



MODUL  
TEMA 15

# Misteri Pewarisan Sifat Makhluk Hidup

BIOLOGI PAKET C SETARA SMA/MA KELAS XII



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



MODUL  
TEMA 15

# Misteri Pewarisan Sifat Makhluk Hidup

BIOLOGI PAKET C SETARA SMA/MA KELAS XII



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

Biologi Paket C Setara SMA/MA Kelas XII  
Modul Tema 15 : Misteri Pewarisan Sifat Makhluk Hidup

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

iv+ 84 hlm + ilustrasi + foto; 21 x 28,5 cm

## Kata Pengantar

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

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

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

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

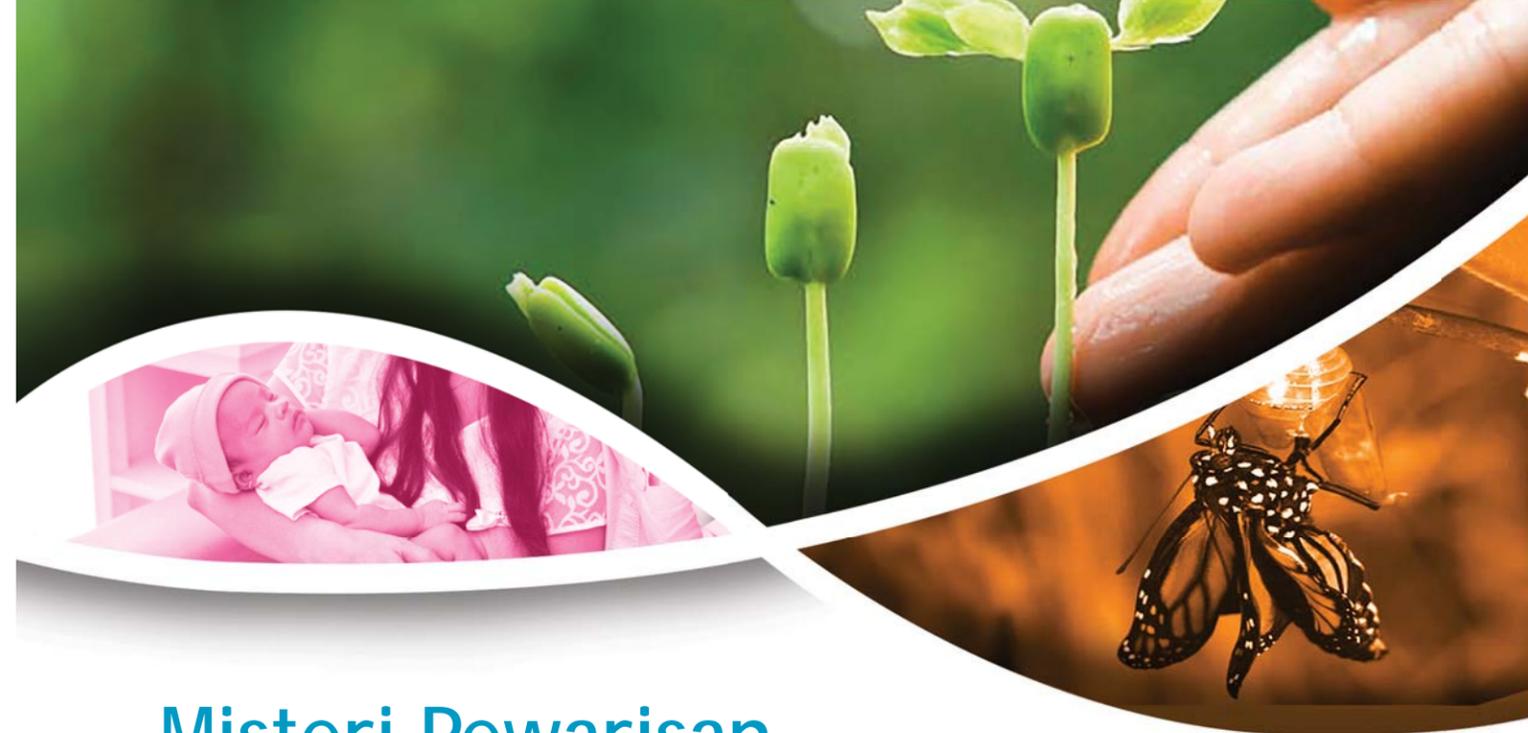
Jakarta, 1 Juli 2020  
Plt. Direktur Jenderal



Hamid Muhammad

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

Kata Pengantar .....	iii
Daftar Isi .....	iv
Petunjuk Penggunaan Modul dan Kriteria Ketuntasan Pembelajaran .....	1
Tujuan Pembelajaran Modul .....	2
Pengantar Modul .....	2
<b>UNIT 1. HUKUM MENDEL DALAM PEWARISAN SIFAT</b> .....	3
• Uraian Materi .....	3
• Penugasan 1.1. ....	11
• Penugasan 1.2. ....	12
<b>Unit 2. Penyimpangan Semu pada Hukum Mendel</b> .....	15
• Uraian Materi .....	15
• Penugasan Unit 2 .....	26
<b>Unit 3. Pola-pola Pewarisan Sifat Tautan</b> .....	28
• Uraian Materi .....	28
• Penugasan Unit 3 .....	35
<b>Unit 4. Pola-pola Pewarisan Sifat pada Manusia</b> .....	36
• Uraian Materi .....	36
• Penugasan Unit 4 .....	50
Rangkuman .....	51
Latihan Soal .....	52
Kriteria Pindah Modul .....	57
Kriteria Penilaian .....	58
Kunci Jawaban dan Pembahasan .....	63
Saran Referensi .....	77
Daftar Pustaka .....	78
Sumber Gambar .....	78
Glosarium .....	79
Profile Penulis .....	83



## Misteri Pewarisan Sifat Makhluk Hidup



### Petunjuk Penggunaan Modul dan Kriteria Ketuntasan Pembelajaran

Modul ini berjudul “Misteri Pewarisan Sifat Makhluk Hidup”. Sebelum mempelajari modul ini, Anda perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Belajar dengan modul ini, keberhasilannya tergantung dari ketekunan Anda dalam memahami langkah-langkah belajarnya.
2. Belajar dengan modul ini dapat dilakukan secara mandiri atau kelompok.
3. Perhatikan beberapa petunjuk belajar berikut ini:
  - a. Usahakan Anda memiliki modul sebagai bahan utama dalam memahami materi
  - b. Baca dan pahami benar-benar tujuan yang terdapat dalam modul ini.
  - c. Bacalah dengan cermat sampai bagian pengantar hingga Anda memahami secara tuntas tentang apa, untuk apa dan bagaimana mempelajari modul ini.
  - d. Bila Anda mengalami kesulitan dalam mempelajari modul ini, diskusikan dengan teman atau tanyakan pada tutor saat tatap muka.
  - e. Untuk memperluas wawasan, baca dan pelajari sumber-sumber lain yang relevan.
  - f. Mantapkan pemahaman Anda dengan mengerjakan tugas yang ada dalam modul ini dan perhatikan rubrik penilaiannya.
  - g. Jangan lewatkan untuk menjawab soal-soal latihan didalam modul ini.

# UNIT 1

# HUKUM MENDEL DALAM PEWARISAN SIFAT

## Uraian Materi

### Kata Kunci

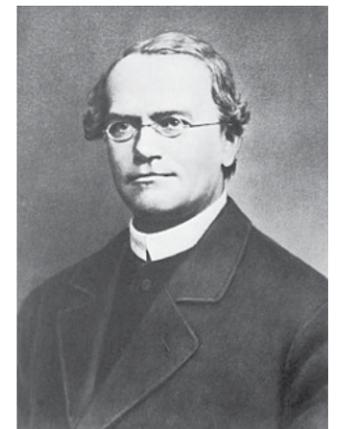
- Dihybrid
- Fenotip
- Filial
- Gen dominan
- Gen resesif
- Genotip
- Hereditas
- Heterozigot
- Homozigot
- Hukum Mendel
- Monohybrid
- Parental



## A. Hereditas

**Hereditas** merupakan pewarisan sifat dari induk kepada keturunannya. Cabang ilmu biologi yang mengkaji tentang hereditas adalah **genetika**. Genetika mulai berkembang sejak **Gregor Johann Mendel** pada tahun 1856-1863 menyampaikan hasil eksperimen penyilangan tanaman kacang ercis. Hasil eksperimen tersebut melahirkan hukum Mendel I dan hukum Mendel II.

Dalam beberapa percobaan persilangannya, Mendel sering menggunakan tanaman kacang ercis. Alasannya karena tanaman kacang ercis memiliki karakter yang bervariasi.



Sumber: <http://en.wikipedia.org>.

**Gambar 1.** Gregor Johann Mendel “Bapak Genetika”

Panjang Batang	Letak Bunga	Bentuk polong	Warna polong	Warna Bunga	Bentuk Biji	Warna Biji
Tinggi	Ketiak batang	Halus	Hijau	Ungu	Bulat	Kuning
Pendek	Ujung batang	Keriput	Kuning	Putih	Keriput	Hijau

Sumber: <http://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id>.

**Gambar 2.** Tujuh Karakter pada Tanaman Kacang Ercis

- Periksalah hasil latihan Anda dengan mencocokkan pada kunci jawaban yang tersedia. Dan bila ada jawaban yang belum benar, pelajari lagi materi yang bersangkutan.
- Bila dalam tes akhir modul Anda dapat mencapai nilai 70, maka Anda dapat melanjutkan untuk mempelajari modul berikutnya.

Modul ini merupakan salah satu sumber belajar, sehingga sangat disarankan untuk membaca referensi lain yang berkaitan dengan materi pembelajaran. Referensi-referensi bacaan yang terkait materi pembelajaran beberapa dicantumkan pada modul ini, yang dapat dicari di perpustakaan atau website. Hal ini dimaksudkan untuk memperluas wacana pengetahuan Anda. Modul ini dirancang atas 4 (empat) unit yang hendaknya dipelajari mulai dari unit pertama hingga terakhir secara berurutan. Setiap unit memuat uraian materi dan penugasan, yang dapat melatih Anda untuk berpikir kritis dan kreatif dalam menyelesaikan masalah. Selain itu, di dalam modul ini juga memuat penilaian untuk mengetahui pemahaman Anda terhadap modul secara bertahap.

## Tujuan Pembelajaran Modul

Setelah mempelajari modul ini, Anda diharapkan mampu:

- Menjelaskan tentang pemahaman konsep pewarisan sifat menurut hukum Mendel
- Menjelaskan tentang penyimpangan semu pada hukum Mendel
- Menjelaskan tentang pola-pola pewarisan sifat tautan pada makhluk hidup
- Menjelaskan tentang pola-pola pewarisan sifat pada manusia.

## Pengantar Modul

Modul mengenai Misteri Pewarisan Sifat Makhluk Hidup, didalamnya membahas 4 (empat) unit materi, yaitu: Unit 1 mengenai pewarisan sifat menurut hukum Mendel, di dalamnya menguraikan tentang hereditas, menghitung jumlah macam gamet dan menentukan jenis gamet, hukum Mendel 1 dan hukum Mendel 2. Unit 2 mengenai penyimpangan semu pada hukum Mendel, di dalamnya membahas tentang penyimpangan semu hukum Mendel, interaksi antaralel, dan interaksi genetik. Unit 3 mengenai pola-pola pewarisan sifat tautan, didalamnya membahas tentang tautan (*linkage*), pindah silang (*crossing over*), dan gagal berpisah (*nondisjunction*). Unit 4 mengenai pola-pola pewarisan sifat pada manusia, di dalamnya membahas tentang sifat fisik yang diturunkan, penentuan jenis kelamin pada manusia, golongan darah, kelainan dan penyakit genetik pada manusia, dan peta silsilah keluarga (*pedigree*).

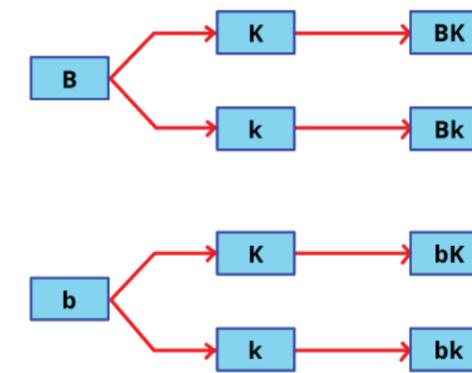
Modul ini dilengkapi dengan uraian materi, penugasan, rangkuman materi dan latihan soal untuk membantu Anda lebih memahami konsep, memicu Anda untuk berpikir kritis dan kreatif dalam menyelesaikan masalah. Selain itu, modul ini juga dilengkapi dengan penilaian untuk mengetahui pemahaman Anda terhadap modul secara bertahap.

Berikut ini adalah beberapa istilah dan simbol yang perlu Anda pahami dalam mempelajari materi pada modul 5 ini.

- **Parental (P)** adalah induk yang disilangkan. P1 jika induk pertama, P2 jika induk kedua, dan seterusnya.
- **Gamet (G)** adalah sel kelamin betina (♀) atau jantan (♂).
- **Filial (F)** adalah keturunan hasil persilangan. F1 jika keturunan pertama, F2 jika keturunan kedua, dan seterusnya.
- **Gen** adalah faktor pembawa sifat. Dibedakan atas **gen dominan (kuat)** yang dituliskan huruf kapital, misalnya M (sifat manis) dan **gen resesif (lemah)** yang dituliskan huruf kecil, misalnya m (sifat masam).
- **Alel** adalah pasangan gen pada kromosom homolog yang menunjukkan sifat alternatif sesamanya, misalnya sifat manis memiliki alel MM dan Mm sedangkan sifat masam memiliki alel mm.
- **Genotip** adalah keadaan genetik atau sifat yang tidak dapat diamati. Genotip dituliskan dalam bentuk huruf. **Genotip homozigot dominan** ditulis huruf kapital semua, misalnya genotip MM (sifat manis). **Genotip homozigot resesif** ditulis huruf kecil semua, misalnya genotip mm (sifat masam). **Genotip heterozigot** ditulis huruf kapital dan huruf kecil tetapi sifat gen dominan akan menutupi sifat gen resesif, misalnya genotip Mm (sifat masam).
- **Fenotip** adalah sifat yang dapat diamati dan dirasakan, misalnya warna bunga, rasa buah, dan sebagainya.
- **Galur murni** adalah individu yang bergenotip homozigot dominan atau homozigot resesif. Dapat diperoleh melalui penyilangan sendiri.

## B. Menghitung Jumlah Macam Gamet dan Menentukan Jenis Gamet

Sebelum mempelajari lebih lanjut mengenai persilangan, terlebih dahulu Anda perlu memahami cara menghitung jumlah macam gamet dan menentukan jenis gamet. Jumlah gamet yang dihasilkan oleh individu dapat dihitung dengan menggunakan: rumus  $2^n$ , dengan  $n$  adalah jumlah pasangan alel heterozigot yang bebas memisah (tidak terpaud). Jenis gamet dapat diketahui dengan menggunakan diagram anak garpu. Berikut ini contoh diagram anak garpu pada individu bergenotip BbKk.

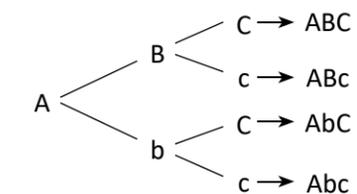


Sumber: [http:// sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id](http://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id).

**Gambar 3.** Diagram Anak Garpu

### Contoh 1:

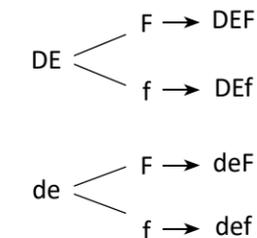
Diketahui individu bergenotip AABbCc memiliki 2 pasang alel heterozigot, yaitu alel Bb dan alel Cc. Maka jumlah gametnya adalah  $2^2 = 4$  jenis gamet. Untuk menentukan jenis gamet dapat menggunakan diagram anak garpu sebagai berikut:



Jadi, jenis gamet dari AABbCc adalah ABC, ABc, AbC, dan Abc.

### Contoh 2:

Diketahui individu bergenotip DdEeFf. Jika gen D bertautan dengan gen E, maka terdapat 2 pasang alel heterozigot, yaitu D dan E yang tertaut dan alel Ff. Jika terjadi tautan gen, jumlah gamet yang terbentuk semakin berkurang karena gen tersebut tidak dapat memisah secara bebas.



Jadi, jenis gamet dari DdEeFf adalah DEF, DEf, deF, dan def.



## C. Hukum Mendel I

**Hukum Mendel I** atau **hukum segregasi gen** (pemisahan gen):

- Pasangan alel dari kromosom homolog akan berpisah saat pembentukan gamet dan bertemu secara acak saat pembuahan.
- Dapat dibuktikan melalui **persilangan monohibrid**, yaitu persilangan dengan satu sifat beda, misalnya persilangan menggunakan sifat warna saja.
- Menunjukkan adanya dominansi penuh dengan perbandingan fenotip F2 adalah 3 : 1.

Sebagai contoh Sukma melakukan persilangan tanaman mawar merah dengan mawar putih. Warna merah dikendalikan gen M dan warna putih dikendalikan gen m.

<b>P</b> =	♀ MM (mawar merah)	><	♂ mm (mawar putih)	Untuk menentukan gen pada gamet (G), ambil satu gen berbeda pada setiap alel dari kedua parental (P). Pada induk betina yang memiliki alel MM diambil satu gen M dan pada induk jantan yang memiliki alel mm diambil satu gen m.
<b>G</b> =	M		m	
<b>F1</b> =	Mm (mawar merah)			Untuk menentukan genotip filial (F), masing-masing gen pada gamet dipasangkan, yaitu gen M dan gen m membentuk genotip Mm.

Bagaimana hasil persilangan di atas jika F1 disilangkan sesamanya?

<b>P2 (F1 &gt;&lt; F1)</b> =	♀ Mm (mawar merah)	><	♂ Mm (mawar merah)
<b>G</b> =	M		m
Untuk menentukan gen pada gamet, ambil satu gen berbeda pada setiap alel dari kedua parental. Misalnya pada masing-masing induk yang memiliki alel Mm, diambil satu gen M dan satu gen m.			
Untuk menentukan genotip pada F2, bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet			
<b>F2</b> =	♀ \ ♂	M	m
	M	MM (merah)	Mm (merah)
	m	Mm (merah)	mm (putih)
Perbandingan genotip F2 adalah MM : Mm : mm adalah 1 : 2 : 1 Perbandingan fenotip F2 adalah merah : putih adalah 3 : 1			



## D. Hukum Mendel II

**Hukum Mendel II** atau **hukum asortasi gen** (gen berpasangan secara bebas):

- Setiap satu gen dari alel dapat berpasangan secara bebas dengan gen dari alel lain.
- Dapat dibuktikan melalui **persilangan dihibrid**, yaitu persilangan dengan dua sifat beda, misalnya persilangan menggunakan sifat bentuk dan warna biji.
- Tidak menunjukkan adanya dominansi penuh dengan rasio fenotip F2 adalah 9 : 3 : 3 : 1.

Sebagai contoh Hayat melakukan persilangan tanaman ercis berbiji bulat kuning dengan tanaman ercis berbiji keriput hijau. Sifat bentuk dikendalikan oleh gen B (bulat) dan gen b (keriput) sedangkan sifat warna dikendalikan oleh gen K (kuning) dan gen k (hijau).

<b>P</b> =	♀ BBKK (bulat kuning)	><	♂ bbkk (keriput hijau)
<b>G</b> =	BK		bk
<b>F1</b> =	BbKk (bulat kuning)		

Bagaimana hasil persilangan di atas jika F1 disilangkan sesamanya?

<b>P2 (F1 &gt;&lt; F1)</b> =	♀ BbKk (bulat kuning)	><	♂ BbKk (bulat kuning)
------------------------------	--------------------------	----	--------------------------



## E. Penyilangan Resiprok, Penyilangan Balik, dan Uji Silang

Dalam percobaan Mendel dikenal tiga macam penyilangan, yaitu penyilangan resiprok, penyilangan balik, dan uji silang.

### 1. Penyilangan Resiprok

Penyilangan resiprok merupakan penyilangan ulang dengan menukar jenis kelaminnya. Tujuannya untuk membuktikan bahwa induk jantan dan induk betina memiliki peluang yang sama dalam pewarisan sifat.

#### Contoh:

Penyilangan tanaman ercis hijau (HH) dengan tanaman ercis kuning (hh).

		Penyilangan pertama		Penyilangan Resiprok			
P	=	♀ HH (hijau)	>< ♂ hh (kuning)	P	=	♀ hh (kuning)	>< ♂ HH (hijau)
G	=	H	h	G	=	h	H
F1	=	Hh (hijau)		F1	=	Hh (hijau)	
P2	=	♀ Hh (hijau)	>< ♂ Hh (kuning)	P2	=	♀ Hh (hijau)	>< ♂ Hh (kuning)
G	=	H	H	G	=	H	H
		h	h			h	h
F2	=	HH = ercis hijau Hh = ercis hijau Hh = ercis hijau hh = ercis kuning		F2	=	HH = ercis hijau Hh = ercis hijau Hh = ercis hijau hh = ercis kuning	

Berdasarkan skema di atas, seluruh tanaman keturunan F1 berwarna hijau. Keturunan F2 memiliki perbandingan fenotip 3 : 1.

### 2. Penyilangan Balik (*Back Cross*)

Penyilangan balik merupakan penyilangan antara individu F1 dengan salah satu induknya. Tujuannya untuk mencari genotip induk dan memperoleh kembali individu yang bergalur murni.

#### Contoh:

Penyilangan salah satu F1 tanaman ercis biji bulat (Bb) dengan salah satu induknya.

P2 (F1 >> F1)	=	♀ BbKk (bulat kuning)	><	♂ BbKk (bulat kuning)		
G	=	BK, Bk, bK, bk		BK, Bk, bK, bk		
Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet						
F2	=	♀ ♂	BK	Bk	bK	bk
		BK	BBKK 1	BBKk 2	BbKK 3	BbKk 4
		Bk	BBKk 5	BBkk 6	BbKk 7	Bbkk 8
		bK	BbKK 9	BbKk 10	bbKK 11	bbKk 12
		bk	BbKk 13	Bbkk 14	bbKk 15	bbkk 16
Keterangan : B_K_ (bulat kuning) = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 13 B_kk (bulat hijau) = 6, 8, 14 bbK_ (keriput kuning) = 11, 12, 15 bbkk (keriput hijau) = 16						
<b>Perbandingan fenotip F2</b> bulat kuning : bulat hijau : keriput kuning : keriput hijau adalah 9 : 3 : 3 : 1						

Misalnya, jika pada persilangan kedua di atas dihasilkan 120 tanaman ercis baru maka berapakah kira-kira jumlah dan persentase populasi tanaman ercis berbiji bulat kuning?

<b>Diketahui:</b> Jumlah tanaman ercis baru = 120 tanaman Perbandingan fenotip = 9 : 3 : 3 : 1 (jika dijumlah totalnya 16 genotip) Jumlah fenotip bulat kuning (B_K_) berjumlah 9
<b>Ditanya:</b> Jumlah populasi tanaman ercis berbiji bulat kuning (B_K_)?
<b>Penyelesaian:</b> $\frac{9}{16} \times 120 = 67,5$ Jadi, jumlah populasi tanaman ercis berbiji bulat kuning sekitar 68 tanaman

## PENUGASAN 1.1

### Melakukan Simulasi Persilangan Monohybrid

#### ❖ Tujuan

Anda diharapkan mampu:

- Membuat diagram persilangan monohybrid
- Menentukan perbandingan fenotip F2 pada persilangan monohybrid melalui simulasi.

#### ❖ Media

- Alat tulis
- Kertas/lembar tabel pengamatan
- Kancing genetika atau kancing baju dengan dua warna berbeda masing-masing 50 biji (misal warna hitam dan putih)
- Wadah tertutup 3 buah (misal toples)
- Buku/sumber lain yang mendukung

#### ❖ Langkah Penugasan

- Tandailah salah satu wadah sebagai individu jantan, satu sebagai individu betina, dan satunya lagi sebagai keturunan kedua (F2).
- Kancing dianggap sebagai gamet-gamet yang mengandung gen dominan atau gen resesif. Tentukanlah kancing yang berperan sebagai gen dominan dan gen resesif. Misalnya gen dominan warna hitam (H) dan gen resesif warna putih (h).
- Masukkan masing-masing 25 biji kancing warna hitam dan warna putih ke dalam wadah jantan.
- Masukkan masing-masing 25 biji kancing warna hitam dan warna putih ke dalam wadah betina.
- Tutup kedua wadah dan kocok hingga isinya tercampur merata.

Back cross dengan induk dominan		Back cross dengan induk resesif	
P2	= Bb >< induk (?) (bulat) (bulat)	P2	= Bb >< induk (?) (bulat) (keriput)
G	= B B b B	G	= B b b b
F2	= BB = ercis bulat Bb = ercis bulat	F2	= Bb = ercis bulat bb = ercis keriput
Oleh karena F2 semuanya berbiji bulat, maka induknya bergenotip BB		Oleh karena hasilnya ercis bulat : ercis keriput = 1 : 1, maka induknya bergenotip bb.	

### 3. Uji Silang (*Test Cross*)

Uji silang merupakan penyilangan antara individu yang tidak diketahui genotipnya dengan individu yang bergenotip homozigot resesif. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah suatu individu memiliki genotip homozigot atau heterozigot.

#### Contoh:

Tikus hitam disilangkan dengan induk tikus putih menghasilkan keturunan 50% tikus hitam dan 50% tikus putih. Warna hitam bersifat dominan dibanding warna putih. Apakah tikus hitam tersebut bergenotip homozigot atau heterozigot?

Test cross I		Test cross II	
P	= (?) >< hh (hitam) (putih)	P	= (?) >< hh (hitam) (putih)
G	= H h	G	= H h h h
F	= Hh (hitam) = 100%	F2	= Hh (hitam) = 50% hh (putih) = 50%
Jadi, hasil penyilangan pada <i>test cross</i> II sesuai sehingga tikus hitam tersebut bergenotip heterozigot.			

## PENUGASAN 1.2

- Tanpa melihat isi wadah, ambillah masing-masing satu kancing dari wadah jantan dengan tangan kanan dan satu kancing dari wadah betina dengan tangan kiri secara bersamaan.
- Pasangkanlah kancing tersebut kemudian tentukan fenotipnya (misalnya kancing hitam dan hitam berfenotip hitam, kancing hitam dan putih berfenotip hitam, dan kancing putih dan putih berfenotip putih).
- Catatlah datanya pada tabel pengamatan.
- Kancing-kancing yang sudah diambil dimasukkan ke dalam wadah F.
- Lakukan hingga kancing pada kedua wadah habis.
- Jawab pertanyaan dan tuliskan kesimpulannya!
- Kumpulkan lembar jawaban Anda kepada tutor

### Persilangan Monohybrid

#### Tabel pengamatan

No	Genotip	Fenotip	Turus	Jumlah
1	HH	Hitam	III	
2				
3				
Jumlah total				

(kolom yang terisi hanya contoh)

#### Pertanyaan

1. Buatlah diagram persilangan simulasi di atas!
2. Bagaimana perbandingan genotip dan fenotip pada F<sub>2</sub>, samakah dengan ketentuan hukum Mendel I? Jika tidak sama, cobalah untuk menganalisa penyebabnya!
3. Buatlah kesimpulan hasil simulasi yang Anda lakukan!

### Melakukan Simulasi Persilangan Dihibrid

#### ❖ Tujuan

Anda diharapkan mampu:

- Membuat diagram persilangan dihibrid
- Menentukan perbandingan fenotip F<sub>2</sub> pada persilangan dihibrid melalui simulasi.

#### ❖ Media

- Alat tulis
- Kertas/lembar tabel pengamatan
- Kancing genetika atau kancing baju dengan empat warna berbeda masing-masing 16 biji (misal warna hitam, cokelat, merah, dan putih)
- Wadah tertutup 3 buah (misal toples)
- Buku/sumber belajar lain yang mendukung

#### ❖ Langkah Penugasan

- Tandailah salah satu wadah sebagai individu jantan, satu sebagai individu betina, dan satunya lagi sebagai keturunan kedua (F<sub>2</sub>).
- Anggaplah sifat bentuk buah diatur oleh gen B (bulat) dan gen b (lonjong), serta sifat warna buah diatur oleh gen M (merah) dan gen m (putih).
- Masukkan masing-masing 16 pasangan kancing ke dalam wadah jantan dan wadah betina dengan ketentuan:
  - Empat kancing hitam-merah (misal hitam = buah bentuk bulat dan merah = buah warna merah).
  - Empat kancing hitam-putih (misal hitam = buah bentuk bulat dan putih = buah warna putih).
  - Empat kancing cokelat-merah (misal cokelat = buah bentuk lonjong dan merah = buah warna merah).
  - Empat kancing cokelat-putih (misal cokelat = buah bentuk lonjong dan putih = buah warna putih).
- Tutup kedua wadah dan kocok hingga isinya tercampur merata.

- Tanpa melihat isi wadah, ambillah masing-masing sepasang kancing dari wadah jantan dan wadah betina secara acak.
- Pasangkanlah dua pasang kancing tersebut kemudian tentukan fenotipnya.
- Catatlah datanya pada tabel pengamatan.
- Kancing-kancing yang sudah diambil dimasukkan ke dalam wadah F2.
- Lakukan hingga kancing pada kedua wadah habis.
- Setelah itu, lakukan percobaan ini untuk kedua kalinya dengan mengaduk kancing terlebih dahulu.
- Jawab pertanyaan dan tuliskan kesimpulannya!
- Kumpulkan lembar jawaban Anda kepada tutor!

**Persilangan Dhibrid**  
**Tabel pengamatan**

No	Genotip	Fenotip	Turus	Jumlah
1	BBMM	Bulat merah	I	
2				
3				
Dst				
Jumlah total				

(kolom yang terisi hanya contoh)

**Pertanyaan**

1. Buatlah diagram persilangan dan kotak Punnet dari simulasi di atas!
2. Berdasarkan data di atas, bagaimana perbandingan genotip dan fenotip pada F2?
3. Dari hasil perhitungan, gen apakah yang paling sering muncul?
4. Bagaimana perbandingan fenotip pada F2, samakah dengan ketentuan hukum Mendel II? Jika tidak sama, cobalah untuk menganalisa penyebabnya!
5. Buatlah kesimpulan hasil simulasi yang Anda lakukan!

# UNIT 2

## PENYIMPANGAN SEMU PADA HUKUM MENDEL

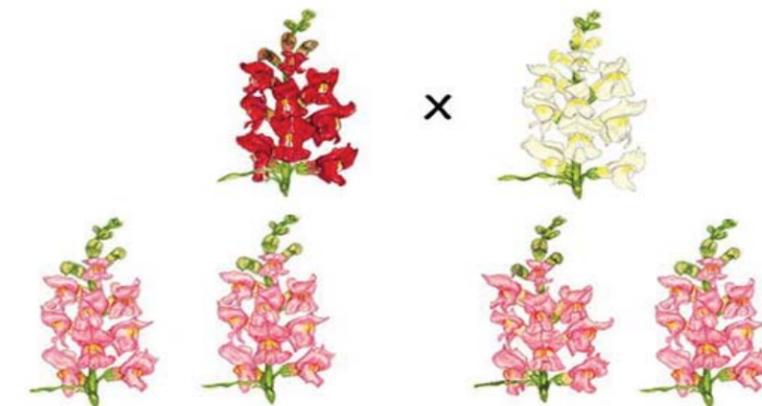
### Uraian Materi

**Kata Kunci**

- Alel ganda
- Alel letal
- Atavisme
- Epistasis
- Hipostasis
- Interaksi Antaraalel
- Interaksi Genetik
- Kodominan
- Komplementer
- Kriptomeri
- Polimeri
- Sifat Intermediet



### A. Penyimpangan Semu Hukum Mendel



Sumber: Dokumentasi penulis  
**Gambar 4.** Hereditas pada Bunga

Dalam kehidupan sehari-hari kita dapat menjumpai hasil persilangan bunga berwarna merah dan bunga berwarna putih menghasilkan bunga berwarna merah muda yang memiliki warna berbeda dari kedua induknya tersebut. Hal ini disebabkan adanya peristiwa penyimpangan semu pada hukum Mendel.

Apakah yang dimaksud dengan penyimpangan semu hukum Mendel? Pada persilangan monohibrid dihasilkan perbandingan fenotip F2 sebesar 3 : 1 dan pada persilangan dihibrid sebesar 9 : 3 : 3 : 1. Pada kenyataannya ketika dilakukan penyilangan, terkadang ditemukan penyimpangan yang menghasilkan perbandingan fenotip F2 yang tidak sama dengan hukum Mendel tetapi pola dasarnya masih sama dengan hukum Mendel. Seperti pada gambar persilangan monohibrid di atas dapat memiliki perbandingan fenotip F2 sebesar 1 : 2 : 1.

Penyimpangan semu pada hukum Mendel terjadi karena adanya **interaksi antaralel** dan **interaksi genetik**.

## B. Interaksi Antaralel

Penyimpangan semu pada hukum Mendel oleh peristiwa interaksi antaralel ada empat macam, yaitu **kodominan**, **dominansi tak penuh**, **alel ganda**, dan **alel letal**.

### 1. Kodominan

- Terjadi ketika dua alel dari suatu gen yang diekspresikan secara bersama-sama menghasilkan fenotip berbeda pada individu bergenotip heterozigot.
- Tidak memiliki hubungan dominan dan resesif.
- Perbandingan fenotip F2 adalah 1 : 2 : 1.

#### Contoh:

Pada alel-alel yang mengatur golongan darah sistem MN pada manusia. Ketika gen  $L^M$  dan gen  $L^N$  bersama-sama membentuk genotip heterozigot, maka muncul fenotip golongan darah MN (bukan salah satu dari golongan darah M atau N). Untuk lebih jelasnya perhatikan Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1.** Genotip, Jenis Gamet, dan Fenotip pada Golongan Darah Sistem MN

Genotip	Jenis Gamet	Fenotip
$L^M L^N$	$L^M$ dan $L^N$	Golongan darah MN
$L^M L^M$	$L^M$	Golongan darah M
$L^N L^N$	$L^N$	Golongan darah N

### 2. Dominansi Tidak Penuh (Sifat Intermediet)

- Terjadi ketika alel dominan tidak dapat menutupi alel resesif sehingga menghasilkan fenotip lain (campuran) pada individu bergenotip heterozigot.
- Perbandingan fenotip F2 adalah 1 : 2 : 1.

#### Contoh:

Pada persilangan dua jenis bunga pukul empat merah (MM) dan putih (mm) menghasilkan individu bersifat intermediet berwarna merah muda.

P1 = ♀ MM (merah) >< ♂ mm (putih)	 
G = M m	
F1 = Mm (merah)	
P2 = ♀ Mm (merah) >< ♂ Mm (merah)	
G = M m M m	
F2 = MM = merah Mm = merah muda mm = putih	   Jadi, perbandingan fenotip bunga pukul empat warna merah : warna merah muda : warna putih adalah 1 : 2 : 1.

### 3. Alel Ganda

- Gen memiliki lebih dari dua alel.
- Dapat menyebabkan **polimorfisme** atau bertambahnya fenotip sehingga meningkatkan keanekaragaman pada populasi.

#### Contoh:

Pada golongan darah sistem ABO pada manusia memiliki alel  $I^A$ ,  $I^B$ , dan  $I^O$  dengan genotip  $I^A I^A$  dan  $I^A I^O$  untuk golongan darah A, genotip  $I^B I^B$  dan  $I^B I^O$  untuk golongan darah B, genotip  $I^A I^B$  untuk golongan darah AB, dan genotip  $I^O I^O$  untuk golongan darah O.

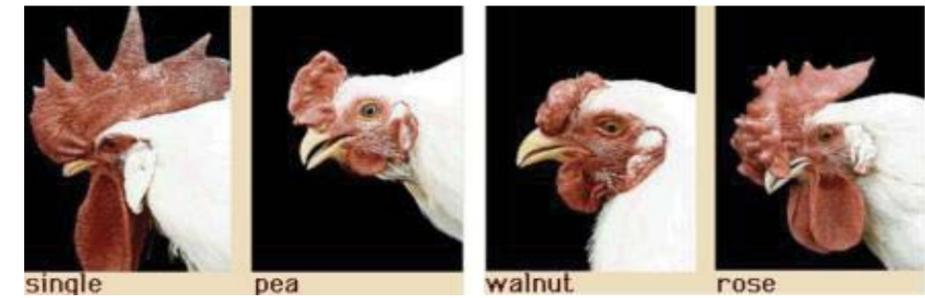
### 4. Alel Letal

- Alel yang menyebabkan kematian pada individu yang memilikinya
- Dibedakan atas **alel letal dominan** (jika memiliki genotip homozigot dominan), **alel letal resesif** (jika memiliki genotip homozigot resesif), dan **alel subletal** (jika memiliki genotip heterozigot).

#### Contoh:

Pada persilangan sesama ayam *creeper* (Cc) yang mengalami cacat kaki menghasilkan telur yang bisa menetas menjadi ayam hanya 75% karena 25% mengalami kematian sebelum menetas.

P	=	♀ Cc ( <i>creeper</i> )	><	♂ Cc ( <i>creeper</i> )	
G	=	C c		C c	
F	=	CC = letal (mati sebelum menetas) Cc = <i>creeper</i> (mengalami cacat kaki) Cc = <i>creeper</i> (mengalami cacat kaki) cc = normal  Perbandingan fenotip antara normal dengan <i>creeper</i> adalah 1 : 2			



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

Gambar 5. Peristiwa Atavisme pada Bentuk Jengger Ayam

Misalnya ayam berjengger *rose* (RRpp) disilangkan dengan ayam berjengger *pea* (rrPP) menghasilkan F1 yang seluruhnya berjengger *walnut*. Bagaimana perbandingan fenotip jika F1 disilangkan sesamanya? Perhatikan penyilangan berikut.

P1	=	♀ RRpp ( <i>rose</i> )	><	♂ rrPP ( <i>pea</i> )			
G	=	Rp		rP			
F1	=	RrPp ( <i>walnut</i> )					
P2	=	♀ RrPp ( <i>walnut</i> )	><	♂ RrPp ( <i>walnut</i> )			
G	=	RP, Rp rP, rp		RP, Rp rP, rp			
Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet							
		♀	♂				
				RP	Rp		
F2	=	RP	RP	RRPP 1	RRPp 2	RrPP 3	RrPp 4
		Rp	Rp	RRPp 5	RRpp 6	RrPp 7	Rrpp 8
		Rp	Rp	RrPP 9	RrPp 10	rrPP 11	rrPp 12
		Rp	Rp	RrPp 13	Rrpp 14	rrPp 15	rrpp 16
		Rp	Rp	RrPp 13	Rrpp 14	rrPp 15	rrpp 16
Keterangan : R_P_ ( <i>walnut</i> ) = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 13 R_pp ( <i>rose</i> ) = 6, 8, 14 rrP_ ( <i>pea</i> ) = 11, 12, 15 rrpp ( <i>single</i> ) = 16							
Jadi, perbandingan fenotipnya adalah <i>walnut</i> : <i>rose</i> : <i>pea</i> : <i>single</i> = 9 : 3 : 3 : 1							

## C. Interaksi Genetik

Penyimpangan semu pada hukum Mendel oleh peristiwa interaksi genetik ada 4 (empat) macam, yaitu **atavisme**, **epistasis-hipostasis**, **polimeri**, **kriptomeri**, dan **komplementer**.

### 1. Atavisme

- Interaksi beberapa gen yang menghasilkan sifat baru.
- Jika individu genotip heterozigot disilangkan sesamanya akan menghasilkan perbandingan fenotip 9 : 3 : 3 : 1.

#### Contoh:

Peristiwa atavisme terjadi pada bentuk jengger ayam (pial). Ada empat macam bentuk jengger ayam, yaitu *walnut* (sumpel), *rose* (mawar), *pea* (biji), dan *single* (bilah). Berikut adalah Tabel 5.2 mengenai genotip dan fenotip pada jengger ayam.

Tabel 5.2. Genotip dan Fenotip pada Karakter Jengger Ayam

Genotip	Fenotip
R_P_	Walnut
R_pp	Rose
rrP_	Pea
Rrpp	Single

### Epistasis dan Hipostasis

- Interaksi gen yang menutupi atau menghalangi ekspresi gen lain yang bukan sealel.
- Gen yang menutupi disebut **epistasis** sedangkan gen yang tertutupi disebut **hipostasis**.

- Dibedakan atas **epistasis dominan**, **epistasis resesif**, dan **epistasis dominan rangkap**.

**a. Epistasis dominan**

Terjadi jika ada alel atau gen dominan yang bersifat menutupi. Menghasilkan perbandingan fenotip pada F2 sebesar 12 : 3 : 1.

**Contoh:**

Pada warna buah labu dikendalikan oleh gen P (warna putih), gen K (warna kuning), dan gen k (warna hijau). Gen P epistasis terhadap gen K dan gen k. Jika semuanya alel resesif akan memunculkan warna hijau. Bagaimana perbandingan fenotip F2 pada persilangan labu putih (PPkk) dengan labu kuning (ppKK)?

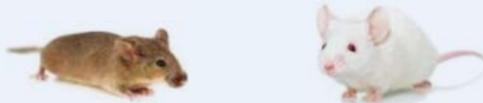
$P_1 = \begin{matrix} \text{♀ PPkk} & \times & \text{♂ ppKK} \\ \text{(putih)} & & \text{(kuning)} \end{matrix}$																																								
$G = \begin{matrix} Pk & pK \end{matrix}$																																								
$F_1 = PpKk \text{ (putih)}$																																								
$P_2 = \begin{matrix} \text{♀ PpKk} & \times & \text{♂ PpKk} \\ \text{(putih)} & & \text{(putih)} \end{matrix}$																																								
$G = \begin{matrix} PK, Pk & PK, Pk \\ pK, pk & pK, pk \end{matrix}$	<p>Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">♀</td> <td style="width: 15%;">PK</td> <td style="width: 15%;">Pk</td> <td style="width: 15%;">pK</td> <td style="width: 15%;">pk</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">♂</td> <td style="width: 15%;">PK</td> <td style="width: 15%;">Pk</td> <td style="width: 15%;">pK</td> <td style="width: 15%;">pk</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="width: 10%; vertical-align: middle;"><math>F_2 =</math></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">PK</td> <td style="width: 15%;">PPKK (putih)</td> <td style="width: 15%;">PPKk (putih)</td> <td style="width: 15%;">PpKK (putih)</td> <td style="width: 15%;">PpKk (putih)</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">Pk</td> <td style="width: 15%;">PPKk (putih)</td> <td style="width: 15%;">PPkk (putih)</td> <td style="width: 15%;">PpKk (putih)</td> <td style="width: 15%;">Ppkk (putih)</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">pK</td> <td style="width: 15%;">PpKK (putih)</td> <td style="width: 15%;">PpKk (putih)</td> <td style="width: 15%;">ppKK (kuning)</td> <td style="width: 15%;">ppKk (kuning)</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">pk</td> <td style="width: 15%;">PpKk (putih)</td> <td style="width: 15%;">Ppkk (putih)</td> <td style="width: 15%;">ppKk (kuning)</td> <td style="width: 15%;">ppkk (hijau)</td> </tr> </table>			♀	PK	Pk	pK	pk			♂	PK	Pk	pK	pk	$F_2 =$		PK	PPKK (putih)	PPKk (putih)	PpKK (putih)	PpKk (putih)		Pk	PPKk (putih)	PPkk (putih)	PpKk (putih)	Ppkk (putih)		pK	PpKK (putih)	PpKk (putih)	ppKK (kuning)	ppKk (kuning)		pk	PpKk (putih)	Ppkk (putih)	ppKk (kuning)	ppkk (hijau)
			♀	PK	Pk	pK	pk																																	
			♂	PK	Pk	pK	pk																																	
$F_2 =$			PK	PPKK (putih)	PPKk (putih)	PpKK (putih)	PpKk (putih)																																	
			Pk	PPKk (putih)	PPkk (putih)	PpKk (putih)	Ppkk (putih)																																	
		pK	PpKK (putih)	PpKk (putih)	ppKK (kuning)	ppKk (kuning)																																		
		pk	PpKk (putih)	Ppkk (putih)	ppKk (kuning)	ppkk (hijau)																																		
																																								
	<p>Jadi, perbandingan fenotipnya adalah putih : kuning : hijau adalah: 12 : 3 : 1</p>																																							

**b. Epistasis resesif**

Terjadi jika ada gen resesif yang bersifat menutupi. Menghasilkan perbandingan fenotip pada F2 sebesar 9 : 3 : 4.

**Contoh:**

Pada warna rambut tikus, warna putih dikendalikan oleh alel cc, warna hitam dikendalikan oleh gen A dan gen a. Alel cc epistasis terhadap gen A dan a. Bagaimana perbandingan fenotip F2 pada persilangan tikus hitam (CCAA) dengan tikus putih (ccaa)?

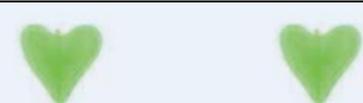
$P_1 = \begin{matrix} \text{♀ CCAA} & \times & \text{♂ ccaa} \\ \text{(krem)} & & \text{(putih)} \end{matrix}$																																								
$G = \begin{matrix} CA & ca \end{matrix}$																																								
$F_1 = CcAa \text{ (krem)}$																																								
$P_2 = \begin{matrix} \text{♀ CcAa} & \times & \text{♂ CcAa} \\ \text{(krem)} & & \text{(krem)} \end{matrix}$																																								
$G = \begin{matrix} CA, Ca & CA, Ca \\ cA, ca & cA, ca \end{matrix}$	<p>Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">♀</td> <td style="width: 15%;">CA</td> <td style="width: 15%;">Ca</td> <td style="width: 15%;">cA</td> <td style="width: 15%;">ca</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">♂</td> <td style="width: 15%;">CA</td> <td style="width: 15%;">Ca</td> <td style="width: 15%;">cA</td> <td style="width: 15%;">ca</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="width: 10%; vertical-align: middle;"><math>F_2 =</math></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">CA</td> <td style="width: 15%;">CCAA (krem)</td> <td style="width: 15%;">CCAa (krem)</td> <td style="width: 15%;">CcAA (krem)</td> <td style="width: 15%;">CcAa (krem)</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">Ca</td> <td style="width: 15%;">CCAa (krem)</td> <td style="width: 15%;">CCaa (hitam)</td> <td style="width: 15%;">CcAa (krem)</td> <td style="width: 15%;">Ccaa (hitam)</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">cA</td> <td style="width: 15%;">CcAA (krem)</td> <td style="width: 15%;">CcAa (krem)</td> <td style="width: 15%;">ccAA (putih)</td> <td style="width: 15%;">ccAa (putih)</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">Ca</td> <td style="width: 15%;">CcAa (krem)</td> <td style="width: 15%;">Ccaa (hitam)</td> <td style="width: 15%;">ccAa (putih)</td> <td style="width: 15%;">ccaa (putih)</td> </tr> </table>			♀	CA	Ca	cA	ca			♂	CA	Ca	cA	ca	$F_2 =$		CA	CCAA (krem)	CCAa (krem)	CcAA (krem)	CcAa (krem)		Ca	CCAa (krem)	CCaa (hitam)	CcAa (krem)	Ccaa (hitam)		cA	CcAA (krem)	CcAa (krem)	ccAA (putih)	ccAa (putih)		Ca	CcAa (krem)	Ccaa (hitam)	ccAa (putih)	ccaa (putih)
			♀	CA	Ca	cA	ca																																	
			♂	CA	Ca	cA	ca																																	
$F_2 =$			CA	CCAA (krem)	CCAa (krem)	CcAA (krem)	CcAa (krem)																																	
			Ca	CCAa (krem)	CCaa (hitam)	CcAa (krem)	Ccaa (hitam)																																	
		cA	CcAA (krem)	CcAa (krem)	ccAA (putih)	ccAa (putih)																																		
		Ca	CcAa (krem)	Ccaa (hitam)	ccAa (putih)	ccaa (putih)																																		
																																								
	<p>Jadi, perbandingan fenotipnya adalah krem : hitam : putih = 9 : 3 : 4</p>																																							

**c. Epistasis dominan rangkap**

Terjadi jika ada dua gen dominan menghasilkan satu fenotip dominan yang sama. Menghasilkan perbandingan fenotip pada F2 sebesar 15 : 1

**Contoh:**

Pada tanaman kantong gembala, gen A maupun gen B secara sendiri-sendiri atau bersama-sama menghasilkan fenotip yang sama, yaitu kapsul biji bentuk segitiga. Jika keseluruhannya gen resesif, maka menghasilkan fenotip kapsul biji bentuk oval. Bagaimana perbandingan fenotip F2 pada persilangan tanaman kantong gembala berkapsul segitiga (AABB) dengan tanaman kantong gembala berkapsul oval (aabb)?

P1 = ♀ AABB (kapsul segitiga) >< ♂ aabb (kapsul oval)																										
G = AB ab																										
F1 = AaBb (kapsul segitiga)																										
P2 = ♀ AaBb (kapsul segitiga) >< ♂ AaBb (kapsul segitiga)																										
G = AB, Ab aB, ab AB, Ab aB, ab																										
Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet																										
F2 =	<table border="1"> <thead> <tr> <th>♀ ♂</th> <th>AB</th> <th>Ab</th> <th>aB</th> <th>ab</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>AB</th> <td>AABB (segitiga)</td> <td>AABb (segitiga)</td> <td>AaBB (segitiga)</td> <td>AaBb (segitiga)</td> </tr> <tr> <th>Ab</th> <td>AABb (segitiga)</td> <td>AAbb (segitiga)</td> <td>AaBb (segitiga)</td> <td>Aabb (segitiga)</td> </tr> <tr> <th>aB</th> <td>AaBB (segitiga)</td> <td>AaBb (segitiga)</td> <td>aaBB (segitiga)</td> <td>aaBb (segitiga)</td> </tr> <tr> <th>ab</th> <td>AaBb (segitiga)</td> <td>Aabb (segitiga)</td> <td>aaBb (segitiga)</td> <td>aabb (oval)</td> </tr> </tbody> </table>	♀ ♂	AB	Ab	aB	ab	AB	AABB (segitiga)	AABb (segitiga)	AaBB (segitiga)	AaBb (segitiga)	Ab	AABb (segitiga)	AAbb (segitiga)	AaBb (segitiga)	Aabb (segitiga)	aB	AaBB (segitiga)	AaBb (segitiga)	aaBB (segitiga)	aaBb (segitiga)	ab	AaBb (segitiga)	Aabb (segitiga)	aaBb (segitiga)	aabb (oval)
♀ ♂	AB	Ab	aB	ab																						
AB	AABB (segitiga)	AABb (segitiga)	AaBB (segitiga)	AaBb (segitiga)																						
Ab	AABb (segitiga)	AAbb (segitiga)	AaBb (segitiga)	Aabb (segitiga)																						
aB	AaBB (segitiga)	AaBb (segitiga)	aaBB (segitiga)	aaBb (segitiga)																						
ab	AaBb (segitiga)	Aabb (segitiga)	aaBb (segitiga)	aabb (oval)																						
Jadi, perbandingan fenotipnya adalah kapsul segitiga : kapsul oval = 15 : 1																										

## 2. Polimeri

- Interaksi dua gen atau lebih yang mempengaruhi dan menguatkan suatu sifat yang sama.
- Jika individu genotip heterozigot disilangkan sesamanya akan menghasilkan perbandingan fenotip 15 : 1.

### Contoh:

Peristiwa polimeri pada karakter warna biji gandum (*Triticum* sp.), yaitu warna merah dan putih. Jika gandum berbiji merah gelap ( $M_1M_1M_2M_2$ ) disilangkan dengan gandum berbiji putih ( $m_1m_1m_2m_2$ ), bagaimana perbandingan fenotip F2nya?

P1 = ♀ $M_1M_1M_2M_2$ (merah gelap) >< ♂ $m_1m_1m_2m_2$ (putih)																										
G = $M_1M_2$ $m_1m_2$																										
F1 = $M_1m_1M_2m_2$ (merah sedang)																										
P2 = ♀ $M_1m_1M_2m_2$ (merah sedang) >< ♂ $M_1m_1M_2m_2$ (merah sedang)																										
G = $M_1M_2, M_1m_2, m_1M_2, m_1m_2$ $M_1M_2, M_1m_2, m_1M_2, m_1m_2$																										
Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet																										
F2 =	<table border="1"> <thead> <tr> <th>♀ ♂</th> <th><math>M_1M_2</math></th> <th><math>M_1m_2</math></th> <th><math>m_1M_2</math></th> <th><math>m_1m_2</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th><math>M_1M_2</math></th> <td><math>M_1M_1M_2M_2</math> (merah)</td> <td><math>M_1M_1M_2m_2</math> (merah)</td> <td><math>M_1m_1M_2M_2</math> (merah)</td> <td><math>M_1m_1M_2m_2</math> (merah)</td> </tr> <tr> <th><math>M_1m_2</math></th> <td><math>M_1M_1M_2m_2</math> (merah)</td> <td><math>M_1m_1M_2m_2</math> (merah)</td> <td><math>M_1m_1M_2M_2</math> (merah)</td> <td><math>M_1m_1m_2m_2</math> (merah)</td> </tr> <tr> <th><math>m_1M_2</math></th> <td><math>M_1M_1M_2m_2</math> (merah)</td> <td><math>M_1m_1M_2m_2</math> (putih)</td> <td><math>m_1m_1M_2M_2</math> (merah)</td> <td><math>m_1m_1M_2m_2</math> (merah)</td> </tr> <tr> <th><math>m_1m_2</math></th> <td><math>M_1m_1M_2m_2</math> (merah)</td> <td><math>M_1m_1m_2m_2</math> (merah)</td> <td><math>m_1m_1M_2m_2</math> (merah)</td> <td><math>m_1m_1m_2m_2</math> (putih)</td> </tr> </tbody> </table>	♀ ♂	$M_1M_2$	$M_1m_2$	$m_1M_2$	$m_1m_2$	$M_1M_2$	$M_1M_1M_2M_2$ (merah)	$M_1M_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1M_2M_2$ (merah)	$M_1m_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_2$	$M_1M_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1M_2M_2$ (merah)	$M_1m_1m_2m_2$ (merah)	$m_1M_2$	$M_1M_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1M_2m_2$ (putih)	$m_1m_1M_2M_2$ (merah)	$m_1m_1M_2m_2$ (merah)	$m_1m_2$	$M_1m_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1m_2m_2$ (merah)	$m_1m_1M_2m_2$ (merah)	$m_1m_1m_2m_2$ (putih)
♀ ♂	$M_1M_2$	$M_1m_2$	$m_1M_2$	$m_1m_2$																						
$M_1M_2$	$M_1M_1M_2M_2$ (merah)	$M_1M_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1M_2M_2$ (merah)	$M_1m_1M_2m_2$ (merah)																						
$M_1m_2$	$M_1M_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1M_2M_2$ (merah)	$M_1m_1m_2m_2$ (merah)																						
$m_1M_2$	$M_1M_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1M_2m_2$ (putih)	$m_1m_1M_2M_2$ (merah)	$m_1m_1M_2m_2$ (merah)																						
$m_1m_2$	$M_1m_1M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1m_2m_2$ (merah)	$m_1m_1M_2m_2$ (merah)	$m_1m_1m_2m_2$ (putih)																						
Jadi, perbandingan fenotipnya adalah merah : putih = 15 : 1																										

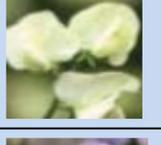
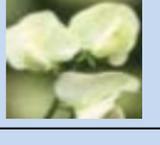
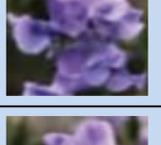
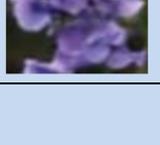
## 3. Kriptomeri

- Interaksi antar gen dominan yang jika bersama dengan gen dominan lain akan memunculkan sifat baru tetapi jika gen tersebut berdiri sendiri maka sifatnya akan tersembunyi.
- Jika individu genotip heterozigot disilangkan sesamanya akan menghasilkan perbandingan fenotip 9 : 3 : 4

### Contoh:

Peristiwa kriptomeri pada warna bunga *Linaria maroccana* yang memiliki sifat warna ungu ( $A\_B\_$ ), merah ( $A\_bb$ ), dan putih ( $aaB\_$  atau  $aabb$ ). Jika bunga *Linaria* berwarna merah ( $AAbb$ ) disilangkan dengan bunga *Linaria* berwarna putih ( $aaBB$ ), maka bagaimana perbandingan fenotip F2nya?

P1 =	♀ AAbb (merah)	><	♂ aaBB (putih)		
G =	Ab		aB		
F1 =	AaBb (ungu)				
P2 =	♀ AaBb (ungu)	><	♂ AaBb (ungu)		
G =	AB, Ab aB, ab		AB, Ab aB, ab		
Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet					
F2 =	♀ ♂	AB	Ab	aB	ab
	AB	AABB (ungu)	AABb (ungu)	AaBB (ungu)	AaBb (ungu)
	Ab	AABb (ungu)	<b>AAbb (merah)</b>	AaBb (ungu)	<b>Aabb (merah)</b>
	aB	AaBB (ungu)	AaBb (ungu)	aaBB (putih)	aaBb (putih)
	ab	AaBb (ungu)	<b>Aabb (merah)</b>	aaBb (putih)	aabb (putih)
	Jadi, perbandingan fenotipnya adalah ungu : merah : putih = 9 : 3 : 4				

P1 =	♀ CCpp (putih)	><	♂ ccPP (putih)		
G =	Cp		cP		
F1 =	CcPp (ungu)				
P2 =	♀ CcPp (ungu)	><	♂ CcPp (ungu)		
G =	CP, Cp cP, cp		CP, Cp cP, cp		
Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet					
F2 =	♀ ♂	CP	Cp	cP	cp
	CP	CCPP (ungu)	CCPp (ungu)	CcPP (ungu)	CcPp (ungu)
	Cp	CCPp (ungu)	CCpp (putih)	CcPp (ungu)	Ccpp (putih)
	cP	CcPP (ungu)	CcPp (ungu)	ccPP (putih)	ccPp (putih)
	cp	CcPp (ungu)	Ccpp (putih)	ccPp (putih)	ccpp (putih)
Jadi, perbandingan fenotipnya adalah ungu : putih = 9 : 7					

#### 4. Komplementer

- Interaksi antar gen-gen dominan yang saling melengkapi dalam mengekspresikan suatu sifat. Jika salah satu gen tidak ada, maka sifat tersebut tidak akan muncul.
- Jika individu genotip heterozigot disilangkan sesamanya akan menghasilkan perbandingan fenotip 9 : 7

##### Contoh:

Peristiwa komplementer pada warna bunga Sweet pea *Lathyrus odoratus* terdapat gen C (penghasil warna), gen c (tidak menghasilkan warna), gen P (pembentuk enzim pengaktif), dan gen p (tidak membentuk enzim pengaktif). Jika bunga *Lathyrus* warna putih (CCpp) disilangkan dengan bunga *Lathyrus* warna putih (ccPP), bagaimana perbandingan fenotip F2nya?

## PENUGASAN UNIT 2

Melakukan Simulasi Persilangan pada Peristiwa Epistasis dan Hipostasis (Epistasis Dominan)

### ❖ Tujuan

Anda diharapkan mampu:

- Membuat diagram persilangan peristiwa epistasis dan hipostasis
- Menentukan perbandingan fenotip F2 pada peristiwa epistasis dan hipostasis melalui simulasi.

### ❖ Media

- Alat tulis
- Kertas/lembar tabel pengamatan
- Kardus bekas atau kertas karton
- Lidi 30 cm
- Sedotan yang dipotong 15 cm dan 2 cm
- Paku/alat untuk melubangi kardus/kertas
- Buku/sumber belajar lain yang mendukung

### ❖ Langkah Penugasan

- Buatlah dua buah baling-baling genetika dengan mengikuti rancangan pada gambar dan ketentuan berikut:
  - Empat lengan pada setiap baling-baling dianggap sebagai gamet.
  - Tuliskan simbol gamet pada setiap lengan, dengan ketentuan gen P (warna putih), gen p (warna ungu), gen M (merah) dan gen m (warna ungu). Gen P sebagai gen epistasis dan gen M dan m sebagai gen hipostasis.



Sumber: Dokumentasi penulis

Gambar 6. Model Baling-baling Genetika

- Lubangilah bagian tengah baling-baling menggunakan paku.
- Rangkailah bahan secara berurutan yang dimulai dengan memasang sedotan 15 cm pada lidi lalu pasang satu baling-baling dengan memasukkan lidi ke dalam lubangnya. Selanjutnya pasang sedotan 2 cm dan terakhir pasang baling-baling satunya.
- Putarlah kedua baling-baling genetika secara bersamaan.
- Hentikan putaran secara acak dengan cara menangkap salah satu lengan masing-masing baling-baling.
- Tentukan jenis genotipnya dengan cara menggabungkan kedua gamet yang tertera pada masing-masing lengan yang tertangkap. Lakukan pemutaran dan penangkapan sebanyak 50 kali.
- Catatlah datanya pada tabel pengamatan.
- Jawab pertanyaan dan tuliskan kesimpulannya!
- Kumpulkan lembar jawaban Anda kepada tutor!

### Peristiwa Epistasis dan Hipostasis (Epistasis Dominan)

#### Tabel Pengamatan

No	Genotip	Fenotip	Turus	Jumlah
1	PPMM	Putih	III	3
2	PPMm			
3	PPmm			
4	PpMM			
5	PpMm			
6	Ppmm			
7	ppMM			
8	ppMm			
9	Ppmm			
Jumlah total				

(kolom yang terisi hanya contoh)

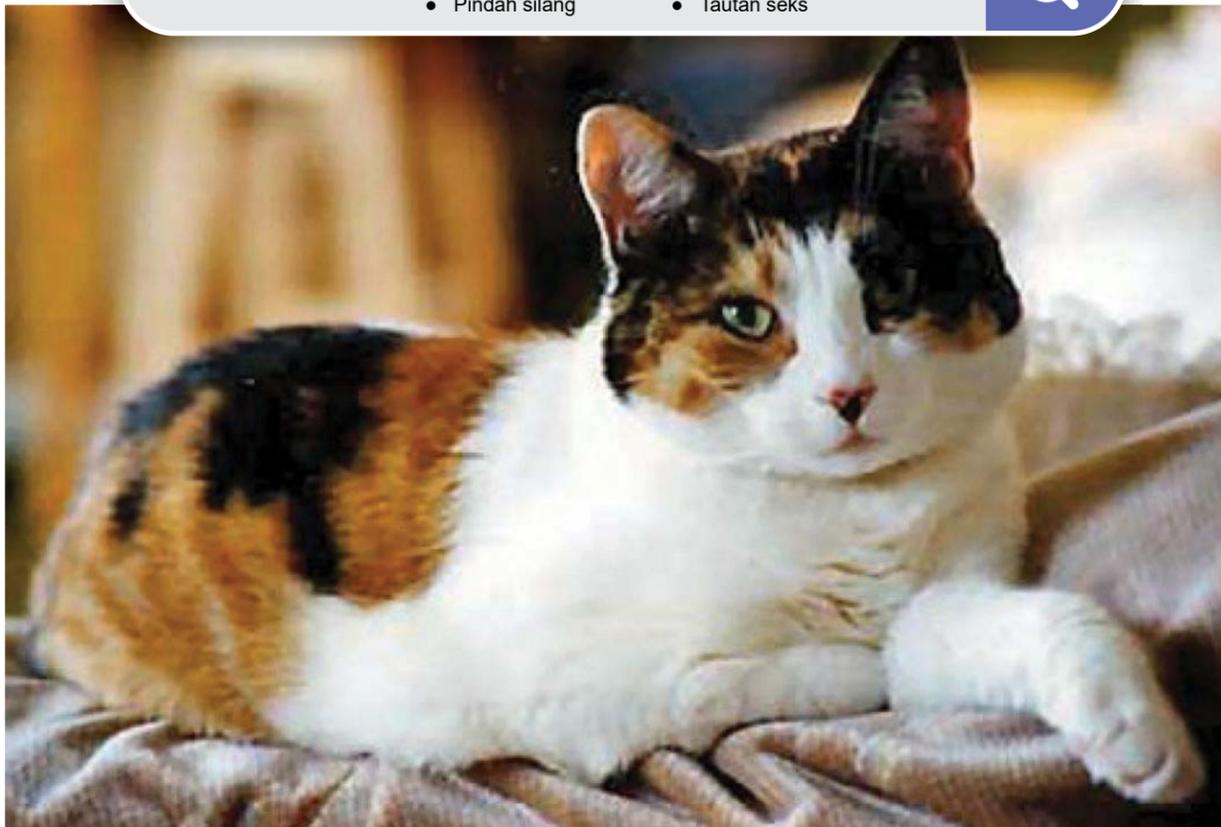
#### Pertanyaan

1. Buatlah diagram persilangan persilangannya!
2. Berdasarkan jumlah macam gamet, apakah persilangan di atas termasuk monohibrid atau dihibrid?
3. Berapakah jumlah fenotip yang terbentuk pada simulasi tersebut?
4. Bagaimana perbandingan fenotip yang dihasilkan? Samakah angka perbandingan fenotip epistasis dominan yang dihasilkan? Jika tidak sama, cobalah analisis penyebabnya!
5. Buatlah kesimpulan hasil simulasi yang Anda lakukan!

Uraian Materi

Kata Kunci

- Gagal berpisah
- Kombinasi parenta
- Pindah silang
- Rekombinan
- Tautan autosomal
- Tautan seks



Gambar 7. Kucing Kaliko

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

A. Tautan (*Linkage*)

Kucing kaliko merupakan istilah untuk kucing yang memiliki tiga warna pada rambutnya, yaitu putih, oranye, dan hitam. Warna rambut pada kucing diatur oleh kromosom X. Umumnya kucing kaliko berkelamin betina. Hal ini disebabkan oleh adanya pola hereditas tautan. Pola hereditas tautan seperti apa yang terjadi pada kucing kaliko?

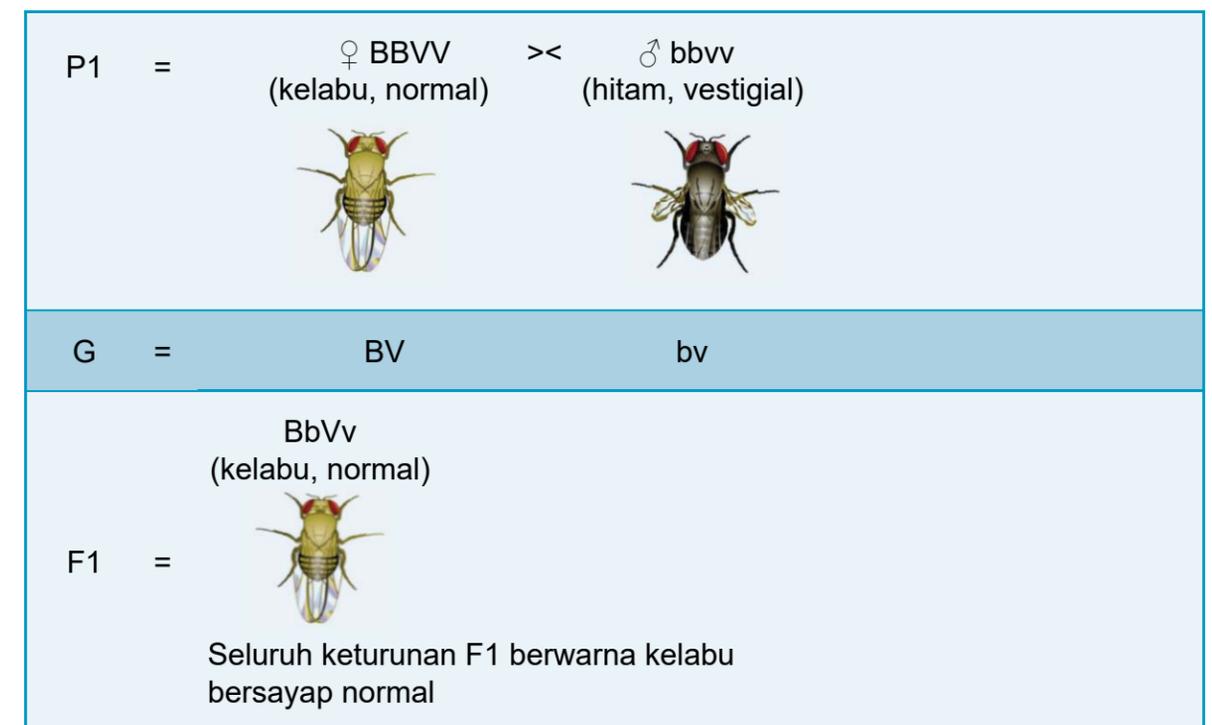
**Tautan** adalah peristiwa dua gen atau lebih yang terletak pada kromosom yang sama dan tidak dapat memisah secara bebas (saling terikat) saat pembentukan gamet. Tautan sering terjadi pada gen-gen berbeda tetapi letaknya berdekatan. Peristiwa tautan pertama kali ditemukan oleh **Thomas Hunt Morgan** pada tahun 1910 dengan menggunakan lalat buah (*Drosophila melanogaster*) sebagai objek penelitian.

Berdasarkan tempat terjadinya, tautan dibedakan atas **tautan autosomal** dan **tautan seks**.

1. Tautan Autosomal

Tautan autosomal adalah tautan yang terjadi pada gen-gen yang terletak pada kromosom tubuh yang sama. Dalam percobaannya Morgan membedakan dua karakter pada lalat buah, yaitu warna tubuh dan ukuran sayap. Gen-gen yang mengendalikan sifat tersebut adalah gen B (abu-abu), gen b (hitam), V (normal), dan v (vestigial). Morgan mengawinkan (menyilangkan) lalat buah betina berwarna kelabu dan bersayap normal dengan lalat buah jantan berwarna hitam dan bersayap vestigial (berkerut dan pendek).

Berikut adalah diagram persilangan percobaan Morgan jika sesuai dengan hukum Mendel (terjadi pemisahan gen secara bebas).



Selanjutnya dilakukan *test cross* antara F1 dengan induknya yang berwarna hitam bersayap vestigial.

P2 = ♀ BbVv (kelabu, normal) >< ♂ bbvv (hitam, vestigial)



G = BV, Bv / bV, bv      bv

Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet

♀ \ ♂	BV	Bv	bV	bv
Bv	BbVv (kelabu, normal) 	Bbvv (kelabu, vestigial) 	bbVv (hitam, normal) 	bbvv (hitam, vestigial) 

Perbandingan fenotip F2 adalah 1 : 1 : 1 : 1

Fenotip tubuh berwarna kelabu bersayap normal dan tubuh berwarna hitam bersayap vestigial merupakan kombinasi parental (KP) atau fenotip yang sama dengan induknya. Sedangkan tubuh berwarna kelabu bersayap vestigial dan tubuh berwarna hitam bersayap normal merupakan rekombinan (RK) atau fenotip baru.

Jika terjadi tautan gen BV dan gen bv, sehingga diagram persilangannya pada *test cross* adalah sebagai berikut:

P2 = ♀ BbVv (kelabu, normal) >< ♂ bbvv (hitam, vestigial)



G = BV, bv      Bv

Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet

♀ \ ♂	BV	bv
Bv	BbVv (kelabu, normal) 	bbvv (hitam, vestigial) 

Perbandingan fenotip F2 adalah 1 : 1

Fenotip tubuh berwarna kelabu bersayap normal dan tubuh berwarna hitam bersayap vestigial merupakan kombinasi parental (KP).

Berdasarkan diagram persilangan di atas, dapat disimpulkan bahwa tautan menghasilkan fenotip keturunan KP = 100% sedangkan segregasi bebas (pada hukum Mendel) menghasilkan fenotip keturunan KP = 50% dan RK = 50%.

## 2. Tautan Seks

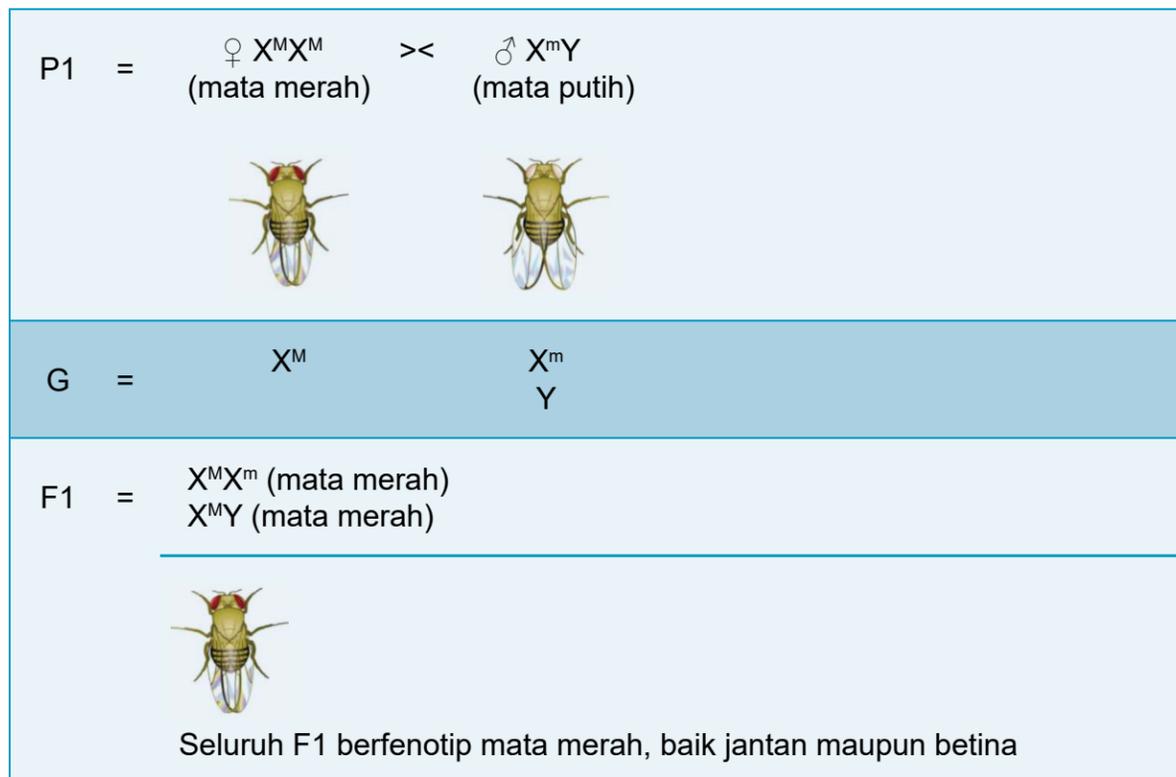
Tautan seks adalah tautan yang terjadi pada gen-gen yang terletak pada kromosom seks yang sama. Dalam percobaannya Morgan mengawinkan lalat buah jantan bermata putih dengan lalat buah betina bermata merah. Gen-gen yang mengendalikan sifat-sifat tersebut adalah gen M (mata merah) dan gen m (mata putih). Jenis kelamin ditentukan gonosom X dan Y. Kelamin betina dikendalikan oleh gonosom XX sedangkan kelamin jantan dikendalikan gonosom XY.



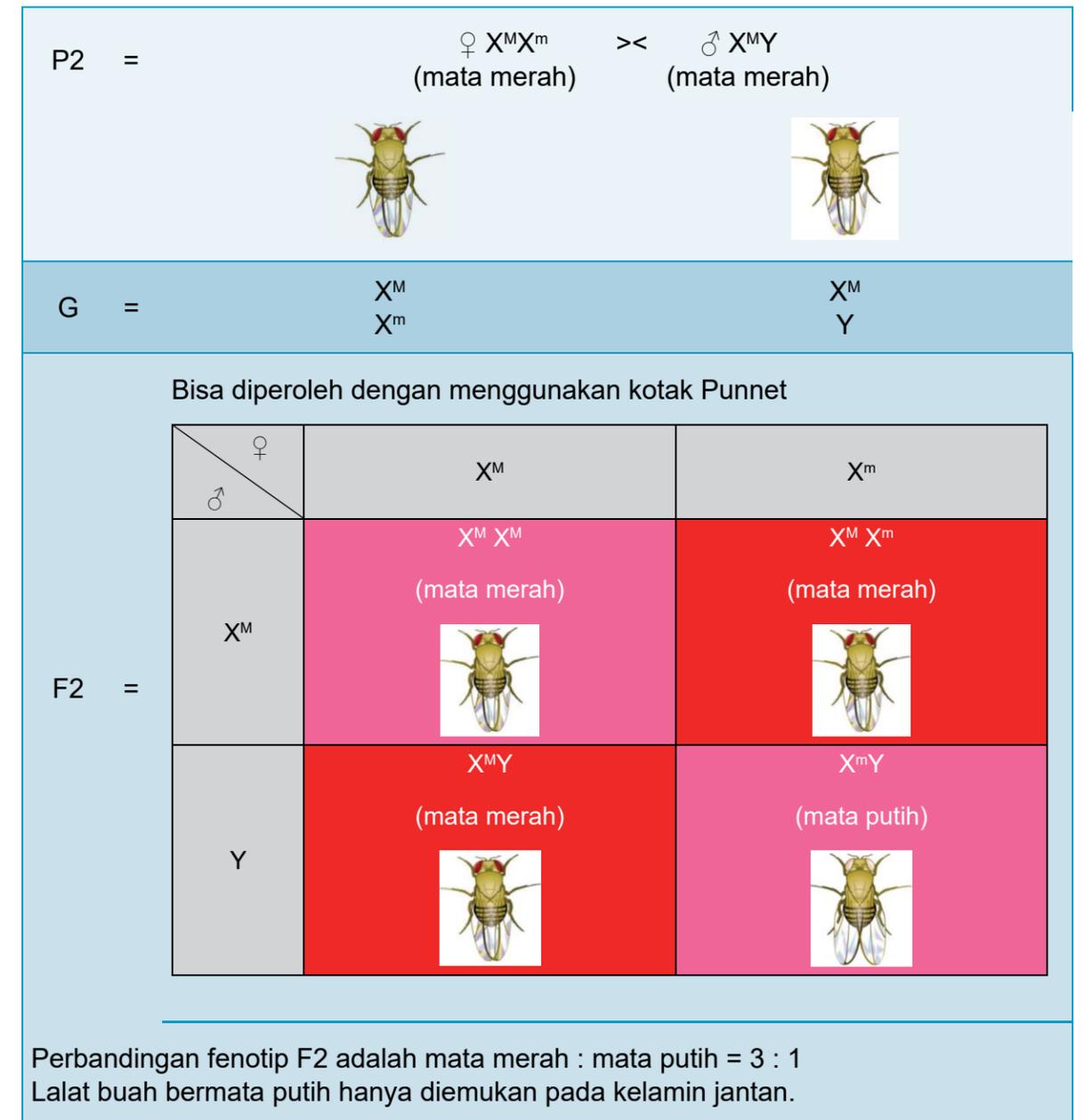
Sumber: <http://theconversation.com>

Gambar 8. Lalat Buah (*Drosophila melanogaster*)

Berikut adalah diagram persilangan pada percobaan Morgan.



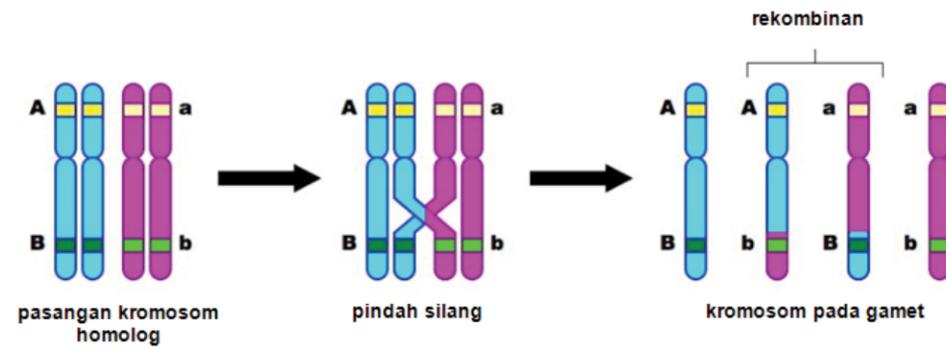
Selanjutnya antara F1 jantan dan betina dikawinkan.



## B. Pindah Silang (*Crossing Over*)

**Pindah silang** adalah peristiwa pertukaran gen-gen pada suatu kromosom dengan gen-gen pada kromosom lainnya. Pindah silang terjadi saat profase pembelahan meiosis dan menyebabkan terjadinya rekombinan (RK).

## PENUGASAN UNIT 3

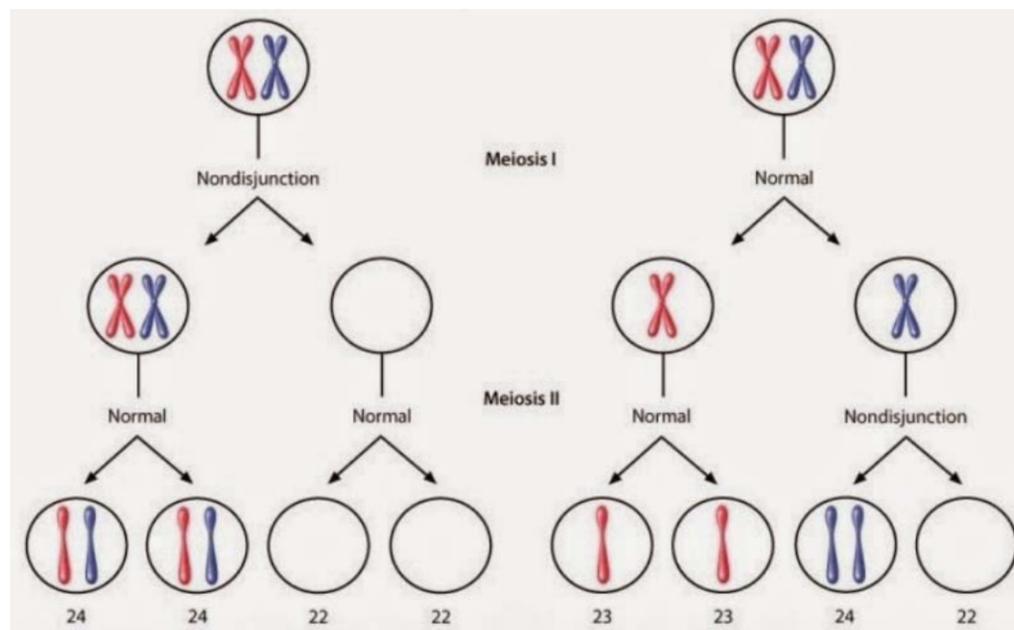


Sumber: Dokumentasi penulis

Gambar 9. Peristiwa Pindah Silang (*Crossing Over*)

### C. Gagal Berpisah (*Nondisjunction*)

**Gagal berpisah** adalah peristiwa gagalnya satu atau lebih kromosom untuk berpisah pada saat pembelahan meiosis. Hal ini mengakibatkan sel anak dapat mengalami kelebihan atau kekurangan kromosom.



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

Gambar 10. Peristiwa Gagal Berpisah (*Nondisjunction*) pada Pembelahan Meiosis

Pada gambar pembelahan meiosis pada manusia di atas terlihat bahwa gagal berpisah menyebabkan dua gamet memiliki 24 kromosom (kelebihan 1). Contoh lain pada wanita dengan kromosom seks XX, jika terjadi peristiwa gagal berpisah akan menghasilkan 3 macam ovum yaitu ovum XX, ovum X, dan ovum 0 (tanpa kromosom X).

### Menyelesaikan Soal Mengenai Peristiwa Pautan

#### ❖ Tujuan

Anda diharapkan mampu:

- Membuat diagram persilangan pada peristiwa tautan
- Menentukan perbandingan fenotip pada peristiwa tautan

#### ❖ Media

- Alat tulis
- Buku/sumber belajar lain yang mendukung

#### ❖ Langkah Penugasan

- Kerjakanlah pertanyaan berikut!

#### Peristiwa Pautan Pertanyaan

1. Lalat buah (*Drosophila melanogaster*) bersayap keriput dada bergaris dikawinkan dengan lalat buah bersayap normal dada polos. Gen-gen yang mengatur sifat tersebut adalah gen C (sayap normal), gen c (sayap keriput), S (dada polos), dan s (dada bergaris). Jika sesama F1 dikawinkan dan terjadi pautan antara gen CS dan gen cs.
  - a. Buatlah diagram persilangannya!
  - b. Tentukanlah perbandingan fenotip pada F2!
2. Diketahui warna rambut pada kucing diatur oleh gen B (hitam) dan gen b (oranye) dan sifat tersebut diturunkan oleh kromosom seks. Keturunan yang mengandung kedua gen tersebut akan memiliki rambut berwarna belang tiga (kaliko). Kucing jantan hitam dikawinkan dengan kucing betina oranye.
  - a. Buatlah diagram persilangan antara kucing jantan hitam dengan kucing betina oranye!
  - b. Jika kucing jantan dan betina pada F1 dikawinkan, tentukan perbandingan fenotipnya!

- Lakukan studi pustaka atau berdiskusi dengan teman dan tutor untuk membantu Anda menjawab pertanyaan!
- Tulislah jawaban Anda pada lembar jawaban!
- Kumpulkan hasil pekerjaan Anda pada tutor!

# UNIT 4

## POLA-POLA PEWARISAN SIFAT PADA MANUSIA

### Uraian Materi

#### Kata Kunci

- Albino
- Buta warna
- Determinasi seks
- Golongan darah
- Hemofilia
- *Pedigree*
- Polidaktil
- Sifat *carrier*



### A. Sifat Fisik yang Diturunkan

Sifat fisik pada manusia terpaut pada kromosom autosom sehingga anak laki-laki atau anak perempuan memiliki kemungkinan yang sama untuk mewarisi suatu sifat fisik dari orang tuanya. Berikut adalah Tabel 5.3 yang menunjukkan beberapa sifat fisik yang dapat diturunkan.

Tabel 5.3. Sifat Fisik Dominan dan Resesif pada Manusia

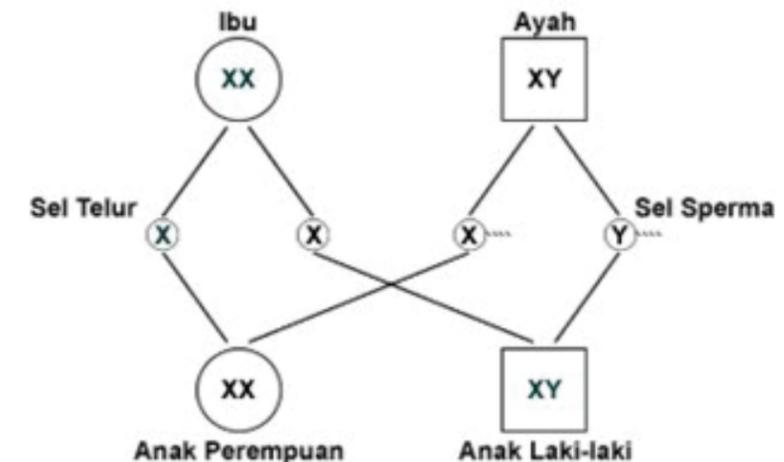
Sifat	Dominan	Resesif
Bentuk rambut	Keriting	Lurus
Warna rambut	Hitam	Warna lain
Mata	Sipit	Lebar
Warna bola mata	Cokelat	Biru/abu-abu
Bulu mata	Bulu mata panjang	Bulu mata pendek
Bentuk hidung	Lurus	Melengkung
Ukuran bibir	Tebal	Tipis
Dagu	Dagu tidak membelah	Dagu membelah
Lidah	Dapat digulung	Tidak dapat digulung
Pipi	Berlesung pipi	Tidak berlesung pipi
Bentuk telinga	Menggantung	Melekat
Rahang	Bersegi	Tidak bersegi
Tangan	Kidal	Tidak kidal

Variasi sifat-sifat tersebut dikendalikan oleh gen-gen yang bersifat dominan dan resesif. Jika gen dominan tersebut bersama-sama dengan gen resesif, maka sifat yang muncul adalah sifat dari gen dominan.



### B. Penentuan Jenis Kelamin pada Manusia

Jenis kelamin pada manusia dikendalikan oleh sepasang kromosom seks, yaitu, kromosom XX untuk perempuan dan kromosom XY untuk laki-laki. 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. Jika spermatozoa berkromosom X membuahi ovum berkromosom X maka akan menghasilkan anak perempuan (XX) dan jika spermatozoa berkromosom Y membuahi ovum berkromosom X maka akan menghasilkan anak laki-laki (XY).



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

Gambar 11. Diagram Determinasi Seks pada Manusia



### C. Golongan Darah

#### 1. Golongan Darah Sistem ABO

Pada golongan darah sistem ABO pada manusia memiliki alel  $I^A$ ,  $I^B$ , dan  $I^O$  dengan genotip  $I^A I^A$  dan  $I^A I^O$  untuk golongan darah A, genotip  $I^B I^B$  dan  $I^B I^O$  untuk golongan darah B, genotip  $I^A I^B$  untuk golongan darah AB, dan genotip  $I^O I^O$  untuk golongan darah O. Untuk lebih jelasnya, berikut adalah Tabel 5.4 mengenai fenotip, genotip, dan jenis gamet pada golongan darah sistem ABO.

**Tabel 5.4.** Genotip, Fenotip, dan Jenis Gamet Golongan Darah Sistem ABO

Genotip Golongan Darah	Fenotip Golongan Darah	Jenis Gamet
A homozigot ( $I^A I^A$ ) A heterozigot ( $I^A I^O$ )	A	$I^A$ $I^A$ dan $I^O$
B homozigot ( $I^B I^B$ ) B heterozigot ( $I^B I^O$ )	B	$I^B$ $I^B$ dan $I^O$
$I^A I^B$	AB	$I^A$ dan $I^B$
$I^O I^O$	O	$I^O$

Ketika ingin menghitung angka perbandingan keturunan hasil perkawinan pada golongan darah A dan B yang tidak diketahui apakah golongan darahnya bergenotip homozigot atau heterozigot maka akan dianggap bergenotip heterozigot.

**Contoh 1:**

Seorang wanita bergolongan darah B menikah dengan seorang pria bergolongan darah A. Bagaimana kemungkinan golongan darah anak-anaknya?

$P = \begin{matrix} \text{♀ } I^B I^O & \times & \text{♂ } I^A I^O \\ \text{(gol. B)} & & \text{(gol. A)} \end{matrix}$   
 $G = \begin{matrix} I^B, I^O & & I^A, I^O \end{matrix}$

Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet

	♀	$I^B$	$I^O$
♂	$I^A$	$I^A I^B$ (gol. AB)	$I^A I^O$ (gol. A)
	$I^O$	$I^B I^O$ (gol. B)	$I^O I^O$ (gol. O)

Maka,  $I^A I^O = 25\%$ ,  $I^B I^O = 25\%$ ,  $I^A I^B = 25\%$ , dan  $I^O I^O = 25\%$

Jadi, kemungkinan golongan darah anak-anaknya adalah A, B, AB, dan O masing-masing 25%

**Contoh 2:**

Mungkinkah sepasang suami-istri bergolongan darah AB dan O akan menghasilkan keturunan dengan golongan darah yang sama dengan kedua orangtuanya (AB dan O)?

$P = \begin{matrix} \text{♀ } I^A I^B & \times & \text{♂ } I^O I^O \\ \text{(gol. AB)} & & \text{(gol. O)} \end{matrix}$   
 $G = \begin{matrix} I^A, I^B & & I^O \end{matrix}$

Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet

	♀	$I^A$	$I^B$
♂	$I^O$	$I^A I^O$ (gol. A)	$I^B I^O$ (gol. B)

Maka,  $I^A I^O = 50\%$  dan  $I^B I^O = 50\%$

Jadi, kemungkinan golongan darah anak-anaknya adalah A dan B, tidak memungkinkan memiliki keturunan bergolongan darah AB dan O

**2. Golongan Darah Sistem MN**

Golongan darah sistem MN pada manusia memiliki alel  $I^M$  dan  $I^N$  dengan genotip  $I^M I^M$  untuk golongan darah M, genotip  $I^N I^N$  untuk golongan darah N, dan genotip  $I^M I^N$  untuk golongan darah MN. Untuk lebih jelasnya, berikut adalah Tabel 5.5 mengenai genotip, fenotip, dan jenis gamet golongan darah sistem MN.

**Tabel 5.5.** Genotip, Fenotip, dan Jenis Gamet Golongan Darah Sistem MN

Genotip Golongan Darah	Fenotip Golongan Darah	Jenis Gamet
$I^M I^M$	M	$I^M$
$I^N I^N$	N	$I^N$
$I^M I^N$	MN	$I^M$ dan $I^N$

**Contoh:**

Budi yang bergolongan darah M menikah dengan Siti yang bergolongan darah MN. Bagaimana kemungkinan golongan darah anak-anaknya?

$P = \begin{matrix} \text{♀ } I^M I^M \\ \text{(gol. M)} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{♂ } I^M I^N \\ \text{(gol. MN)} \end{matrix}$

$G = \begin{matrix} I^M & I^N \end{matrix}$

Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet

	♀	$I^M$	$I^N$
♂		$I^M I^M$ (gol. M)	$I^M I^N$ (gol. MN)

Maka,  $I^M I^M = 50\%$  dan  $I^M I^N = 50\%$   
 Jadi, kemungkinan golongan darah anak-anaknya adalah M dan MN.

### 3. Golongan Darah Sistem Rhesus (Rh)

Golongan darah sistem Rhesus (Rh) pada manusia memiliki alel Rh dan rh. Genotip RhRh dan Rhrh untuk golongan darah Rh<sup>+</sup> (rhesus positif) dan genotip rhrh untuk golongan darah Rh<sup>-</sup> (rhesus negatif). Golongan darah Rh<sup>+</sup> memiliki antigen rhesus dan menunjukkan reaksi penggumpalan terhadap antibodinya (zat anti-D). Untuk lebih jelasnya, berikut adalah Tabel 5.6 mengenai genotip, fenotip, jenis gamet, dan reaksi terhadap antibodi pada golongan sistem Rh.

Tabel 5.6. Genotip, Fenotip, Jenis Gamet, dan Reaksi terhadap Antibodi Golongan Darah Rh

Genotip Golongan Darah	Fenotip Golongan Darah	Jenis Gamet	Reaksi terhadap antibodi
RhRh (Rh <sup>+</sup> homozigot) Rhrh (Rh <sup>+</sup> heterozigot)	Rh <sup>+</sup>	Rh Rh dan rh	+ (terjadi penggumpalan)
Rhrh	Rh <sup>-</sup>	Rh	(tidak terjadi penggumpalan)

#### Contoh:

Tina bergolongan darah Rh<sup>+</sup> memiliki suami bergolongan darah Rh<sup>-</sup> memiliki suami bergolongan darah Rh<sup>+</sup>. Jika janin yang dikandungnya Rh<sup>+</sup>, tidak akan terjadi penggumpalan. Jika janin yang dikandungnya Rh<sup>-</sup>, pada awalnya darah ibu tidak membentuk antibody. Namun pada bulan-bulan akhir kehamilan, jika gerakan dan berat janin mengakibatkan pecahnya pembuluh kapiler plasenta maka terjadi perembesan darah janin yang mengandung antigen rhesus ke dalam darah ibu. Hal ini menyebabkan darah ibu membentuk antibodi untuk melawan antigen rhesus janin.

Pada umumnya, anak pertama akan lahir dengan selamat karena jumlah antibodi ibu masih sedikit. Namun pada kehamilan berikutnya akan mengalami **eritroblastosis fetalis** (kekurangan darah akibat sel-sel darah merah pecah) karena antibodi ibu dapat menggumpalkan darah janin yang dikandungnya. Diagram perkawinannya adalah sebagai berikut:

$P = \begin{matrix} \text{♀ } Rhrh \\ \text{(gol. Rh}^+\text{)} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{♂ } rhrh \\ \text{(gol. Rh}^-\text{)} \end{matrix}$

$G = \begin{matrix} Rh \text{ dan } rh & rh \end{matrix}$

Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet

	♀	Rh	rh
♂		Rhrh (gol. Rh <sup>+</sup> )	rhrh (gol. Rh <sup>-</sup> )

Rhrh (Rh<sup>+</sup>) : anak ke-1 lahir selamat, anak berikutnya mengalami eritroblastosis fetalis.  
 rhrh : bayi lahir selamat



## D. Kelainan dan Penyakit Genetik pada Manusia

Kelainan dan penyakit genetik pada manusia dapat disebabkan oleh alel-alel yang terpaut pada kromosom tubuh (autosom) maupun kromosom seks (gonosom). Alel-alel tersebut dapat bersifat dominan atau resesif. Umumnya kelainan dan pemyakit genetik disebabkan oleh alel resesif. Jika dalam keadaan heterozigot, individu bersifat *carrier* (bersifat normal tetapi dapat menurunkan sifat penyebab kelainan atau penyakit).

### 1. Kelainan dan Penyakit Genetik Terpaut Autosom

Kelainan yang dibawa oleh kromosom tubuh (autosom) dapat diderita oleh laki-laki atau perempuan serta dapat dikendalikan oleh alel dominan atau alael resesif. Berikut ini adalah beberapa kelainan dan penyakit genetik terpaut autosom.



Sumber: <http://muslimafiyah.com>

Gambar 12. Polidaktil

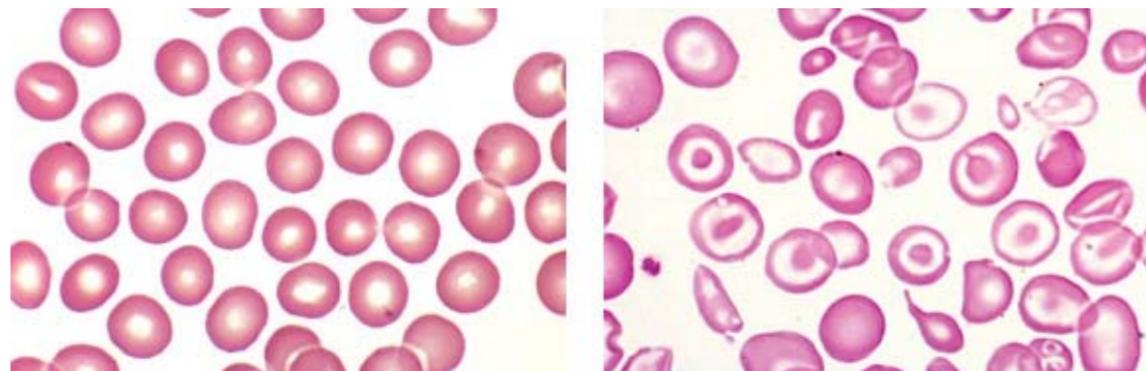
### Polidaktil

Polidaktil merupakan kelainan berupa jumlah jari pada tangan atau kaki lebih dari lima. Penderita polidaktil memiliki genotip homozigot dominan (PP) dan heterozigot (Pp) sedangkan individu normal memiliki genotip homozigot resesif (pp). Contoh diagram perkawinannya adalah sebagai berikut.

P	=	♀ PP (polidaktil)	><	♂ pp (normal)
G	=	P		p
F	=	Pp : polidaktil 100%		

### a. Talasemia

Talasemia merupakan kelainan sel darah merah berbentuk lonjong dan kecil sehingga daya ikat terhadap oksigen rendah dan mengakibatkan anemia. Penderita talasemia mayor (parah) memiliki genotip homozigot dominan (TT), talasemia minor (tidak parah) memiliki genotip heterozigot (Tt), dan individu normal memiliki genotip homozigot resesif (tt).



Sumber: <http://duniapatik.com>

Gambar 13. Perbandingan Sel Darah Normal (Kiri) dengan Sel Darah Penderita Talasemia (Kanan)

Contoh diagram perkawinannya adalah sebagai berikut:

P	=	♀ Tt (talasemia minor)	><	♂ Tt (talasemia minor)
G	=	T t		T t
F	=	TT : talasemia mayor (25%) Tt : talasemia minor (50%) Tt : normal (25%)		



Sumber: <http://muslimafiyah.com>

Gambar 14. Penderita Albino

### Albino

Albino merupakan kelainan tidak adanya pigmen pada kulit, rambut, dan mata. Penderita albino rentan terhadap kanker kulit dan tidak tahan sinar matahari. Penderita albino memiliki genotip homozigot resesif (aa), individu normal *carrier* memiliki genotip heterozigot dominan (Aa), dan individu normal memiliki genotip homozigot dominan (AA).

Contoh diagram perkawinannya adalah sebagai berikut:

P	=	♀ Aa (normal <i>carrier</i> )	><	♂ aa (albino)
G	=	A A		a
F	=	Aa : normal <i>carrier</i> (50%) aa : albino (50%)		

## 2. Kelainan dan Penyakit Genetik Terpaut Gonosom

Berikut ini adalah beberapa kelainan dan penyakit genetik terpaut gonosom.

### a. Buta warna

Buta warna merupakan kelainan mata yang tidak dapat mengenali warna-warna tertentu karena gangguan pada sel-sel kerucut mata. Buta warna disebabkan alel resesif dan terpaut pada kromosom X. Berikut adalah Tabel 5.7 mengenai genotip, fenotip, dan jenis gamet pada buta warna.

Tabel 5.7. Genotip, Fenotip, dan Jenis Gamet pada Buta Warna

Genotip	Fenotip	Jenis Gamet
$X^{BW}X^{BW}$	Wanita normal	$X^{BW}, X^{BW}$
$X^{BW}X^{bw}$	Wanita <i>carrier</i>	$X^{BW}, X^{bw}$
$X^{bw}X^{bw}$	Wanita buta warna	$X^{bw}, X^{bw}$
$X^{BW}Y$	Pria normal	$X^{BW}, Y$
$X^{bw}Y$	Pria buta warna	$X^{bw}, Y$

#### Contoh:

Seorang pria buta warna menikah dengan wanita normal. Bagaimana kemungkinan fenotip keturunannya?

P =	♀ $X^{BW}X^{BW}$ (wanita normal)	><	♂ $X^{bw}Y$ (pria buta warna)
G =	$X^{BW}$		$X^{bw}$ Y
F =	$X^{BW}X^{bw}$ : wanita <i>carrier</i> (50%) $X^{BW}Y$ : pria normal (50%)		

### b. Hemofilia

Hemofilia merupakan kelainan berupa darah sukar membeku ketika terjadi luka. Hemofilia disebabkan alel resesif dan terpaut kromosom X. Wanita bergenotip homozigot resesif bersifat letal. Berikut adalah Tabel 5.8 mengenai genotip, fenotip, dan gamet pada hemofilia.

Tabel 5.8. Genotip, Fenotip, dan Jenis Gamet pada Hemofilia

Genotip	Fenotip	Jenis Gamet
$X^HX^H$	Wanita normal	$X^H, X^H$
$X^HX^h$	Wanita <i>carrier</i>	$X^H, X^h$
$X^hX^h$	Wanita hemofilia (letal)	$X^h, X^h$
$X^HY$	Pria normal	$X^H, Y$
$X^hY$	Pria hemofilia	$X^h, Y$

#### Contoh:

Seorang pria hemofilia menikah dengan wanita *carrier* hemofilia. Bagaimana kemungkinan fenotip keturunannya?

P =	♀ $X^HX^h$ (wanita <i>carrier</i> )	><	♂ $X^hY$ (pria hemofilia)
G =	$X^H$ $X^h$		$X^h$ Y
F =	$X^HX^h$ : wanita <i>carrier</i> (25%) $X^hX^h$ : wanita hemofilia (25%) $X^HY$ : pria normal (25%) $X^hY$ : pria hemofilia (25%)		



Sumber: <http://healthline.com>

Gambar 15. Penderita Anodontia

#### Anodontia

Anodontia merupakan kelainan berupa gigi ompong (penderita tidak memiliki gigi). Anodontia disebabkan alel resesif dan terpaut kromosom X.

Berikut adalah Tabel 5.9 mengenai genotip, fenotip, dan jenis gamet pada anodontia.

Tabel 5.9. Genotip, Fenotip, dan Jenis Gamet pada Anadontia

Genotip	Fenotip	Jenis Gamet
$X^A X^A$	Wanita normal	$X^A, X^A$
$X^A X^a$	Wanita <i>carrier</i>	$X^A, X^a$
$X^a X^a$	Wanita anadontia (letal)	$X^a, X^a$
$X^A Y$	Pria normal	$X^A, Y$
$X^a Y$	Pria anadontia	$X^a, Y$

**Contoh:**

Seorang pria normal menikah dengan wanita anadontia. Bagaimana kemungkinan fenotip keturunannya?

P =	♀ $X^a X^a$ (wanita anadontia)	><	♂ $X^A Y$ (pria normal)
G =	$X^a$		$X^A$ Y
F =	$X^A X^a$ : wanita <i>carrier</i> (50%) $X^a Y$ : pria anadontia (50%)		

**c. Hypertrichosis**

*Hypertrichosis* merupakan kelainan berupa tumbuhnya rambut di bagian tertentu dari daun telinga, wajah, atau anggota tubuh lainnya. Usia tumbuhnya rambut dimulai dari sejak lahir atau selama masa pertumbuhan. *Hypertrichosis* sifatnya terpaut pada kromosom Y sehingga hanya laki-laki saja yang dapat menderita kelainan ini. Laki-laki *hypertrichosis* memiliki genotip  $XY^{Ht}$  sedangkan laki-laki normal memiliki genotip XY. Jika penderita *hypertrichosis* menikah maka sudah pasti akan memiliki keturunan anak laki-laki *hypertrichosis*.

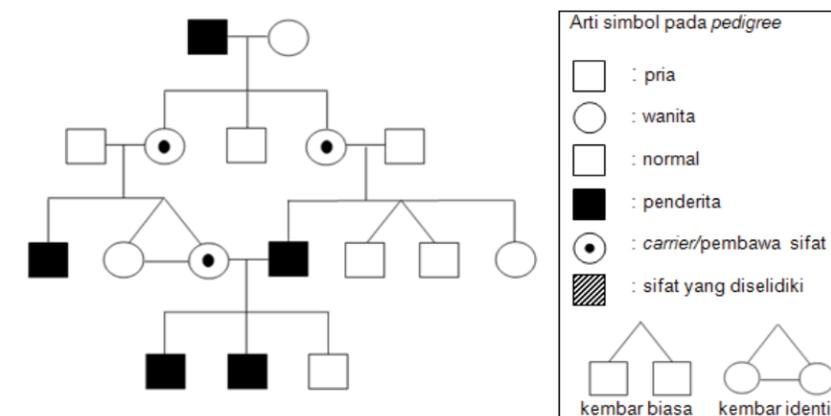
Ada juga kelainan dan penyakit yang tidak terpaut pada gonosom tetapi ekspresinya dipengaruhi oleh hormon kelamin, yaitu kebotakan. Kebotakan disebabkan oleh hormon testosteron sehingga laki-laki dominan menderita kebotakan dibandingkan perempuan. Berikut adalah Tabel 5.10 mengenai genotip dan fenotip pada kebotakan.

Tabel 5.10. Genotip dan Fenotip pada Kebotakan

Genotip	Fenotip	
	Pria	Wanita
BB	Botak	botak
Bb	Botak	normal
Bb	Normal	normal

**E. Peta Silsilah Keluarga (Pedigree)**

**Pedigree** dalam hereditas adalah diagram yang menunjukkan penurunan karakter-karakter tertentu dari leluhur/orangtua kepada keturunannya dari generasi ke generasi berikutnya. Perhatikan gambar contoh peta silsilah berikut!



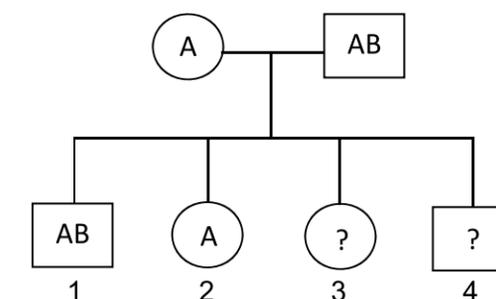
Sumber: Dokumentasi penulis

Gambar 16. Peta Silsilah (Pedigree)

Berikut ini adalah beberapa contoh soal mengenai *pedigree* dan diagram perkawinannya.

**Contoh 1:**

Perhatikan *pedigree* golongan darah berikut.



Sumber: Dokumentasi penulis

Bagaimana kemungkinan golongan darah anak ke-3 dan ke-4?

Karena pada salah satu orang tua tidak membawa gen  $I^O$ , maka tidak ada keturunan yang akan bergolongan darah O. Anggapha fenotip dan genotip ibu adalah golongan darah A heterozigot.

$$P = \begin{matrix} \text{♀ } I^A I^O & \times & \text{♂ } I^A I^B \\ \text{(gol. A)} & & \text{(gol. AB)} \end{matrix}$$

$$G = \begin{matrix} I^A, I^O & & I^A, I^B \end{matrix}$$

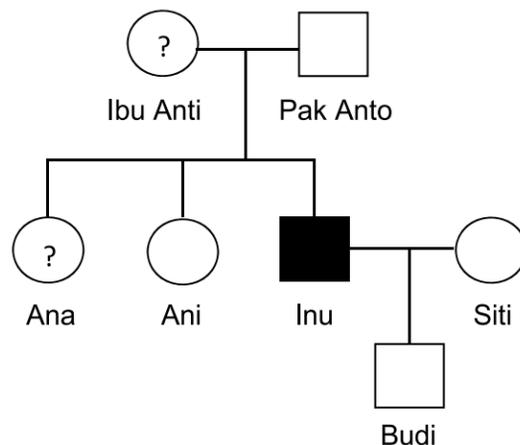
Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet

	♀	$I^A$	$I^O$
♂	$I^A$	$I^A I^A$ (gol. A)	$I^A I^O$ (gol. A)
	$I^B$	$I^A I^B$ (gol. AB)	$I^B I^O$ (gol. B)

Jadi, kemungkinan golongan darah anak-anaknya adalah gol. darah A 50%, gol. darah B 25%, dan gol. darah AB 25%.

**Contoh 2:**

Perhatikan *pedigree* pewarisan hemofilia berikut:



Sumber: Dokumentasi penulis

Bagaimana kemungkinan genotip pada Ibu Anti dan Ana?

Diketahui Inu menderita hemofilia memiliki genotip  $X^h Y$  karena mewarisi gen  $X^h$  dari ibunya. Karena ibu Anti tidak menderita hemofilia dapat disimpulkan bahwa dia bersifat *carrier*.

$$P = \begin{matrix} \text{♀ } X^H X^h & \times & \text{♂ } X^H Y \\ \text{(Ibu Anti)} & & \text{(Pak Anto)} \end{matrix}$$

$$G = \begin{matrix} X^H & & X^H \\ X^h & & Y \end{matrix}$$

Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet

	♀	$X^H$	$X^h$
♂	$X^H$	$X^H X^H$ (normal)	$X^H X^h$ ( <i>carrier</i> )
	Y	$X^H Y$ (normal)	$X^h Y$ (hemofilia)

Jadi, genotip ibu Anti adalah  $X^H X^h$  dan kemungkinan genotip Ana adalah  $X^H X^H$  atau  $X^H X^h$ .

**BIOINFO : Penyakit Genetik Lebih Rentan pada Pria dan Bisa Melompati Satu Generasi**



Sumber: <https://hellosehat.com>

Gambar 17. Pasangan Suami Istri dan Bayinya

Penyakit genetik atau keturunan yang disebabkan gen resesif lebih rentan diturunkan kepada anak laki-laki dikarenakan hanya memiliki satu kromosom X (kromosom XY). Sedangkan anak perempuan memiliki dua kromosom X (kromosom XX) sehingga hanya akan menderita penyakit genetik jika kedua kromosom X mewarisi gen penyebab penyakit.

Tidak selamanya penyakit genetik diturunkan kepada setiap generasi. Misalnya kakek Anda menderita suatu penyakit genetik tetapi ibu Anda tidak menderita penyakit tersebut. Justru penyakit tersebut muncul pada diri Anda. Hal ini bisa terjadi karena ibu Anda bersifat *carrier*, tidak menderita penyakit dan hanya membawa gen penyebab penyakit tersebut. Jadi, gen penyebab penyakit akan diwariskan dari generasi ke generasi tetapi penyakitnya dapat melompati suatu generasi.

## PENUGASAN UNIT 4

### Menganalisis *Pedigree* Kelainan atau Penyakit Menurun pada Manusia

#### ❖ Tujuan

Anda diharapkan mampu:

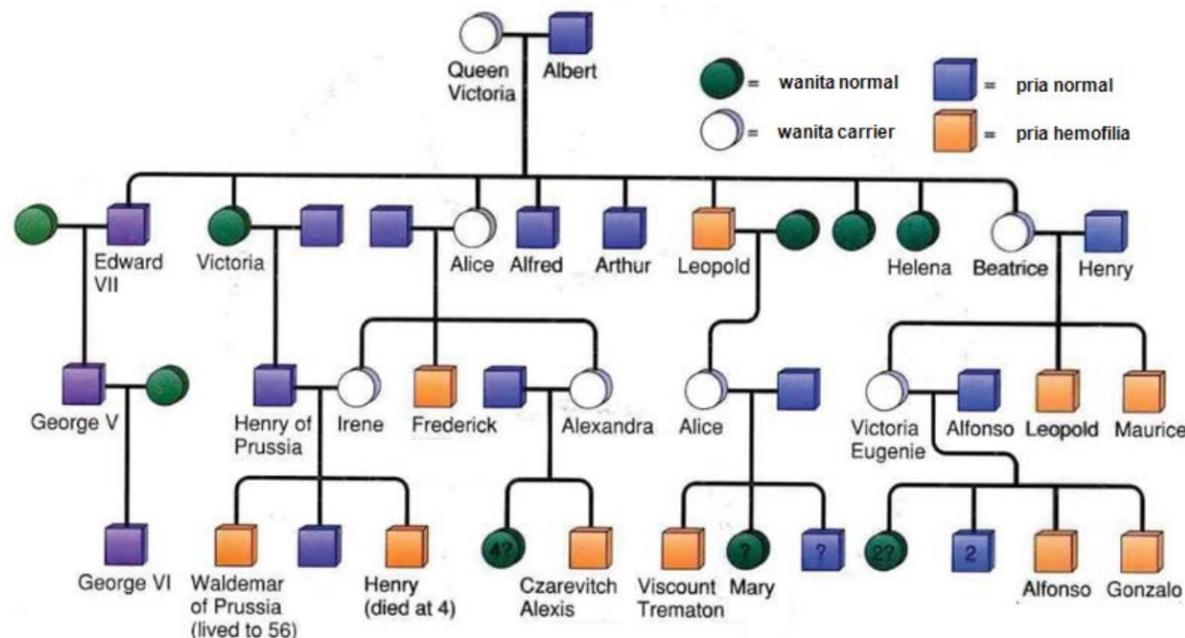
- Menjelaskan genotip dan fenotip kelainan dan penyakit menurun pada manusia
- Menganalisis *pedigree* yang menunjukkan adanya pewarisan kelainan atau penyakit genetik

#### ❖ Media

- Alat tulis
- Kertas/kertas karton
- Buku/sumber belajar lain yang mendukung

#### ❖ Langkah Penugasan

- Cermatilah *pedigree* penyakit menurun hemofilia pada keluarga kerajaan Inggris berikut kemudian jawablah pertanyaan!



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

Gambar 18. Peta silsilah Penyakit Hemofilia pada Keluarga Kerajaan Inggris

#### Pertanyaan

1. Buatlah diagram perkawinan antara Queen Victoria dan Albert kemudian tentukanlah perbandingan genotip dan fenotipnya! Apakah seluruh genotip hasil perkawinan muncul pada seluruh keturunannya?
2. Jika Alfonso pada generasi ke-IV menikah dengan wanita normal, bagaimana kemungkinan perbandingan fenotip keturunannya?
3. Jika Anda termasuk salah satu anggota keluarga kerajaan Inggris, apa yang akan Anda lakukan untuk mencegah kemunculan penyakit hemofilia pada generasi yang akan datang?

## RANGKUMAN

1. Hereditas adalah pewarisan sifat dari induk kepada keturunannya melalui gen
2. Hukum Mendel I menunjukkan bahwa pasangan alel dari kromosom homolog akan berpisah saat pembentukan gamet dan bertemu secara acak saat pembuahan
3. Hukum Mendel II menunjukkan bahwa setiap satu gen dari alel dapat berpasangan secara bebas dengan gen dari alel lain.
4. Persilangan monohybrid adalah persilangan dengan satu sifat beda dan jika F1 disilangkan sesamanya maka F2 memiliki perbandingan fenotip 3 : 1
5. Persilangan dihibrid adalah persilangan dengan dua sifat beda dan jika F1 disilangkan sesamanya maka F2 memiliki perbandingan fenotip 9 : 3 : 3 : 1
6. Ada tiga macam penyilangan, yaitu persilangan resiprok, *test cross*, dan *back cross*
7. Jumlah gamet yang dihasilkan oleh individu dapat dihitung dengan menggunakan rumus  $2^n$
8. Penyimpangan semu pada hukum Mendel karena interaksi antar alel dibedakan atas kodominan, dominansi tidak penuh, alel ganda, dan alel letal.
9. Penyimpangan semu pada hukum Mendel karena interaksi antar gen dibedakan atas atavisme, epistasis-hipostasis, polimeri, kriptomeri, dan komplementer.
10. Tautan adalah peristiwa dua gen atau lebih yang terletak pada kromosom yang sama dan tidak dapat memisah secara bebas (saling terikat) saat pembentukan gamet.
11. Pindah silang adalah peristiwa pertukaran gen-gen pada suatu kromosom dengan gen-gen pada kromosom lainnya.
12. Gagal berpisah adalah peristiwa gagalnya satu atau lebih kromosom untuk berpisah pada saat pembelahan meiosis.
13. Kelainan dan penyakit genetik pada manusia dapat disebabkan oleh alel yang terpaut pada autosom, gonosom, dan hormon kelamin.

## LATIHA SOAL

### A. Soal Pilihan Ganda

#### Pilihlah jawaban yang tepat!

1. Dalam hukum Mendel I dijelaskan bahwa pemisahan alel secara bebas terjadi pada saat . . . .
  - A. pembentukan zigot
  - B. terjadinya fertilisasi
  - C. pembentukan gamet
  - D. terjadinya persilangan
  - E. pembentukan sel-sel tubuh
2. Jumlah gamet yang dihasilkan oleh individu bergenotip PpQQRrSSTt adalah .
  - A. 4
  - B. 6
  - C. 8
  - D. 10
  - E. 16
3. Jenis gamet yang dapat terbentuk pada individu bergenotip VvWwXX jika gen V bertautan dengan gen W adalah . . . .
  - A. VWX dan vwX
  - B. VW, VX, dan WX
  - C. VW, vw, vX, dan wX
  - D. VwX, vWX, dan vwX
  - E. VWX, VwX, vWX, dan vwX
4. Tanaman ercis memiliki sifat biji bulat (B), biji keriput (b), batang tinggi (T), dan batang pendek (t). Jika tanaman ercis biji keriput berbatang tinggi (bbTt) disilangkan dengan tanaman ercis biji bulat berbatang tinggi (BbTt), maka persentase keturunan yang bersifat biji bulat berbatang tinggi sebanyak . . . .
  - A. 6, 25%
  - B. 12,5%
  - C. 37,5%
  - D. 42,5%
  - E. 50%
5. Pak Sain menyilangkan galur murni tanaman ercis berbiji bulat kuning (BBKK) dengan tanaman ercis berbiji keriput hijau (bbkk). Persilangan dilakukan sampai keturunan F2 dengan menyilangkan F1 sesamanya dengan menghasilkan biji sejumlah 3.200 buah.

Jumlah keturunan F2 yang berfenotip berbiji bulat kuning dan berbiji keriput hijau berturut-turut adalah . . . .

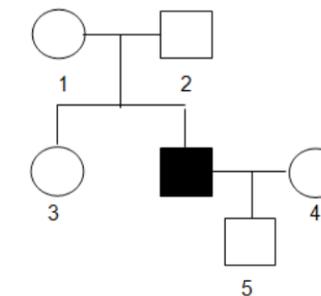
- A. 600 dan 200
  - B. 1.200 dan 200
  - C. 1.800 dan 200
  - D. 1.800 dan 600
  - E. 1.800 dan 1.200
6. Pada persilangan dua varietas ercis berbunga ungu dengan ercis berbunga putih menghasilkan keturunan F1 yang keseluruhannya berfenotip berbunga ungu. Jika F1 disilangkan sesamanya, maka diperoleh 3 : 1. Berdasarkan persilangan tersebut, peristiwa dominansi penuh dapat dilihat dari . . . .
    - A. genotip pada F1
    - B. genotip dan fenotip F2
    - C. fenotipe pada salah satu induknya
    - D. genotip pada salah satu induknya
    - E. kedua varietas ercis yang disilangkan
  7. Persilangan antara gandum berkulit hitam homozigot dengan gandum berkulit kuning homozigot menghasilkan F1 yang semuanya berkulit hitam. Jika terjadi peristiwa epistasis dominan, rasio fenotip pada F2 hitam : kuning : putih adalah . . . .
    - A. 1 : 2 : 1
    - B. 9 : 6 : 1
    - C. 9 : 3 : 4
    - D. 12 : 3 : 4
    - E. 12 : 3 : 1
  8. Bunga berwarna putih disilangkan sesamanya menghasilkan keturunan F1 bunga berwarna merah. Jika berwarna merah disilangkan dengan sesamanya akan diperoleh rasio fenotip F2 bunga berwarna merah : bunga berwarna putih sebesar 9 : 7. Peristiwa pola hereditas yang terjadi adalah . . . .
    - A. polimeri
    - B. kriptomeri
    - C. intermediet
    - D. komplementer
    - E. epistasis-hipostasis

9. Warna bunga pada *Linaria maroccana* diatur oleh gen A untuk warna merah, gen B dan b untuk warna putih, dan jika kedua gen A dan B bertemu, maka muncul warna ungu. Bunga *Linaria maroccana* berwarna ungu (AaBB) disilangkan dengan *Linaria maroccana* berwarna putih (aaBb). Berapakah persentase keturunannya berwarna ungu?
- A. 0%      B. 25%      C. 50%      D. 75%      E. 100%
10. Jika ayam berpial *walnut* (RrPp) disilangkan dengan ayam berpial *pea* (rrPp), maka persentase dihasilkannya keturunan berpial *single* adalah . . . .
- A. 6,25%      B. 12,5%      C. 37,5%      D. 50%      E. 56,25%
11. Persilangan pohon jeruk buah bulat manis (BBMM) disilangkan dengan pohon jeruk buah oval asam (bbmm) menghasilkan F1. Setelah itu, F1 disilangkan sesamanya. Jika gen-gen dapat berpisah dan berpasangan secara bebas, pernyataan yang tidak sesuai adalah . . . .
- A. F1 bergenotip BbMM  
B. muncul sifat baru pada F2  
C. seluruh keturunan F1 berbuah bulat manis  
D. perbandingan fenotip F2 adalah 9 : 3 : 3 : 1  
E. sebagian besar keturunan F2 memiliki sifat sama dengan F1
12. Pada peristiwa epistasis dan hipostasis dominan, gen merah (M) bersifat epistasis dan gen kuning bersifat hipostasis. Jika semua alelnya resesif, maka menghasilkan bunga berwarna putih. Tanaman bergenotip MmKk (berbunga merah) disilangkan dengan tanaman bergenotip mmKk (berbunga kuning) akan menghasilkan . . . .
- A. merah : kuning = 1 : 1  
B. merah : kuning = 3 : 1  
C. merah : kuning : putih = 2 : 1 : 1  
D. merah : kuning : putih = 3 : 1 : 1  
E. merah : kuning : putih = 4 : 3 : 1
13. Warna rambut pada kucing diatur oleh gen B (hitam) dan gen b (oranye). Keturunan yang mengandung kedua gen tersebut akan memiliki rambut berwarna belang tiga (kaliko). Warna rambut kucing terpaut pada kromosom X. Persentase kemungkinan anak kucing kaliko (belang tiga) adalah . . . .
- A. 0%.      B. 25%      C. 50%      D. 75%      E. 100%
14. *Drosophila* jantan bersayap panjang berbadan lebar (VvAa) disilangkan dengan *Drosophila* betina bersayap pendek berbadan kecil (vvaa). Jika gen V terpaut gen A dan gen v terpaut gen a, keturunannya akan memiliki perbandingan genotip sebesar . . . .

- A. 1 : 1  
B. 3 : 1  
C. 9 : 3 : 4  
D. 9 : 3 : 3 : 1  
E. 1 : 1 : 1 : 1

15. Hasil persilangan antara mangga buah bulat rasa manis (BBMM) disilangkan dengan mangga lonjong rasa asam (bbmm) diperoleh F1 yang semuanya memiliki buah bulat rasa manis (BbMm). Jika F1 disilangkan dengan tanaman bergenotip Bbmm dan diperoleh keturunan sebanyak 320, maka jumlah keturunan yang memiliki buah bulat rasa manis adalah . . . . (Soal UN 2014)
- A. 40      B. 80      C. 120      D. 160      E. 200

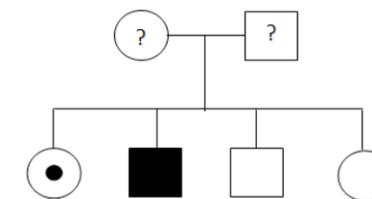
16. Perhatikan *pedigree* pewarisan hemofilia berikut.



Sumber: Dokumentasi penulis

- Berdasarkan *pedigree* di atas, dapat dipastikan bahwa individu *carrier* ditunjukkan oleh nomor . . . .
- A. 1      B. 2      C. 3      D. 4      E. 5

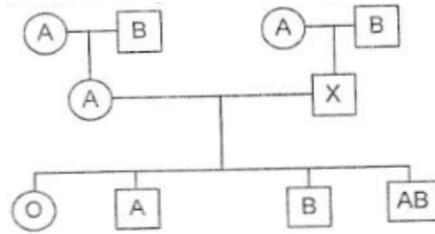
17. Perhatikan *pedigree* pewarisan hemofilia berikut.



Sumber: Dokumentasi penulis

- Kemungkinan genotip kedua orang tuanya adalah . . . .
- A.  $X^H X^H$  dan  $X^h Y$   
B.  $X^H X^h$  dan  $X^H Y$   
C.  $X^H X^h$  dan  $X^h Y$   
D.  $X^h X^h$  dan  $X^H Y$   
E.  $X^h X^h$  dan  $X^h Y$

18. Perhatikan peta silsilah pewarisan golongan darah berikut!



Individu X memiliki golongan darah . . . . (Soal UN Biologi 2017)

- A. heterozigot
- B. homozigot
- C. heterozigot
- D. AB
- E. O

19. Seorang pria normal menikah dengan wanita *carrier* buta warna. Jika anak perempuannya yang normal menikah dengan laki-laki buta warna, kemungkinan persentase anak yang lahir dari perkawinan menderita buta warna adalah . . . .

- A. 0%
- B. 25%
- C. 50%
- D. 75%
- E. 100%

20. Kelainan genetik yang terpaut pada kromosom X adalah . . . .

- A. albino, polidaktil, talasemia
- B. albino, hemofilia, Huntington
- C. polidaktil, brakidaktil, dan sindaktil
- D. hemofilia, talasemia, dan Huntington
- E. buta warna, hemofilia, dan anodontia

## B. Soal Uraian

Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Jelaskan perbedaan hukum Mendel I dan hukum Mendel III!
2. Pak Subur menyilangkan tanaman jeruk berbuah manis batang tinggi dengan jeruk berbuah asam batang pendek yang menghasilkan keturunan yang memiliki sifat berbuah manis batang tinggi, buah manis batang pendek, buah asam batang tinggi, dan buah asam batang pendek. Sifat rasa manis dan batang tinggi merupakan sifat dominan. Bagaimana kemungkinan genotip dan fenotip kedua tanaman induk beserta keturunannya?
3. Tuliskan masing-masing perbandingan fenotip F2 pada peristiwa atavisme, epistasis dominan, epistasis resesif, polimeri, kriptomeri, dan komplementer!
4. Seorang wanita menikah dengan pria normal. Wanita tersebut memiliki ayah yang menderita hemofilia dan ibu yang normal. Bagaimana kemungkinan fenotip keturunannya?
5. Seorang wanita bermata normal dan berkulit albino menikah dengan pria buta warna dan berkulit normal heterozigot. Bagaimana perbandingan fenotip keturunannya?

## KRITERIA PINDAH MODUL

- Anda dinyatakan tuntas dan dapat mengikuti modul berikutnya dengan ketentuan telah menyelesaikan tugas-tugas dan latihan soal dalam modul dan nilai hasil belajar mencapai ketuntasan minimal 70. Anda minta tutor untuk menguji pemahaman Anda terhadap modul ini sebelum Anda melanjutkan ke modul berikutnya.
- Jika penguasaan materi belum mencapai nilai ketuntasan 70 jangan berkecil hati dan tetap semangat. Ulangi dengan membaca kembali uraian materi dalam modul, kemudian coba lagi untuk mengerjakan soal latihan khususnya pada soal yang Anda rasakan sulit untuk menjawabnya. Anda juga dapat meminta bantuan Tutor untuk membantu Anda.

## KRITERIA PENILAIAN

### A. RUBRIK PENUGASAN

#### 1. PENUGASAN UNIT 1

##### PENUGASAN UNIT 1.1.

No	Kriteria	Skor dan Deskripsi
1.	Data pengamatan hasil simulasi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ada banyak data yang diperoleh dan pengisian tabel hasil pengamatan tidak sesuai</li> <li>2. Ada sedikit data yang diperoleh dan pengisian tabel hasil pengamatan kurang sesuai</li> <li>3. Data yang diperoleh dan pengisian tabel hasil pengamatan sudah sesuai</li> </ol>
2.	Kesesuaian diagram persilangan dengan data hasil simulasi/hukum Mendel I	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diagram persilangan tidak sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel I</li> <li>2. Diagram persilangan kurang sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel I</li> <li>3. Diagram persilangan sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel I</li> </ol>
3.	Kesesuaian perbandingan fenotip hasil simulasi dengan perbandingan hukum Mendel I	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perbandingan fenotip hasil simulasi beda jauh dengan perbandingan hukum Mendel I</li> <li>2. Ada satu angka perbandingan fenotip hasil simulasi yang tidak sesuai dengan perbandingan hukum Mendel I</li> <li>3. Angka-angka perbandingan fenotip hasil simulasi hampir sama dengan perbandingan hukum Mendel I</li> </ol>
4.	Kesesuaian kesimpulan dengan data hasil simulasi/hukum Mendel I	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kesimpulan tidak sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel I</li> <li>2. Kesimpulan kurang sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel I</li> <li>3. Kesimpulan sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel I</li> </ol>

##### KRITERIA PENILAIAN

Total Skor	Nilai	Total Skor	Nilai
12	100	7	80
11	96	6	75
10	92	5	70
9	88	4	65
8	84		

#### PENUGASAN UNIT 1.2.

No	Kriteria	Skor dan Deskripsi
1.	Data pengamatan hasil simulasi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ada banyak data yang diperoleh dan pengisian tabel hasil pengamatan tidak sesuai</li> <li>2. Ada sedikit data yang diperoleh dan pengisian tabel hasil pengamatan kurang sesuai</li> <li>3. Data yang diperoleh dan pengisian tabel hasil pengamatan sudah sesuai</li> </ol>
2.	Kesesuaian diagram persilangan dengan data hasil simulasi/hukum Mendel II	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diagram persilangan tidak sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel II</li> <li>2. Diagram persilangan kurang sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel II</li> <li>3. Diagram persilangan sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel II</li> </ol>
3.	Kesesuaian perbandingan fenotip hasil simulasi dengan perbandingan hukum Mendel II	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perbandingan fenotip hasil simulasi beda jauh dengan perbandingan hukum Mendel II</li> <li>2. Ada satu angka perbandingan fenotip hasil simulasi yang tidak sesuai dengan perbandingan hukum Mendel II</li> <li>3. Angka-angka perbandingan fenotip hasil simulasi hampir sama dengan perbandingan hukum Mendel II</li> </ol>
4.	Kesesuaian kesimpulan dengan data hasil simulasi/hukum Mendel II	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kesimpulan tidak sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel II</li> <li>2. Kesimpulan kurang sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel II</li> <li>3. Kesimpulan sesuai dengan data hasil simulasi/hukum Mendel II</li> </ol>

##### KRITERIA PENILAIAN

Total Skor	Nilai	Total Skor	Nilai
12	100	7	80
11	96	6	75
10	92	5	70
9	88	4	65
8	84		

## 2. PENUGASAN UNIT 2

No	Kriteria	Skor dan Deskripsi
1.	Data pengamatan hasil simulasi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ada banyak data yang diperoleh dan pengisian tabel hasil pengamatan tidak sesuai</li> <li>2. Ada sedikit data yang diperoleh dan pengisian tabel hasil pengamatan kurang sesuai</li> <li>3. Data yang diperoleh dan pengisian tabel hasil pengamatan sudah sesuai</li> </ol>
2.	Kesesuaian diagram persilangan dengan data hasil simulasi dan konsep epistasis-hipostasis	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diagram persilangan tidak sesuai dengan data hasil simulasi dan konsep epistasis-hipostasis</li> <li>2. Diagram persilangan kurang sesuai dengan data hasil simulasi dan konsep epistasis-hipostasis</li> <li>3. Diagram persilangan sesuai dengan data hasil simulasi dan konsep epistasis-hipostasis</li> </ol>
3.	Kesesuaian kesimpulan dengan data hasil simulasi dan konsep epistasis-hipostasis	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kesimpulan tidak sesuai dengan data hasil simulasi dan konsep epistasis-hipostasis</li> <li>2. Kesimpulan kurang sesuai dengan data hasil simulasi dan konsep epistasis-hipostasis</li> <li>3. Kesimpulan sesuai dengan data hasil simulasi dan konsep epistasis-hipostasis</li> </ol>
4.	Kesesuaian perbandingan fenotip hasil simulasi dengan perbandingan pada konsep epistasis-hipostasis	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perbandingan fenotip hasil simulasi beda jauh dengan perbandingan pada konsep epistasis-hipostasis</li> <li>2. Ada satu angka perbandingan fenotip hasil simulasi yang tidak sesuai dengan perbandingan pada konsep epistasis-hipostasis</li> <li>3. Angka-angka perbandingan fenotip hasil simulasi hampir sama dengan perbandingan pada konsep epistasis-hipostasis</li> </ol>

### KRITERIA PENILAIAN

Total Skor	Nilai	Total Skor	Nilai
12	100	7	80
11	96	6	75
10	92	5	70
9	88	4	65
8	84		

## 3. PENUGASAN UNIT 3

No. Soal	Kriteria Penskoran
1.	Skor maksimal adalah 50 dengan rincian: Untuk soal 1.a, jika diagram persilangan sudah sesuai maka memperoleh skor 30, jika ada kesalahan pada penentuan gamet atau penentuan genotip maka memperoleh skor 10 Untuk soal 1.b, jika perbandingan fenotipnya sudah sesuai maka memperoleh skor 20
2.	Skor maksimal adalah 50 dengan rincian: Untuk soal 2.a, jika diagram persilangan sudah sesuai maka memperoleh skor 30, jika ada kesalahan pada penentuan gamet atau penentuan genotip maka memperoleh skor 10 Untuk soal 2.b, jika perbandingan fenotipnya sudah sesuai maka memperoleh skor 30, jika perbandingan fenotipnya sudah sesuai maka memperoleh skor 20
<b>Nilai = Total Skor Jawaban 1 + Total Skor Jawaban 2</b>	

## 4. PENUGASAN UNIT 4

No. Soal	Kriteria Penskoran
1.	Jika diagram persilangan dan perbandingan fenotip sudah sesuai maka memperoleh skor 40, jika ada kesalahan pada penentuan gamet, penentuan genotip, atau penentuan fenotip maka memperoleh skor 10
2.	Jika diagram persilangan dan perbandingan fenotip sudah sesuai maka memperoleh skor 30, jika ada kesalahan pada penentuan gamet, penentuan genotip, atau penentuan fenotip maka memperoleh skor 10
3.	Jika pada jawaban menuliskan tentang <b>menghindari pernikahan sesama kerabat dekat</b> , maka memperoleh skor 20 Jika pada jawaban menuliskan cara lain selain hal yang dijelaskan di atas, maka memperoleh skor 10
<b>Nilai = Total Skor Jawaban 1 + Total Skor Jawaban 2 + Total Skor Jawaban 3</b>	

## 5. NILAI AKHIR PENUGASAN

Nilai akhir penugasan dapat Anda peroleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{\text{Nilai Penugasan Unit 1.1.} + \text{Nilai Penugasan Unit 1.2} + \text{Nilai Penugasan Unit 2} + \text{Nilai Penugasan Unit 3} + \text{Nilai Penugasan Unit 4}}{5}$$

## B. RUBRIK PENILAIAN LATIHAN SOAL

### 1. PILIHAN GANDA

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

### 2. SOAL URAIAN

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

No	Skor	Deskripsi
1.	15	Jika pada jawaban menjelaskan satu perbedaan saja, maka memperoleh skor 10 Jika pada jawaban menjelaskan lebih dari satu perbedaan, maka memperoleh skor 15
2.	25	Jika genotip kedua parental sudah tepat dilengkapi dengan diagram persilangan, maka memperoleh skor 25 Jika Salah satu genotip parental kurang tepat, maka memperoleh skor 15
3.	15	Untuk setiap perbandingan fenotip yang tepat memperoleh skor 2,5
4.	15	Jika penentuan genotip kedua parental sudah tepat, maka memperoleh skor 5 Jika penentuan fenotip sudah tepat, maka memperoleh skor 10
5.	30	Jika diagram persilangan albino dan fenotip yang diperoleh sudah tepat, maka memperoleh skor 15 Jika diagram persilangan buta warna dan fenotip yang diperoleh sudah tepat, maka memperoleh skor 15

### 3. NILAI AKHIR LATIHAN SOAL

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

$\frac{\text{Nilai Latihan Soal Pilihan Ganda} + \text{Nilai Latihan Soal Uraian}}{2}$
----------------------------------------------------------------------------------------

## C. NILAI AKHIR MODUL

Nilai akhir modul dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

$\frac{\text{Nilai Akhir Penugasan} + \text{Nilai Akhir Latihan Soal}}{2}$
----------------------------------------------------------------------------

## KUNCI JAWABAN DAN PEMBAHASAN

### A. Penugasan Unit 1.1.

- Masing-masing kedua wadah diisi 25 biji kacang warna hitam dan warna putih sehingga genotip untuk kedua parental adalah Hh. Diagram persilangannya adalah sebagai berikut:

P =	♀ Hh (hitam)	><	♂ Hh (hitam)									
G =	H h		H h									
F =	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 5px;">♀ ♂</td> <td style="padding: 5px;">H</td> <td style="padding: 5px;">h</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">H</td> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">HH (hitam)</td> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">Hh (hitam)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">h</td> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">Hh (hitam)</td> <td style="padding: 5px;">hh (putih)</td> </tr> </table>	♀ ♂	H	h	H	HH (hitam)	Hh (hitam)	h	Hh (hitam)	hh (putih)		
♀ ♂	H	h										
H	HH (hitam)	Hh (hitam)										
h	Hh (hitam)	hh (putih)										

Perbandingan genotip F2 adalah HH : Hh : hh adalah 1 : 2 : 1.  
Perbandingan fenotip F2 adalah hitam : putih adalah 3 : 1.

Jika simulasi yang dilakukan sesuai dengan prosedur, maka perbandingan genotip dan fenotip yang diperoleh sesuai dengan hukum Mendel I, yaitu 1 : 2 : 1 dan 3 : 1. Misalnya pada simulasi diperoleh data sebagai berikut:

Genotip	Fenotip	Turus	Jumlah
HH	Hitam		13
Hh	Hitam		24
Hh	Putih		13
Jumlah Total			50

Maka perbandingannya fenotipnya adalah 13 : 24 : 13 lalu disederhanakan (sama-sama dibagi 13) menjadi 1 : 1,85 : 1. Angka 1,85 dapat dibulatkan menjadi 2 sehingga perbandingannya menjadi 1 : 2 : 1.

- Kesimpulan hasil simulasi adalah terbukti bahwa persilangan monohibrid terjadi segregasi bebas dan memiliki perbandingan genotip F2 adalah 1 : 2 : 1 dan perbandingan fenotip F2 adalah 3 : 1.

## B. Penugasan Unit 1.2.

1. Masing-masing kedua wadah diisi 16 pasangan kancing dengan 4 sifat, yaitu bulat merah, bulat putih, lonjong merah, dan lonjong putih sehingga genotip untuk kedua parental adalah BbMm. Diagram persilangannya adalah sebagai berikut:

P = ♀ BbMm (bulat merah) >< ♂ BbMm (bulat merah)

G = BM, Bm, bM, bm      BM, Bm, bM, bm

Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet

♀ \ ♂	BM	Bm	bM	bm
BM	BBMM 1	BBMm 2	BbMM 3	BbMm 4
Bm	BBMm 5	BBmm 6	BbMm 7	Bbmm 8
bM	BbMM 9	BbMm 10	bbMM 11	bbMm 12
bm	BbMm 13	Bbmm 14	bbMm 15	bbmm 16

F =

Keterangan:

- BBMM (bulat merah) = 1
- BBMm (bulat merah) = 2, 5
- BbMM (bulat merah) = 3, 9
- BbMm (bulat merah) = 4, 7, 10, 13
- BBmm (bulat putih) = 6
- Bbmm (bulat putih) = 8, 14
- bbMM (lonjong merah) = 11
- bbMm (lonjong merah) = 12, 15
- bbmm (lonjong putih) = 16

### Perbandingan genotip

BBMM : bbmm adalah 1 : 2 : 2 : 4 : 1 : 2 : 1 : 2 : 1 atau B\_M\_ : B\_mm : bbM\_ : bbmm adalah 9 : 3 : 3 : 1.

### Perbandingan fenotip

Bulat merah : bulat putih : lonjong merah : lonjong putih adalah 9 : 3 : 3 : 1.

2. Jika melakukan simulasi sesuai prosedur, maka gen yang selalu muncul menurut hasil perhitungan adalah gen B (bulat) dan gen M (merah).
3. Jika simulasi yang dilakukan sesuai dengan prosedur, maka perbandingan fenotip F2 yang diperoleh sesuai dengan hukum Mendel II, yaitu 9 : 3 : 3 : 1. Misalnya pada hasil simulasi diperoleh data sebagai berikut:

Genotip	Fenotip	Turus	Jumlah
BBMM	Bulat merah	II	2
BBMm	Bulat merah	II	2
BbMM	Bulat merah	IIII	5
BbMm	Bulat merah	IIII IIII	9
BBmm	Bulat putih	III	3
Bbmm	Bulat putih	IIII	4
bbMM	Lonjong merah	II	2
bbMm	Lonjong merah	III	3
Bbmm	Lonjong putih	II	2
Jumlah Total			32

Maka perbandingan fenotip F2 antara B\_M\_ : B\_mm : bbM\_ : bbmm adalah 18 : 7 : 5 : 2 dan dapat disederhanakan (sama-sama dibagi 2) menjadi 9 : 3,5 : 2,5 : 1. Terlihat bahwa perbandingan fenotip hasil simulasi tidak jauh beda dengan perbandingan fenotip hukum Mendel II, yaitu 9 : 3 : 3 : 1.

4. Kesimpulan hasil simulasi adalah terbukti bahwa persilangan dihibrid terjadi assortasi bebas dan perbandingan fenotip F2 adalah 9 : 3 : 3 : 1.



## C. Penugasan Unit 2

1. Pada tabel hasil pengamatan telah ditentukan genotip pada F2 sebanyak 9 genotip. Untuk menghasilkan genotip-genotip tersebut, maka genotip kedua parental yang sesuai adalah PpMm. Berikut adalah diagram persilangannya.

P = ♀ PpMm (putih) >< ♂ PpMm (putih)

G = PM, Pm, pM, pm      PM, Pm, pM, pm

Bisa diperoleh dengan menggunakan kotak Punnet

♀ \ ♂	PM	Pm	pM	pm
PM	PPMM (putih)	PPMm (putih)	PpMM (putih)	PpMm (putih)
Pm	PPMm (putih)	PPmm (putih)	PpMm (putih)	Ppmm (putih)
pM	PpMM (putih)	PpMm (putih)	ppMM (merah)	ppMm (merah)
Pm	PpMm (putih)	Ppmm (putih)	ppMm (merah)	ppmm (ungu)

F =

Berdasarkan jumlah macam gamet yang terbentuk, maka persilangan ini termasuk persilangan dihibrid.

- Jumlah fenotip yang terbentuk pada simulasi adalah tiga, yaitu putih, merah, dan ungu.
- Jika simulasi yang dilakukan sesuai dengan prosedur, maka perbandingan fenotip F2 yang diperoleh adalah 12 : 3 : 1. Misalnya pada hasil simulasi diperoleh data sebagai berikut:

Genotip	Fenotip	Turus	Jumlah
PPMM	Putih	II	2
PPMm	Putih	IIII II	7
PpMM	Putih	IIII I	6
PpMm	Putih	IIII IIII IIII	14
PPmm	Putih	III	3
Ppmm	Putih	IIII	5
ppMM	Merah	III	3
ppMm	Merah	IIII II	7
Ppmm	Ungu	III	3
Jumlah Total			50

Maka perbandingan fenotip antara putih : merah : ungu adalah 37 : 10 : 3 dan dapat disederhanakan (sama-sama dibagi 3) menjadi 12,3 : 3,3 : 1. Terlihat bahwa perbandingan fenotip hasil simulasi tidak jauh beda dengan perbandingan fenotip epistasis dominan penyimpangan semu hukum Mendel II, yaitu 12 : 3 : 1.

- Kesimpulan hasil simulasi adalah terbukti bahwa persilangan epistasis dominan menghasilkan perbandingan fenotip F2 sebesar 12 : 3 : 1.

## D. Penugasan Unit 3

- a. Diagram persilangannya adalah:

P1 =	♀ CCSS (sayap normal, dada bergaris)	><	♂ ccss (sayap keriput, dada polos)
G =	CS		cs
F1 =	CcSs (sayap normal, dada bergaris)		
P2 =	♀ CcSs (sayap normal, dada bergaris)	><	♂ CcSs (sayap normal, dada bergaris)
G =	CS, cs		CS, cs

F2 =	♀ \ ♂	CS	cs
	CS	CCSS (sayap normal, dada polos)	CcSs (sayap normal, dada polos)
	Cs	CcSs (sayap normal, dada polos)	ccss (sayap keriput, dada bergaris)

- Perbandingan fenotip F2 adalah lalat buah bersayap normal dada polos : lalat buah bersayap keriput dada bergaris = 3 : 1

P1 =	♀ X <sup>M</sup> X <sup>M</sup> (mata merah)	><	♂ X <sup>m</sup> Y (mata putih)
G =	X <sup>M</sup>		X <sup>m</sup> , Y
F1 =	X <sup>M</sup> X <sup>m</sup> (mata merah) X <sup>M</sup> Y (mata merah)		
Seluruh F1 berfenotip mata merah, baik jantan maupun betina			

- Diagram persilangannya adalah:

P1 =	X <sup>B</sup> Y (jantan hitam)	><	X <sup>b</sup> X <sup>b</sup> (betina oranye)
G =	X <sup>B</sup> Y		X <sup>b</sup>
F1 =	X <sup>B</sup> X <sup>b</sup> (betina kaliko) X <sup>b</sup> Y (jantan oranye)		

- Diagram persilangannya adalah:

P2 =	X <sup>b</sup> Y (jantan oranye)	><	X <sup>B</sup> X <sup>b</sup> (betina kaliko)
G =	X <sup>b</sup> Y		X <sup>B</sup> X <sup>b</sup>
F2 =	X <sup>B</sup> X <sup>b</sup> (betina kaliko) X <sup>b</sup> X <sup>b</sup> (betina oranye) X <sup>B</sup> Y (jantan hitam) X <sup>b</sup> Y (jantan oranye)		
Perbandingan fenotipnya adalah 1 : 1 : 1 : 1.			

## E. Penugasan Unit 4

1. Berdasarkan data pada *pedigree* diketahui bahwa Queen Victoria merupakan wanita *carrier* hemofilia dan Albert merupakan pria normal. Berikut adalah diagram perkawinannya.

P =	♀ $X^H X^h$ (wanita <i>carrier</i> )	><	♂ $X^H Y$ (pria normal)
G =	$X^H$ $X^h$		$X^H$ Y
F =	$X^H X^H$ : wanita normal $X^H X^h$ : wanita <i>carrier</i> $X^H Y$ : pria normal $X^h Y$ : pria hemofilia		
Perbandingan genotip dan fenotipnya adalah 1 : 1 : 1 : 1. Berdasarkan data pada <i>pedigree</i> , keempat genotip tersebut muncul pada seluruh keturunan, yaitu 3 wanita normal, 2 wanita <i>carrier</i> , 4 pria normal, dan 1 orang pria hemofilia.			

Alfonso merupakan penderita hemofilia ( $X^h Y$ ) dan ia menikahi wanita normal. Berikut adalah diagram perkawinannya.

P =	♀ $X^H X^H$ (wanita normal)	><	♂ $X^h Y$ (pria normal)
G =	$X^H$		$X^h$ , Y
F =	$X^H X^h$ : wanita <i>carrier</i> $X^H Y$ : pria normal		
Jadi, perbandingan fenotip keturunannya adalah anak perempuan <i>carrier</i> : anak laki-laki normal sebesar 1 : 1.			

Cara mencegah kemunculan penyakit hemofilia pada generasi mendatang adalah tidak melakukan pernikahan antara sesama kerabat atau punya hubungan keluarga. Cara lain adalah tidak menikahi orang yang memiliki riwayat penyakit keturunan.

## F. Latihan Soal Pilihan Ganda

- C  
Pembahasan: Pemisahan alel secara bebas terjadi pada saat pembentukan gamet, yaitu pembelahan meiosis pada spermatogenesis atau oogenesis.
- C  
Pembahasan: Pada genotip PpQQRrSStt terdapat 3 pasang alel heterozigot, yaitu Pp, Rr, dan Tt sehingga jumlah gamet yang terbentuk adalah  $2^3 = 8$ .
- A  
Pembahasan: Diketahui genotip VvWwXX dengan gen V bertautan dengan gen W, maka jenis gamet yang terbentuk adalah sebagai berikut:

VW	—	X	→	VWX
vw	—	X	→	vwX

- C  
Pembahasan:

P =	♀ $bbTt$ (biji keriput, batang tinggi)	><	♂ $BbTt$ (biji bulat, batang tinggi)															
G =	$bT$ , $bt$		$BT$ , $Bt$ , $bT$ , $bt$															
<table border="1"> <tr> <td>♀ \ ♂</td> <td>BT</td> <td>Bt</td> <td>bT</td> <td>bt</td> </tr> <tr> <td>bT</td> <td>BbTT 1</td> <td>BbTt 2</td> <td>bbTT 3</td> <td>bbTt 4</td> </tr> <tr> <td>Bt</td> <td>BbTt 5</td> <td>Bbtt 6</td> <td>bbTt 7</td> <td>bbtt 8</td> </tr> </table>				♀ \ ♂	BT	Bt	bT	bt	bT	BbTT 1	BbTt 2	bbTT 3	bbTt 4	Bt	BbTt 5	Bbtt 6	bbTt 7	bbtt 8
♀ \ ♂	BT	Bt	bT	bt														
bT	BbTT 1	BbTt 2	bbTT 3	bbTt 4														
Bt	BbTt 5	Bbtt 6	bbTt 7	bbtt 8														
F =	Keterangan $B\_T\_$ (biji bulat, batang tinggi) = 1, 2, 5 $B\_tt$ (biji bulat, batang pendek) = 6 $bbT\_$ (biji keriput, batang tinggi) = 3, 4, 7 $bbtt$ (biji keriput, batang pendek) = 8 Jumlah fenotip biji bulat batang tinggi sebanyak 3 dan jumlah total genotip adalah 8, maka persentase keturunan berbiji bulat batang tinggi adalah $\frac{3}{8} \times 100\% = 37,5\%$ .																	

5. C

Pembahasan:

P1 =	♀ BBKK (biji bulat kuning)	><	♂ bbkk (biji keriput hijau)
G =	BK		bk
F1 =	BbKk (biji bulat kuning)		
P2 =	♀ BbKk (biji bulat kuning)	><	♂ BbKk (biji bulat kuning)
G =	BK, Bk, bK, bk		BK, Bk, bK, bk

F2 =	♀ \ ♂	BK	Bk	bK	bk
	BK	BBKK 1	BBKk 2	BbKK 3	BbKt 4
	Bk	BBKk 5	BBkk 6	BbKk 7	Bbkk 8
	bK	BbKK 9	BbKk 10	bbKK 11	bbKk 12
	Bk	BbKk 13	Bbkk 14	bbKk 15	bbkk 16

Keterangan  
 B\_T\_ (biji bulat kuning) = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 13  
 B\_tt (biji bulat hijau) = 6, 8, 14  
 bbT\_ (biji keriput kuning) = 11, 12, 15  
 bbtt (biji keriput hijau) = 16  
 Jumlah fenotip biji bulat kuning sebanyak 9 dan biji keriput hijau sebanyak 1 dengan jumlah total genotip adalah 16. Jika jumlah keturunan F2 sebanyak 3.200 buah, maka jumlah keturunan berbiji bulat kuning adalah  $9/16 \times 3.200 = 1.800$  dan jumlah keturunan berbiji keriput hijau adalah  $1/16 \times 3.200 = 200$ .

TIPS: Jika terdapat soal yang menyilangkan individu dobel heterozigot sesamanya (misalnya BbKk, BbTt, PpMm), maka tak perlu membuat diagram persilangan karena sudah pasti jumlah genotipnya 16 dengan perbandingan genotip keturunan 9 : 3 : 3 : 1. Individu yang memiliki minimal dua gen dominan berjumlah 9, individu yang memiliki minimal satu gen dominan berjumlah 3, dan individu yang memiliki gen resesif seluruhnya berjumlah 1.

6. B

Pembahasan: Persilangan yang terjadi adalah persilangan monohibrid yang menunjukkan adanya peristiwa dominansi penuh. Hal tersebut dapat dilihat dari genotip dan fenotip F2. Misalnya genotip warna ungu diatur oleh gen U dan warna putih diatur oleh gen u. Jika alel mengandung minimal satu gen U (misalnya Uu), maka tetap akan memunculkan warna ungu.

7. E

Pembahasan: Sudah jelas bahwa perbandingan fenotip F2 pada peristiwa epistasis dominan adalah 12 : 3 : 1.

8. D

Pembahasan: Sudah jelas bahwa peristiwa pola hereditas atau penyimpangan semu hukum Mendel yang memiliki perbandingan fenotip F2 sebesar 9 : 7 adalah komplementer.

9. C

Pembahasan: Peristiwa pada persilangan bunga *Linaria maroccana* adalah kriptomeri. Berikut adalah diagram persilangannya:

P =	♀ AaBB (bunga ungu)	><	♂ aaBb (bunga putih)
G =	AB aB		aB ab
F =	AaBB (ungu) AaBb (ungu) aaBB (putih) aaBb (putih)		

Pada F2 muncul 2 fenotip, yaitu ungu dan putih sehingga  $100\%/2 = 50\%$ .

10. B

Pembahasan:

P =	♂ RrPp (walnut)	><	♀ rrPp (pea)		
G =	RP, Rp, rP, rp		rP, rp		
F =	♀ \ ♂	RP	Rp	rP	rp
rP	RrPP (walnut)	RrPp (walnut)	rrPP (pea)	rrPp (pea)	
rp	RrPp (walnut)	Rrpp (rose)	rrPp (pea)	rrpp (single)	

Pada F2 diperoleh 8 genotip dan hanya ada 1 fenotip pial single sehingga persentase keturunan berpial single adalah  $1/8 \times 100\% = 12,5\%$ .

11. A

Pembahasan: Persilangan yang terjadi adalah persilangan dihibrid. Jika BBMM disilangkan dengan bbmm, maka dihasilkan F1 yang seluruhnya bergenotip BbMm (bulat manis). Selanjutnya F1 yang bergenotip dobel heterozigot disilangkan sesamanya akan menghasilkan empat fenotip dengan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1.

12.E

Pembahasan:

P =	♂ MmKk (bunga merah)	><	♀ mmKk (bunga kuning)															
G =	MK, Mk, mK, mk		mK, mk															
F =	<table border="1"> <tr> <td>♀ \ ♂</td> <td>MK</td> <td>Mk</td> <td>mK</td> <td>mk</td> </tr> <tr> <td>mK</td> <td>MmKK (merah)</td> <td>MmKk (merah)</td> <td>mmKK (kuning)</td> <td>mmKk (kuning)</td> </tr> <tr> <td>mk</td> <td>MmKk (walnut)</td> <td>Mmkk (merah)</td> <td>mmKk (kuning)</td> <td>mmkk (putih)</td> </tr> </table>			♀ \ ♂	MK	Mk	mK	mk	mK	MmKK (merah)	MmKk (merah)	mmKK (kuning)	mmKk (kuning)	mk	MmKk (walnut)	Mmkk (merah)	mmKk (kuning)	mmkk (putih)
♀ \ ♂	MK	Mk	mK	mk														
mK	MmKK (merah)	MmKk (merah)	mmKK (kuning)	mmKk (kuning)														
mk	MmKk (walnut)	Mmkk (merah)	mmKk (kuning)	mmkk (putih)														
	Perbandingan fenotipnya adalah 4 : 3 : 1																	

13.C

Pembahasan:

P =	X <sup>B</sup> Y (jantan hitam)	><	X <sup>b</sup> X <sup>b</sup> (betina oranye)
G =	X <sup>B</sup> , Y		X <sup>b</sup>
F =	X <sup>B</sup> X <sup>b</sup> (betina kaliko) X <sup>b</sup> Y (jantan oranye)		
	Muncul dua fenotip, yaitu betina kaliko dan jantan oranye sehingga persentase anak kucing kaliko adalah 100%/2 = 50%.		

14.A

Pembahasan: Diketahui gen V terpaut gen A dan gen v terpaut gen a.

P =	♀ vvaa (sayap pendek, badan kecil)	><	♂ VvAa (sayap panjang, badan lebar)
G =	Va		VA, va
F =	VvAa (sayap panjang, badan lebar) vvaa (sayap pendek, badan kecil) Diperoleh dua genotip dan fenotip, sehingga perbandingannya 1 : 1.		

15.C

Pembahasan: Diketahui F1 bergenotip BbMm (buah bulat manis) disilangkan dengan tanaman bergenotip Bbmm (buah bulat asam) menghasilkan 320 keturunan. Berikut adalah diagram persilangannya:

P =	♂ BbMm (buah bulat manis)	><	♀ Bbmm (buah bulat asam)															
G =	BM, Bm, bM, bm		Bm, bm															
F =	<table border="1"> <tr> <td>♀ \ ♂</td> <td>BM</td> <td>Bm</td> <td>bM</td> <td>bm</td> </tr> <tr> <td>Bm</td> <td>BBMm 1</td> <td>BBmm 2</td> <td>BbMm 3</td> <td>Bbmm 4</td> </tr> <tr> <td>bm</td> <td>BbMm 5</td> <td>Bbmm 6</td> <td>bbMm 7</td> <td>bbmm 8</td> </tr> </table>			♀ \ ♂	BM	Bm	bM	bm	Bm	BBMm 1	BBmm 2	BbMm 3	Bbmm 4	bm	BbMm 5	Bbmm 6	bbMm 7	bbmm 8
♀ \ ♂	BM	Bm	bM	bm														
Bm	BBMm 1	BBmm 2	BbMm 3	Bbmm 4														
bm	BbMm 5	Bbmm 6	bbMm 7	bbmm 8														
	Keterangan: B_M_ (bulat manis) = 1, 3, 5 B_mm (bulat asam) = 2, 4, 6 bbM_ (lonjong manis) = 7 bbmm (lonjong asam) = 8																	
	Dihasilkan 8 genotip dan 4 fenotip dengan perbandingan 3 : 3 : 1 : 1. Terdapat 3 genotip tanaman berbuah bulat manis sehingga jumlah keturunannya adalah 3/8 x 320 = 120.																	

16.A

Pembahasan: Diketahui pada generasi kedua terdapat pria penderita hemofilia (X<sup>h</sup>Y) yang ditAndai kotak hitam. Hemofilia merupakan penyakit keturunan yang terpaut kromosom seks resesif. Gen penyebab hemofilia (X<sup>h</sup>) dari pria tersebut berasal dari ibunya (nomor 1) dan gen Y berasal dari ayahnya (nomor 2). Ibunya tidak menderita hemofilia dan saudara perempuannya (nomor 3) juga tidak menderita hemofilia sehingga ibunya merupakan *carrier* (X<sup>H</sup>X<sup>h</sup>).

17.B

Pembahasan: Diketahui hasil perkawinan tersebut adalah 4 anak yang masing-masing memiliki fenotip anak perempuan *carrier*, anak perempuan normal, anak laki-laki hemofilia, dan anak laki-laki normal. Anda harus ingat bahwa jika terdapat anak laki-laki yang menderita kelainan atau penyakit genetik, maka gen penyebabnya diturunkan dari ibu. Sebaliknya jika anak perempuan menderita kelainan atau penyakit genetik, maka gen penyebabnya diturunkan dari ibu dan ayah. Pada *pedigree* tidak ada anak perempuan yang menderita hemofilia sehingga dapat dipastikan ayahnya berfenotip normal (X<sup>H</sup>Y). Terdapat anak laki-laki yang menderita hemofilia (X<sup>h</sup>Y) dan anak laki-laki normal (X<sup>H</sup>Y) sehingga dapat dipastikan bahwa ibunya berfenotip *carrier* (X<sup>H</sup>X<sup>h</sup>).

18.C

Pembahasan: Pada *pedigree* diperoleh keturunan hasil perkawinan ibu bergolongan darah A dengan ayah bergolongan darah X (belum diketahui), yaitu A, B, AB, dan O. Anak yang bergolongan darah O memiliki genotip  $I^O I^O$  yang masing-masing gennya berasal dari ibu dan ayah. Dapat dipastikan bahwa salah satu gen ayah adalah  $I^O$  dan ibunya memiliki genotip  $I^A I^O$  (A heterozigot). Anak yang bergolongan darah AB memiliki genotip  $I^A I^B$  yang juga masing-masing gennya berasal dari ibu dan ayah. Dapat dipastikan gen  $I^A$  berasal dari ibu dan  $I^B$  berasal dari ayah. Jadi, golongan darah individu X adalah  $I^B I^O$  (B heterozigot).

19.D

Pembahasan:

P =	♀ $X^{BW} X^{bw}$ (wanita <i>carrier</i> )	><	♂ $X^{bw} Y$ (pria normal)
G =	$X^{BW}$ $X^{bw}$		$X^{bw}$ Y
F =	$X^{BW} X^{bw}$ : anak perempuan <i>carrier</i> $X^{bw} X^{bw}$ : anak perempuan buta warna $X^{BW} Y$ : anak laki-laki normal $X^{bw} Y$ : anak laki-laki buta warna Terdapat masing-masing 4 genotip dan fenotip dengan perbandingan 1 : 1 : 1 : 1 sehingga persentase masing-masing genotip adalah $100\%/4 = 25\%$ . Persentase untuk anak buta warna sebesar $25\% (X^{bw} X^{bw}) + 25\% (X^{bw} Y) = 50\%$ .		

20.E

Pembahasan: Buta warna, hemofilia, dan anodontia merupakan kelainan genetik yang terpaut atau diturunkan melalui kromosom X (gonosom). Albino, polidaktil, brakidaktil, sindaktil, Huntington, dan talasemia diturunkan melalui kromosom tubuh (autosom).

## G. Latihan Soal Uraian

- Pembahasan:** Hukum Mendel I membuktikan bahwa gen memisah secara bebas saat pembentukan gamet sedangkan hukum Mendel II membuktikan bahwa gen berpasangan secara bebas dengan gen lainnya. Hukum Mendel I dapat dibuktikan melalui persilangan monohibrid sedangkan hukum Mendel II dibuktikan melalui persilangan dihibrid.
- Pembahasan:** Diketahui hasil persilangan tanaman jeruk berbuah manis batang tinggi dengan jeruk berbuah asam batang pendek adalah keturunan yang memiliki sifat berbuah manis batang tinggi, buah manis batang pendek, buah asam batang tinggi, dan buah asam

batang pendek. Misalnya kita menggunakan gen M untuk rasa manis, m untuk rasa asam, T untuk batang tinggi, dan t untuk batang pendek. Salah satu induk dan keturunannya memiliki fenotip buah asam batang pendek sehingga genotipnya adalah  $bbtt$ . Gamet yang sudah dapat dipastikan adalah  $bt$  dan  $BT$  dan keduanya akan menghasilkan salah satu keturunan bergenotip  $BbTt$  (buah manis batang tinggi).

P =	$bbtt$ (buah asam batang pendek)	><	$B\_T\_$ (buah manis batang tinggi)
G =	$bt$		$BT$
F =	Buah manis batang tinggi = $B\_T\_$ Buah manis batang pendek = $B\_tt$ Buah asam batang tinggi = $bbT\_$ Buah asam batang pendek = $bbtt$		

Keturunannya ada yang berbuah asam dengan alel  $bb$ , artinya masing-masing gen  $b$  berasal dari kedua induk. Berdasarkan hal tersebut, Anda dapat mengetahui salah satu gametnya adalah  $bT$ . Jika gamet  $bt$  dan  $bT$  bertemu akan menghasilkan keturunan bergenotip  $bbTt$  (buah asam batang tinggi). Selanjutnya Anda dapat mengetahui bahwa salah satu keturunannya berbuah pendek dengan alel  $tt$ , artinya masing-masing gen  $t$  berasal dari kedua induk.

P =	$bbtt$ (buah asam batang pendek)	><	$BbTt$ (buah manis batang tinggi)
G =	$bt$		$BT, Bt, bT, bt$
F =	Buah manis batang tinggi = $BbTt$ Buah manis batang pendek = $Bbtt$ Buah asam batang tinggi = $bbTt$ Buah asam batang pendek = $bbtt$		

- Pembahasan:** Perbandingan fenotip F2 pada peristiwa penyimpangan semu hukum Mendel dapat Anda lihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11. Perbandingan Fenotip F2 pada Penyimpangan Semu Hukum Mendel

No.	Peristiwa	Genotip			
		$A\_B\_$	$A\_bb$	$aaB\_$	$aabb$
1.	Atavisme	9	3	3	1
2.	Epistasis dominan	12		3	1
3.	Epistasis resesif	9	3	4	
4.	Polimeri	15			1
5.	Kriptomeri	9	3	4	
6.	Komplementer	9	7		

4. **Pembahasan:** Diketahui wanita memiliki ayah penderita hemofilia ( $X^hY$ ) dan ibu normal ( $X^HX^H$ ) sehingga dapat dipastikan wanita tersebut *carrier* hemofilia ( $X^HX^h$ ).

P =	$\text{♀ } X^HX^h$ (wanita <i>carrier</i> )	><	$\text{♂ } X^HY$ (pria normal)
G =	$X^H$ $X^h$		$X^H$ Y
F =	$X^HX^H$ : anak perempuan normal $X^HX^h$ : anak perempuan <i>carrier</i> $X^HY$ : anak laki-laki normal $X^hY$ : anak laki-laki hemofilia		

5. **Pembahasan:** Anda dapat mencari terlebih dahulu perbandingan fenotip salah satu kelainan genetik, misalnya albino.

P =	$\text{♀ } aa$ (albino)	><	$\text{♂ } Aa$ (normal)
G =	a		A, a
F =	$Aa$ (normal heterozigot) $aa$ (albino)		

P =	$X^{BW}X^{BW}$ (wanita normal)	><	$X^{bw}Y$ (pria buta warna)
G =	$X^{BW}$		$X^{bw}, Y$
F =	$X^{BW}X^{bw}$ : anak perempuan <i>carrier</i> $X^{BW}Y$ : anak laki-laki normal		

Jadi, kemungkinan fenotip keturunannya adalah anak perempuan *carrier* buta warna berkulit normal, anak perempuan *carrier* buta warna berkulit albino, anak laki-laki mata normal berkulit normal, dan anak laki-laki mata normal berkulit albino.

## SARAN REFERENSI

<https://biologiklaten.wordpress.com/bab-24-hereditas-xii/>

<https://biologiklaten.wordpress.com/bab-24-hereditas-pada-manusia-xii/>

<https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Hereditas-pada-Manusia-2016-2016/index.html>

Irnaningtyas. 2013. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII*. Jakarta: Penerbit Erlangga

Sulistyowati, Omegawati, Ningsih, dan Rumiati. 2016. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII*. Klaten: PT. Intan Pariwara

Anda juga dapat mempelajari dengan materi lebih lanjut dengan mengunjungi situs Youtube pada tautan berikut:

### 1. Video Hukum Mendel I

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

### 2. Video Hukum Mendel II

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_rgppBchdhU](https://www.youtube.com/watch?v=_rgppBchdhU)

### 3. Video Penyimpangan Semu Hukum Mendel

[https://www.youtube.com/watch?v=E\\_6ajHS4aik](https://www.youtube.com/watch?v=E_6ajHS4aik)

### 4. Video Persilangan Golongan Darah

<https://www.youtube.com/watch?v=x7RSWKxrTwg>

### 5. Video Persilangan Hemofilia

<https://www.youtube.com/watch?v=n6IMHL8GXdU>

### 6. Video Persilangan Peta Silsilah

<https://www.youtube.com/watch?v=TbbY84FedP8>

## DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, N.A., J.B. Reece, dan L.G. Mitchell. 2012. *Biologi edisi 8 jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Irnaningtyas. 2013. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Rumah Belajar. 2016. *Hukum Mendel*. Diakses 19 Juni 2018, dari <https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Hukum-Mendel-2016/>
- Rumah Belajar. 2016. *Hereditas pada Manusia*. Diakses 1 Juli 2018, dari <https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Hereditas-pada-Manusia-2016-2016/index.html>
- SMA Negeri 78. 2015. *Biologi*. Diakses 13 Juni 2018, dari <https://materi78.wordpress.com/2013/06/25/biologi-4/>
- Sulistyowati, Omegawati, Ningsih, dan Rumiayati. 2016. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII*. Klaten: PT. Intan Pariwara

## SUMBER GAMBAR

- <http://binatanghewans.blogspot.com/2014/12/apa-sih-kucing-calico.html>
- <https://biologigonz.blogspot.com/2014/10/syndrome-jacobs-non-disjunction.html>
- <https://biologigonz.blogspot.com/2016/02/test-osn-02-sma-2016.html>
- <https://biologiklaten.wordpress.com/bab-24-hereditas-pada-manusia-xii/>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Gregor\\_Mendel](https://en.wikipedia.org/wiki/Gregor_Mendel)
- <https://finishwellunbiologi.wordpress.com/2015/03/21/persilangan-pada-penyimpangan-semu-hukum-mendel/>
- <https://muslimafiyah.com/hukum-mencabut-gigi-dan-jari-tambahan.html>
- <https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Hereditas-pada-Manusia-2016-2016/index.html>
- <http://theconversation.com/animals-in-research-drosophila-the-fruit-fly-13571>
- <http://www.african-union.org/fakta-buruk-yang-dialami-penderita-albino-di-afrika/>
- <http://www.duniapatik.com/2016/01/penyakit-talasemia-dalam-kehidupan.html>
- <https://www.healthline.com/health/anodontia>
- <http://www.old-ib.bioninja.com.au/higher-level/topic-10-genetics/102-dihybrid-crosses-and.html>

## GLOSARIUM

- Albino**: kelainan tidak adanya pigmen pada kulit, rambut, dan mata sehingga berwarna putih
- Alel**: gen-gen yang terletak pada lokus yang bersesuaian pada pasangan kromosom homolog
- Alel ganda**: gen memiliki lebih dari dua alel pada lokus yang sama
- Alel letal**: alel yang menyebabkan kematian pada individu yang memilikinya
- Alel subletal**: alel letal yang memiliki genotip heterozigot
- Amitotik**: pembelahan sel yang berlangsung tanpa melalui tahap-tahap mitosis
- Anadontia**: kelainan berupa gigi ompong atau tidak memiliki gigi
- Antibodi**: disebut juga imunoglobulin, sejenis protein yang dihasilkan oleh sel B limfosit untuk kekebalan tubuh
- Asortasi gen**: gen berpasangan secara bebas dan setiap satu gen dari alel dapat berpasangan secara bebas dengan gen dari alel lain
- Atavisme**: Interaksi beberapa gen yang menghasilkan sifat baru
- Autosom**: Kromosom yang menentukan sifat-sifat tubuh, seperti warna kulit, bentuk rambut, tinggi badan, dan lain-lain
- Brakidaktili**: kelainan genetik berupa kondisi jari-jari yang ukuran lebih pendek dari ukuran normal
- Carrier**: bersifat normal tetapi dapat menurunkan sifat penyebab kelainan atau penyakit
- Determinasi seks**: penentuan jenis kelamin berdasarkan kromosom seks
- Dihybrid**: persilangan dengan dua sifat beda
- Dominansi penuh**: hasil persilangan menunjukkan gen dominan dapat mengekspresikan sifatnya dan menutupi sifat gen lainnya
- Dominansi tidak penuh**: hasil persilangan menunjukkan sifat gen sama kuat dan dapat memunculkan sifat intermediet
- Epistasis**: peristiwa suatu gen yang menutupi atau menghalangi ekspresi gen lain yang bukan sealel

**Epistasis dominan:** epistasis yang terjadi jika ada gen dominan yang bersifat menutupi

**Epistasis dominan rangkap** epistasis yang terjadi jika ada dua gen dominan menghasilkan satu fenotip dominan yang sama

**Epistasis resesif:** epistasis yang terjadi jika ada gen resesif yang bersifat menutupi

**Eritroblastosis fetalis:** kelainan berupa pecahnya sel darah merah pada janin yang baru lahir karena perbedaan golongan darah Rhesus dengan ibunya

**Fenotip:** sifat yang dapat diamati dan dirasakan

**Filial:** keturunan hasil persilangan

**Gagal berpisah:** disebut juga *nondisjunction*, peristiwa gagalnya satu atau lebih kromosom untuk berpisah pada saat pembelahan meiosis

**Galur murni:** individu yang bergenotip homozigot dominan atau homozigot resesif

**Gamet:** sel kelamin

**Gen:** segmen DNA yang mengandung urutan kode genetik sifat-sifat tertentu

**Gen dominan:** gen yang kuat dan menutupi ekspresi gen lainnya sehingga dapat mengekspresikan sifat yang dibawanya

**Gen resesif:** gen yang lemah dan tidak dapat mengekspresikan sifat yang dibawanya jika berpasangan dengan gen dominan, hanya dapat mengekspresikan sifat yang dibawanya jika berpasangan dengan gen resesif yang sama

**Genetika:** cabang ilmu biologi yang mengkaji tentang pewarisan sifat

**Genotip:** keadaan genetik yang dibentuk oleh pasangan alel dalam kromosom homolog; sifat yang tidak dapat diamati

**Gonosom:** kromosom yang menentukan jenis kelamin, contohnya kromosom X berbentuk dan kromosom Y

**Hemofilia:** kelainan berupa darah sukar membeku ketika terjadi luka

**Hereditas:** pewarisan sifat dari induk kepada keturunannya

**Heterozigot:** genotip yang terbentuk dari alel berbeda untuk satu sifat tunggal

**Hipostasis:** gen yang tertutupi atau ekspresinya dihalangi oleh gen lain

**Homozigot:** genotip yang terbentuk dari alel yang sama untuk satu sifat tunggal

**Homozigot dominan:** genotip yang terbentuk dari alel dominan yang sama

**Homozigot resesif:** genotip yang terbentuk dari alel resesif yang sama

**Huntington:** kelainan genetik berupa kerusakan pada saraf secara progresif sehingga pergerakan penderita terganggu

**Hypertrichosis:** disebut juga sindrom manusia serigala. kelainan berupa tumbuhnya rambut di bagian tertentu dari daun telinga, wajah, atau anggota tubuh lainnya

**Kodominan:** penyimpangan yang terjadi ketika dua alel dari suatu gen yang diekspresikan secara bersama-sama menghasilkan fenotip berbeda pada individu bergenotip heterozigot

**Komplementer:** interaksi antar gen-gen dominan yang saling melengkapi dalam mengekspresikan suatu sifat. Jika salah satu gen tidak ada, maka sifat tersebut tidak akan muncul

**Kotak Punnet:** metode mencari genotip F2 dengan menggunakan kotak-kotak untuk mengkombinasikan gen, metode ini ditemukan oleh Reginald C. Punnet

**Kriptomeri:** interaksi antar gen dominan yang jika bersama dengan gen dominan lain akan memunculkan sifat baru tetapi jika gen tersebut berdiri sendiri maka sifatnya akan tersembunyi

**Kromosom:** substansi genetik berupabenang-benang kromatin yang memendek dan menebal

**Meiosis:** pembelahan sel yang terjadi pada sel-sel gamet yang menghasilkan empat sel anakan yang bersifat haploid (n) dan tidak identik dengan sel induk

**Monohibrid:** persilangan dengan satu sifat beda

**Ovum:** gamet betina atau sel telur

**Parental:** induk yang disilangkan

**Pedigree:** disebut juga peta silsilah keluarga, diagram yang menunjukkan penurunan karakter-karakter tertentu dari leluhur/orangtua kepada keturunannya dari generasi ke generasi berikutnya

**Penyilangan resiprok:** penyilangan ulang dengan menukar jenis kelaminnya untuk membuktikan bahwa induk jantan dan induk betina memiliki peluang yang sama dalam pewarisan sifat

**Penyilangan balik:** disebut juga *back cross*, penyilangan antara individu F1 dengan salah satu induknya untuk mencari genotip induk dan memperoleh kembali individu yang bergalur murni

**Pindah silang:** disebut juga *crossing over*, peristiwa pertukaran gen-gen pada suatu kromosom dengan gen-gen pada kromosom lainnya

- Polidaktil:** kelainan berupa jumlah jari pada tangan atau kaki lebih dari lima
- Polimeri:** interaksi dua gen atau lebih yang mempengaruhi dan menguatkan suatu sifat yang sama
- Polimorfisme:** dua atau lebih fenotip berbeda yang muncul pada suatu populasi
- Rekombinan:** sifat genetik yang diperoleh melalui proses pemindahan dan penyusunan gen baru yang tidak terdapat pada induk atau orangtua
- Segregasi gen:** pemisahan gen dari pasangan alel gen induk pada saat pembentukan gamet
- Sindaktili:** kelainan genetik berupa kondisi jari-jari yang saling berlekatan
- Talasemia:** kelainan sel darah merah berbentuk lonjong dan kecil sehingga daya ikat terhadap oksigen rendah dan mengakibatkan anemia
- Tautan gen:** peristiwa dua gen atau lebih yang terletak pada kromosom yang sama dan tidak dapat memisah secara bebas (saling teraut) saat pembentukan gamet
- Tautan autosomal:** tautan yang terjadi pada gen-gen yang terletak pada kromosom tubuh yang sama
- Tautan seks:** tautan yang terjadi pada gen-gen yang terletak pada kromosom seks yang sama
- Uji silang:** disebut juga *test cross*, penyilangan antara individu yang tidak diketahui genotipnya dengan individu yang bergenotip homozigot resesif untuk mengetahui apakah suatu individu memiliki genotip homozigot atau heterozigot
- Vestigial:** struktur tubuh makhluk hidup yang ukurannya menyusut, menghilang, atau kehilangan fungsi

## PROFILE PENULIS

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



### Riwayat Pekerjaan/Profesi dalam 10 Tahun Terakhir

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

### Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

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

### Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir)

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

### Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -

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



### Riwayat Pekerjaan/Profesi dalam 10 Tahun Terakhir

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

### Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

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

### Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -

**Nama Lengkap** : Asep Koswara  
**Telp Kantor/HP** : 081218033853 / 082213158631  
**E-Mail** : aligavkoswara@gmail.com  
**Alamat** : Jl. Rawa Panjang, Kampung Panjang, No. 33, RT 01/06, Bojong Gede, Kab. Bogor

**Bidang Keahlian** : Pendidikan Nonformal, Sains

**Riwayat Pekerjaan/Profesi**

1. Tutor Biologi, di Pusat Kegiatan Belajar Masyarakat (PKBM) Windsor Jakarta (2007 – sekarang)
2. Sekretaris, di Yayasan Kausa Resiliensi Indonesia (YKRI) (2015 (Juli – sekarang)
3. Presidium Konsorsium Pendidikan Bencana (KPB) Indonesia (2017 – sekarang)



**Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar**

1. 2020 – sekarang : Jurusan Biologi – Strata 2 (S2), Universitas Nasional (UNAS) Jakarta
2. 2002 – 2006 : Jurusan Biologi – Strata 1 (S1), Universitas Islam As-syafi'iyah (UIA) Jakarta

**Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -**

**Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir) -**