal

Pembuatan antibody monoklonal menggunakan prinsip fusi protoplasma, yaitu dengan cara menggabungkan dua sel dari jaringan yang sama atau dua sel dari organisme yang berbeda dalam suatu medan listrik. Fusi tersebut menghasilkan sel-sel yang dapat menghasilkan antibodi sekaligus memperbanyak diri secara terus menerus seperti sel kanker yang dinamakan antibodi monoklonal. Berikut ini gambar proses pembuatan antibodi monoklonal melalui rekayasa genetika.



Gambar 19. Fusi Protoplasma
 Sumber : <https://id.quora.com/>

4) Interferon

Interferon adalah protein yang dibentuk secara alami oleh sel-sel system imun, misalnya sel darah putih dan fibroblast. Secara komersial interferon diproduksi dengan menggunakan teknologi DNA rekombinan. Interferon dikatakan juga sebagai senyawa protein yang mampu memacu pertahanan tubuh manusia untuk melawan kuman penyakit, seperti virus, bakteri, kanker, dan senyawa asing lainnya.

e. Bidang Lingkungan

Aplikasi bioteknologi di bidang lingkungan digunakan untuk menangani pencemaran lingkungan. Misalnya pada proses pemurnian logam, bahan tambang pada umumnya masih terikat dengan bijihnya (kotoran), untuk itu dibutuhkan bahan kimia untuk memurnikannya. Bahan-bahan kimia tersebut banyak yang dibuang sebagai limbah. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*. Bakteri ini mampu mengoksidasi belerang yang mengikat logam sehingga pencemaran lingkungan akibat limbah penambangan dapat dikurangi.

Bioteknologi juga diterapkan untuk mengatasi pencemaran akibat tumpahan minyak di laut. Tumpahan minyak tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan bakteri *Pseudomonas putida*. Bakteri tersebut mampu menguraikan ikatan hidrokarbon pada minyak bumi.

2. Dampak Penerapan Bioteknologi bagi Kehidupan

1) Dampak di bidang lingkungan

Dampak Positif:

- Ditemukannya tumbuhan transgenic yang tahan terhadap serangga, sehingga dapat mengurangi penggunaan pestisida.
- Mengatasi pencemaran limbah dengan menggunakan bakteri *Thiobacillusferrooxidans* yang dapat memisahkan logam dari bijinya.

Dampak Negatif

- Menimbulkan kerusakan pada ekosistem.
- Tanaman kapas anti serangga dapat membunuh hama dan organisme bukan target seperti kupu-kupu dan lebah yang menghisap nektar tanaman tersebut. Akibatnya banyak jenis serangga yang mati sehingga merusak ekosistem, selain itu juga matinya serangga dalam jumlah besar dapat mengganggu kelangsungan hidup organisme pemakan serangga.
- Hilangnya plasma nutfah.
- Dengan dibudidayakan organisme transgenic dapat membuat organisme local semakin tersingkir sehingga dapat menimbulkan hilangnya plasma nutfah local (alami). Oleh karena itu pembudidayaan tanaman transgenik dapat mengakibatkan punahnya makhluk hidup dalam suatu ekosistem.

2) Dampak di Bidang Sosial Ekonomi.

Dampak positif

- Terjadinya persaingan untuk mencari tanaman atau hewan varietas baru melalui rekayasa genetika yang terjadi dikalangan industry.

Dampak Negatif

- Kesenjangan ekonomi dan sosial pada masyarakat karena produk dari petani dan peternak tradisional mulai tersisih.

3) Dampak terhadap kesehatan

- a. Dampak Positif, Adanya penemuan produk-produk obat maupun hormone hasil rekayasa genetika sehingga produk tersebut lebih murah,
- b. Dampak negatif, Penggunaan produk kesehatan hasil rekayasa genetika dapat mengakibatkan timbulnya alergi, bahkan beberapa produk transgenik dapat mengakibatkan seseorang menjadi resisten terhadap beberapa jenis antibiotic

4) Etika Moral

Penerapan teknologi kloning yang dikhawatirkan akan diterapkan pada manusia dianggap merendahkan martabat manusia. Kloning pada manusia sangat ditentang karena tidak sesuai dengan etika moral dan melanggar aturan agama.

C. Rangkuman

1. Dalam bidang pangan, bioteknologi konvensional telah banyak menghasilkan produk yang sudah sering dikonsumsi oleh manusia, diantaranya tempe, kecap, tapai, roti, yoghurt, keju, mentega, minuman beralkohol, sayuran fermentasi (acar), nata de coco. Bioteknologi modern dalam pangan misalnya berupa PST (protein sel tunggal) dan mikroprotein.
2. Pembuatan antibody monoklonal menggunakan prinsip fusi protoplasma, yaitu dengan cara menggabungkan dua sel dari jaringan yang sama atau dua sel dari organisme yang berbeda dalam suatu medan listrik. Fusi tersebut menghasilkan sel-sel yang dapat menghasilkan antibody sekaligus memperbanyak diri secara terus menerus seperti sel kanker yang dinamakan antibody monoklonal. Berikut ini gambar proses pembuatan antibody monoklonal melalui rekayasa genetika.
3. Aplikasi bioteknologi di bidang lingkungan digunakan untuk menangani pencemaran lingkungan. Misalnya pada proses pemurnian logam, bahan tambang pada umumnya masih terikat dengan bijihnya (kotoran), untuk itu dibutuhkan bahan kimia untuk memurnikannya. Bahan-bahan kimia tersebut banyak yang dibuang sebagai limbah. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*. Bakteri ini mampu mengoksidasi belerang yang mengikat logam sehingga pencemaran lingkungan akibat limbah penambangan dapat dikurangi.
4. Bioteknologi juga diterapkan untuk mengatasi pencemaran akibat tumpahan minyak di laut. Tumpahan minyak tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan bakteri *Pseudomonas putida*. Bakteri tersebut mampu menguraikan ikatan hidrokarbon pada minyak bumi.

D. Latihan Soal

Kerjakan semua soal di bawah ini di kertas, kemudian cocokan dengan jawaban atau pembahasan di lembar berikutnya!

Soal Uraian

1. Tuliskan penerapan Bioteknologi bidang pangan!
2. Tuliskan keunggulan Mikroorganisme penghasil PST!
3. Tuliskan penerapan Bioteknologi bidang pertanian!
4. Tuliskan dampak Bioteknologi bagi Plasma nutfah!
5. Tuliskan dampak Bioteknologi bagi Lingkungan!

Soal Pilihan Ganda

1. Kloning merupakan teknologi yang digunakan untuk menghasilkan individu yang secara genetik identik dengan induknya. Teknologi ini apabila diterapkan pada berbagai jenis hewan dalam jangka waktu panjang dapat menyebabkan dampak negatif yaitu....
 - A. akan terjadi isolasi reproduksi antar spesies
 - B. menghasilkan individu berumur pendek
 - C. akan terjadi kepunahan secara massal
 - D. menurunkan jumlah anggota populasi
 - E. menurunkan keanekaragaman hayati
2. Streptomisin merupakan salah satu jenis antibiotik yang dihasilkan oleh bakteri *Streptomyces griseus*. Antibiotik tersebut dimanfaatkan manusia untuk....
 - A. menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen
 - B. meningkatkan kekebalan tubuh
 - C. melarutkan darah beku
 - D. mengurangi rasa sakit
 - E. menurunkan demam
3. Bunga anyelir transgenik tahan terhadap kelayuan karena....
 - A. telah disisipi gen yang mengode produksi etilen
 - B. telah direkayasa agar tidak menghasilkan sitokinin
 - C. telah disisipi gen laktoferin sehingga tidak mudah busuk
 - D. telah disisipi gen yang kurang sensitive terhadap etilen
 - E. disilangkan dengan anyelir transgenic yang mampu bertahan segar dalam waktu lama
4. Bioteknologi tidak selalu aman bagi lingkungan. Tanaman transgenic dikhawatirkan menimbulkan ancaman terhadap lingkungan berupa....
 - A. tanah menjadi tandus akibat pemakaian pupuk kimia
 - B. timbulnya wabah penyakit baru yang sulit diobati
 - C. bakteri dan jamur pembusuk meningkat jumlahnya
 - D. membutuhkan banyak pestisida untuk membunuh hama
 - E. terjadinya pencemaran gen apabila menyerbuki tanaman sejenis

5. Bakteri *Pseudomonas putida* mampu mendegradasi tumpahan minyak bumi di laut dengan cara....
- A. memutus ikatan karbon
 - B. memutus ikatan aldehid
 - C. memfermentasi minyak bumi menjadi polyester
 - D. mereaksikan asam sulfat dengan minyak bumi
 - E. mendegradasi minyak bumi menjadi gas metana

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

Kunci jawaban soal uraian

No.	Kunci Jawaban	Skor
1.	Dalam bidang pangan, bioteknologi konvensional telah banyak menghasilkan produk yang sudah sering dikonsumsi oleh manusia, diantaranya tempe, kecap, tapai, roti, yoghurt, keju, mentega, minuman beralkohol, sayuran fermentasi (acar) , nata de coco	20
2.	Mempunyai kemampuan berkembang biak relatif cepat, Mempunyai kandungan protein lebih tinggi dari protein hewan/tumbuhan, Dapat menggunakan substrat limbah sebagai media kultur.	20
3.	Tanaman padi transgenik, kapas transgenik, produksi bunga tanpa layu, tembakau resisten terhadap virus, buah jarang busuk. Tanaman kapas ini diperoleh dengan memasukkan gen delta endotoksin <i>Bacillus thuringiensis</i> ke tanaman kapas melalui teknik DNA rekombinan. Tanaman tersebut akan memproduksi protein delta endotoksin yang akan bereaksi dengan enzim yang diproduksi lambung serangga, sehingga enzim tersebut akan berubah menjadi racun. Jika serangga memakan tanaman tersebut maka akan mengalami keracunan hingga mati	20
4.	Menjadikan tanaman bersifat monokultur, serangga yang berfungsi untuk penyerbukan akan mati, degradasi tanaman yang bersifat lokal.	20
5.	Aplikasi bioteknologi di bidang lingkungan digunakan untuk menangani pencemaran lingkungan. Misalnya pada proses pemurnian logam, bahan tambang pada umumnya masih terikat dengan bijihnya (kotoran), untuk itu dibutuhkan bahan kimia untuk memurnikannya. Bahan-bahan kimia tersebut banyak yang dibuang sebagai limbah. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> . Bakteri ini mampu mengoksidasi belerang yang mengikat logam sehingga pencemaran lingkungan akibat limbah penambangan dapat dikurangi.	20

Kunci jawaban dan pembahasan soal pilihan ganda

No.	Kunci Jawaban	Jawaban	Skor
1.	B	Berkurangnya keanekaragaman suatu spesies, karena individu yang dihasilkan dari proses pengkloningan sama persis dengan DNA maupun sifat dan fisik induknya. Individu hasil kloning sel-selnya diperoleh dari induknya. Ini berarti umur sel-sel hasil kloning pun sama dengan umur sel-sel induknya. Oleh karena itu, individu hasil kloning pun akan memiliki umur sama dengan induknya.	20
2.	A	Streptomycin adalah obat golongan antibiotik aminoglikosida yang berfungsi untuk mengatasi sejumlah infeksi bakteri, salah satunya tuberkulosis. Obat ini bekerja dengan membunuh atau	20

		mencegah pertumbuhan bakteri penyebab infeksi.	
3.	A	Bunga anyelir hasil dari tranformasi genetika akan menyebabkan bunga memproduksi etiles sehingga bunga tahan terhadap kelayuan lebih lama.	20
4.	E	Dampak negatif tanaman rekayasa genetika bagi lingkungan yang sangat merusak yakni hilangnya keanekaragaman hayati. Ini dapat terjadi salah satunya melalui polusi gen. Tanaman transgenik dikhawatirkan dapat mengancam pertumbuhan varietas asli tanaman dengan menyebarkan serbuk sarinya sehingga terjadi persilangan atau pertukaran gen dengan tanaman asli yang mengakibatkan tanaman berubah menjadi tanaman transgenik seluruhnya atau dengan kata lain terjadi penularan sifat ermutasinya pada tanaman non transgenik.	20
5.	E	Kemampuan bakteri <i>Pseudomonas</i> sp. dalam mendegradasi hidrokarbon dan dalam menghasilkan biosurfaktan menunjukkan bahwa isolat bakteri <i>Pseudomonas</i> sp berpotensi untuk digunakan dalam upaya bioremediasi lingkungan akibat pencemaran hidrokarbon.	20

E. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan jujur dan bertanggungjawab!

No.	Pertanyaan	Jawaban	
1.	Apakah Anda telah mengetahui contoh-contoh penerapan bioteknologi bidang Pangan?	Ya	Tidak
2.	Apakah Anda telah mengetahui contoh-contoh penerapan bioteknologi bidang pertanian?	Ya	Tidak
3.	Apakah Anda telah mengetahui contoh-contoh penerapan bioteknologi bidang peternakan?	Ya	Tidak
4.	Apakah Anda telah mengetahui contoh-contoh penerapan bioteknologi bidang Kedokteran?	Ya	Tidak
5.	Apakah Anda telah mengetahui dampak Penerapan Bioteknologi bagi Kehidupan?	Ya	Tidak

Bila ada jawaban "Tidak", maka segera lakukan review pembelajaran, terutama pada bagian yang masih "Tidak".

Bila semua jawaban "Ya", maka Anda dapat melanjutkan ke pembelajaran berikutnya.

EVALUASI

Jawablah pertanyaan berikut ini dengan tepat !

1. Berbagai contoh produk bioteknologi.
 1. Minuman beralkohol
 2. Domba kloning
 3. Hormon interferon
 4. Tape ketan
 5. Antibodi monoklonalProduk bioteknologi modern adalah
 - A. 1, 2 dan 3
 - B. 1, 3 dan 4
 - C. 2, 3 dan 4
 - D. 2, 3 dan 5
 - E. 3, 4 dan 5

2. Penerapan Bioteknologi untuk mendapatkan varietas-varietas unggul akan menjurus pada....
 - A. menurunkan kualitas lingkungan
 - B. menurunkan kualitas produk pertanian
 - C. meningkatnya keanekaragaman ekologi
 - D. meningkatnya keanekaragaman genetik
 - E. meningkatnya jenis hama tanaman

3. Mikroorganisme yang efektif untuk pembuatan sel tunggal adalah
 - A. *Spirulina* dan *Fusarium*
 - B. Bakteri dan jamur
 - C. *Spirulina* dan *Chlorella*
 - D. *Penicillium* dan *Saccharomyces*
 - E. *Chlorella* dan *Penicillium*

4. Dalam pembuatan yoghurt, susu kental, ditanami mikroba sejenis *Streptococcus*, *Thermophilus*. Tujuannya adalah
 - A. menurunkan lemak dan asam
 - B. menurunkan suhu dan asam
 - C. meningkatkan cita rasa
 - D. meningkatkan keasaman
 - E. menurunkan kadar asam

5. Tahap-tahap teknologi plasmid untuk memproduksi insulin adalah
 - A. pemotongan plasmid → gen insulin → bakteri
 - B. gen insulin dipotong → cangkok ke bakteri → plasmid
 - C. pemotongan gen insulin → plasmid → bakteri
 - D. bakteri dipotong → gen insulin → plasmid
 - E. gen insulin → bakteri → plasmid

6. Hibridoma sering digunakan untuk memperoleh antibodi. Sel hibridoma merupakan peleburan dari
 - A. virus dan bakteri
 - B. kanker dan limfosit
 - C. bakteri dan sel limfosit
 - D. bakteri dan kanker
 - E. virus dan sel limfosit

7. Penolakan masyarakat terhadap penanaman kapas transgenik di Sulawesi, karena menimbulkan kekhawatiran pada ekosistem yakni
 - A. Kapas transgenik tidak ekonomis
 - B. Teknik pembentukan kapas transgenik menggunakan virus
 - C. Kapas transgenik diduga membawa penyakit menular berbahaya
 - D. Pergeseran biodiversitas tanaman kapas asli secara besar-besaran
 - E. Kapas transgenik sulit dirawat oleh petani stempat

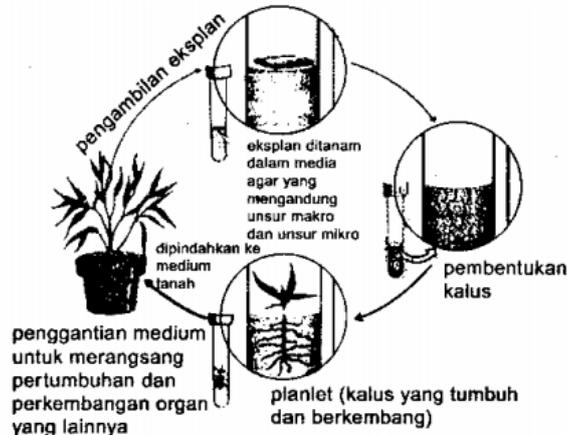
8. Proses pembentukan organism baru, yang secara alamiah tidak mungkin terjadi di alam dapat diperoleh dengan cara teknik rekayasa genetika. Teknik rekayasa genetika didukung/ ditunjang oleh adanya hal-hal berikut, kecuali....
 - A. Ditemukan enzim endonuklease restriksi
 - B. Adanya sel yang mampu berfusi
 - C. Adanya teknik fermentasi
 - D. Ditemukan enzim ligase
 - E. Ditemukannya plasmid

9. Bioteknologi dapat diterapkan untuk mengubah dan meningkatkan nilai tambah pangan, serta pembuatan sumber pangan baru dengan bantuan mikroba. Hubungan yang benar antara mikroba dengan produk yang dihasilkan adalah

	Jenis Mikroba	Produk Makanan/ Minuman
A.	<i>Acetobacter xylinum</i>	Keju lunak
B.	<i>Candida utilis</i>	Tempe
C.	<i>Rhizopus oligosporus</i>	Protein sel tunggal (PST)
D.	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Yoghurt
E.	<i>Penillium camemberti</i>	Nata de coco

10. Pemanfaatan aplikasi bioteknologi untuk pemenuhan kebutuhan pangan sudah mulai beralih ke pemanfaatan PST (Protein Sel Tunggal) karena memiliki kelebihan kecuali ...
 - A. nilai ekonomi tinggi
 - B. sumber energinya cukup banyak
 - C. kadar protein tinggi \pm 80%
 - D. media pembiakannya selulosa, methanol atau minyak bumi
 - E. semua orang bisa melakukannya

11. Bioteknologi di bawah adalah ...



- A. Hibridoma
- B. Kloning
- C. Transplantasi gen
- D. Kultur jaringan
- E. Transplantasi nucleus

12. Berikut ini beberapa bahan makanan yang difermentasikan oleh mikroorganisme dengan produk-produknya :

No.	Bahan	Mikroorganisme	Produk
1	susu	Streptococcus	yoghurt
2	kedelai	Aspergillus	tempe
3	kedelai	Rhizopus	kecap
4	singkong	Sacharomyces	tape
5	susu	Aspergillus	krim asam

Hubungan yang benar antara bahan mentah dengan mikroorganisme dan produknya adalah ...

- A. 1 dan 2
- B. 1 dan 4
- C. 2 dan 3
- D. 3 dan 4
- E. 3 dan 5

13. Perhatikan pernyataan ini !

- 1. Kultur jaringan dapat meningkatkan produksi suatu tanaman.
- 2. Rekayasa genetika dapat meningkatkan kualitas dari tanaman pangan.
- 3. Cara konvensional peningkatan mutu pengadaan pangan umumnya lebih mudah diterima masyarakat dari produk bioteknologi.
- 4. Produk bioteknologi dikhawatirkan menjadi bahan polutan biologi.

Yang menunjukkan kekurangan dari bioteknologi adalah

- A. 1 dan 2
- B. 1 dan 3
- C. 1 dan 4
- D. 2 dan 3
- E. 3 dan 4

14. Berikut ini pernyataan tentang pengelolaan limbah dengan menggunakan mikroorganisme.
1. Untuk memberantas hama dapat digunakan pestisida biologi
 2. Pestisida biologi merupakan mikroorganisme
 3. pestisida biologi berfungsi mengganti bahan kimia pembasmi insekta hama
 4. Untuk mempercepat reproduksi hama dapat digunakan feromon insekta
 5. Feromon insekta merangsang insekta untuk melakukan perkawinan
- Pernyataan di atas yang benar adalah ...
- A. 1-2-3
 - B. 1-3-4
 - C. 2-3-4
 - D. 2-3-5
 - E. 3-4-5
15. Berikut ini merupakan peranan bakteri dalam pemisahan logam :
1. *Thiobacillus ferrooxidans* tumbuh pada lingkungan yang mengandung zat organik
 2. *Thiobacillus ferrooxidans* adalah salah satu spesies kemolitotrop (bakteri pemakan batuan)
 3. Bakteri Khemoitotrop memperoleh energi dari oksidasi zat organik
 4. Para penambang mineral melakukan pembiakan murni terhadap *Thiobacillus ferrooxidans* untuk pemisahan logam murni
- Pernyataan di atas, yang benar ditunjukkan oleh nomor ...
- A. 1 dan 2
 - B. 1 dan 3
 - C. 1 dan 4
 - D. 2 dan 3
 - E. 2 dan 4

KUNCI JAWABAN

Nomor soal	Kunci jawaban	Nomor soal	Kunci jawaban	Nomor soal	Kunci jawaban
1.	D	6.	B	11.	D
2.	E	7.	D	12.	B
3.	C	8.	C	13.	E
4.	D	9.	D	14.	D
5.	B	10.	C	15.	E

DAFTAR PUSTAKA

- Aryilina, Diah. Dkk, 2007. *Biologi SMA dan MA untuk Kelas XII*, Jakarta, Erlangga
- Kusumawati, Rohana. 2010 *Biologi Untuk SMA/MA*. Klaten: Intan Pariwara
- Pariwara. Mulyati, R. 2008. *Bioteknologi di Sekitar Kita*. Klaten: Intan Pariwara.
- Pratiwi, Bakti. 2018. *Biologi SMA/MA*. Bandung: YMARA WIDYA
- Irmaningtyas. 2014. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII Kelompok peminatan Matematika dan Ilmu Alam*. Jakarta: Erlangga
- Safitri, Ririn. 2016. *Buku Guru Biologi Untuk SMA/MA Kelas XII*. Surakarta: Mediatama