



GRAHA ILMU

DASAR-DASAR  
**GENETIKA MENDEL**  
DAN PENGEMBANGANNYA

Ida Bagus Made Artadana  
Wina Dian Savitri

DASAR-DASAR  
**GENETIKA MENDEL**  
DAN PENGEMBANGANNYA

DASAR-DASAR  
**GENETIKA MENDEL**  
DAN PENGEMBANGANNYA

**Ida Bagus Made Artadana  
Wina Dian Savitri**

 **GRAHA ILMU**

## **DASAR-DASAR GENETIKA MENDEL DAN PENGEMBANGANNYA**

*oleh Ida Bagus Made Artadana; Wina Dian Savitri*

Hak Cipta © 2018 pada penulis



**GRAHA ILMU**

Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-889398; Fax: 0274-889057; E-mail: info@grahailmu.co.id

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Tajuk Entri Utama: Artadana, Ida Bagus Made

DASAR-DASAR GENETIKA MENDEL DAN PENGEMBANGANNYA/Ida Bagus Made Artadana:  
Wina Dian Savitri

- Edisi Pertama. Cet. Ke-1. - Yogyakarta: Graha Ilmu, 2018  
xviii + 166 hlm.; 24 cm

Bibliografi: 165

ISSN : 978-602-262-797-5

E-ISBN : 978-602-262-798-2

I. Genetika

I. Savitri, Wina Dian

II. Judul

576



## KATA PENGANTAR

**P**uji syukur kehadirat Tuhan YME, bahwa penyusunan Buku Genetika Dasar ini dapat diselesaikan. Buku ini terbit sebagai salah satu produk dari kegiatan '50 tahun Universitas Surabaya (UBAYA)'.

Ilmu genetika merupakan ilmu dasar untuk mempelajari penurunan sifat pada makhluk hidup. Ilmu ini akan sangat berguna untuk mempelajari topik kuliah yang lebih rumit seperti misalnya Biologi Molekuler dan Bioteknologi.

Buku ajar ini pada dasarnya merupakan pengejawantahan dari materi ajar Genetika yang diselenggarakan di Fakultas Teknobiologi UBAYA. Harapan penyusun bahwa buku yang sederhana ini akan bermanfaat untuk menambah pemahaman dan wawasan pada ilmu genetika bagi mahasiswa Fakultas Teknobiologi UBAYA khususnya, dan mahasiswa lain pada umumnya.

Tim penyusun berterima kasih sebesar-besarnya pada UBAYA atas kontribusinya dalam mewujudkan pencetakan dan publikasi buku ajar ini. Selain itu, kami juga mengucapkan terima kasih yang tak terhingga atas bantuan pihak-pihak lain yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu.

Surabaya, 31 Mei 2018

Tim Penyusun.



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
<b>BAB 1 SEJARAH DAN PRINSIP DASAR ILMU GENETIKA</b>	<b>1</b>
1.1 Tujuan Pembelajaran	1
1.2 Sejarah Singkat Ilmu Genetika	1
1.3 Gen, Alel, Lokus, dan Kromosom	5
1.4 Contoh Soal	8
1.5 Soal Evaluasi	10
<b>BAB 2 GENETIKA MENDEL</b>	<b>11</b>
2.1 Tujuan Pembelajaran	11
2.2 Sejarah Mengenai Gregor Mendel	11
2.3 Hukum Mendel I	13
2.4 Hukum Mendel II	15
2.5 Hubungan Antara Hukum Mendel dan Pembelahan Sel	15
2.6 Teori Peluang	21
2.7 <i>Test Cross</i>	21
2.8 Karakteristik Manusia yang Diatur oleh Alel Dominan dan Resesif	22

2.9	Contoh Soal	23
2.10	Soal Evaluasi	29
<b>BAB 3</b>	<b>PEMBAHASAN SOAL</b>	<b>31</b>
3.1	Tujuan Pembelajaran	37
3.2	Modifikasi Persilangan Monohybrid	38
3.2.1	Intermediet dan Kodominan	38
3.2.2	Alel Letal	39
3.2.3	Multiple Allele	40
3.3	Modifikasi Persilangan Dihibrid	42
3.3.1	Interaksi Gen yang Menghasilkan Sifat Baru ( <i>Atafisme</i> )	42
3.3.2	Interaksi Gen yang Bersifat Epistasis	43
3.4	Pengaruh Jenis Kelamin Terhadap Pewarisan Sifat	47
3.4.1	Sex Influenced dan Sex Limited Gene	48
3.5	Pewarisan Sifat yang Diatur oleh Gen Di Sitoplasma	48
3.6	Pewarisan Sifat yang Ditentukan oleh Genotip Ibu	50
3.7	Pleiotropy	51
3.8	Soal Latihan	53
3.9	Soal Evaluasi	56
<b>BAB 4</b>	<b>PENENTUAN JENIS KELAMIN (SEX) DAN PEWARISAN SIFAT YANG TERPAUT KROMOSOM SEX</b>	<b>65</b>
4.1	Tujuan Pembelajaran	65
4.2	Penentuan Jenis Kelamin Berdasarkan Kromosom Sex	65
4.3	Sistem Haploid-Diploid	66
4.4	Penentuan Jenis Kelamin yang Dipengaruhi oleh Lingkungan	67
4.5	Penentuan Jenis Kelamin Pada Lalat Buah ( <i>Drosophila Melanogaster</i> )	67
4.6	Sifat Terpaut Jenis Kelamin	68
4.6.1	Pewarisan Warna Mata Putih Pada <i>Drosophila</i>	68
4.6.2	Sifat Terpaut Kromosom X Pada Manusia	71
4.7	Badan Barr dan Warna Rambut Pada Kucing	72
4.8	Pewarisan Sifat Terpaut Kromosom Y	73
4.9	Soal Latihan	73
4.10	Soal Evaluasi	76

<b>BAB 5 ANALISIS PEDIGREE</b>	<b>83</b>
5.1 Tujuan Pembelajaran	83
5.2 Pewarisan Sifat yang Diatur oleh Alel Resesif Pada Autosom	85
5.3 Pewarisan Sifat yang Diatur oleh Alel Dominan Pada Autosom	86
5.4 Pewarisan Sifat yang Diatur oleh Alel Resesif Pada Kromosom X	86
5.5 Pewarisan Sifat yang Diatur oleh Alel Dominan Pada Kromosom X	87
5.6 Pewarisan Sifat Yang Diatur oleh Gen yang Terletak Pada Kromosom Y	88
5.7 Pewarisan Sifat yang Diatur oleh Gen yang Terletak di Sitoplasma	88
5.8 Soal Latihan	89
5.9 Soal Evaluasi	92
<b>BAB 6 PAUTAN, REKOMBINASI, DAN PETA GENETIK</b>	<b>97</b>
6.1 Tujuan Pembelajaran	97
6.2 Pautan	97
6.3 Pindah Silang dan Rekombinasi	100
6.4 Persentase Rekombinasi dan Peta Genetik	101
6.5 Penentuan Susunan Gen dan Jarak dari Tiga Gen Terpaut	102
6.6 Interferensi dan <i>Coefficient of Coincidence</i>	104
6.7 Dua Gen Terpaut Pada Kromosom X	105
6.8 Contoh Soal	108
6.9 Soal Evaluasi	110
<b>BAB 7 VARIASI KROMOSOM</b>	<b>119</b>
7.1 Tujuan Pembelajaran	119
7.2 Morfologi Kromosom	119
7.3 Mutasi Kromosom	120
7.3.1 Duplikasi	121
7.3.2 Delesi	122
7.3.3 Inversi	123
7.3.4 Translokasi	124



7.3.5	Aneuploidi	124
7.3.6	Aneuploidi Pada Manusia	127
7.4	Poliploidi	127
7.4.1	Autopoliploidi	127
7.4.2	Alopoliploidi	128
7.5	Contoh Soal	130
7.6	Soal Evaluasi	135
<b>BAB 8</b>	<b>PEWARISAN SIFAT POLIGENI</b>	<b>141</b>
8.1	Tujuan Pembelajaran	141
8.2	Pewarisan Sifat Diskotinu dan Pewarisan Sifat Kontinu	141
8.3	Karakteristik Pewarisan Sifat Poligeni	142
8.4	Menentukan Jumlah Gen yang Mengatur Sifat Poligeni	144
8.5	Pewarisan Sifat Poligeni Pada Manusia	145
8.6	Contoh Soal	149
8.7	Soal Evaluasi	151
<b>BAB 9</b>	<b>GENETIKA POPULASI</b>	<b>155</b>
9.1	Tujuan Pembelajaran	155
9.2	Penghitungan Frekuensi Alel	155
9.3	Hukum <i>Hardy and Weinberg</i>	157
9.4	Perubahan Frekuensi Alel dalam Populasi	158
9.4.1	Mutasi	158
9.4.2	Migrasi	159
9.5	Contoh Soal	160
9.6	Soal Evaluasi	163
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>165</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Tokoh-tokong penting dalam ilmu genetika. A George Mendel, B. Thomas H. Morgan dan C. Whatson dan Crick	2
Gambar 1.2.	Pembuktian bahwa DNA merupakan faktor pembawa sifat.	4
Gambar 1.3.	Struktur DNA rantai ganda.	5
Gambar 1.4.	Hubungan antara alel dan fenotip.	6
Gambar 1.5.	A susunan kromosom pad kondisi haploid ( $n$ ). B susunan kromosom pada kondisi diploid ( $2n$ )	7
Gambar 2.1.	Ilustrasi kacang ercis ( <i>Pisum sativum</i> )	12
Gambar 2.2.	Hasil persilangan monohibrid	13
Gambar 2.3.	Dua kemungkinan hasil persilangan dihibrid.	16
Gambar 2.4.	Hubungan antara hukum Mendel I dengan pembelahan meiosis.	17
Gambar 2.5.	Hubungan antara hukum Mendel II dengan pembelahan meiosis.	18
Gambar 2.6.	Metode monohibrid untuk menyelesaikan persilangan dihibrid.	20
Gambar 2.7.	Test cross untuk mengetahui genotip dari biji berwarna kuning	22
Gambar 3.1.	Pewarisan sifat intermediet ( <i>incomplete dominance</i> ) pada warna bunga.	38

Gambar 3.2.	Jenis golongan darah ABO pada manusia ditentukan oleh jenis glikoprotein yang terdapat dipermukaan sel darah merah	39
Gambar 3.3.	Alel pengatur warna bulu kuning pada mencit bersifat letal.	40
Gambar 3.4.	Variasi warna rambut pada kelinci yang disebabkan oleh adanya lebih dari dua alel pada lokus pengatur warna rambut.	41
Gambar 3.5.	Variasi bentuk jengger pada ayam diatur oleh interaksi antara dua alel dari gen yang berbeda.	42
Gambar 3.6.	Alur biosintesis pigmen yang mengatur warna labu serta pengaruh masing-masing alel terhadap jalur biosintesis pigmen.	43
Gambar 3.7.	Pewarisan sifat warna labu menunjukkan adanya epistasis alel dominan W terhadap alel dominan Y.	44
Gambar 3.8.	Proses terbentuknya warna pada bunga. Untuk menghasilkan warna ungu dibutuhkan keberadaan alel A dan B pada individu yang sama.	45
Gambar 3.9.	Pewarisan sifat warna bunga yang menunjukkan alel resesif a epistasis terhadap alel dominan B.	46
Gambar 3.10.	Proses terbentuknya warna cangkang coklat pada siput. Warna coklat baru akan terbentuk apabila terdapa dua alel dominan A dan B.	46
Gambar 3.11.	Mekansime pewarisan warna cangkang pada siput yang menunjukkan adanya peristiwa epistasis resesif ganda.	47
Gambar 3.12.	Pewarisan sifat pada kambing yang disebabkan oleh pengaruh jenis kelamin terhadap perilaku alel. Alel pengatur jenggot ( $B^g$ ) dominan pada jantan dan resesif pada betina.	49
Gambar 3.13.	Pada proses fertilisasi, sperma hanya menyumbangkan materi genetik saja, sedangkan sel telur menyumbangkan materi genetik dan komponen lainnya ke zigot, termasuk mitokondria.	50
Gambar 3.14.	Pewarisan sifat arah putaran cangkang pada siput ditentukan oleh genotip dari induk betina.	51

Gambar 3.15.	Ilustrasi pleiotropy	52
Gambar 3.16.	Pleiotropy yang terjadi pada kasus sickle cell anemia.	52
Gambar 4.1.	Pengaturan jenis kelamin pada belalang. Belalang jantan memiliki satu kromosom X sedangkan belalang betina memiliki dua kromosom X.	66
Gambar 4.2.	Ilustrasi lalat buah. A. lalat buah betina, B. lalat buah wild type bermata merah, C. lalat buah mutan bermata putih.	69
Gambar 4.3.	Persilangan warna mata pada lalat buah. Perbandingan fenotip tetap sesuai dengan hukum Mendel yaitu 3:1, namun warna putih hanya ditemukan pada jantan.	69
Gambar 4.4.	Warna mata pada <i>Drosophila</i> diatur oleh alel yang terletak pada kromosom X (terpaut X). Alel dominan M menyebabkan mata berwarna merah dan alel resesif m menyebabkan mata berwarna putih.	70
Gambar 4.5.	Pewarisan sifat buta warna menunjukkan bahwa laki-laki buta warna akan lebih umum ditemukan dari pada perempuan buta warna.	71
Gambar 4.6.	Kucing dengan warna rambut kaliko. Warna ini muncul pada kucing dengan genotip $H-X^O X^o$ . Warna hitam muncul apabila kromosom X yang membawa alel O ( $X^o$ ) membentuk badan Barr sedangkan warna oranye terbentuk apabila kromosom X yang membawa alel o ( $X^O$ ) membentuk badan Barr.	73
Gambar 5.1.	Karakteristik pedigree dari pewarisan penyakit yang disebabkan oleh alel resesif pada autosom.	85
Gambar 5.2.	Karakteristik pewarisan penyakit yang disebabkan oleh alel dominan pada autosom	86
Gambar 5.3.	Karakteristik pewarisan sifat yang disebabkan oleh alel resesif terpaut kromosom X	87
Gambar 5.4.	Karakteristik pewarisan penyakit yang diatur oleh alel dominan terpaut pada kromosom X	87
Gambar 5.5.	Karakteristik pewarisan penyakit yang disebabkan oleh gen terpaut kromosom Y.	88
Gambar 5.6.	Karakteristik pewarisan penyakit yang disebabkan oleh gen yang terletak pada organel di sitoplasma.	89

Gambar 6.1.	Pemisahan alel dari dua gen terpaut.	98
Gambar 6.2.	Hasil test cross dari dua gen yang terletak pada kromosom sama dan tidak terjadi crossing over	99
Gambar 6.3.	Hasil test cross tanaman batang tinggi bunga terminal heterozigot untuk kedua gen. Hasil perbandingan fenotip menunjukkan kedua gen terletak pada kromosom yang berbeda.	99
Gambar 6.4.	Crossing over pada meiosis I menghasilkan gamet rekombinan. Pada gambar di atas gamet AB dan ab adalah kombinasi parental sedangkan gamet Ab dan aB merupakan rekombinan.	100
Gambar 6.5.	Gen pengatur tinggi tanaman dan letak bunga berada pada kromosom yang sama. Pindah silang selama pembentukan gamet menghasilkan tanaman pendek dengan bunga terminal dan tanaman pendek dengan bunga aksiler.	101
Gambar 6.6.	Jenis-jenis crossing over pada 3 gen terpaut.	102
Gambar 6.7.	Hasil test cross dari gen yang terpaut kromosom X dengan menggunakan lalat betna sebagai induk homozigot resesif.	106
Gambar 6.8.	Test cross dua gen terpaut kromosom X menggunakan lalat jantan sebagai induk dengan fenotip resesif.	107
Gambar 7.1.	Empat jenis kromosom berdasarkan letak sentromernya	120
Gambar 7.2.	Jenis-jenis mutasi kromosom akibat adanya penyusunan ulang gen.	121
Gambar 7.3.	Jenis-jenis duplikasi kromosom	122
Gambar 7.4.	Duplikasi umumnya disebabkan oleh adanya peristiwa delesi.	123
Gambar 7.5.	Dua jenis inversi pada kromosom.	123
Gambar 7.6.	Pengaruh gagal berpisah pada meiosis I	125
Gambar 7.7.	Gagal berpisah pada meiosis II	126
Gambar 7.8.	Proses terbentuknya poliploidi	128
Gambar 7.9.	Peristiwa terbentuknya gandum dari proses alopoliploidi.	129
Gambar 8.1.	Perbedaan antara pewarisan sifat kualitatif dan kuantitatif	142

Gambar 8.2.	Pengaruh jumlah gen pada variasi fenotip pada sifat poligeni.	144
Gambar 8.3.	Hubungan antara rasio fenotip resesif dengan jumlah gen yang terlibat dalam pengaturan sifat poligeni.	145
Gambar 8.4.	Distribusi tinggi badan manusia menunjukkan adanya pewarisan sifat poligeni.	146
Gambar 8.5.	Variasi warna mata pada manusia.	146
Gambar 8.6.	Persilangan yang menunjukkan pewarisan warna mata pada manusia bersifat poligeni.	147
Gambar 8.7.	Variasi warna kulit pada manusia	148
Gambar 8.8.	Pewarisan sifat warna kulit menyebabkan lahirnya anak kembar dengan warna kulit yang berbeda.	148
Gambar 9.1.	Pengaruh migrasi terhadap frekuensi alel.	160



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Jumlah kromosom pada Hewan dan Tumbuhan	7
Tabel 2.1	Beberapa karakteristik manusia yang diatur oleh alel dominan atau resesif.	23
Tabel 3.1.	Genotip dan fenotip dari golongan darah ABO.	40
Tabel 3.2.	Hubungan antara genotip dan fenotip pada gen yang mengatur pola bulu ayam.	48
Tabel 4.1.	Pengaruh rasio X:A terhadap jenis kelamin lalat buah	68
Tabel 4.2.	Hubungan antara jumlah kromosom X dan badan Barr di dalam sel	72
Tabel 5.1.	Simbol-simbol yang umum dipergunakan dalam pembuatan pedigree.	84
Tabel 5.2.	Penyakit pada manusia yang terdapat pada autosom	85
Tabel 6.1.	Hasil test cross F1 Jantan dan betina bermata merah dan badan abu-abu.	105

# BAB 1

---

## SEJARAH DAN PRINSIP DASAR ILMU GENETIKA

### 1.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Mampu menjelaskan secara singkat sejarah perkembangan ilmu genetika.
2. Mampu menjelaskan konsep alel, gen, dan lokus.
3. Mampu menjelaskan konsep kromosom homolog.
4. Mampu menjelaskan hubungan antara genotip dan fenotip.
5. Mampu menjelaskan konsep haploid dan diploid.

### 1.2 SEJARAH SINGKAT ILMU GENETIKA

**G**enetika merupakan salah satu cabang ilmu biologi yang mempelajari pewarisan sifat pada makhluk hidup. Kata genetika sendiri pertama kali diperkenalkan oleh William Bateson sebagai cabang baru dalam ilmu Biologi. Ilmu genetika telah lama diterapkan oleh nenek moyang kita melalui proses seleksi buatan. Nenek moyang kita mendomestifikasi tumbuhan dan hewan liar dan kemudian melakukan persilangan untuk memperoleh hewan atau tumbuhan dengan sifat yang diinginkan. Jagung merupakan salah satu contoh hasil penerapan ilmu genetika di masa lampau.

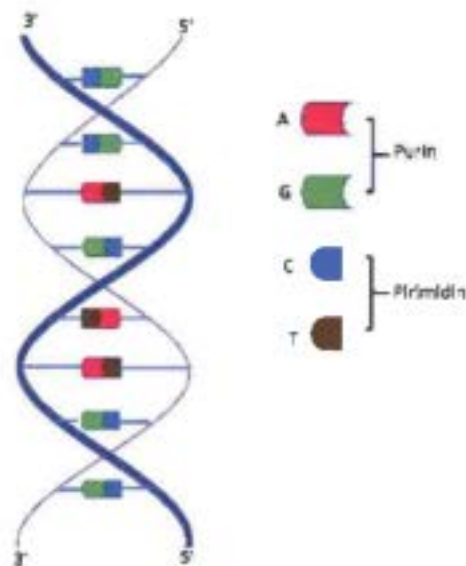
Johan Gregor Mendel (**Gambar 1.1 A**) merupakan ilmuwan pertama yang tertarik mempelajari ilmu genetika dan menerapkan metode ilmiah



Morgan dan setelahnya, ilmuwan telah mengetahui bahwa faktor penurunan sifat atau yang dikenal dengan gen terdapat pada kromosom, setiap kromosom terdiri dari beberapa gen, dan hasil dari pewarisan dua sifat yang berbeda tergantung pada letak gen pada kromosom; terletak pada dua kromosom berbeda, atau pada satu kromosom yang sama. Namun belum ada ilmuwan yang tahu molekul apakah dalam kromosom yang menentukan sifat manusia atau apakah wujud dari suatu gen.

Penelitian tentang pengaruh infeksi virus terhadap perubahan fenotip *E. coli* menjadi jalan untuk mengetahui apakah wujud dari gen yang sebenarnya. Ilmuwan telah lama mengetahui bahwa infeksi *E. coli* oleh *Bacteriophage* dapat menyebabkan perubahan fenotip dari bakteri tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Bacteriophage* hanya tersusun dari 2 molekul yaitu protein dan asam nukleat dalam bentuk DNA. Untuk mengetahui manakah dari kedua molekul yang dapat mengubah fenotip bakteri, ilmuwan melabeli protein virus dengan S radioaktif dan DNA dengan P radioaktif (**Gambar 1.2**). Hasil penelitian menunjukkan bahwa protein dari virus menempel di bagian permukaan bakteri sedangkan DNA-nya masuk ke dalam sel. Hasil ini membuktikan bahwa molekul DNA-lah yang bertanggung jawab terhadap pewarisan sifat.

Tahun 1953 melalui teknik X-Ray kristalografi James D. Watson dan Francis H. Crick (**Gambar 1.1 C**) menyimpulkan bahwa DNA merupakan molekul heliks ganda. Penelitian secara mendalam memperlihatkan bahwa setiap rantai DNA disusun oleh unit berulang yang disebut nukleotida. Setiap nukleotida terdiri dari gula deoksiribosa, basa nitrogen dan gugus fosfat. Terdapat 4 jenis nukleotida penyusun DNA yaitu dATP, dTTP, dCTP, dan dGTP. Nukleotida-nukleotida tersebut disusun secara spesifik membentuk rantai DNA tunggal melalui pembentukan ikatan fosfodiester. Pada DNA rantai ganda kedua rantai dihubungkan oleh ikatan hidrogen yang terbentuk antara basa nitrogennya (**Gambar 1.3**). Pada DNA rantai ganda, A berpasangan dengan T dan C berpasangan dengan G, sehingga pada DNA rantai ganda jumlah A = T dan C = G atau jumlah purin = jumlah pirimidin.

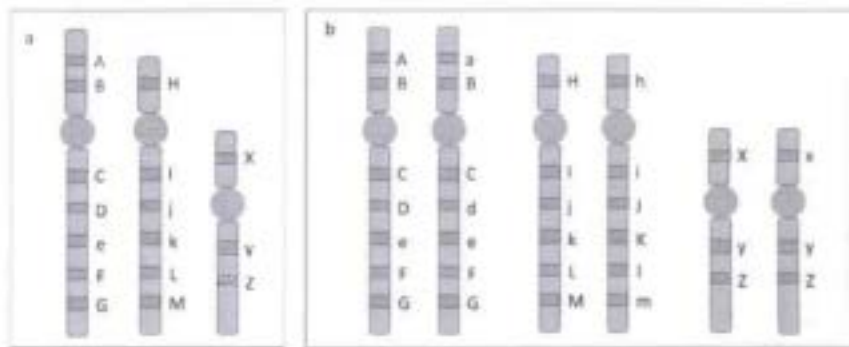


Gambar 1.3. Struktur DNA rantai ganda.

### 1.3 GEN, ALEL, LOKUS, DAN KROMOSOM

Gen merupakan urutan basa spesifik pada DNA yang mengkode RNA. Apabila gen tersebut mengkode protein maka akan terjadi proses yang disebut dengan ekspresi gen. Posisi spesifik dari suatu gen di dalam kromosom disebut dengan lokus. Adanya variasi alel pada suatu gen disebabkan oleh adanya variasi pada urutan basa di lokus yang sama pada suatu kromosom homolog. Untuk mempermudah pemahaman ini mari perhatikan **Gambar 1.4**. Pada suatu tanaman terdapat dua warna bunga yaitu merah dan putih. Warna merah disebabkan oleh alel dominan A sedangkan warna putih disebabkan oleh alel resesif a. Diketahui gen pengatur warna bunga terletak di lokus X dari salah satu kromosom tumbuhan. Hasil analisis urutan basa DNA menunjukkan bahwa kromosom dengan alel A mampu memproduksi protein yang berperan sebagai enzim dan berperan dalam sintesis pigmen warna merah. Alel a merupakan bentuk mutan dari alel A, mutasi ini menyebabkan alel a tidak mampu memproduksi enzim yang berperan dalam produksi pigmen warna merah. Tumbuhan dengan bunga berwarna merah akan terbentuk apabila tanaman memiliki sepasang atau satu alel dominan A dan akan berwarna putih jika memiliki sepasang alel resesif a.

Setiap sel organisme memiliki jumlah kromosom yang identik pada sel-sel susunan tubuhnya (kecuali sel gamet) (**Tabel 1.1**). Organisme yang hanya memiliki satu set kromosom disebut dengan organisme haploid ( $n$ ) sedangkan apabila organisme memiliki sepasang set kromosom maka organisme tersebut disebut dengan organisme diploid. Pada kondisi diploid setiap kromosom memiliki pasangan kromosom homolognya. Dua kromosom dikatakan homolog apabila terdapat gen yang sama untuk setiap lokusnya (**Gambar 1.5**). Adanya perbedaan alel pada setiap lokus kromosom mengakibatkan adanya perbedaan fenotip pada satu spesies.

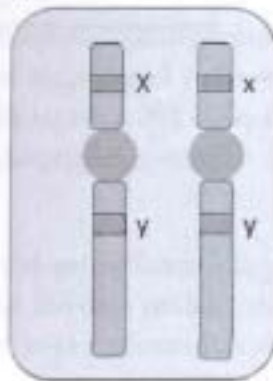


**Gambar 1.5.** A susunan kromosom pada kondisi haploid ( $n$ ). B susunan kromosom pada kondisi diploid ( $2n$ )

**Tabel 1.1** Jumlah kromosom pada Hewan dan Tumbuhan

Organisme	Jumlah kromosom	Jumlah pasangan kromosom
Jagung	20	10
Lalat rumah	12	6
Snapdragon	16	8
Lalat buah	8	4
Ayam	78	37
Mencit	40	20
Manusia	46	23

- b. Agar persilangan sesuai dengan prinsip Morgan, maka kedua gen harus terletak pada dua kromosom yang sama, seperti terlihat pada gambar berikut:



3. Atom apakah yang dapat dipergunakan untuk membedakan protein dari DNA dan sebaliknya!

Jawaban:

Protein memiliki atom sulfur sedangkan DNA tidak. DNA memiliki atom fosfat sedangkan protein tidak. Oleh sebab itu sulfur dan fosfat radioaktif dapat dipergunakan untuk membedakan protein dan DNA.

4. Jika inti pada serbuk sari tanaman memiliki 23 kromosom, maka tentukanlah berapa jumlah kromosom yang terdapat pada sel-sel penyusun daun!

Jawaban:

Polen merupakan sel haploid ( $n$ ) sedangkan sel daun merupakan sel diploid ( $2n$ ). Pada keadaan haploid sel tumbuhan memiliki 23 kromosom, maka pada kondisi diploid sel tumbuhan memiliki 46 kromosom atau 23 pasang.

5. Diketahui bahwa sebuah DNA rantai ganda memiliki 23% A. Tentukanlah persentase basa T, C dan G pada DNA tersebut!

Jawaban:

Pada DNA rantai ganda purin berpasangan dengan pirimidin, di mana A berpasangan dengan T dan C berpasangan dengan G. Diketahui persentase basa A adalah 23% sehingga persentase basa T juga 23%. Total basa C + G adalah  $100\% - 46\% = 52\%$ . Dengan demikian persentase basa C dan G masing-masing 26%.

## **BAB 2**



# **GENETIKA MENDEL**

### **2.1 TUJUAN PEMBELAJARAN**

1. Mampu menggunakan Hukum Mendel I dan II dalam menentukan hasil dari persilangan mono, dan tri hibrid.
2. Mampu menjelaskan konsep alel dominan dan resesif
3. Mampu menggunakan metode monohibrid dalam memprediksi keturunan dari persilangan di dan trihibrid
4. Mampu menentukan fenotip dari induk yang disilangkan berdasarkan keturunannya
5. Mampu menggunakan teori peluang dalam meramalkan hasil dari sebuah persilangan.

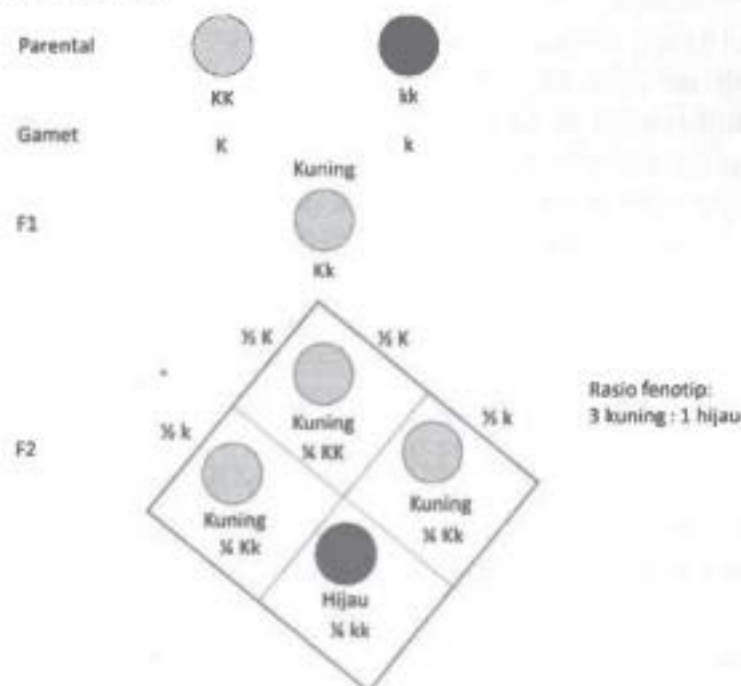
### **2.2 SEJARAH MENGENAI GREGOR MENDEL**

**G**regor Mendel (1822-1884) merupakan anak dari pasangan petani yang tinggal di Eropa Tengah. Pada usia 21 tahun dia masuk menjadi anggota biara Katolik di kota Brunn. Di Biara inilah dia mulai melakukan percobaan genetika dengan berbagai tanaman kebun. Dari semua tanaman yang dipakai dalam penelitiannya, Mendel memperoleh hasil yang memuaskan ketika dia menggunakan tanaman kacang ercis (**Gambar 2.1**). Hasil penelitian Mendel dipublikasikan di *Society Prosiding* 1866, namun kurang memperoleh tanggapan dari ilmuwan kala itu. Pada tahun 1900 artikel yang ditulis Mendel dibaca kembali oleh tiga orang ahli botani yaitu Hugo de Vries, Carl Correns, dan Eric von Tschermak-



### 2.3 HUKUM MENDEL I

Mendel memulai percobaannya dengan melakukan persilangan dua kacang ercis yang memiliki satu perbedaan sifat, dikenal dengan persilangan monohibrid. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menjawab sebuah pertanyaan dasar “apakah karakter dari individu berasal dari salah satu orang tuanya atau merupakan campuran kedua orang tuanya?” Untuk menjawab pertanyaan tersebut, Mendel menyilangkan dua ercis galur murni (homozigot) dengan karakteristik yang berbeda yaitu satu berbiji kuning dan lainnya berbiji hijau (**Gambar 2.2**). Kedua induk galur murni ini dikenal dengan istilah generasi parental (P). Seluruh keturunan dari hasil persilangan tersebut, dikenal dengan filial 1 (F1) memiliki biji bulat. Fenotip F1 menunjukkan seolah-olah sifat dari individu hanya berasal dari salah satu induknya saja.



**Gambar 2.2.** Hasil persilangan monohibrid

Untuk memastikan apakah benar sifat individu hanya berasal dari salah satu induknya, Mendel kemudian menyilangkan sesama F1 dan menghasilkan keturunan dengan perbandingan fenotip ercis berbiji kuning

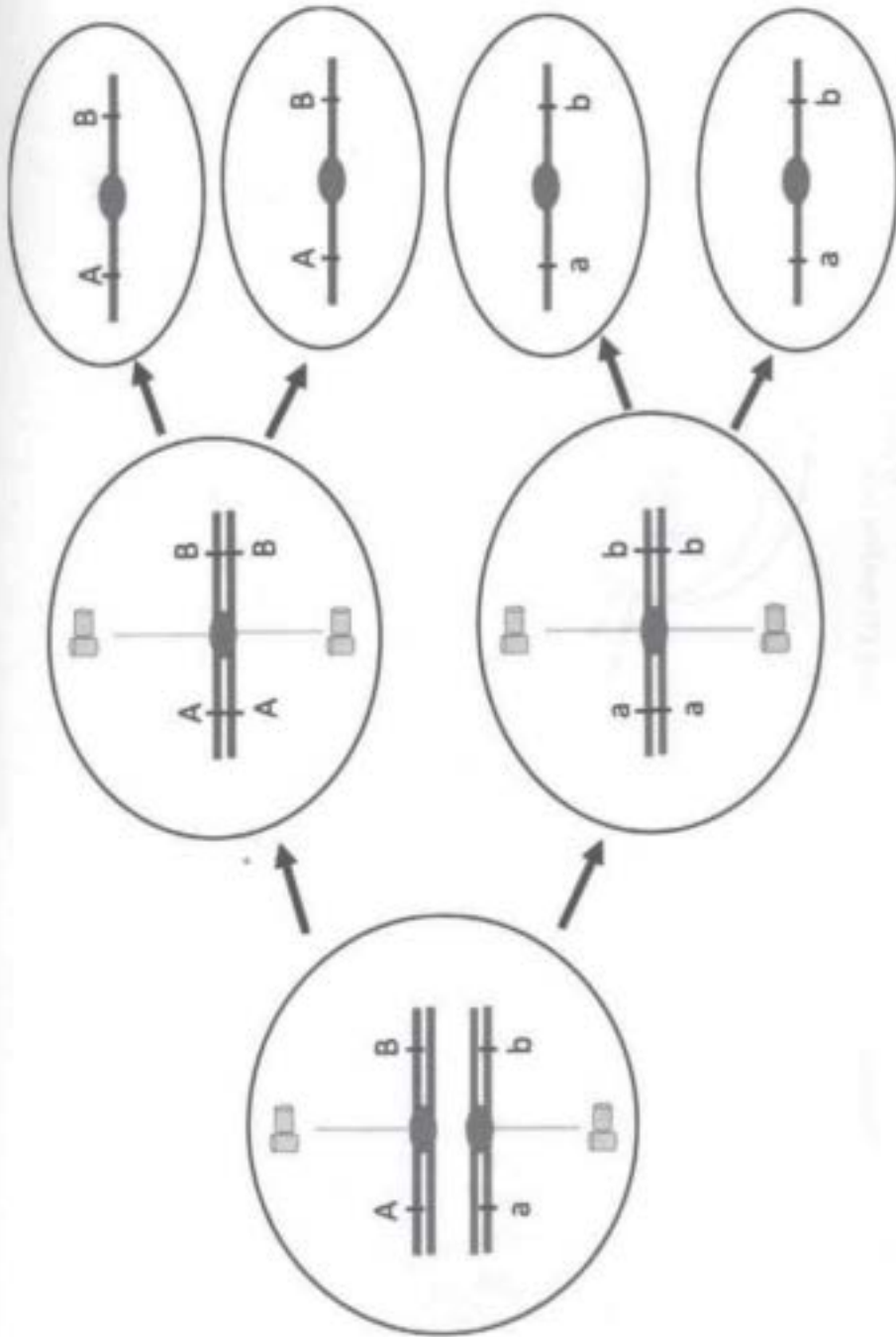
## 2.4 HUKUM MENDEL II

Setiap individu memiliki puluhan bahkan ratusan karakter yang berbeda. Pertanyaannya adalah “apakah pewarisan satu karakter dipengaruhi oleh karakter lainnya?”. Untuk menjawab hal tersebut Mendel menyilangkan dua galur murni dengan dua karakter berbeda (dihybrid) yaitu ercis biji bulat berwarna kuning dengan ercis biji kisut berwarna hijau (**Gambar 2.3**). Seluruh keturunan F1 menghasilkan biji bulat berwarna kuning. Persilangan sesama F1 menghasilkan keturunan F2 bulat kuning, bulat hijau, kisut kuning dan kisut hijau dengan perbandingan 9:3:3:1.

Hasil persilangan dihybrid yang dilakukan oleh Mendel menunjukkan pewarisan sifat bentuk biji tidak dipengaruhi oleh pewarisan sifat warna biji. F1 pada persilangan memiliki genotip heterozigot untuk kedua gen (BbKk). Pada pembentukan gamet, alel B akan terpisah ke gamet yang berbeda dengan gamet b dan alel K berpindah ke gamet yang berbeda dengan alel k (*law of segregation*). Perpindahan alel B tidak bergantung pada K atau k begitu juga dengan b, sehingga terdapat 4 jenis gamet yang dapat diproduksi dengan peluang yang sama yaitu  $\frac{1}{4}$  BK,  $\frac{1}{4}$  Bk,  $\frac{1}{4}$  bK dan  $\frac{1}{4}$  bk. Persilangan sesama F1 kemudian akan menghasilkan fenotip dengan perbandingan 9 Bulat kuning (B-K-): 3 bulat hijau (B-kk): 3 kisut kuning (bbk-): 1 kisut hijau (bbkk). Persilangan dihybrid menghasilkan hukum Mendel II yang dikenal dengan *principle of independent assortment*. Hukum Mendel II menyatakan bahwa pada pembentukan gamet, alel dari gen yang berbeda terpisah secara *independent* (tidak bergantung satu sama lain).

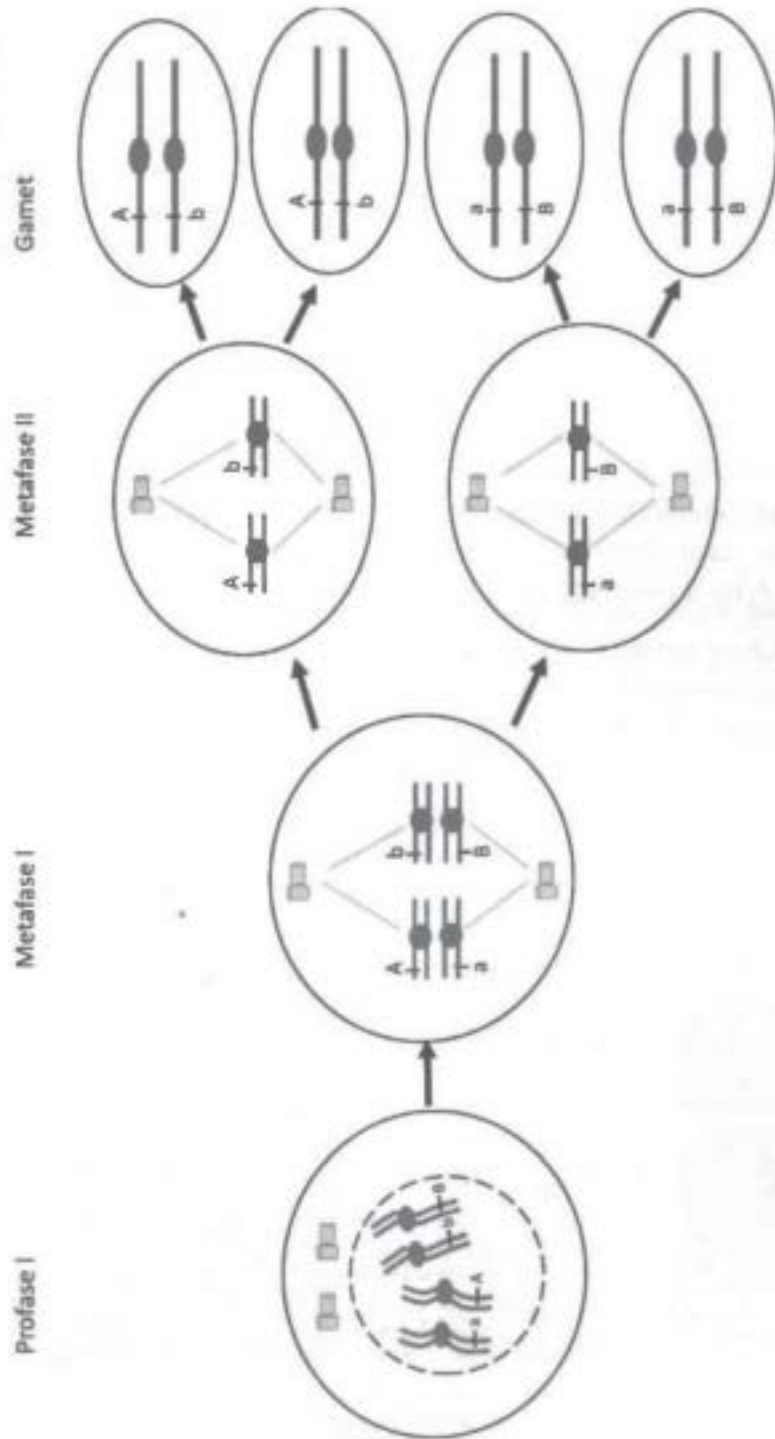
## 2.5 HUBUNGAN ANTARA HUKUM MENDEL DAN PEMBELAHAN SEL

Hasil dari persilangan Mendel sangat berkaitan dengan pembelahan meiosis pada waktu pembentukan gamet. Segregasi alel dan *independent assortment* terjadi pada meiosis I (**Gambar 2.4 dan 2.5**). Segregasi alel terjadi karena kromosom homolog berpasangan di bidang ekuator dan hanya melekat pada mikrotubul dari salah satu kutub pembelahan. Ketika kedua kromosom homolog membawa alel yang berbeda dari gen yang sama (heterozigot), maka pada anafase I, kedua kromosom akan terpisah ke kutub yang berbeda dan akan menghasilkan gamet yang berbeda.



Gambar 2.4. Hubungan antara hukum Mendel I dengan pembelahan meiosis.





Gambar 2.5. Hubungan antara hukum Mendel II dengan pembelahan meiosis (Lanjutan).

## 2.6 TEORI PELUANG

Teori peluang merupakan alat bantu untuk mempelajari genetika. Teori peluang memungkinkan kita untuk memprediksi seberapa sering suatu kejadian atau kondisi terjadi. Peluang dari suatu kejadian dihitung dengan membagi banyaknya suatu peristiwa terjadi dibagi oleh keseluruhan peristiwa yang mungkin terjadi. Sebagai contoh, uang koin memiliki dua sisi yaitu gambar dan angka. Jika uang koin kita lempar ke udara maka ada dua kejadian yang mungkin terjadi yaitu sisi angka menghadap ke atas atau sisi gambar yang menghadap ke atas. Peluang munculnya angka menghadap ke atas ketika uang koin dilemparkan ke atas adalah  $\frac{1}{2}$ . Contoh lainnya adalah munculnya satu sisi muka dadu. Dadu memiliki enam sisi sehingga jika dadu dilemparkan ke udara maka akan ada enam kemungkinan kejadian. Peluang salah satu sisi dadu menghadap ke atas adalah  $\frac{1}{6}$ .

Terdapat dua prinsip peluang yang digunakan dalam memprediksi hasil dari persilangan. Prinsip pertama adalah **hukum perkalian** yang menyatakan bahwa peluang dua atau lebih kejadian *independent* (terpisah) terjadi secara bersamaan adalah hasil kali dari peluang masing-masing kejadian. Peluang seorang pasangan memiliki 2 anak dengan anak pertama perempuan dan anak kedua laki-laki adalah  $\frac{1}{4}$ . Ini diperoleh dari mengalikan peluang anak pertama perempuan ( $\frac{1}{2}$ ) dengan peluang anak ke dua laki-laki ( $\frac{1}{2}$ ). Prinsip kedua dari peluang adalah **hukum penjumlahan** yang menyatakan peluang terjadinya satu dari dua atau lebih kejadian adalah hasil penjumlahan dari peluang masing-masing kejadian. Peluang seorang ibu hamil melahirkan anak laki-laki atau perempuan adalah 1 sebab peluang melahirkan anak laki-laki adalah  $\frac{1}{2}$  dan peluang melahirkan anak perempuan adalah  $\frac{1}{2}$ .

## 2.7 TEST CROSS

Pada pembahasan sebelumnya telah dibahas bahwa warna kuning pada biji ercis bersifat dominan dibandingkan dengan warna hijau. Ercis yang memiliki biji berwarna hijau pasti memiliki genotip *kk*, sedangkan genotip dari ercis dengan biji kuning memiliki dua kemungkinan *KK* atau *Kk*. Bagaimana cara mengetahui bahwa tanaman dengan biji berwarna kuning memiliki genotip *KK* atau *Kk*? Uji genotip dapat dilakukan dengan

Perbedaan bentuk dari tiap-tiap bagian wajah disebabkan oleh perbedaan set alel antara individu satu dengan lainnya. Pada **tabel 2.1** disajikan beberapa karakteristik pada manusia yang diatur oleh alel dominan atau resesif.

**Tabel 2.1** Beberapa karakteristik manusia yang diatur oleh alel dominan atau resesif.

Bagian tubuh	Karakteristik dominan	Karakteristik resesif
Dagu	Terbelah	Tidak terbelah
Pipi	Lesung pipi	Tidak ada lesung pipi
Alur rambut di dahi	<i>Widow's peak</i>	Lurus
Rambut di tangan	Tangan berambut	Tangan tidak berambut
Bibir	Tebal	Tipis
Hidung	Pesek	Mancung

## 2.9 CONTOH SOAL

- Perhatikan persilangan-persilangan berikut ini! Jika bunga merah diatur oleh alel dominan A dan bunga putih diatur oleh alel resesif a, tentukan genotip dari kedua parental yang disilangkan

Parental	Fenotip keturunan
A. Merah x merah	10 merah
B. Merah x merah	8 merah dan 2 putih
C. Putih x putih	11 putih
D. Merah x putih	12 merah
E. Merah x putih	9 merah dan 3 putih

### Jawaban

- Karena tidak ada bunga putih yang muncul maka ada kemungkinan kombinasi genotip dari parental yaitu merah homozigot (AA) disilangkan dengan merah homozigot (AA) atau merah heterozigot (Aa) disilangkan dengan merah merah homozigot (AA).

Perbedaan bentuk dari tiap-tiap bagian wajah disebabkan oleh perbedaan set alel antara individu satu dengan lainnya. Pada **tabel 2.1** disajikan beberapa karakteristik pada manusia yang diatur oleh alel dominan atau resesif.

**Tabel 2.1** Beberapa karakteristik manusia yang diatur oleh alel dominan atau resesif.

Bagian tubuh	Karakteristik dominan	Karakteristik resesif
Dagu	Terbelah	Tidak terbelah
Pipi	Lesung pipi	Tidak ada lesung pipi
Alur rambut di dahi	<i>Widow's peak</i>	Lurus
Rambut di tangan	Tangan berambut	Tangan tidak berambut
Bibir	Tebal	Tipis
Hidung	Pesek	Mancung

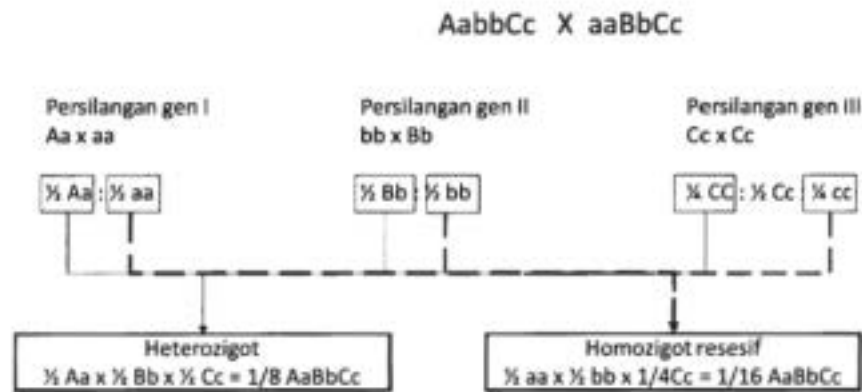
## 2.9 CONTOH SOAL

- Perhatikan persilangan-persilangan berikut ini! Jika bunga merah diatur oleh alel dominan A dan bunga putih diatur oleh alel resesif a, tentukan genotip dari kedua parental yang disilangkan

Parental	Fenotip keturunan
A. Merah x merah	10 merah
B. Merah x merah	8 merah dan 2 putih
C. Putih x putih	11 putih
D. Merah x putih	12 merah
E. Merah x putih	9 merah dan 3 putih

### Jawaban

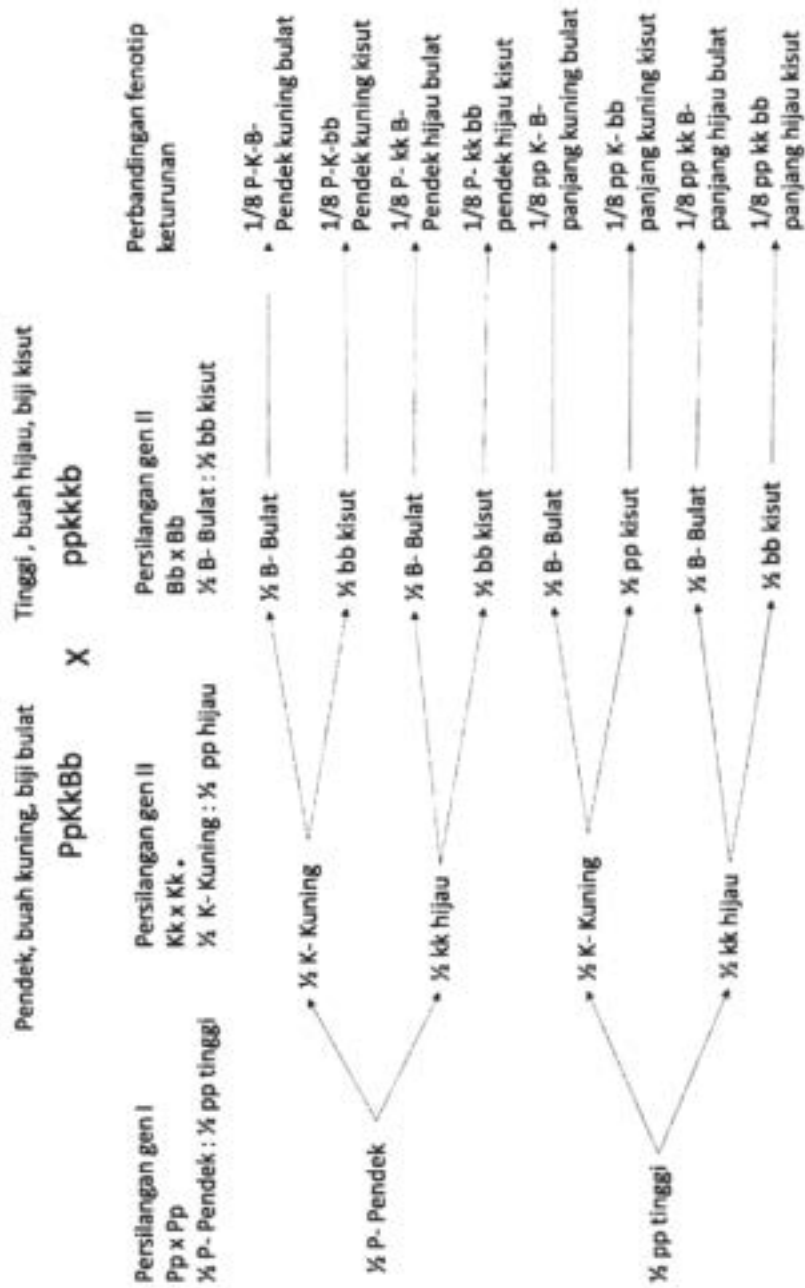
- Karena tidak ada bunga putih yang muncul maka ada kemungkinan kombinasi genotip dari parental yaitu merah homozigot (AA) disilangkan dengan merah homozigot (AA) atau merah heterozigot (Aa) disilangkan dengan merah merah homozigot (AA).



3. Tanaman berbatang tinggi, buah kuning, dan biji bulat disilangkan dengan tanaman berbatang pendek, buah kuning, dan biji kisut. Semua keturunan F1 memiliki batang pendek, buah kuning, dan biji bulat. Jika pewarisan dari ketiga sifat tersebut sesuai dengan hukum Mendel II (*independent assortment*), tentukan:
- Perbandingan fenotip yang dihasilkan dari perkawinan sesama F1!
  - Perbandingan fenotip yang dihasilkan jika F1 disilangkan dengan tumbuhan berbatang tinggi, buah hijau, dan biji bulat!

**Jawaban:**

- Berdasarkan prinsip bahwa sifat dominan akan terekspresi pada kondisi heterozigot maka dapat diketahui batang pendek dominan terhadap batang tinggi, buah kuning dominan terhadap buah hijau dan biji bulat dominan terhadap biji kisut. Untuk mempermudah pengerjaan, alel pendek diberi lambang P sedangkan tinggi p, alel kuning diberi lambang K sedangkan hijau k, dan alel bulat diberi lambang B sedangkan alel kisut diberi lambang b.



- B. Dengan cara yang sama seperti A, maka peluang ovum membawa alel PKU =  $\frac{1}{2}$
- C. Peluang anak terlahir normal =  $1 - \text{peluang anak terlahir PKU} = 1 - (\frac{1}{2} a \times \frac{1}{2} a) = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$

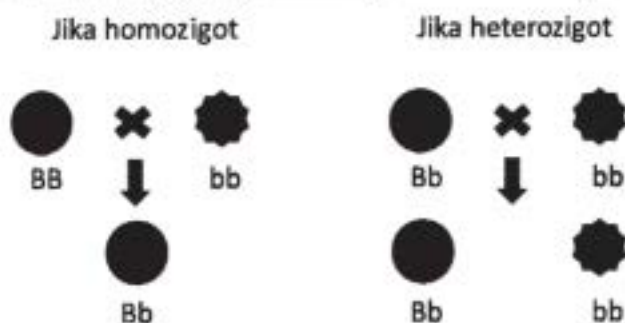
## 2.10 SOAL EVALUASI

- Jika satu sifat diatur oleh dua alel yang berbeda, tentukan cara mengetahui alel yang bersifat dominan atau resesif!
- Diketahui biji bulat pada kacang ercis bersifat dominan terhadap biji kisut. Seorang petani memiliki kacang ercis yang menghasilkan biji bulat. Bagaimana cara mengetahui kacang tersebut homozigot atau heterozigot!
- Tentukan berapa jenis gamet yang dapat dihasilkan dari organisme dengan genotip AABbCcddFF
- Pada tanaman sejenis mentimun, warna buah oranye (J) dominan terhadap warna buah krem (j). Persilangan mentimun berbuah jingga dengan mentimun berbuah krem menghasilkan mentimun berbuah jingga dan mentimun berbuah krem dengan perbandingan 1:1.
  - Tentukanlah genotip dari parental yang berwarna oranye!
  - Jika keturunan berbuah kuning melakukan fertilisasi sendiri, tentukanlah rasio fenotip dari keturunannya!
- Pada planet Nubi terdapat populasi tanaman bunga dengan dua fenotip yaitu bunga berpendar dengan kelopak bunga 4 buah dan tidak berpendar dengan kelopak bunga 5 buah. Ilmuwan di planet Nubi ingin mengetahui pewarisan sifat dari bunga tersebut. Ilmuwan kemudian menyilangkan bunga berpendar kelopak 4 buah dengan bunga yang tidak berpendar kelopak 5 buah. F1 dari persilangan tersebut seluruhnya memiliki bunga berpendar kelopak 5 buah. Gunakan huruf Y untuk lambang alel pada gen yang mengatur bunga berpendar dan X untuk lambang alel pada gen pengatur jumlah kelopak.
  - Tentukanlah sifat-sifat yang dominan pada persilangan tersebut (antara berpendar dengan tidak berpendar dan antara berkelopak 4 dengan 5)! Berikan penjelasan terhadap jawaban anda!
  - Tuliskan jenis-jenis gamet yang dapat dibentuk oleh keturunan F1!
  - Jika F1 disilangkan dengan tanaman dengan bunga tidak berpendar dan berkelopak 4, tentukanlah hasil perbandingan fenotipnya!

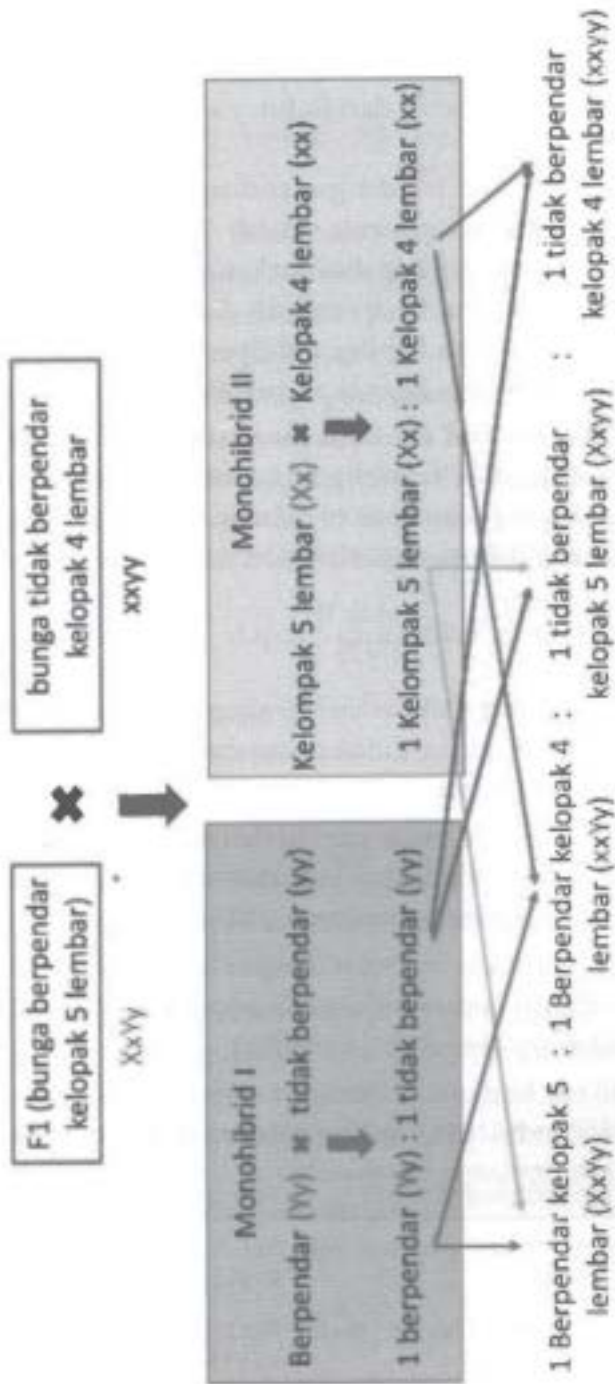
9. Tentukanlah peluang memperoleh organisme dengan genotip  $AaBBCcDDee$  dari persilangan organisme bergenotip  $AABbccDdEe$  dengan organisme bergenotip  $aaBbCcdee$ !
10. Penyakit Huntington merupakan penyakit yang disebabkan oleh alel dominan. Penyakit ini umumnya baru muncul pada usia lanjut. Seorang pemuda terlahir dari Ibu yang menderita Huntington dan Ayah normal. Silsilah keluarga ayahnya menunjukkan tidak adanya pewarisan penyakit ini.
  - A. Tentukan peluang pemuda tersebut menderita penyakit Huntington pada usia lanjut!
  - B. Jika nanti pemuda tersebut menikah dengan wanita yang tidak memiliki silsilah pewarisan Huntington, berpakah peluang pemuda tersebut memiliki keturunan yang menderita Huntington?

### Pembahasan soal

1. Alel dominan dan resesif dapat dilakukan dengan melakukan persilangan monohibrid menggunakan dua galur murni, misalnya bunga merah dan bunga putih. Alel dikatakan dominan apabila fenotip yang diaturnya muncul pada keturunan F1 dan resesif jika tidak. Jadi jika yang muncul pada F1 adalah bunga merah maka alel pengatur merah bersifat dominan dan putih resesif, namun jika F1 memiliki bunga putih maka alel putih bersifat dominan sedangkan alel merah bersifat resesif.
2. Untuk mengetahui genotip dari suatu fenotip, maka langkah yang harus dilakukan adalah *test cross*. Jika hasil *test cross* menghasilkan 100% tanaman berbiji bulat maka kacang yang dimiliki oleh petani memiliki genotip homozigot, namun jika hasil *test cross* 50% bulat dan 50% kisut, maka kacang yang dimiliki petani memiliki genotip heterozigot.







No	Fenotip/genotip induk I	Fenotip/genotip induk II
3.	Biji hijau, buah kuning, biji bulat/ kkYyBb	Biji kuning, buah hijau, biji kisut/ Kkyybb
4.	Biji kuning, buah kuning, biji kisut, KkYybb	Biji hijau, buah hijau, biji bulat/ kkyyBb

8. Pada percobaan yang dilakukan oleh Mendel kita dapat melihat bahwa persilangan sesama heterozigot pada persilangan monohibrid menghasilkan 2 fenotip, sedangkan persilangan sesama heterozigot pada persilangan dihibrid menghasilkan 4 fenotip. Pada persilangan trihibrid, persilangan sesama heterozigot menghasilkan 8 fenotip. Berdasarkan data tersebut maka rumus banyaknya fenotip yang dihasilkan dari persilangan sesama heterozigot adalah  $2^n$  dengan n adalah jumlah gen yang terlibat. Sehingga jumlah jenis fenotip yang dapat terbentuk dari persilangan sesama heterozigot dengan jumlah gen sebanyak n adalah  $2^n$ .
9. Pertanyaan tersebut dapat dipecahkan menggunakan metode monihibrid:
- AA x Aa =  $\frac{1}{2}$  AA dan  $\frac{1}{2}$  Aa
  - Bb x Bb =  $\frac{1}{4}$  BB,  $\frac{1}{2}$  Bb dan  $\frac{1}{4}$  bb
  - Cc x cc =  $\frac{1}{2}$  Cc dan  $\frac{1}{2}$  cc
  - Dd x dd =  $\frac{1}{2}$  Dd dan  $\frac{1}{2}$  dd
  - Ee x ee =  $\frac{1}{2}$  Ee dan  $\frac{1}{2}$  ee
- Sehingga peluang memperoleh keturunan dengan genotip AaBBCcDDee  
 $= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 1/64$
10. A. Penyakit Huntington umumnya ditemukan pada kondisi heterozigot, sehingga peluang anak tersebut memperoleh alel penyebab Huntington dari ayahnya adalah  $\frac{1}{2}$ .
- B. Peluang pemuda menderita Huntington (memiliki genotip heterozigot) adalah  $\frac{1}{2}$ . Maka peluang pemuda tersebut mewariskan alel penyebab Huntington  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ .

## BAB 3

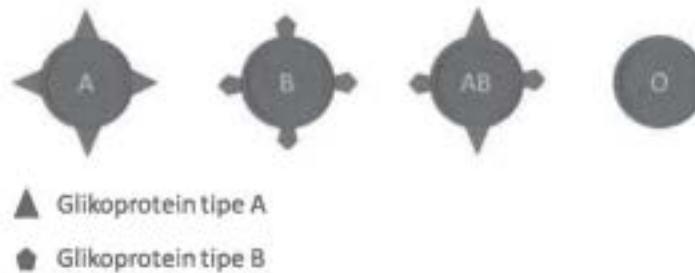
# PENGEMBANGAN DAN MODIFIKASI DARI HUKUM MENDEL

### 3.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Mampu membedakan persilangan monohibrid dengan prinsip dominan-resesif, kodominan dan intermediet.
2. Mampu menyelesaikan persilangan gen dengan banyak alel.
3. Mampu mengidentifikasi interaksi alel dari dua gen berbeda (ataisme, epistasis, hipotasi dan komplementer).
4. Mampu mengidentifikasi pewarisan sifat yang berkaitan dengan jenis kelamin (*Sex-limited dan Sex influenced gene*)
5. Mampu mengidentifikasi pewarisan sifat yang diatur oleh gen yang terdapat di sitoplasma.

Pada persilangan Mendel kita melihat bahwa setiap gen hanya memiliki dua jenis alel di mana satu alel bersifat dominan dan alel lainnya bersifat resesif. Pada kenyataanya beberapa gen memiliki lebih dari satu jenis alel dan interaksinya tidak selalu dominan dan resesif sempurna. Persilangan yang dilakukan oleh Mendel juga menunjukkan bahwa satu sifat diatur hanya oleh satu gen saja. Belakangan diketahui bahwa munculnya satu sifat dapat melibatkan dua atau lebih gen. Kondisi-kondisi tersebut menyebabkan pada beberapa persilangan, pola keturunan yang dihasilkan tidak sesuai dengan hasil yang diperoleh oleh Mendel.

benar-benar dominan. Sifat persilangan pada bunga ini kemudian dikenal dengan pewarisan sifat intermediet atau *incomplete dominance*.



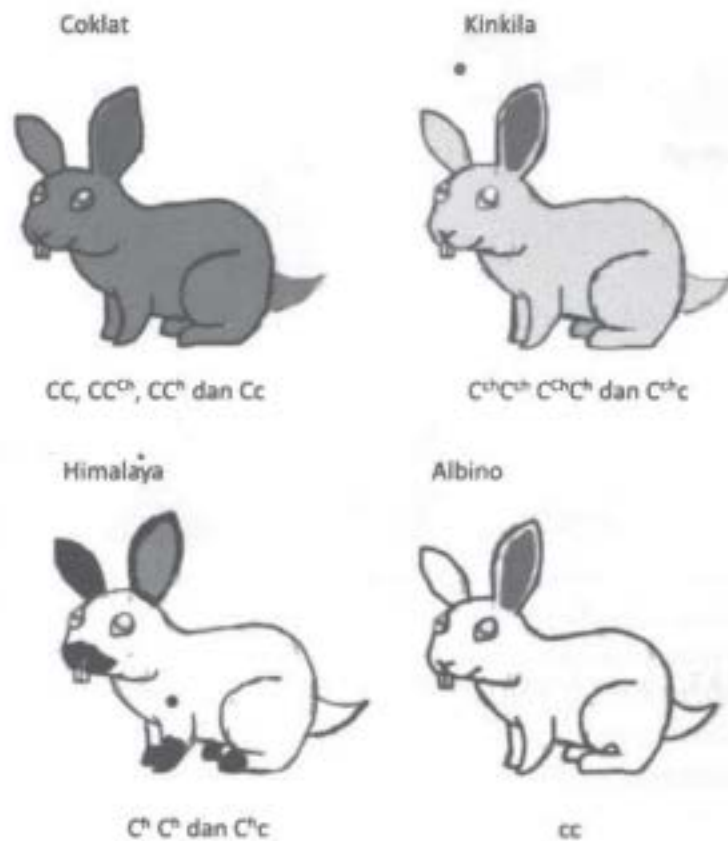
**Gambar 3.2.** Jenis golongan darah ABO pada manusia ditentukan oleh jenis glikoprotein yang terdapat dipermukaan sel darah merah

Penentuan golongan darah didasarkan pada adanya glikoprotein yang ada di permukaan sel darah merah (**Gambar 3.2**). Orang yang bergolongan darah A memiliki glikoprotein jenis A di permukaan sel darahnya sedangkan orang yang bergolongan darah B memiliki glikoprotein jenis B di permukaan sel darahnya. Pernikahan seorang laki-laki bergolongan darah A dengan perempuan bergolongan darah B menghasilkan anak bergolongan darah AB. Permukaan sel darah merah pada golongan darah AB memiliki glikoprotein A dan B di permukaan selnya. Adanya glikoprotein A dan B di permukaan sel darah merah menunjukkan baik alel A dan B sama-sama tereksresi pada kondisi heterozigot atau dapat dikatakan kedua alel tersebut sama-sama dominan (**kodominan**).

### 3.2.2 Alel letal

Alel letal merupakan alel yang menyebabkan kematian atau kegagalan perkembangan embrio jika berada dalam kondisi homozigot. Alel pengatur warna rambut kuning pada mencit merupakan salah satu contoh alel letal (**Gambar 3.3**). Persilangan dua mencit dengan rambut kuning menghasilkan keturunan mencit dengan rambut kuning dan mencit dengan rambut putih dengan perbandingan 2:1. Hasil *test cross* dari mencit berwarna kuning menghasilkan keturunan mencit berwarna kuning dan mencit berwarna putih dengan perbandingan 1:1. Hasil ini menunjukkan bahwa alel kuning dominan terhadap alel putih dan mencit kuning homozigot (galur murni)

*Multiple allele* juga ditemukan pada gen yang mengatur warna rambut pada kelinci (**Gambar 3.4**). Warna rambut pada kelinci diatur oleh empat jenis alel yang berbeda yaitu  $C$ ,  $C^{Ch}$ ,  $C^h$  dan  $c$ . Alel  $C$  menyebabkan munculnya warna coklat,  $C^{Ch}$  menyebabkan munculnya warna kinkila, alel  $C^h$  menyebabkan munculnya warna himalaya dan alel  $c$  menyebabkan munculnya albino. Keempat alel tersebut memiliki urutan dominansi  $C > C^{Ch} > C^h > c$ , sehingga terdapat empat jenis genotip yang dapat memunculkan fenotip warna coklat ( $CC$ ,  $CC^{Ch}$ ,  $CC^h$  dan  $Cc$ ), tiga genotip yang dapat memunculkan fenotip warna kinkila ( $C^{Ch}C^{Ch}$ ,  $C^{Ch}C^h$  dan  $C^{Ch}c$ ), 2 genotip yang dapat memunculkan warna himalaya ( $C^hC^h$  dan  $C^hc$ ) dan satu genotip yang dapat memunculkan fenotip albino ( $cc$ ).

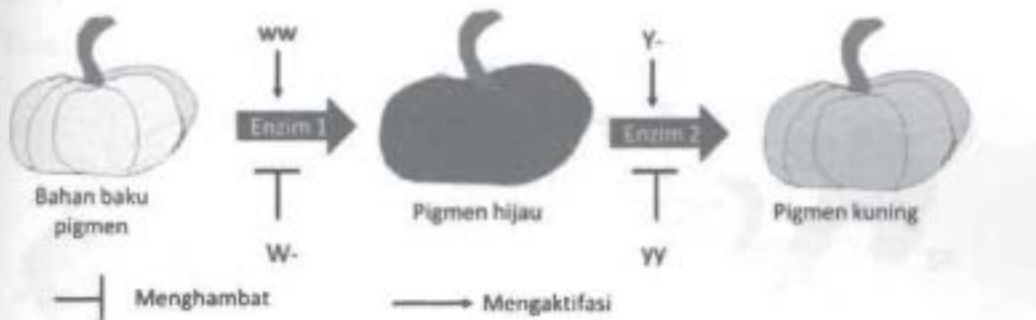


**Gambar 3.4.** Variasi warna rambut pada kelinci yang disebabkan oleh adanya lebih dari dua alel pada lokus pengatur warna rambut.

baru dari setiap persilangan, persilangan rose dan pea menghasilkan sifat walnut sedangkan persilangan sesama walnut memunculkan sifat tunggal. Hasil persilangan ini juga menunjukkan bahwa kombinasi alel berbeda dari kedua gen menghasilkan fenotip yang berbeda; R dengan P menghasilkan walnut, R dengan p menghasilkan rose, r dengan P menghasilkan Pea, dan r dengan p menghasilkan tunggal.

### 3.3.2 Interaksi gen yang bersifat epistasis

Epistasis dominan



**Gambar 3.6.** Alur biosintesis pigmen yang mengatur warna labu serta pengaruh masing-masing alel terhadap jalur biosintesis pigmen.

Terdapat 3 warna pada labu yaitu warna putih, hijau, dan kuning. Pembentukan pigmen pada buah labu melibatkan dua enzim yang berbeda (**Gambar 3.6**). Gen pertama mengkode protein yang mengatur aktivitas dari enzim I, alel dominan W mengkode protein yang dapat menghambat kerja dari enzim I sedangkan alel resesif w tidak mengkode protein tersebut. Gen kedua mengkode enzim II, alel dominan Y mengkode enzim II sedangkan alel resesif y tidak mengkode enzim tersebut. Labu putih akan muncul apabila labu memiliki alel W pada gen pertama tanpa menghiraukan alel dari gen kedua apakah dominan Y atau resesif. Pada kondisi ini alel dominan W dari gen pertama dikatakan epistasis dominan terhadap alel dominan Y dari gen kedua.



penyusun mahkota bunga. Alel dominan B pada gen kedua menyebabkan pH sitoplasma basa sedangkan alel resesif b dari gen tersebut menyebabkan pH sitoplasma asam. Antosianin berwarna ungu pada pH basa dan merah pada pH asam. Bunga baru akan berwarna ketika antosianin terbentuk yaitu ketika tumbuhan memiliki alel dominan A pada gen pertama. Apabila tanaman homozigot resesif (aa) pada gen pertama maka tumbuhan tidak dapat mensintesis antosianin sehingga bunga akan berwarna putih. Pewarisan warna bunga ini menunjukkan adanya peristiwa epistasis resesif, karena pada fenotip aaB- bunga berwarna putih yang artinya alel resesif dari gen pertama menutupi ekspresi alel dominan dari gen kedua.

Epistasis resesif

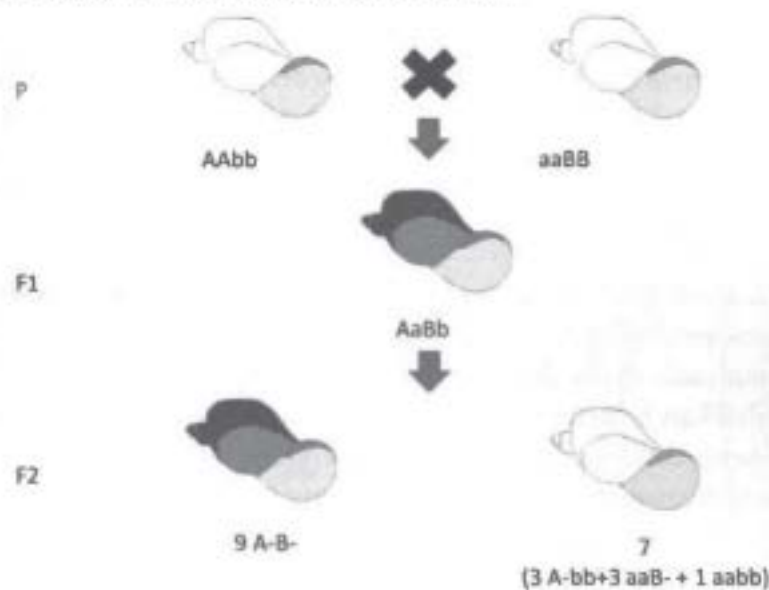


**Gambar 3.8.** Proses terbentuknya warna pada bunga. Untuk menghasilkan warna ungu dibutuhkan keberadaan alel A dan B pada individu yang sama.

Tumbuhan berbunga merah galur murni (AAbb) disilangkan dengan tumbuhan berbunga putih galur murni (aaBB) menghasilkan F1 tumbuhan berbunga ungu (Gambar 3.9). Persilangan sesama F1 menghasilkan keturunan dengan perbandingan 9 tumbuhan berbunga ungu: 3 tumbuhan berbunga merah: 4 tumbuhan berbunga putih. Empat tumbuhan berbunga putih terdiri dari 3 tanaman dengan genotip aaB- dan 1 tanaman dengan genotip aabb.

Albinisme pada cangkang siput disebabkan oleh ketidakmampuan sel-sel cangkang untuk menghasilkan pigmen warna coklat. Untuk menghasilkan pigmen coklat, sel-sel penyusun cangkang dua enzim yang dikode oleh dua gen yang berbeda (Gambar 3.10). Alel dominan A dari gen pertama mengkode enzim yang mengubah substrat pigmen menjadi produk intermediet yang tidak berwarna dan alel dominan B dari gen kedua mengkode enzim yang mengubah produk intermediet menjadi pigmen berwarna coklat. Siput akan memiliki cangkang berwarna coklat jika

Persilangan dua siput bercangkang albino galur murni ( $aaBB$  dan  $AAbb$ ) menghasilkan F1 siput bercangkang coklat (Gambar 3.11). Persilangan sesama F1 menghasilkan keturunan dengan perbandingan 9 siput bercangkang coklat dan 7 siput bercangkang albino. Tujuh siput bercangkang albino terdiri dari 3 siput dengan genotip  $aaB-$ , 3 siput dengan genotip  $A-bb$ , dan 1 siput dengan genotip  $aabb$ .

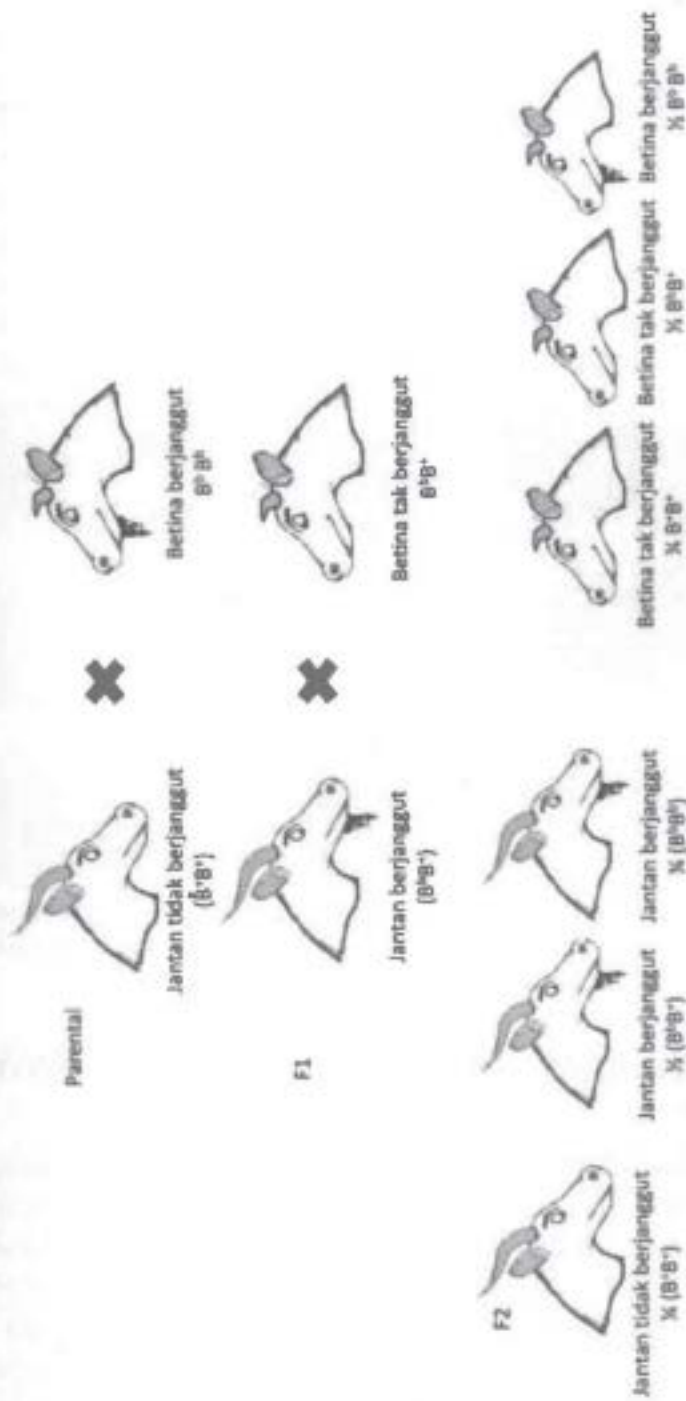


Gambar 3.11. Mekanisme pewarisan warna cangkang pada siput yang menunjukkan adanya peristiwa epistasis resesif ganda.

### 3.4 PENGARUH JENIS KELAMIN TERHADAP PEWARISAN SIFAT

Kromosom manusia terdiri atas autosom dan kromosom sex. Autosom merupakan kromosom yang tidak menentukan jenis kelamin dari organisme sedangkan kromosom sex merupakan kromosom yang menentukan jenis kelamin dari organisme. Pewarisan gen-gen yang terletak pada kromosom sex menyebabkan pewarisan sifat yang diatur oleh gen tersebut dipengaruhi oleh jenis kelamin. Fenomena ini akan dibahas pada bab berikutnya. Beberapa gen yang terletak pada autosom pewarisannya juga dipengaruhi oleh jenis kelamin dan gen-gen ini akan menjadi fokus pembahasan pada bab ini.





Gambar 3.12. Pewarisan sifat pada kambing yang disebabkan oleh pengaruh jenis kelamin terhadap perilaku alel. Alel pengatur jenggot ( $B$ ) dominan pada jantan dan resesif pada betina.

yang terdapat pada sel telur, hal ini terjadi karena gen paternal maupun maternal pada awal perkembangan embrio belum aktif. Putaran cangkang kanan diatur oleh alel dominan ( $S^+$ ) pada autosom, sedangkan putaran cangkang kiri diatur oleh alel resesif ( $s$ ) (**Gambar 3.14**). Perkawinan siput jantan cangkang putaran kanan ( $S^+S^+$ ) dengan betina putaran cangkang kiri ( $ss$ ) menghasilkan F1 yang semuanya bercangkang putaran kiri ( $S^+s$ ). Persilangan sesama F1 menghasilkan F2 yang semuanya memiliki cangkang putaran kanan meskipun terdapat tiga genotip berbeda yaitu  $S^+S^+$ ,  $S^+s$  dan  $ss$ . Hasil persilangan tersebut menunjukkan bahwa fenotip dari anakan ditentukan oleh genotip induknya dan bukan oleh genotipnya sendiri.



**Gambar 3.14.** Pewarisan sifat arah putaran cangkang pada siput ditentukan oleh genotip dari induk betina.

### 3.7 PLEIOTROPY

*Pleiotropy* merupakan kondisi di mana satu gen berpengaruh terhadap munculnya beberapa sifat (fenotip) (**Gambar 3.15**). *Pleiotropy* menyebabkan kesulitan dalam merunut pewarisan penyakit menggunakan *pedigree* ataupun menimbulkan kebingungan pada dokter dalam mendiagnosa penyakit. Hal itu disebabkan oleh gejala penyakit yang timbul oleh gen yang memiliki efek *pleiotropy* tidak sama antara satu individu dengan individu lainnya. PKU, alkaptonuria (AKU), dan *sickle cell anemia* merupakan contoh *pleiotropy* pada manusia.

### 3.8 SOAL LATIHAN

1. Warna bulu pada bebek mallard diatur oleh satu gen yang memiliki tiga jenis alel yaitu  $M^R$  (restricted),  $M$  (mallard) dan  $m^d$  (dusky).
- Berdasarkan keterangan di atas, ada berapa kemungkinan genotip yang mengatur warna bulu pada bebek mallard?
  - Untuk mengetahui hubungan antar ketiga alel tersebut, peneliti melakukan persilangan terhadap tiga bebek galur murni seperti terlihat pada tabel:

Fenotip parental	Fenotip F1
Restricted x Mallard	Restricted
Restricted x Dusky	Restricted
Mallard x Dusky	Mallard
Restricted x Restricted	Restricted
Mallard x Mallard	Mallard
Dusky x Dusky	Dusky

Berdasarkan hasil persilangan tersebut, tentukan hubungan dari ketiga alel dalam mengatur warna bulu pada bebek mallard!

- Tentukan genotip yang dapat memunculkan fenotip restricted, mallard, dan dusky!

#### Jawaban:

- Bebek merupakan organisme diploid sehingga setiap sel di dalam tubuhnya terdapat sepasang alel. Sepasang alel tersebut bisa dalam kondisi homozigot atau heterozigot. Sehingga jumlah genotip yang mungkin dihasilkan dari 3 alel tersebut adalah 6 dengan rician:

3 homozigot ( $M^R M^R$ ,  $MM$ , dan  $m^d m^d$ )

3 heterozigot ( $M^R M$ ,  $M^R m^d$ ,  $M m^d$ )

- Persilangan bebek berbulu restricted dengan bebek berbulu mallard menghasilkan bebek berbulu restricted, hasil ini menunjukkan alel  $M^R$  dominan terhadap  $M$ .

Persilangan bebek berbulu restricted dengan bebek berbulu dusky menghasilkan bebek berbulu restricted, hasil ini menunjukkan alel  $M^R$  dominan terhadap  $m^d$ .

dan resesif dari dua gen yang berbeda (M-cc atau mmC-) dan warna hijau muncul dari interaksi dua alel resesif dari dua gen yang berbeda (mmcc).

3. Kebotakan pada manusia diatur oleh alel  $B^b$ . Alel  $B^b$  bersifat dominan terhadap alel B pada laki-laki, sedangkan pada wanita alel  $B^b$  bersifat resesif terhadap alel B.
  - A. Tentukan genotip apa sajakah yang menimbulkan kebotakan pada pria?
  - B. Jika seorang laki-laki botak lahir dari ibu dan ayah normal menikah dengan wanita botak. Tentukan berapakah peluang pasangan tersebut memiliki anak yang terlahir botak.

#### Jawaban

- A. Pada laki-laki Alel  $B^b$  bersifat dominan terhadap alel B sehingga terdapat dua genotip yang menimbulkan kebotakan pada laki-laki yaitu  $B^bB$  dan  $B^bB^b$
- B. Laki-laki botak yang lahir dari ayah normal (BB) dan ibu normal pastilah heterozigot ( $B^bB$ ), alel botak diperoleh dari sang ibu. Laki-laki tersebut akan menghasilkan empat tipe gamet yaitu  $1/4 XB$ ,  $1/4 XB^b$ ,  $1/4 YB$  dan  $1/4 YB^b$ , sedangkan istrinya hanya menghasilkan satu jenis gamet yaitu  $XB^b$ . Peluang melahirkan anak botak adalah:
 
$$XXB^bB^b = 1/4 \cdot 1 = 1/4 \text{ (perempuan botak)}$$

$$XYB^bB = 1/4 \cdot 1 = 1/4 \text{ (Laki-laki botak)}$$

$$XYB^bB^b = 1/4 \cdot 1 = 1/4 \text{ (laki-laki botak)}$$

$$\text{Total} = 3/4$$
4. *MERRF syndrome* merupakan penyakit yang disebabkan oleh mutasi pada gen di mitokondria. Tentukanlah peluang keturunan menderita MERRF dari perkawinan berikut ini:
  - A. Laki-laki penderita MERRF dengan perempuan normal.
  - B. Laki-laki normal dengan perempuan penderita MERRF.
  - C. Baik laki-laki maupun perempuan menderita MERRF.

#### Jawaban:

Mitokondria pada zigot berasal dari sel telur yang artinya bahwa kelainan yang disebabkan oleh kerusakan gen pada mitokondria hanya diwariskan dari ibu ke anaknya. Sehingga:

- A. Berapakah jumlah gen minimum yang mengatur warna pada buah labu?
- B. Berdasarkan hasil di atas tulislah jalur biosintesis warna buah labu!
5. Pada populasi manusia terdapat 3 kategori kadar kolesterol dalam darah. Normal (rendah), sedang, dan tinggi. Hasil pengamatan pada suatu negara menunjukkan fakta sebagai berikut:
- Pasangan suami istri yang memiliki kadar kolesterol tinggi selalu memiliki anak dengan kolesterol tinggi.
  - Anak yang terlahir dengan kadar kolesterol sedang selalu terlahir dari pasangan suami istri dengan kolesterol tinggi dan rendah.
  - Pernikahan sesama kolesterol sedang dapat menghasilkan anak dengan kolesterol tinggi, ataupun rendah.
6. Gen yang mengatur munculnya ekor pada tikus terletak pada kromosom 17. Persilangan antara tikus tidak berekor menghasilkan F1 tikus tidak berekor dan tikus berekor dengan perbandingan 2:1. Persilangan sesama F1 antara tikus berekor dengan tikus tidak berekor menghasilkan keturunan F2 tikus tidak berekor dan tikus berekor dengan perbandingan 1:1.
- A. Tentukan apakah tikus tidak berekor diatur oleh alel dominan atau resesif!
- B. Jelaskan mengapa persilangan sesama menciut tidak berekor menghasilkan keturunan dengan perbandingan 2:1!
7. Perhatikan persilangan trihibrid berikut  $AAbbrr \times aaBBRR$ . Jika A dan B bersifat dominan resesif sempurna dan R bersifat intermediet (*incomplete dominance*), tentukan perbandingan fenotip F2-nya!
8. Hasil persilangan dihibrid 2 galur murni menghasilkan perbandingan fenotip F2 yaitu 12: 3: 1. Tentukanlah perbandingan fenotip yang terbentuk dari hasil *test cross* F1!
9. Pada kambing, jenggot diatur oleh alel  $B^b$  pada autosom yang bersifat dominan pada jantan dan resesif pada betina. Alel dominan dari gen lain (W) menyebabkan bulu berwarna hitam, sedangkan alel resesif (w) menyebabkan bulu berwarna putih. Tentukanlah perbandingan fenotip hasil persilangan dari kambing jantan  $B^bB^b Ww \times$  Betina  $B^bB^b ww$ !



betina begitu juga sebaliknya. Pada *sex limited gen*, salah satu alel hanya terekspresi pada satu jenis kelamin saja yaitu jantan atau betina.

3. Warna jingga baru akan terbentuk ketika kedua subunit (A dan B) fungsional. Agar ini terjadi maka setiap individu masing masing harus memiliki paling tidak satu alel dominan A dan B di dalam selnya. Peluang menghasilkan alel A dan B berada pada sel yang sama adalah  $9/16$  (lihat gambar). Sehingga persentase bunga jingga adalah  $9/16 \times 100\% = 56,25\%$

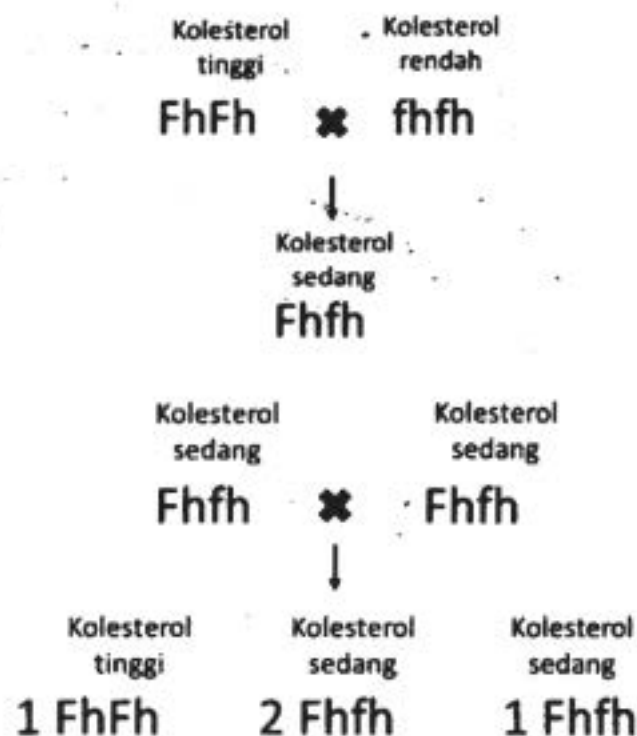


4. A. Jika melihat F2 dari persilangan labu putih dengan labu hijau maka warna labu seolah-olah diatur oleh satu gen dengan 2 alel. Namun ketika melihat F2 persilangan putih dengan kuning, terlihat total perbandingan fenotipnya sama dengan F2 dari hasil persilangan dihibrid Mendel yaitu 16. Berdasarkan analisa tersebut dapat dipastikan bahwa minimal ada dua gen yang mengatur warna buah labu. Jika diumpamakan kedua gen tersebut adalah A dan B maka genotip dari semua tanaman yang terdapat pada tabel adalah sebagai berikut:

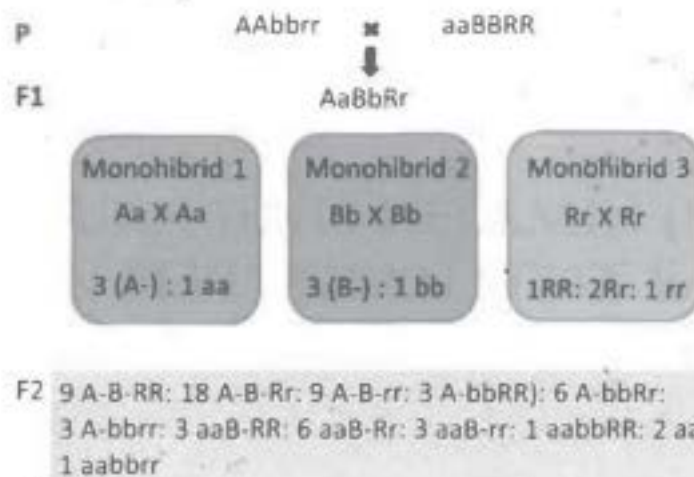
5. Pasangan dengan kolesterol tinggi selalu memiliki anak dengan kolesterol tinggi. Ini mengindikasikan kadar kolesterol tinggi terjadi pada kondisi homozigot.

Pasangan dengan kolesterol tinggi dan rendah selalu menghasilkan anak dengan kadar kolesterol sedang. Kadar kolesterol anak tidak sama dengan kedua orang tuanya dan kadarnya berada di tengah-tengah kedua orang tua, mengindikasikan bahwa kadar kolesterol sedang terbentuk pada genotip heterozigot.

Pasangan dengan kolesterol sedang bisa memiliki anak dengan kolesterol tinggi, sedang ataupun tinggi. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa kolesterol sedang muncul pada kondisi heterozigot dan kadar kolesterol pada manusia diatur oleh gen dengan sifat intermediet atau *incomplete dominance*.







- D. F2 persilangan dihibrid memiliki pola 9 (A-B-): 3 (A-bb): 3 (aaB-): 1-(aabb). Munculnya pola 12: 3: 1 menunjukkan adanya interaksi epistasis antara kedua gen. Jika diasumsikan A epistasis terhadap B, maka genotip-genotip A-B- dan A-bb memiliki fenotip yang sama.

F1 hasil persilangan dua galur murni AABB x aabb adalah AaBb. Jika dilakukan *test cross* terhadap F1 dengan individu aabb, maka akan dihasilkan keturunan dengan empat genotip berbeda yaitu 1 AaBb, 1 Aabb, 1 aaBb, dan 1 aabb. A terhadap B maka AaBb dan Aabb memiliki fenotip yang sama. Dengan demikian perbandingan fenotip hasil *test cross* F1 adalah 2:1:1.

## **BAB 4**

# **PENENTUAN JENIS KELAMIN (SEX) DAN PEWARISAN SIFAT YANG TERPAUT KROMOSOM SEX**

### **4.1 TUJUAN PEMBELAJARAN**

1. Mampu menjelaskan berbagai jenis penentuan jenis kelamin pada hewan.
2. Mampu menyebutkan contoh-contoh sifat yang terpaut pada kromosom X.
3. Mampu menyelesaikan persilangan dari sifat-sifat yang terpaut kromosom-X.
4. Mampu menjelaskan pengaruh pembentukan badan Barr pada pewarisan sifat terpaut kromosom X.

**T**ujuan dari reproduksi secara generatif adalah untuk menghasilkan keturunan yang berbeda dengan kedua induknya. Untuk melakukan reproduksi secara generatif dibutuhkan dua individu yang berbeda jenis kelamin (sex). Pada umumnya hanya terdapat dua jenis kelamin yaitu jantan dan betina. Pada hewan, terdapat berbagai metode yang menentukan jenis kelamin dari suatu organisme antara lain ditentukan oleh kromosom sex, rasio kromosom sex terhadap autosom, sistem haploid-diploid atau lingkungan.

### **4.2 PENENTUAN JENIS KELAMIN BERDASARKAN KROMOSOM SEX**

Pada sebagian besar organisme, kromosomnya dibagi menjadi dua jenis yaitu autosom dan kromosom sex. Kromosom sex merupakan

Organisme jantan berkembang dari telur yang tidak dibuahi (*parthenogenesis*) sehingga hanya memiliki satu set kromosom (*haploid*) sedangkan organisme betina berkembang dari sel telur yang telah dibuahi sehingga memiliki sepasang set kromosom (*diploid*).

#### 4.4 PENENTUAN JENIS KELAMIN YANG DIPENGARUHI OLEH LINGKUNGAN

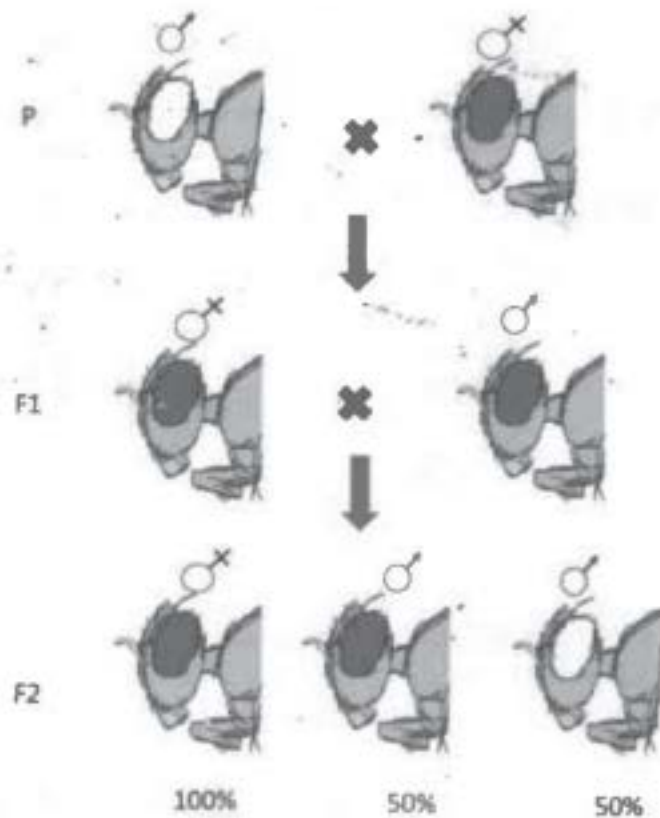
Pada beberapa hewan, seperti reptil, jenis kelamin tidak ditentukan oleh keberadaan kromosom sex melainkan faktor lingkungan yaitu suhu. Perbedaan suhu lingkungan akan menghasilkan jenis kelamin yang berbeda. Pada kura-kura jenis *Rachemys scripta elegans*, suhu lingkungan di bawah 28°C menyebabkan semua embrio berkembang menjadi jantan sedangkan suhu lingkungan di atas 30°C menyebabkan semua embrio berkembang menjadi betina.

#### 4.5 PENENTUAN JENIS KELAMIN PADA LALAT BUAH (*drosophila melanogaster*)

Lalat buah memiliki 4 pasang kromosom yang terdiri dari 3 pasang autosom dan sepasang kromosom sex. Normalnya, betina akan memiliki sepasang kromosom X sedangkan jantan memiliki satu kromosom X dan satu kromosom Y. Berbeda dengan manusia, keberadaan kromosom Y pada lalat buah tidak menjamin lalat tersebut berjenis kelamin jantan. Pada lalat buah, jenis kelamin ditentukan oleh keseimbangan antara gen pada autosom dengan gen pada kromosom X, fenomena ini dikenal dengan *genic balance system*. Kromosom X pada lalat buah memiliki gen yang menentukan jenis kelamin betina sedangkan autosom memiliki gen yang menentukan jenis kelamin jantan. Oleh sebab itu jenis kelamin ditentukan oleh rasio kromosom X dengan autosom (rasio X:A). Jika rasio  $X/A = 1$  maka embrio akan berkembang menjadi betina sedangkan jika rasio  $X/A = 0,5$  maka embrio berkembang menjadi jantan. Secara lengkap pengaruh dari rasio X:A tersaji pada Tabel 4.1.



**Gambar 4.2.** Ilustrasi lalat buah. A. lalat buah betina, B. lalat buah wild type bermata merah, C. lalat buah mutan bermata putih.

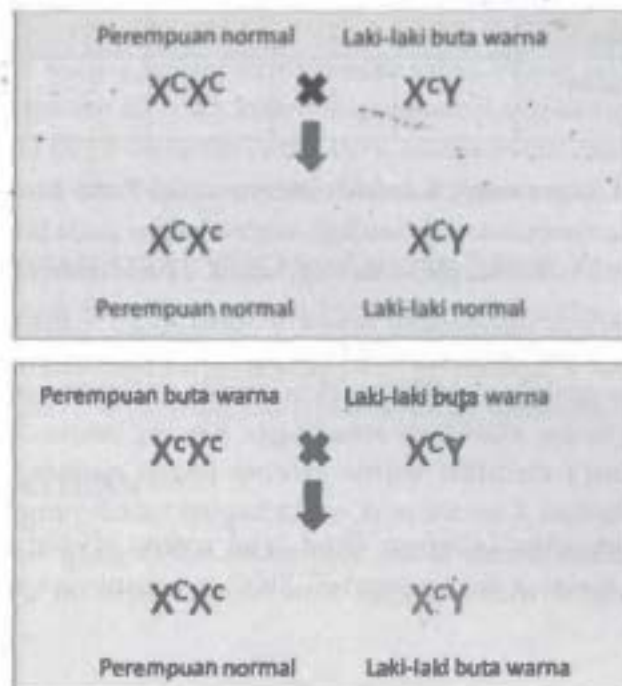


**Gambar 4.3.** Persilangan warna mata pada lalat buah. Perbandingan fenotip tetap sesuai dengan hukum Mendel yaitu 3:1, namun warna putih hanya ditemukan pada jantan.

jumlahnya gen terpaut kromosom X diberi lambang dengan  $X^n$  dengan n adalah lambang dari gen yang terpaut kromosom X.

#### 4.6.2 Sifat terpaut kromosom X pada manusia

Buta warna dan hemofilia merupakan dua penyakit yang terpaut kromosom X. Kedua penyakit tersebut disebabkan oleh alel resesif sehingga hanya akan muncul pada kondisi homozigot pada wanita. Perkawinan wanita normal ( $X^C X^C$ ) dengan laki-laki buta warna ( $X^c Y$ ) akan menghasilkan keturunan wanita ( $X^C X^c$ ) dan laki-laki normal ( $X^C Y$ ) (Gambar 4.5 atas). Sebaliknya persilangan wanita buta warna ( $X^c X^c$ ) dengan laki-laki normal ( $X^C Y$ ) akan menghasilkan keturunan wanita yang seluruhnya normal ( $X^C X^c$ ) dan keturunan laki-laki yang seluruhnya buta warna ( $X^c Y$ ) (Gambar 4.5 bawah). Perbedaan hasil dari kedua persilangan tersebut disebabkan karena kromosom X pada laki-laki berasal dari ibunya sedangkan ayah mewariskan kromosom X ke anak perempuannya.



**Gambar 4.5.** Pewarisan sifat buta warna menunjukkan bahwa laki-laki buta warna akan lebih umum ditemukan dari pada perempuan buta warna.



**Gambar 4.6.** Kucing dengan warna rambut kaliko. Warna ini muncul pada kucing dengan genotip  $H-X^O X^o$ . Warna hitam muncul apabila kromosom X yang membawa alel  $O$  ( $X^o$ ) membentuk badan Barr sedangkan warna oranye terbentuk apabila kromosom X yang membawa alel  $o$  ( $X^O$ ) membentuk badan Barr.

#### 4.8 PEWARISAN SIFAT TERPAUT KROMOSOM Y

Pada manusia kromosom Y hanya ditemukan pada laki-laki. Oleh sebab itu pewarisan sifat yang terletak pada kromosom Y hanya ditemukan pada laki-laki dan hanya diwariskan oleh ayah ke anak laki-lakinya.

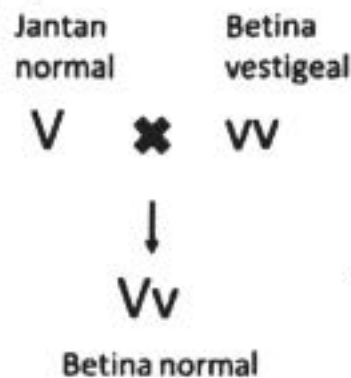
#### 4.9 SOAL LATIHAN

1. Diketahui bahwa seekor lalat buah memiliki autosom yang triploid (AAA) dan kromosom sex XXX. Tentukan jenis kelamin dari lalat buah tersebut!

**Jawaban:**

Rasio  $XXX/AAA = 1$ , sehingga jenis kelamin lalat buah tersebut adalah jantan.

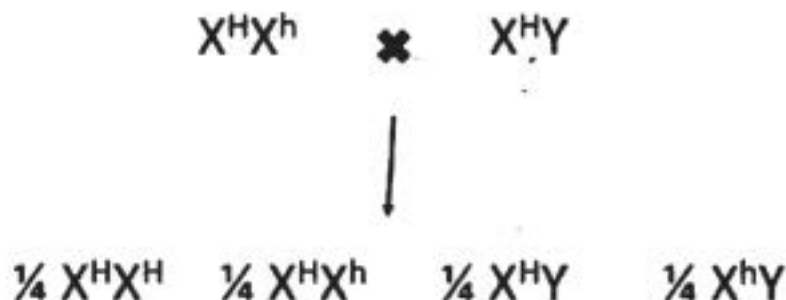




4. Seorang perempuan normal memiliki ayah menderita haemofilia. Jika perempuan tersebut menikah dengan laki-laki normal, maka tentukan
- peluang memiliki dua anak laki-laki normal!
  - Peluang memiliki anak pertama perempuan normal dan anak kedua laki-laki haemofilia.

**Jawaban:**

Ada dua fenotip wanita normal pada pewarisan sifat haemofilia yaitu  $X^H X^H$  dan  $X^H X^h$ . Wanita tersebut memiliki ayah haemofilia ( $X^h Y$ ), kromosom X laki-laki diwariskan ke anak perempuannya sehingga dapat disimpulkan genotip dari perempuan tersebut adalah  $X^H X^h$ . Peluang anak yang lahir dari pernikahan tersebut adalah setengah wanita normal,  $\frac{1}{4}$  laki-laki normal dan  $\frac{1}{4}$  laki-laki penderita haemofilia.



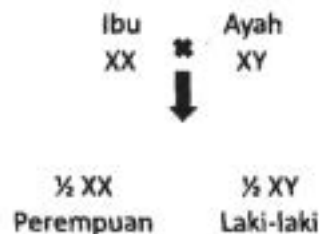
- A. Peluang memiliki dua anak laki-laki normal = (peluang anak laki-laki normal)<sup>2</sup> =  $(\frac{1}{4})^2 = 1/16$ .



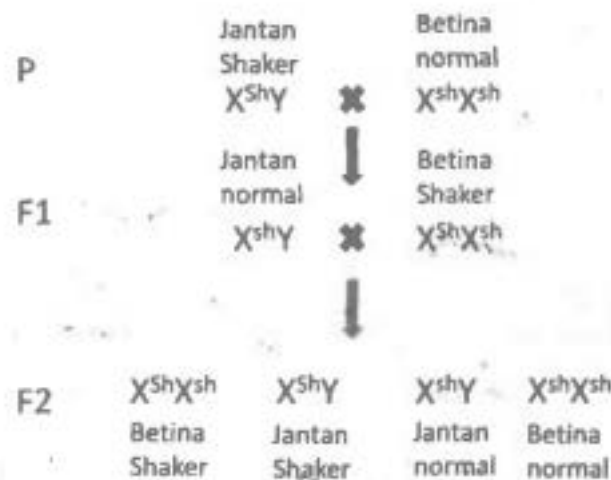
4. Diketahui semua lebah jantan pada koloni lebah merupakan keturunan langsung dari ratu lebah. Jika pada lebah antena panjang diatur oleh alel dominan A dan antena pendek oleh alel resesif a, tentukan persentase lebah jantan berantena panjang pada koloni lebah dengan ratu bergenotip Aa.
5. Tentukan jenis kelamin dan jumlah badan Barr yang terbentuk pada manusia dengan kromosom sex sebagai berikut:
  - A. XO
  - B. XY
  - C. XX
  - D. XXY
  - E. XXX
6. Andi adalah seorang pria penderita buta warna. Tentukan dari manakah alel penyebab buta warna itu berasal, dari keluarga ibunya atau keluarga ayahnya?
7. Ahli genetika menemukan bahwa salah satu tikus jantan di laboratoriumnya mengalami pembesaran testis. Ahli menduga bahwa pembesaran testis disebabkan oleh mutasi gen pada autosom yang bersifat dominan atau mutasi pada gen di kromosom Y. Langkah apakah yang harus dilakukan oleh ahli untuk menentukan apakah mutasi terjadi pada autosom dan bersifat dominan atau mutasi terjadi pada kromosom Y?
8. Pada lalat buah, sayap mini diatur oleh alel resesif pada kromosom X ( $X^m$ ) sedangkan mata sepia diatur oleh alel resesif (s) pada autosom. Jantan sayap normal mata sepia disilangkan dengan betina mini mata merah. F1 yang dihasilkan kemudian disilangkan dengan sesamanya menghasilkan F2. Tentukanlah perbandingan fenotip F2 yang dihasilkan!

**Jawaban**

1. Peluang anak keempat terlahir laki-laki adalah  $\frac{1}{2}$ .

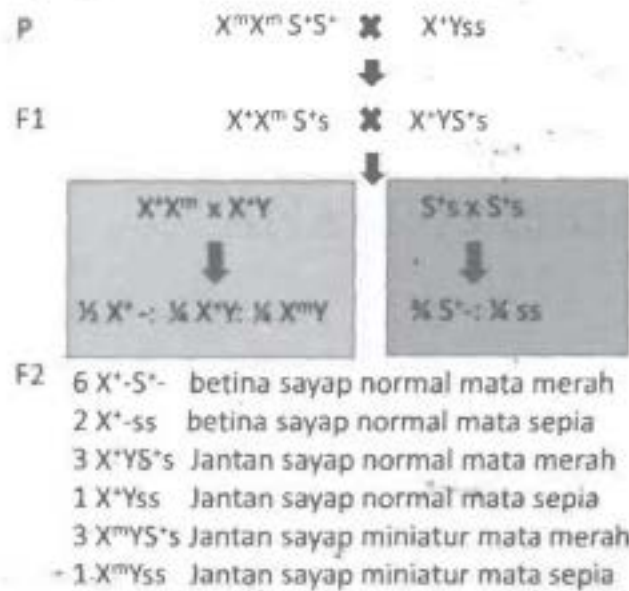


*shaker* diatur oleh alel dominan pada kromosom X maka persilangan sesama F1 akan menghasilkan keturunan dengan perbandingan lalat jantan *shaker*: betina *shaker*: jantan normal: betina normal adalah 1: 1: 1: 1. Hasil persilangan sesama F1 menunjukkan perbandingan 1:1:1:1 sehingga dapat dipastikan *shaker* disebabkan oleh alel dominan pada kromosom X.



4. Determinasi sex pada lebah ditentukan oleh mekanisme haploid dan diploid. Jantan pada koloni lebah dihasilkan dari sel telur ratu yang tidak dibuahi (partenogenesis). Oleh sebab itu persentase lebah jantan berantena panjang adalah 50%.
5. Pada manusia, hanya terdapat satu kromosom X yang aktif. Jika terdapat lebih dari satu kromosom X maka kromosom X yang lainnya akan membentuk badan Barr. Jenis kelamin pada manusia ditentukan oleh keberadaan kromosom Y.

Genotip	Badan Barr	Jenis kelamin
XO	0	Perempuan
XY	0	Laki-laki
XX	1	Perempuan
XXY	1	Laki-laki
XXX	2	Perempuan



-oo0oo-

## BAB 5

# ANALISIS PEDIGREE

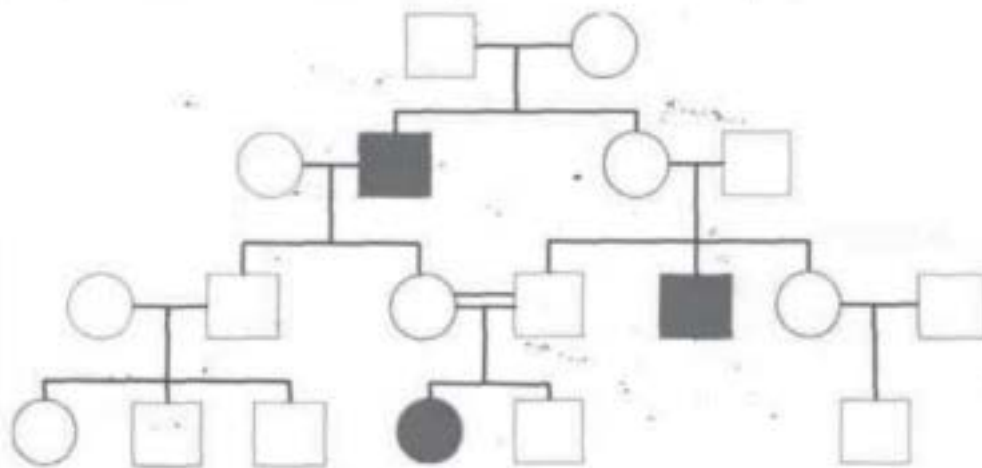
### 5.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Mampu membuat *pedigree* sederhana mengenai pewarisan sifat pada organisme.
2. Mampu mengidentifikasi pewarisan sifat yang disebabkan oleh alel dominan dan resesif berdasarkan *pedigree* yang diberikan.
3. Mampu mengidentifikasi pewarisan sifat yang terletak pada autosom, kromosom sex, atau sitoplasma berdasarkan *pedigree* yang diberikan.

**P***edigree* merupakan pohon silsilah keluarga yang mencantumkan pewarisan satu atau beberapa sifat. *Pedigree* dapat dipergunakan untuk menentukan apakah suatu sifat/penyakit disebabkan oleh *alel* dominan atau resesif, apakah alel penyebab penyakit terdapat pada autosom atau kromosom sex, ataukah gen penyebab penyakit terdapat di inti atau sitoplasma. Simbol-simbol yang umum dipergunakan dalam *pedigree* dapat dilihat pada tabel di bawah ini (Tabel 5.1).

## 5.2 PEWARISAN SIFAT YANG DIATUR OLEH ALEL RESESIF PADA AUTOSOM

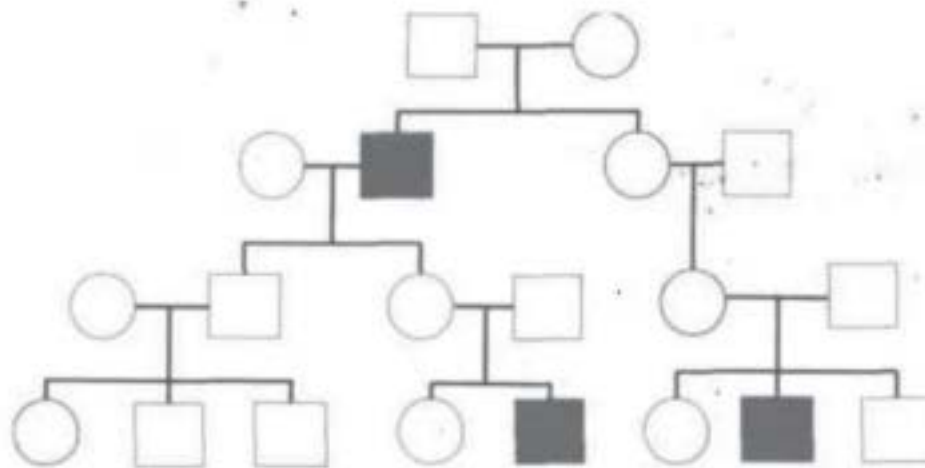
Pewarisan sifat yang diatur oleh alel resesif pada autosom diwariskan secara seimbang pada keturunan wanita ataupun laki-laki. Anak yang memiliki sifat/penyakit umumnya lahir dari dua orang tua yang normal. Penyakit tidak ditemukan pada setiap generasi atau terjadi *skip-generation*. Penyakit lebih sering muncul pada keturunan dari hasil perkawinan sedarah (Gambar 5.1). Pada Tabel 5.2 disajikan penyakit pada manusia yang disebabkan oleh alel resesif pada autosom.



**Gambar 5.1.** Karakteristik pedigree dari pewarisan penyakit yang disebabkan oleh alel resesif pada autosom.

**Tabel 5.2.** Penyakit pada manusia yang terdapat pada autosom

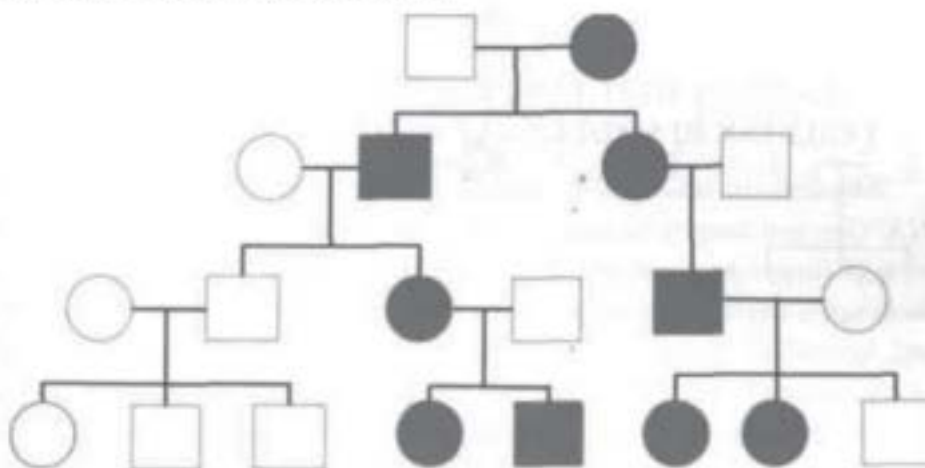
Dominan	Resesif
Hiperkolestrolemina	Sistik fibrosis
Huntington	fenil keto urinaria (PKU)
Polidaktili	Anemia sel sabit ( <i>Sickle cell anemia</i> )
<i>Lactose intolerance</i>	Tay-Sach
Tangan berselaput	Albinisme



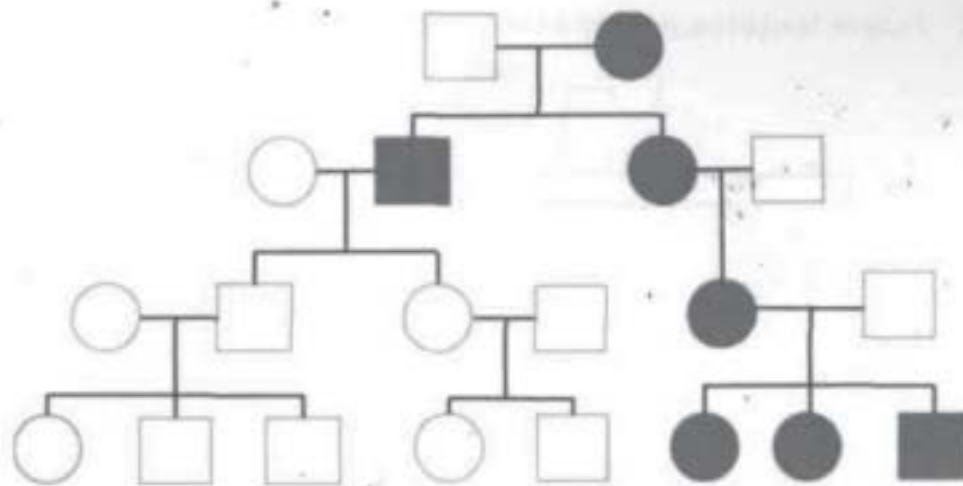
**Gambar 5.3.** Karakteristik pewarisan sifat yang disebabkan oleh alel resesif terpaut kromosom X

### 5.5 PEWARISAN SIFAT YANG DIATUR OLEH ALEL DOMINAN PADA KROMOSOM X

Sifat yang diatur oleh alel dominan pada kromosom X dapat ditemukan baik pada wanita maupun pria. Pria penderita lahir dari ibu penderita, sedangkan seorang laki-laki penderita akan memiliki anak perempuan yang seluruhnya menderita (**Gambar 5.4**).



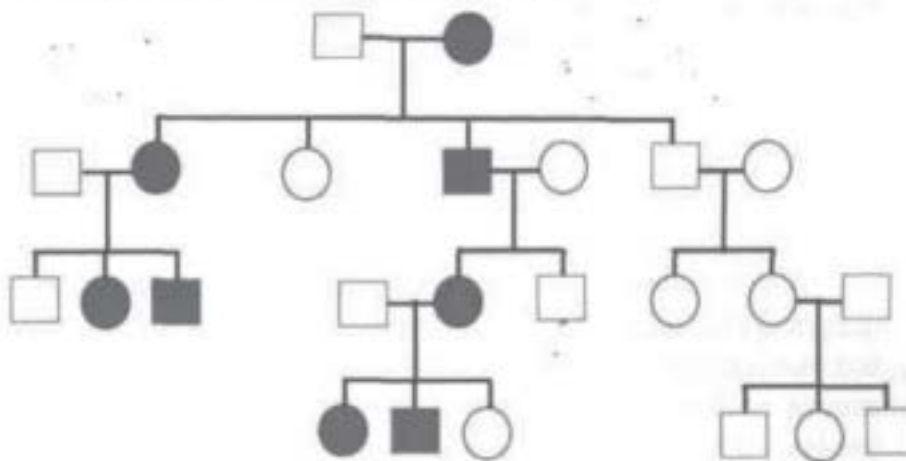
**Gambar 5.4.** Karakteristik pewarisan penyakit yang diatur oleh alel dominan terpaut pada kromosom X



Gambar 5.6. Karakteristik pewarisan penyakit yang disebabkan oleh gen yang terletak pada organel di sitoplasma.

### 5.8 SOAL LATIHAN

- Perhatikan pewarisan penyakit berikut ini!



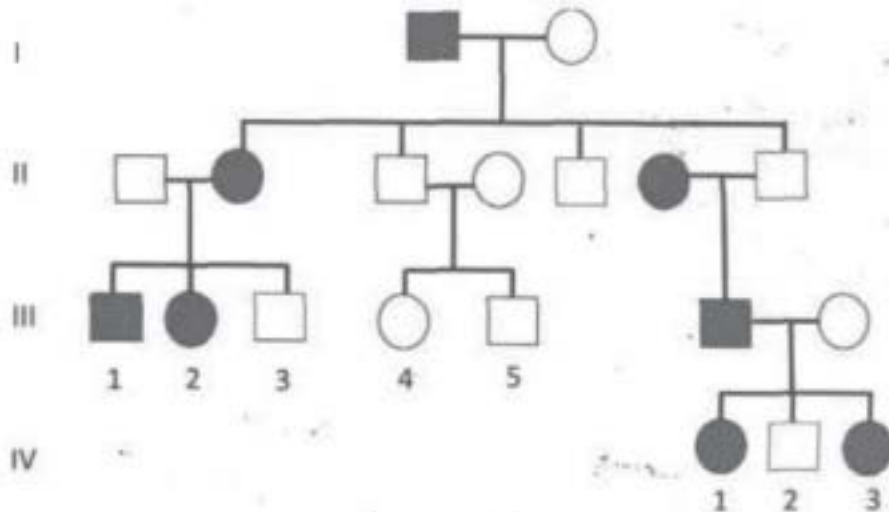
Tentukan apakah penyakit disebabkan oleh alel dominan atau resesif?

**Jawaban:**

Anak yang sakit selalu memiliki orang tua yang sakit, dan pasangan normal tidak memiliki anak yang sakit. Ini menunjukkan bahwa penyakit disebabkan oleh alel dominan.



3. Perhatikan *pedigree* berikut ini.



Tentukan genotip dari III1, III3, III4, IV1 dan IV2! Dengan ketentuan jika alel penyebab penyakit terletak pada autosom gunakan huruf A untuk alel dominan dan a untuk resesif, jika terpaut X maka gunakan  $X^A$  untuk alel dominan dan  $X^a$  untuk alel resesif.

**Jawaban:**

Penyakit tersebut ditemukan pada setiap generasi yang menandakan bahwa penyakit disebabkan oleh alel dominan. Ketika seorang pria menderita maka semua anak perempuannya menderita, sedangkan anak laki-laki normal. Ini menunjukkan bahwa alel yang menyebabkan penyakit terletak pada kromosom X.

Dengan demikian, genotip dari:

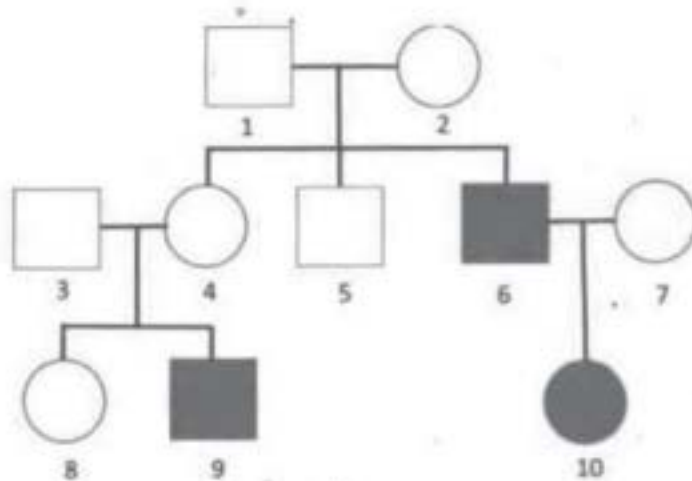
III1 adalah  $X^A Y$

III3 adalah  $X^a Y$

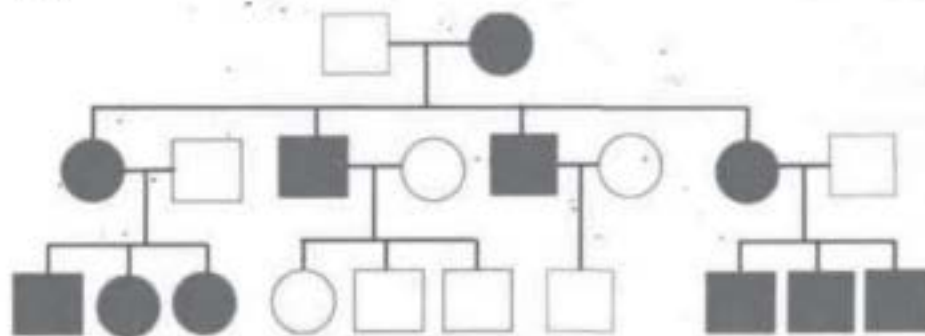
III4 adalah  $X^a X^a$

IV1 adalah  $X^A X^a$

IV2 adalah  $X^a Y$



6. Pedigree berikut ini menunjukkan pewarisan penyakit yang terjadi di otot.

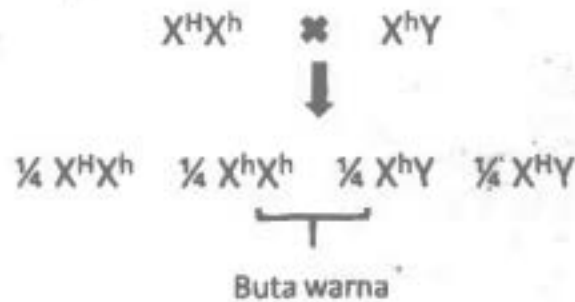


Jelaskan mekanisme pewarisan sifat dari penyakit tersebut!

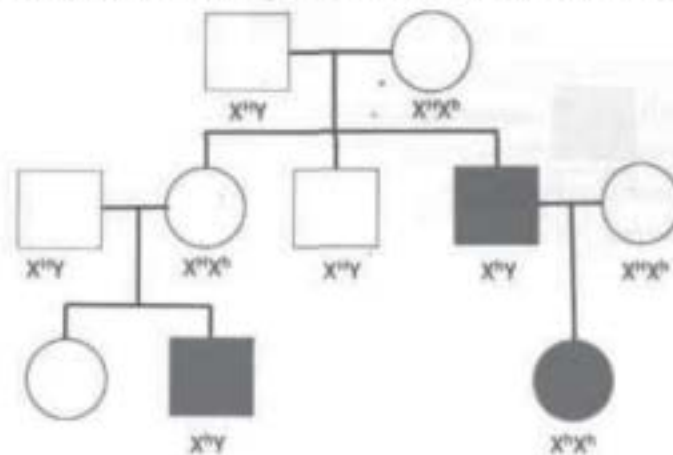
7. Buatlah sebuah pedigree yang menunjukkan pewarisan sifat yang disebabkan oleh alel dominan, dan ekspresinya hanya terjadi pada laki-laki (*sex-limited*).

**Jawaban**

1. Pewarisan penyakit yang disebabkan oleh alel resesif pada autosom maupun kromosom X sama-sama menunjukkan adanya *skip-generation* dan anak penderita dapat lahir dari dua orang tua normal. Perbedaan dari keduanya terletak pada peluang munculnya penyakit pada keturunan pria dan wanita. Penyakit yang disebabkan oleh alel resesif pada kromosom X lebih banyak ditemukan pada laki-



5. - Buta warna merupakan penyakit yang disebabkan oleh resesif pada kromosom X. Laki-laki hanya memiliki satu kromosom X, oleh sebab itu genotip dari individu 1,3 dan 5 dapat dipastikan  $X^H Y$  dan 6 dan 9 dapat dipastikan  $X^h Y$ .
- Perempuan memiliki sepasang kromosom X, perempuan baru akan menderita buta warna jika memiliki genotip homozigot resesif. Oleh sebab itu dapat dipastikan genotip dari individu 10 adalah  $X^h X^h$ .
- Individu 10 memiliki sepasang alel resesif, satu berasal dari ayah (individu 6) dan satu berasal dari ibu (individu 7). Pada pedigree individu 6 normal, sehingga dapat dipastikan genotipnya adalah  $X^H X^h$ .
- Kromosom X dari seorang laki-laki berasal dari ibunya. Dengan demikian maka dapat dipastikan genotip dari 2 dan 4 adalah  $X^H X^h$ .
- Individu 8 lahir dari ayah dengan genotip  $X^H Y$  dan ibu  $X^H X^h$  maka ada dua kemungkinan dari genotip individu 8 yaitu  $X^H X^H$  atau  $X^H X^h$ .



## BAB 6

# PAUTAN, REKOMBINASI, DAN PETA GENETIK

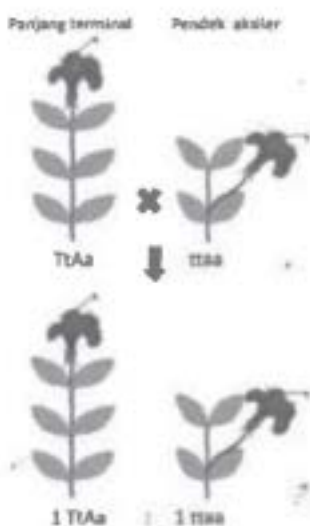
### 6.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Mampu mengidentifikasi apakah dua gen pengatur sifat terletak pada kromosom yang berbeda atau terletak pada kromosom yang sama.
2. Mampu membedakan antara rekombinasi dan kombinasi parental.
3. Mampu menentukan jarak antar gen berdasarkan nilai rekombinasi.
4. Mampu menentukan posisi relatif dari 3 gen yang terletak pada kromosom yang sama.
5. Mampu menentukan nilai interferensi dari tiga gen terpaut.

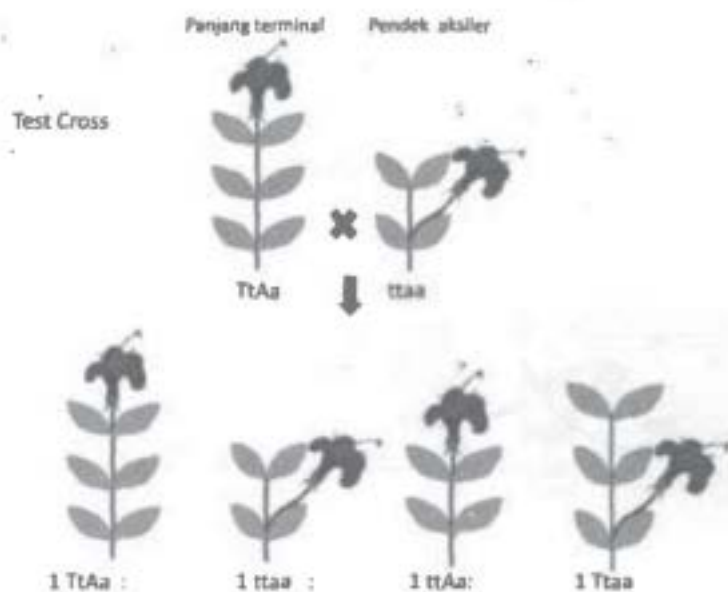
**S**elama melakukan penelitian dengan lalat buah, Morgan dan muridnya mengamati beberapa karakter pada lalat buah tidak mengalami segregasi secara bebas seperti yang diungkapkan oleh Mendel. Morgan berpendapat bahwa gen-gen yang terletak pada kromosom yang sama akan terpisah ke gamet yang sama. Dia juga berpendapat bahwa 2 gen yang letaknya berdekatan tidak akan mengalami rekombinasi dan semakin jauh jarak dari gen pada kromosom semakin sering rekombinasi terjadi. Menggunakan data rekombinasi, murid dari Morgan berhasil membuat peta genetik untuk pertama kalinya.

### 6.2 PAUTAN

Gen dikatakan terpaut apabila terletak pada kromosom yang sama. Gen yang terletak pada kromosom yang sama akan terpisah bersama-sama

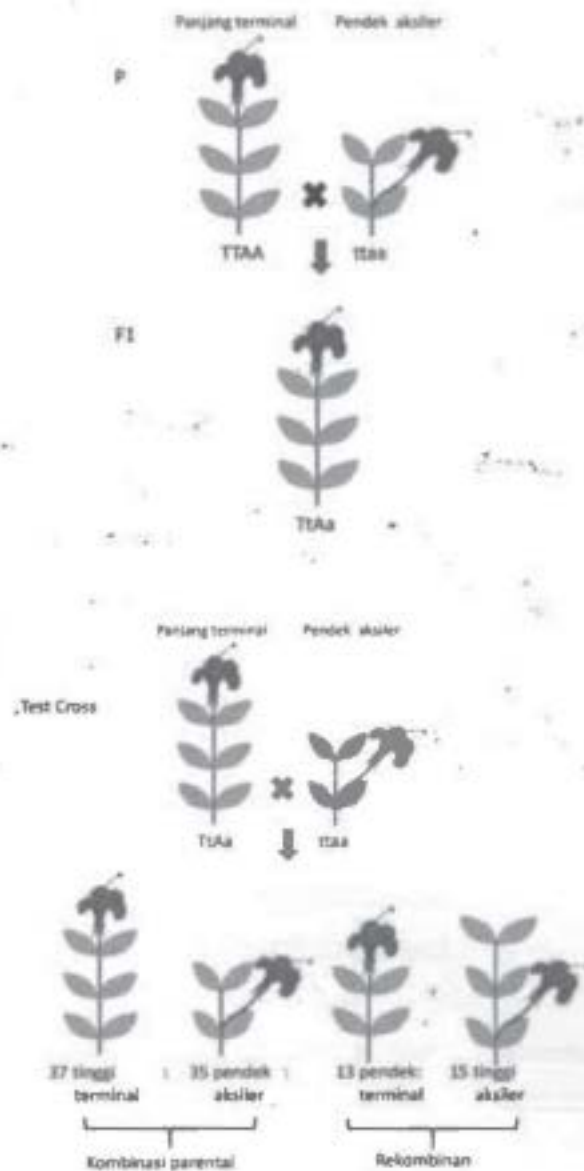


Gambar 6.2. Hasil test cross dari dua gen yang terletak pada kromosom sama dan tidak terjadi crossing over.



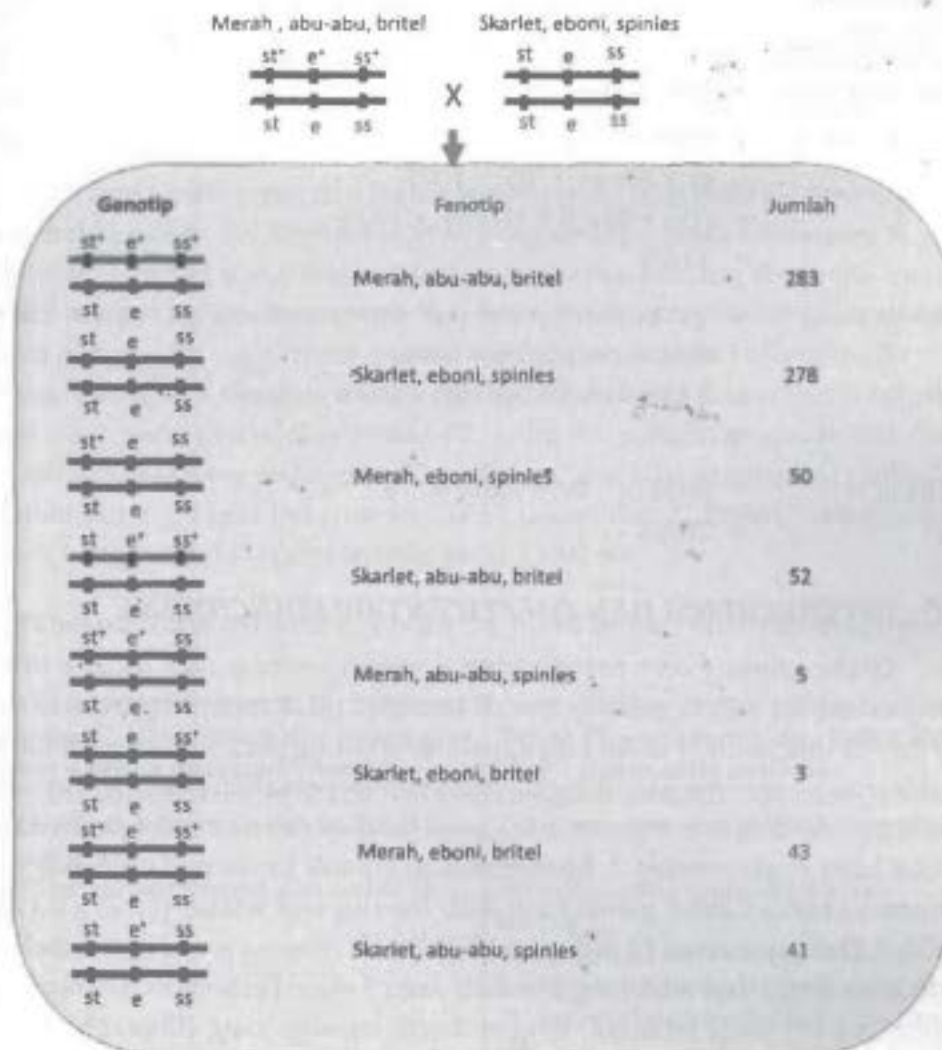
Gambar 6.3. Hasil test cross tanaman batang tinggi bunga terminal heterozigot untuk kedua gen. Hasil perbandingan fenotip menunjukkan kedua gen terletak pada kromosom yang berbeda.

### 6.4 PERSENTASE REKOMBINASI DAN PETA GENETIK



**Gambar 6.5.** Gen pengatur tinggi tanaman dan letak bunga berada pada kromosom yang sama. Pindah silang selama pembentukan gamet menghasilkan tanaman pendek dengan bunga terminal dan tanaman pendek dengan bunga aksiler.

Test cross lalat bermata merah, berbadan abu-abu dan brittle menghasilkan keturunan dengan komposisi seperti pada tabel di bawah ini.



Penentuan posisi relatif dari ketiga gen harus dilakukan terlebih dahulu agar dapat menghitung jarak dari masing-masing gen. Posisi relatif ketiga gen ditentukan dengan mengidentifikasi kombinasi parental dan *double crossing* terlebih dahulu. Kombinasi parental ditunjukkan oleh keturunan yang memiliki fenotip dengan persentase tertinggi (merah, abu-abu, brittle dan skarlet, eboni, spinles) sedangkan *double crossing* ditunjukkan oleh keturunan yang memiliki fenotip terendah (merah, abu-abu, spinles dan skarlet, eboni,



## 6.7 DUA GEN TERPAUT PADA KROMOSOM X

Seperti halnya autosom, kromosom X juga terdiri dari banyak gen sehingga pindah silang juga dapat terjadi pada kromosom X. Pindah silang pada kromosom X hanya terjadi pada betina atau perempuan, hal ini disebabkan karena betina/perempuan memiliki sepasang kromosom X sedangkan jantan/laki-laki hanya memiliki 1 kromosom X (hemizigot).

Warna mata putih dan badan kuning pada lalat buah (*D. melanogaster*) disebabkan oleh alel mutan *y* dan *m* yang terdapat pada kromosom X. Alel normal *Y* dan *M* menyebabkan badan berwarna abu-abu dan mata merah. Lalat mutan jantan mata putih dan berbadan kuning disilangkan dengan lalat betina *wild type* (mata merah dan badan abu-abu) menghasilkan F1 yang seluruhnya bermata merah dan badan abu-abu. Kemudian dilakukan *test cross* pada jantan dan betina F1, yaitu F1 jantan dengan betina mata putih badan kuning sedangkan F1 betina dengan lalat jantan mata putih dan badan kuning. Hasil *test cross* kedua F1 jantan dan F1 betina menunjukkan hasil yang berbeda seperti terlihat pada Tabel 6.1.

**Tabel 6.1.** Hasil *test cross* F1 jantan dan betina bermata merah dan badan abu-abu.

Jantan F1 (mata merah dan badan abu-abu) x betina mata putih dan	Betina F1 (mata merah dan badan abu-abu) x jantan mata putih dan
505 jantan mata putih dan badan kuning 495 betina mata merah dan badan abu-abu	246 jantan mata merah dan badan abu-abu 244 jantan mata putih dan badan kuning 9 jantan mata merah dan badan kuning 5 jantan mata putih dan badan abu-abu 241 betina mata merah dan badan abu-abu 245 betina mata putih dan badan kuning 4 betina mata merah dan badan kuning 6 betina mata putih dan badan abu-abu

Hasil *test cross* jantan F1 menunjukkan bahwa pewarisan sifat warna mata dan warna badan bersifat *dependent*. Warna mata merah selalu berpasangan dengan warna badan abu-abu, sedangkan mata putih

Pindah silang pada pada betina F1 menyebabkan terbentuknya empat rekombinan (tabel 6.1) yaitu :

9 Jantan mata merah dan badan kuning

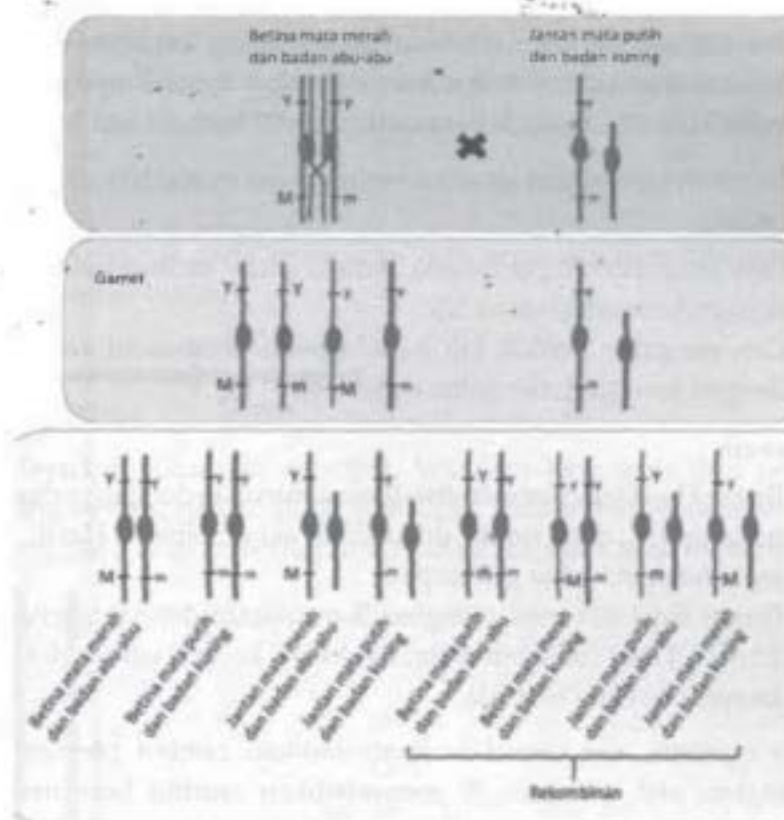
5 jantan mata putih dan badan abu-abu

4 betina mata merah dan badan kuning

6 betina mata putih dan badan abu-abu

Dengan menggunakan data tersebut, maka jarak antar kedua gen =

$$\frac{9+4+5+6}{1000} \times 100 = 2,4 \text{ c.M.}$$



**Gambar 6.8.** Test cross dua gen terpaut kromosom X menggunakan lalat jantan sebagai induk dengan fenotip resesif.

dengan marmut rambut putih bergelombang. Berikut adalah hasil dari persilangan tersebut:

Rambut hitam lurus	30
Rambut hitam bergelombang	10
Rambut putih lurus	12
Rambut putih bergelombang	31

Berdasarkan hasil tersebut, tentukan jarak antara gen yang mengatur warna rambut dengan gen yang mengatur bentuk rambut!

**Jawaban:**

Persilangan antara F1 dengan marmut rambut putih bergelombang merupakan *test cross*. Hasil *test cross* tersebut menghasilkan dua tipe rekombinan yaitu rambut hitam bergelombang dan rambut putih lurus. Berdasarkan jumlah total rekombinan maka jarak antar gen pengatur warna rambut dengan gen pengatur bentuk rambut adalah

$$\frac{(10 + 12)}{83} \times 100 = 26,5 \text{ map unit.}$$

3. Tiga gen terletak pada kromosom yang sama dan memiliki jarak seperti pada gambar berikut:

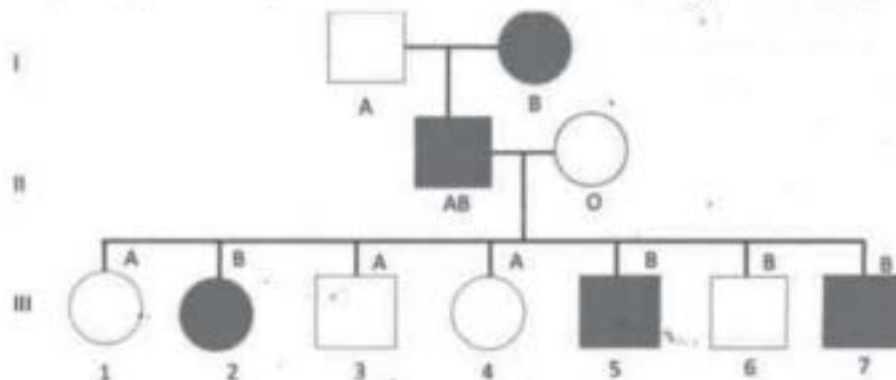


Berdasarkan informasi tersebut, tentukan jenis-jenis dan persentase masing-masing gamet yang dihasilkan oleh individu dengan genotip seperti pada gambar berikut ini. Asumsikan tidak terjadi interferensi.



Berdasarkan data tersebut gambarlah posisi dari ketiga gen pada kromosom saat metafase meiosis I berlangsung!

2. Pedigree berikut ini menunjukkan pewarisan penyakit langka nail-patella dan golongan darah pada manusia.



- A. Tentukan apakah nail-patella disebabkan oleh alel dominan atau resesif!  
 B. Jelaskan fenomena apa yang menyebabkan lahirnya keturunan III 6.
3. Persilangan organisme dengan genotip  $AaBb$  dengan  $aabb$  menghasilkan keturunan dengan proporsi genotip sebagai berikut:

$AaBb$	17
$aabb$	16
$aaBb$	33
$Aabb$	34

- A. Tentukan jarak antar kedua gen!  
 B. Tentukan alel yang terletak pada kromosom yang sama!
4. Berikut ini adalah nilai rekombinasi dari hasil serangkaian *test cross*:

Gen yang mengalami <i>test cross</i>	Rekombinasi (%)
X dan Y	50
X dan Z	50
X dan A	50
Y dan Z	20
Y dan A	10
Z dan A	28

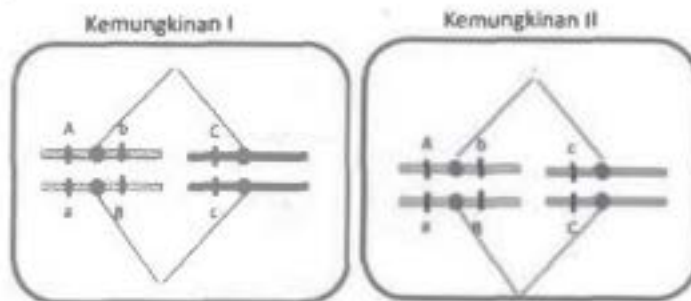
7. *sps* adalah alel mutan yang bersifat resesif dan menyebabkan lalat buah menjadi bergetar. Alel resesif lainnya yaitu *vg* menyebabkan sayap vestigial. Kedua alel ini terletak pada kromosom yang sama dengan jarak 30 m.u. Lalat normal homozigot disilangkan dengan lalat bergetar sayap vestigial menghasilkan keturunan F1 yang semuanya normal. Jika betina F1 dikawinkan dengan jantan F1, berapakah persentase keturunan yang memiliki sifat bergetar dan sayap vestigial?
8. Batang berduri (*d*), buah halus (*h*), dan warna merata (*m*) merupakan 3 sifat resesif pada mentimun yang terletak pada satu kromosom. Mentimun heterozigot pada ketiga gen di-*test cross* dengan mentimun batang berduri, buah halus dan warna merata. Hasil *test cross* tersebut tersaji berikut ini

<i>ddmmHh</i>	70
<i>DdmmHh</i>	21
<i>DdMmhh</i>	82
<i>ddMmhh</i>	21
<i>ddMmHh</i>	13
<i>Ddmmhh</i>	17

Berdasarkan data tersebut, tentukanlah gen yang terletak di tengah!

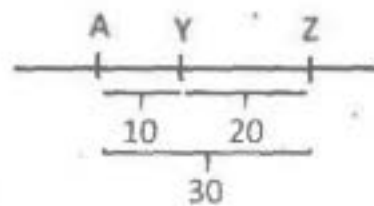
**Jawaban:**

1. Berdasarkan hasil di atas dapat disimpulkan bahwa gen A dan B berada pada kromosom yang sama sedangkan C berada pada kromosom yang berbeda dengan A dan B. Dari uji pada a, juga dapat diketahui bahwa alel yang berada pada kromosom yang sama adalah A dan b, dan a dan B. Terdapat dua kemungkinan posisi kromosom pada saat metafase meiosis I seperti terlihat pada gambar berikut ini:



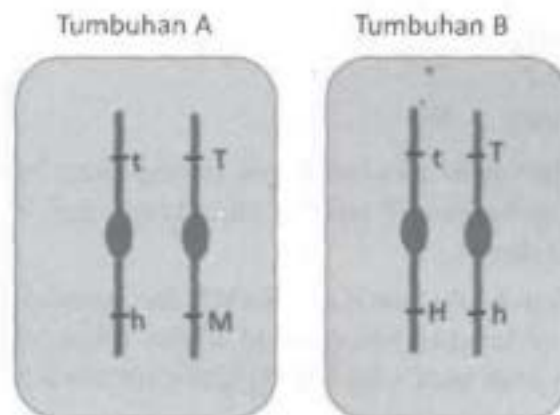
Y dengan A memiliki nilai rekombinasi 10%, ini menunjukkan bahwa kedua gen terpaut pada jarak 10 map unit. Posisi A bisa berada di sebelah kanan Y (antara Y dan Z) atau disebelah kiri Y.

Untuk memastikan posisi A maka kita bandingkan jarak A ke Z dengan A ke Y. Jarak A ke Z lebih jauh dari pada A ke Y dengan demikian maka dapat dipastikan posisi A berada di sebelah kiri Y.



Pada peta jarak A ke Z terlihat lebih besar dari nilai rekombinasi antara A dan Z (28%). Hal ini bisa terjadi akibat adanya interferensi sehingga *double crossing over* antara A dan Z tidak terdeteksi.

5. A. Jarak kedua gen dapat dihitung dari hasil *test cross* tanaman A ataupun B. Menggunakan hasil tanaman A maka jarak H-T =  $(10/256) \times 100\% = 3,9$  m.u. Hasil serupa juga akan diperoleh menggunakan data hasil *test cross* tanaman B yaitu jarak H-T =  $(7/170) \times 100\% = 4\%$ .
- B. Perbedaan hasil dari kedua *test cross* disebabkan oleh perbedaan kombinasi alel yang terletak pada kromosom yang sama lihat gambar di bawah ini.



7. F1 memiliki fenotip normal dengan genotip heterozigot ( $Vg^+vg$   $Sps^+sps$ ). Ketika memproduksi gamet maka 70 persen gamet merupakan kombinasi parental ( $Vg^+ Sps^+$  dan  $vg\ sps$ ) dan 30 persen rekombinan ( $Vg^+sps$  dan  $vgSps^+$ ). Persentase gamet  $vg\ sps$  pada jantan adalah 35% dan persentase gamet yang sama pada betina adalah 35%. Persentase keturunan  $vgvg\ spssps = 0,35 \cdot 0,35 \times 100\% = 12,25\%$
8. Untuk dapat menentukan gen yang terletak di tengah, kita harus dapat mengidentifikasi kombinasi parental dan hasil *double crossing*. Kombinasi parental ditandai oleh keturunan dengan persentase tertinggi yaitu  $ddmmHh$  dan  $DdMmhh$ . *Double crossing* dapat ditandai oleh keturunan dengan persentase paling rendah. Pada kasus ini *double crossing* tidak teramati; hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya interferensi. *Double crossing* seharusnya memiliki genotip  $DdMmHh$  dan  $ddmmhh$ . Dengan menggunakan data tersebut maka dapat ditentukan gen yang terletak di tengah adalah H.

-oo0oo-



## BAB 7

# VARIASI KROMOSOM

### 7.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

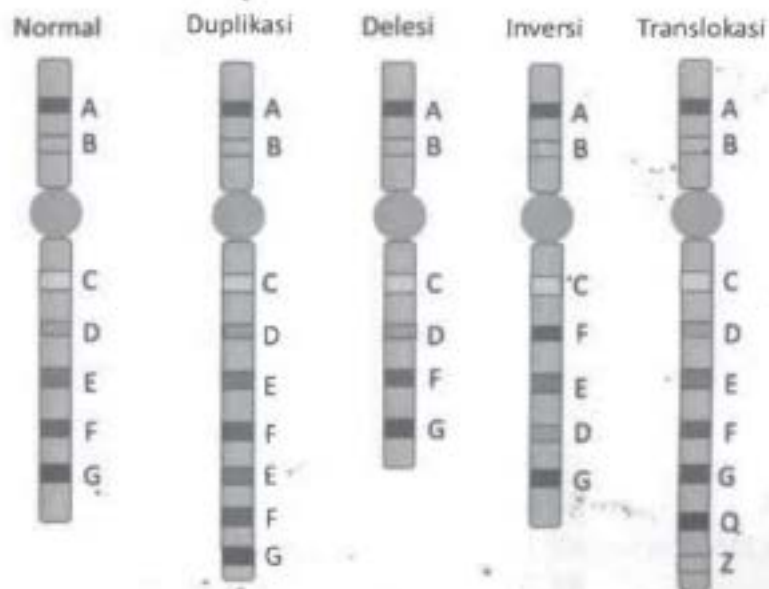
1. Mampu mengidentifikasi jenis-jenis kromosom berdasarkan letak Sentromernya.
2. Mampu mengidentifikasi jenis-jenis mutasi pada struktur kromosom.
3. Mampu menjelaskan proses terjadinya aneuploidi dan poliploidi.

**G**en sebagai faktor hereditas terletak pada kromosom. Perubahan letak gen pada kromosom ataupun perubahan jumlah kromosom dapat berakibat pada perubahan fenotip dari suatu organisme. Di dalam bab ini akan dibahas mengenai struktur kromosom, *karyotype*, dan mutasi pada kromosom.

### 7.2 MORFOLOGI KROMOSOM

Setiap kromosom eukariot yang fungsional tersusun atas satu buah sentromer dan dua buah telomer. Berdasarkan letak sentromer, kromosom dibagi menjadi empat jenis yaitu (**Gambar 7.1**):

1. Metasentrik jika sentromer tepat berada di tengah-tengah kromosom.
2. Sub metasentrik jika sentromer berada lebih dekat dengan salah satu ujung kromosom.
3. Akrosentrik jika sentromer berada dekat dengan salah satu ujung kromosom.
4. Telosentrik jika sentromer berada di salah satu ujung kromosom.

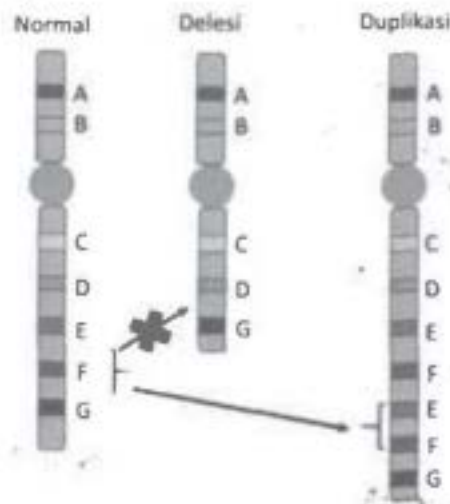


Gambar 7.2. Jenis-jenis mutasi kromosom akibat adanya penyusunan ulang gen.

### 7.3.1 Duplikasi

Duplikasi adalah peristiwa penggandaan dari sebagian segmen kromosom. Duplikasi dikatakan tandem apabila segmen yang mengalami duplikasi tepat berada di sebelah segmen yang asli. Duplikasi *displaced* terjadi jika segmen yang mengalami duplikasi berada jauh dari segmen awal. Duplikasi dikatakan *reverse* apabila orientasi dari segmen duplikat berlawanan dengan orientasi segmen kromosom awal (Gambar 7.3).

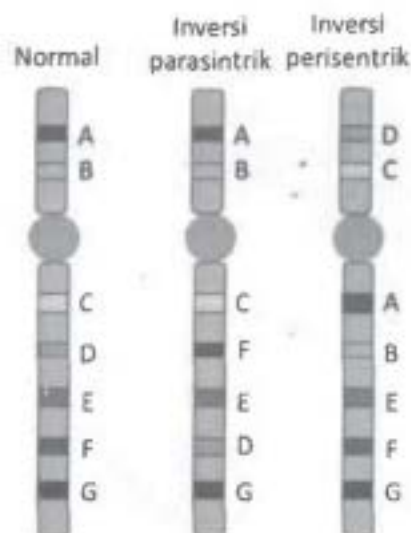
Duplikasi tidak menyebabkan hilangnya informasi genetik pada organisme. Meski demikian penambahan jumlah gen untuk sifat tertentu dapat menimbulkan ketidakseimbangan ekspresi gen atau dikenal dengan pengaruh dosis. Salah satu contohnya adalah terbentuknya mata Barr pada *Drosophila*. Alel Barr terletak pada kromosom X dan berperan dalam mengatur jumlah faset pada mata majemuk *Drosophila*. Penambahan jumlah gen akibat duplikasi mengakibatkan jumlah faset menurun dan berakibat pada mengecilnya ukuran mata majemuk pada *Drosophila*.



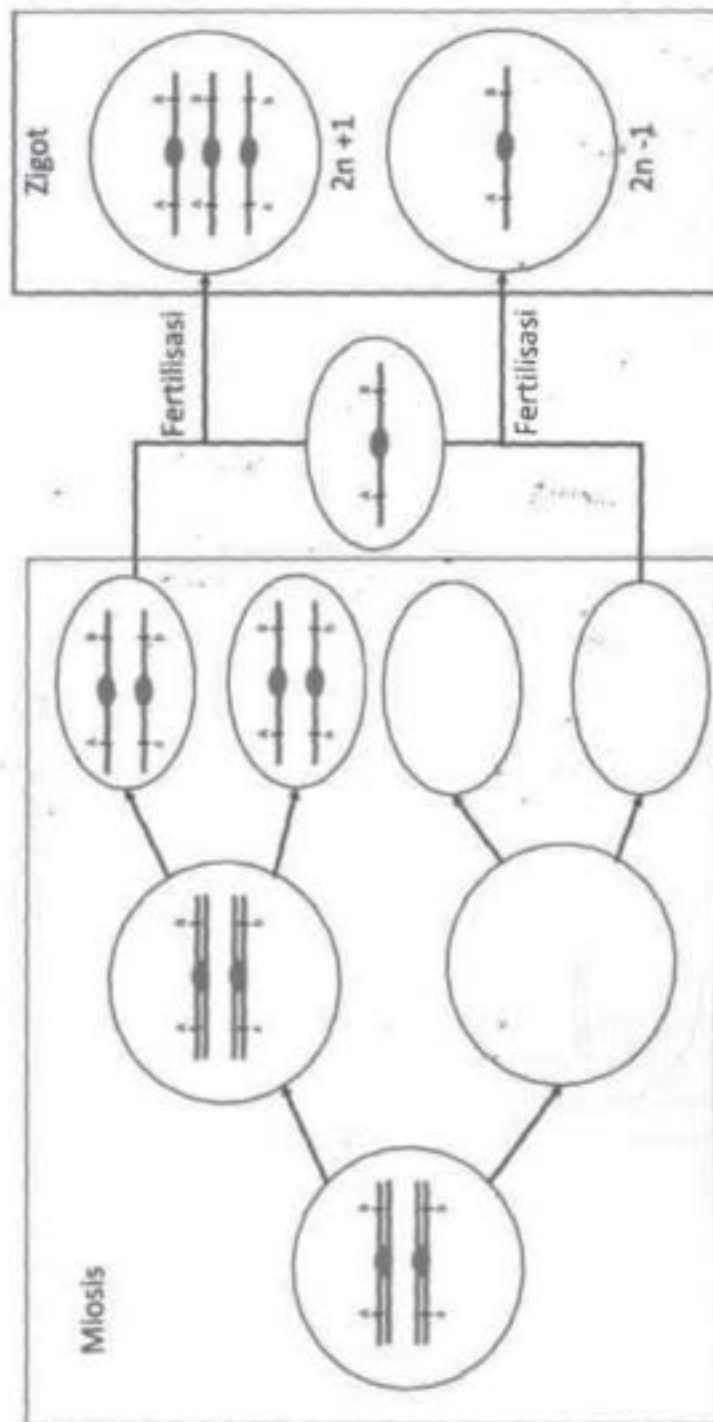
Gambar 7.4. Duplikasi umumnya disebabkan oleh adanya peristiwa delesi.

### 7.3.3 Inversi

Inversi terjadi apabila susunan segmen kromosom terbalik  $180^\circ$ . Agar inversi dapat terjadi, kromosom harus patah di dua tempat. Terdapat dua jenis inversi yaitu inversi parasentrik dan perisentrik (Gambar 7.5). Inversi parasentrik terjadi apabila inversi melibatkan sentromer dan inversi perisentrik terjadi apabila inversi tidak melibatkan sentromer.



Gambar 7.5. Dua jenis inversi pada kromosom.



Gambar 7.6. Pengaruh gagal berpisah pada meiosis I

### Jenis-jenis aneuploidi

Terdapat empat tipe aneuploidi pada organisme diploid yaitu:

1. Nulisomi yaitu hilangnya sepasang kromosom homolog sehingga menghasilkan organisme  $2n-2$
2. Monosomi yaitu hilangnya salah satu kromosom sehingga menghasilkan organisme  $2n-1$
3. Trisomi yaitu bertambahnya satu kromosom sehingga salah satu kromosom akan berjumlah 3 pasang dan menghasilkan organisme  $2n+1$
4. Tetrasomi terdapat 4 pasang kromosom pada salah satu kromosom dan menghasilkan organisme  $2n + 2$ .

#### 7.3.6 Aneuploidi pada manusia

Aneuploidi pada manusia dapat terjadi pada kromosom sex dan autosom. Sindrom Turner dan sindrom Klinefelter merupakan dua kelainan pada manusia yang disebabkan oleh kondisi aneuploidi.

Sindrom Down merupakan salah contoh Aneuploidi pada manusia. Sindrom Down disebabkan oleh trisomi yang terjadi pada kromosom 21. Penderita sindrom Down memiliki gejala keterbelakangan kecerdasan (IQ rata-rata tidak lebih dari 50), wajah yang unik, serta memiliki potensi yang tinggi untuk terkena serangan jantung, leukemia, dan gangguan metabolisme lainnya.

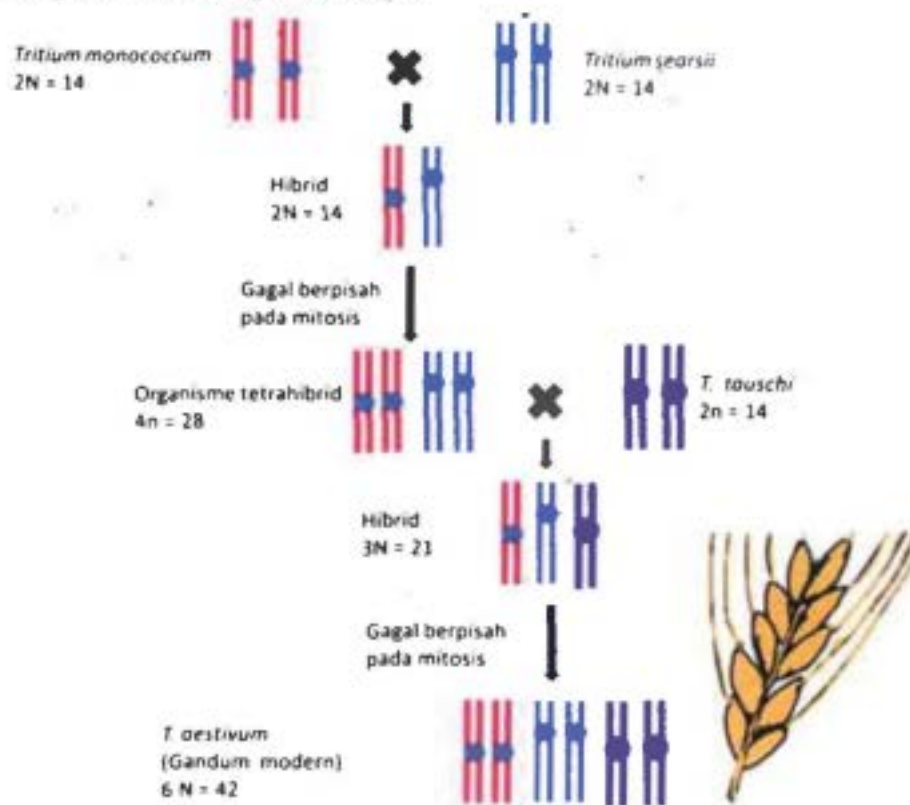
### 7.4 POLIPLLOIDI

Poliploidi merupakan kondisi di mana organisme memiliki lebih dari sepasang set kromosom. Kondisi poliploidi dapat berupa triploid, tetraploid, dan seterusnya. Poliploidi memegang peranan penting dalam evolusi tumbuhan karena poliploidi pada tumbuhan merupakan awal terbentuknya beberapa spesies baru. Poliploidi pada tumbuhan dapat terjadi secara autopoliploidi atau alopoliploidi.

#### 7.4.1 Autopoliploidi

Autopoliploidi dapat terbentuk melalui proses gagal berpisah pada mitosis ataupun meiosis. Tetraploid dapat terbentuk akibat adanya peristiwa gagal berpisah pada saat mitosis. Triploid dapat terbentuk melalui dua

Beberapa tanaman pangan yang dikonsumsi manusia terbentuk dari proses poliploidi (Gambar 7.9). Salah satunya adalah adalah gandum. Gandum yang kita kenal saat ini merupakan hasil persilangan dari 3 parental yang berbeda. Pertama-tama persilangan *T. monococcum* dengan *T. searsii* menghasilkan keturunan hibrid diploid yang mengandung masing-masing satu set kromosom *T. monococcum* dan *T. searsii*. Autopoliploidi pada keturunan hibrid menghasilkan tumbuhan tetraploid yang mengandung masing-masing dua set kromosom *T. monococcum* dan *T. searsii*. Persilangan tumbuhan tetraploid dengan *T. tauschii* menghasilkan organisme triploid yang mengandung masing-masing satu set kromosom *T. monococcum*, *T. searsii* dan *T. tauschii*. Autopoliploidi pada hibrid triploid menghasilkan gandum modern (*T. aestivum*). *T. aestivum* merupakan tumbuhan heksaploid dengan 46 pasang kromosom. Setiap sel pada gandum mengandung masing-masing 2 set dari ketiga induknya.



Gambar 7.9. Peristiwa terbentuknya gandum dari proses aloploiploidi.



2. Seorang peneliti mengambil sampel limfosit dan mengkulturkannya secara *in vitro*. Setelah beberapa kali siklus pembelahan, sel tersebut diberi senyawa kolkisin yang menyebabkan semua sel terhenti pada fase metafase. Sel kemudian diberi pewarna kromosom sebelum akhirnya dihancurkan. Gambar berikut ini menunjukkan kromosom-kromosom yang berhasil diisolasi dari dalam sel.



Berdasarkan *karyotype* kromosom di atas tentukan:

- A. Apakah organisme tersebut haploid, diploid, atau poliploid?
  - B. Jika dilakukan pengamatan pada sel sperma, tentukan jumlah kromosom yang akan ditemukan pada sel sperma!
- Jawaban**
- A. Berdasarkan pengamatan ukuran dan letak sentromernya, organisme tersebut memiliki 6 jenis kromosom dan masing-masing sepasang. Oleh sebab itu organisme tersebut adalah organisme diploid.
  - B. Pada kondisi diploid organisme tersebut memiliki 12 kromosom, maka pada sperma akan ditemukan 6 kromosom.
3. Berikut ini adalah perbandingan pola pita pada kromosom nomor 3 pada manusia, simpanse, gorilla, dan orang utan.



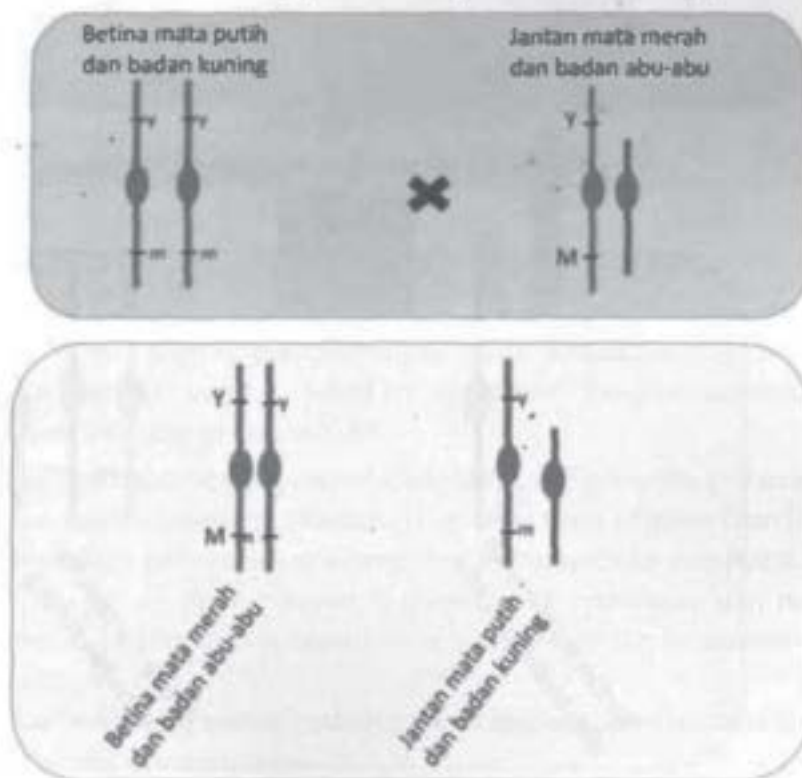
Diketahui bahwa kedua gen terletak pada kromosom X. Jantan berbadan abu-abu mata merah disilangkan dengan betina berbadan kuning mata putih. Hasil persilangan menghasilkan empat jenis keturunan yaitu:

- Betina berbadan abu-abu mata merah
- Jantan berbadan kuning mata putih
- Betina berbadan kuning mata putih
- Jantan berbadan abu-abu mata merah

Jelaskan fenomena apakah yang menyebabkan munculnya keturunan betina berbadan kuning mata putih dan jantan berbadan abu-abu mata merah!

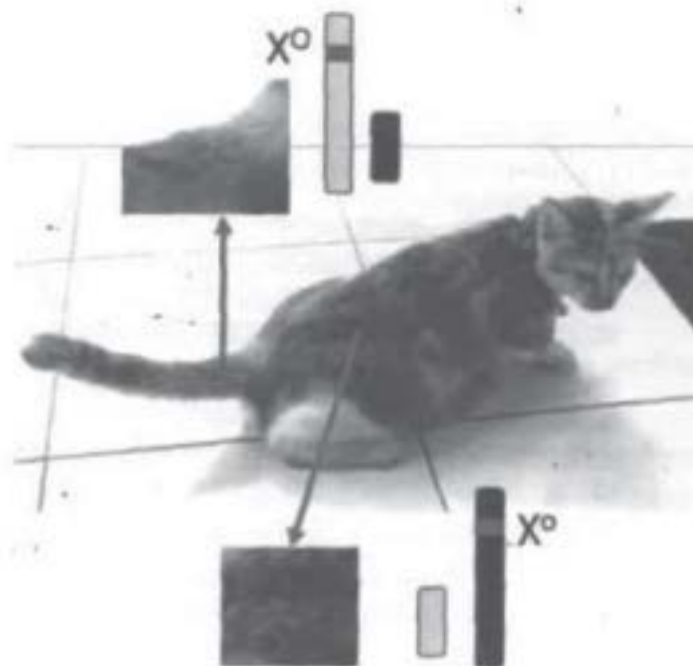
**Jawaban**

Jika proses pembentukan berjalan normal maka, persilangan di atas hanya akan menghasilkan dua fenotip keturunan yaitu betina mata merah badan abu-abu dan jantan mata putih badan kuning



## 7.6 SOAL EVALUASI

1. Di dalam sel mamalia, hanya terdapat satu kromosom X yang aktif. Sel mamalia betina memiliki sepasang kromosom X dan salah satu dari kromosom x tersebut akan tidak aktif secara acak membentuk badan Barr. Pembentukan badan Barr secara acak memunculkan fenomena warna kaliko pada kucing dengan genotip heterozigot ( $X^O X^o$ ).



Warna kaliko juga dapat ditemukan pada jantan, namun peristiwa tersebut sangat langka. Jelaskan peristiwa yang memungkinkan munculnya kucing jantan kaliko?

2. Di alam seringkali terjadi penyerbukan antar spesies berbeda dan menghasilkan keturunan steril. Diketahui dua jenis rumput-rumputan (A dan B) melakukan penyerbukan silang dan menghasilkan rumput X yang steril. Jika sel-sel daun rumput A memiliki 28 kromosom dan rumput B memiliki 14 kromosom, tentukan berapakah jumlah kromosom pada daun rumput X!
3. Gambar berikut ini menunjukkan perbandingan antara kromosom no. 4 dari manusia dan simpanse.

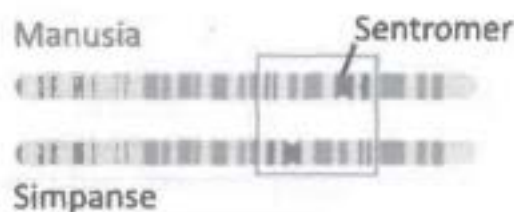
- A. Monosomik
- B. Autotriploid
- C. Trisomik

**Jawaban**

1. Agar kucing jantan memiliki rambut kaliko maka di dalam sel tubuh kucing jantan harus terdapat sepasang kromosom X (XXY), dengan satu kromosom X membawa alel  $X^O$  dari kromosom X lainnya membawa alel  $X^o$ . Ada dua kemungkinan yang menyebabkan jantan dengan bulu rambut kaliko lahir.

Induk	Peristiwa
Betina kaliko x Jantan hitam atau jingga	Gagal berpisah pada meiosis I pembentukan sel telur
Betina jingga x jantan hitam	Gagal berpisah pada pembentukan sperma di meiosis I
Betina hitam x kucing jingga	Gagal berpisah pada pembentukan sperma di meiosis I

2. Sel-sel somatik (diwakili oleh sel-sel daun) rumput A memiliki 28 kromosom pada sel somatiknya maka gametnya akan memiliki 14 kromosom. Rumput B memiliki 14 kromosom pada sel somatiknya maka gametnya akan memiliki 7 kromosom. Hasil fertilisasi dari kedua gamet akan menghasilkan rumput X dengan jumlah kromosom 21.
3. Perbedaan antara kedua kromosom terlihat pada bagian yang diberi kotak. Terlihat jelas bahwa perbedaan antara kromosom no 4 manusia dan simpanse disebabkan oleh peristiwa inversi parasentrik.



(Pierce, 2005)

6. A. Monosomik adalah hilangnya salah satu kromosom pada organisme diploid. Jika pada kondisi diploid memiliki 12 maka pada kondisi monosomik organisme tersebut memiliki 11 kromosom.
- B. Pada kondisi autotriploidi maka organisme memiliki 3 set kromosom atau  $3n$ , jumlah kromosom pada kondisi  $3n = 18$
- C. Trisomi terjadi kerana terdapat 3 pasang kromosom pada salah satu kromosom di dalam sel. Pada kondisi trisomi di dalam sel organisme tersebut akan ditemukan 13 kromosom.

-oo0oo-

## **BAB 8**

# **PEWARISAN SIFAT POLIGENI**

### **8.1 TUJUAN PEMBELAJARAN**

1. Dapat membedakan pewarisan sifat diskontinu dan kontinu.
2. Dapat menyelesaikan persilangan yang diatur oleh banyak gen (poligeni).
3. Dapat menentukan jumlah gen yang mengatur sifat poligeni.
4. Dapat menyebutkan contoh-contoh pewarisan sifat poligeni pada manusia dan organisme lainnya.

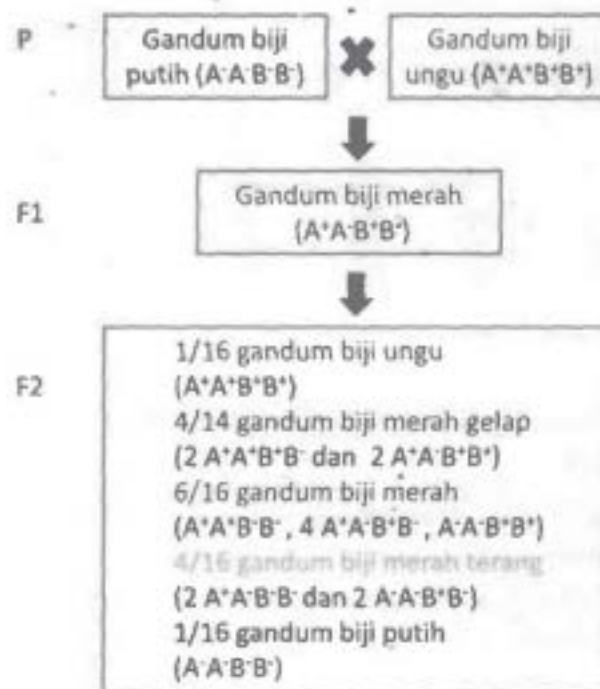
### **8.2 PEWARISAN SIFAT DISKOTINU DAN PEWARISAN SIFAT KONTINU**

Pada bab-bab sebelumnya kita fokus pada pewarisan sifat yang diatur oleh satu gen. Pewarisan sifat seperti ini menghasilkan karakteristik yang bersifat diskontinu atau kualitatif, misalnya tinggi dengan pendek, bufat dengan keriput dan lainnya. Pewarisan sifat kontinu dikenal juga dengan pewarisan sifat kuantitatif, disebut demikian karena variasi yang terbentuk harus diukur secara kuantitatif. Salah satu penyebab munculnya sifat kuantitatif adalah poligeni yaitu satu sifat yang diatur oleh banyak gen. Perbandingan antara sifat pewarisan sifat kontinu dan diskontinu dapat dilihat pada **Gambar 8.1**.

Berdasarkan rasio fenotip F2, Nilsson-Ehle menyimpulkan:

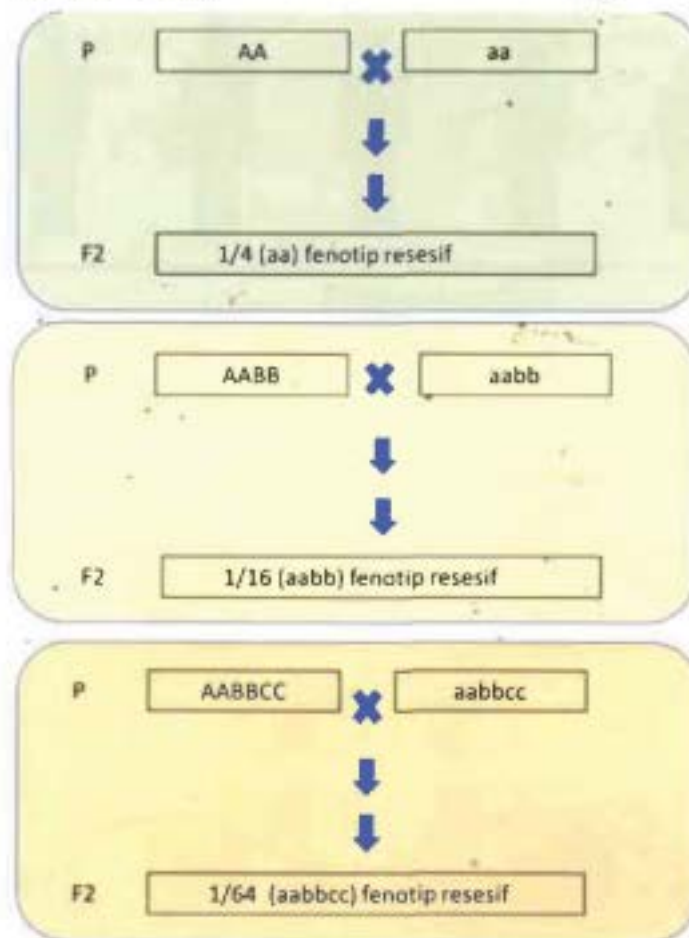
1. Warna biji gandum diatur oleh 2 gen, masing-masing gen terdiri dari sepasang alel.
2. Salah satu alel dari setiap gen mengatur terbentuknya warna merah dan alel lainnya tidak.
3. Pewarisan sifat bersifat aditif, setiap gen memberi kontribusi yang sama terhadap munculnya warna merah dan warna merah yang muncul tergantung pada banyaknya alel dominan yang dimiliki oleh tanaman gandum.
4. Alel-alel terpisah pada waktu pembentukan gamet mengikuti prinsip Mendel.

Hasil dari Nilsson-Ehle dapat dijelaskan lebih jelas pada persilangan di bawah ini:



Karakteristik lain dari pewarisan sifat poligeni adalah semakin banyak gen yang terlibat maka semakin banyak variasi fenotip yang terbentuk (Gambar 8.2).

dan terpendek) menghasilkan F2 dengan fenotip sama dengan salah satu induknya dengan persentase  $1/64$ . Berdasarkan keterangan tersebut, maka jumlah gen yang terlibat dalam mengatur tinggi tanaman adalah  $(1/4)^n$  dengan  $n = 3$  (Gambar 8.3).



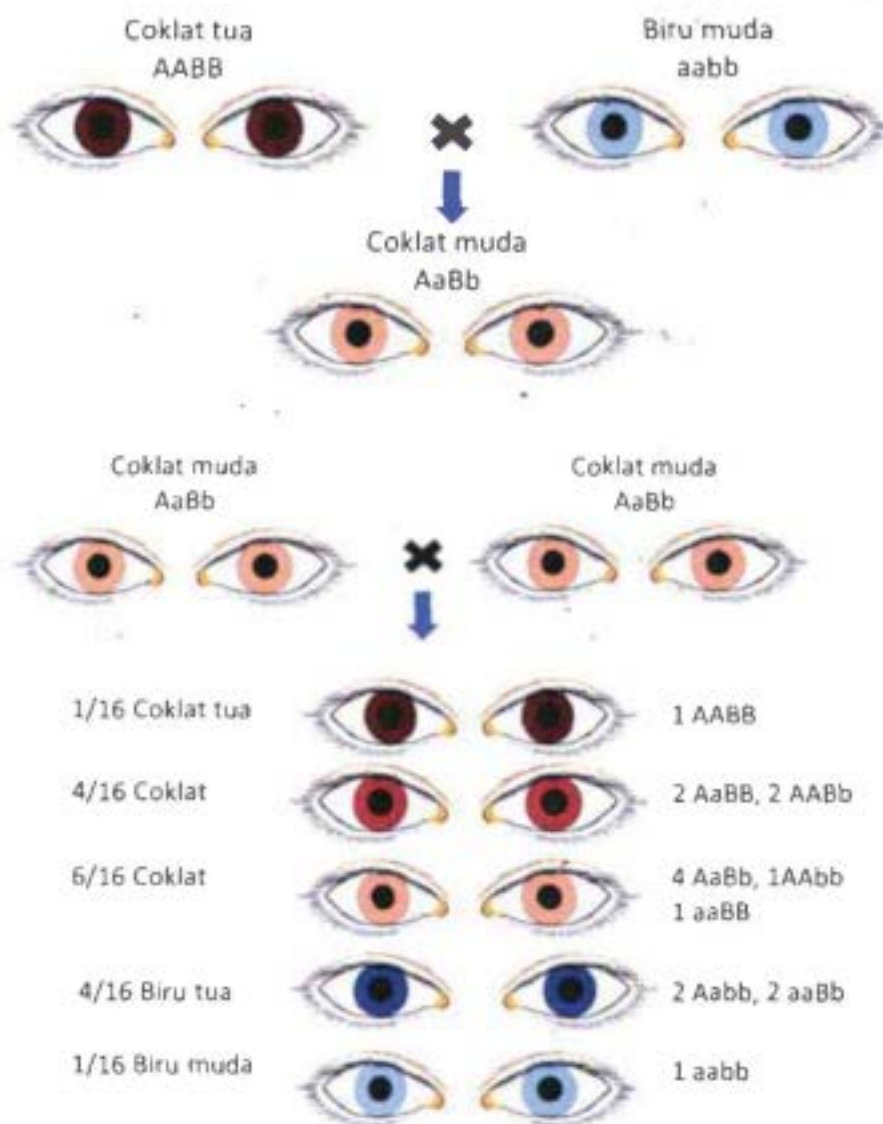
Gambar 8.3. Hubungan antara rasio fenotip resesif dengan jumlah gen yang terlibat dalam pengaturan sifat poligeni.

## 8.5 PEWARISAN SIFAT POLIGENI PADA MANUSIA

Terdapat berbagai karakteristik pada manusia diwariskan secara poligeni. Karakteristik-karakteristik tersebut antara lain tinggi badan (Gambar 8.4), berat badan, sidik jari, warna kulit, dan warna mata.



(aabb) menghasilkan anak perempuan dengan mata berwarna coklat ( $AaBb$ ). Jika anak perempuan tersebut kemudian menikah dengan pria bermata coklat maka ada lima kemungkinan warna mata yaitu coklat tua, coklat, coklat muda, biru tua, dan biru muda.

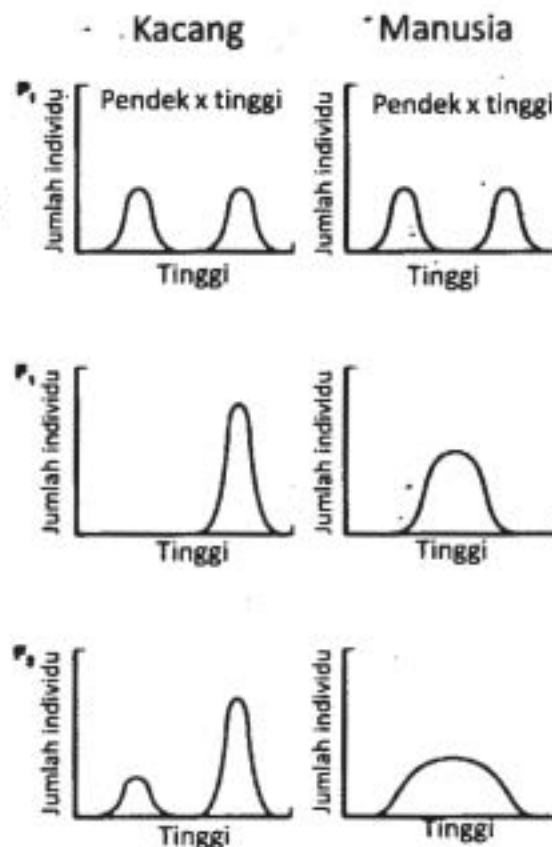


**Gambar 8.6.** Persilangan yang menunjukkan pewarisan warna mata pada manusia bersifat poligeni.

Sama seperti warna mata, warna kulit juga disebabkan oleh keberadaan pigmen melanin yang dihasilkan oleh sel melanosit. Warna kulit manusia bervariasi dari hitam sampai putih tergantung pada banyaknya alel dominan yang dimiliki seseorang (**Gambar 8.7**). Semakin banyak alel dominan maka warna kulit semakin mendekati hitam sedangkan semakin sedikit alel dominan yang dimiliki maka warna kulit semakin mendekati putih. Pewarisan warna kulit yang bersifat poligeni pada manusia dapat menyebabkan terjadinya peristiwa langka yaitu lahirnya kembar dengan warna kulit yang bertolak belakang (**Gambar 8.8**).

## 8.6 CONTOH SOAL

1. Data berikut ini menunjukkan perbandingan pewarisan sifat tinggi pada kacang dan manusia.

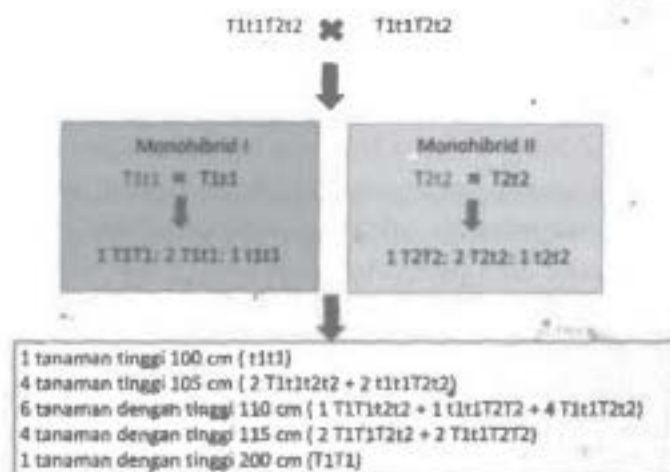


110 cm dengan genotip (T1T1t2t2, t1t1T2T2, T1t1T2t2)

115 cm dengan genotip (T1T1T2t2 dan T1t1T2T2)

200 cm dengan genotip T1T1T2T2

B. Rasio fenotip keturunannya adalah 1:4:6:4:1.



## 8.7 SOAL EVALUASI

- Dua orang petani selama bertahun-tahun melakukan pemuliaan terhadap tanaman labu. Petani A memiliki labu galur murni dengan buah berwarna kuning dan berat buah 1 kg, petani B memiliki labu galur murni dengan buah putih dan berat buah 2 kg.

Seorang *breeder* kemudian menyilangkan kedua galur murni dan memperoleh F1 berbuah kuning dengan berat buah 1,5 kg. Persilangan sesama F1 kemudian menghasilkan keturunan dengan perbandingan sebagai berikut:

30 berbuah kuning berat 1 kg

120 berbuah kuning berat 1,25 kg

180 berbuah kuning berat 1,5 kg

120 berbuah kuning berat 1,75 kg

30 berbuah kuning berat 2 kg

10 berbuah putih berat 1 kg

40 berbuah putih berat 1,25 kg

60 berbuah putih berat 1,5 kg

- Berbuah kuning berat 1 kg (A-bbcc)
- Berbuah kuning berat 1,25 kg (A-Bbcc atau A-bbCc)
- berbuah kuning berat 1,5 kg (A-B-C- atau A-BBcc atau A-bbCC)
- Berbuah kuning berat 1,75 kg (A-BBC- atau A-B-CC)
- 30 berbuah kuning berat 2 kg (A-BBCC)
- 10 berbuah putih berat 1 kg (aabbcc)
- 40 berbuah putih berat 1,25 kg (aa-Bbcc atau aa-bbCc)
- 60 berbuah putih berat 1,5 kg 1,5 Kg (aaB-C- atau aaBBcc atau aabbCC)
- 40 berbuah putih berat 1,75 kg (aaBBC- atau aaB-CC)
- 10 Berbuah putih berat 2 kg (aaBBCC)

2. Penduduk pada zona 3 merupakan hasil perkawinan dari penduduk zona 1 dan 2. Penduduk zona 1 dan 2 sama berwarna coklat muda. Genotip penduduk zona 1 AaBb sedangkan genotip zona 2 tidak diketahui. Ada 3 kemungkinan genotip penduduk zona 2 yaitu AAbb, aaBB, dan AaBb. Jika genotip zona 2 adalah AaBb maka perkawinan antara penduduk zona 1 dan 2 akan menghasilkan genotip AABB (coklat tua) dan aabb (biru muda), namun penduduk dengan kedua jenis mata tersebut tidak ditemukan jadi dapat disimpulkan genotip penduduk di zona 2 adalah aaBB atau AAbb.

## BAB 9

# GENETIKA POPULASI

### 9.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Dapat menentukan frekuensi alel pada populasi.
2. Dapat menerapkan hukum Hardy-Weinberg dalam menghitung frekuensi alel ataupun persentase genotip dan fenotip dalam sebuah populasi.
3. Dapat menghitung perubahan frekuensi alel akibat mutasi ataupun adanya migrasi.

Populasi adalah unit dasar dari Evolusi. Variasi genetik dalam populasi merupakan bahan baku dari evolusi itu sendiri. Evolusi terjadi akibat adanya perubahan frekuensi alel di dalam populasi.

### 9.2 PENGHITUNGAN FREKUENSI ALEL

Apabila suatu gen terdiri hanya dari dua alel, misal A dan a, maka akan terdapat 3 jenis genotip pada populasi yaitu AA, Aa, dan aa. Frekuensi alel dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Frekuensi alel dominan A (p)} = \frac{2n_{AA} + n_{Aa}}{2N}$$

$$\text{Frekuensi alel resesif a (q)} = \frac{2n_{aa} + n_{Aa}}{2N}$$

### 9.3 HUKUM HARDY AND WEINBERG

Menurut prediksi Hardy-Weinberg jika populasi cukup besar, perkawinan terjadi secara acak, tidak terjadi mutasi, migrasi, dan seleksi alam, maka:

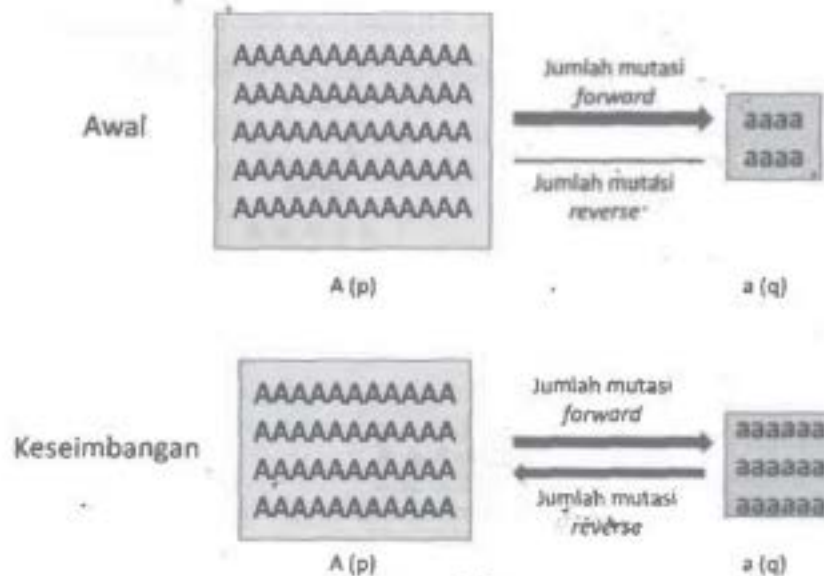
1. Tidak terjadi perubahan frekuensi alel
2. Frekuensi genotip stabil pada generasi pertama dengan proporsi  $p^2$  (frekuensi AA),  $2pq$  (frekuensi Aa), dan  $q^2$  (frekuensi aa).  $p$  adalah frekuensi alel A dan  $q$  adalah frekuensi alel a.

Kesimpulan ini kemudian dikenal dengan hukum Hardy-Weinberg. Adapun implikasi dari hukum ini adalah evolusi tidak akan terjadi jika asumsi dari Hardy-Weinberg tercapai.

#### Menghitung frekuensi alel berdasarkan hukum Hardy-Weinberg

Empat puluh orang di sebuah desa yang terdiri dari 1000 penduduk menderita labino. Jika diasumsikan populasi di desa tersebut mencapai keseimbangan Hardy-Weinberg maka:

1. Frekuensi penderita albino ( $f_{aa}$ ) =  $\frac{4}{1000} = 0,04$
2. Frekuensi alel albino (a) dapat dihitung dengan rumus:
  - $q = \sqrt{q^2}$
  - $q^2 = f_{aa}$
  - $p = \sqrt{f_{aa}} = \sqrt{0,04} = 0,2$
3. Frekuensi alel normal (A) dapat dihitung dengan rumus:
  - $p + q = 1$
  - $p + 0,2 = 1$
  - $p = 1 - 0,2 = 0,8$
4. Frekuensi penduduk normal heterozigot ( $f_{Aa}$ ) dapat dihitung dengan rumus:
  - $f_{Aa} = 2pq$
  - $f_{Aa} = 2 \cdot 0,8 \cdot 0,2$
  - $f_{Aa} = 0,32$



Pada fase awal, frekuensi alel A lebih tinggi dari alel a sehingga jumlah alel A yang berubah menjadi a lebih banyak dari alel a menjadi A. Kondisi ini menyebabkan frekuensi alel a dalam populasi meningkat dan frekuensi alel A menurun. Apabila laju mutasi dari A ke a adalah X dan a ke A adalah Y, maka laju pertambahan alel a ( $\Delta q$ ) dapat dihitung dengan rumus:

$$\Delta q = pX - qY$$

Apabila keseimbangan telah tercapai, jumlah alel A yang berubah menjadi a sama dengan jumlah alel a yang berubah menjadi A dan  $\Delta q = 0$ . Frekuensi alel pada saat keseimbangan dapat dihitung dengan rumus:

$$\Delta q = pX - qY$$

$$\Delta q = (1-q)X - qY$$

$$\Delta q = X - qX - qY$$

$$0 = X - q(X+Y)$$

$$q = \frac{X}{X+Y}$$

### 9.4.2 Migrasi

Migrasi mengubah frekuensi alel dalam populasi melalui masuknya alel dari populasi lain. Perubahan frekuensi alel dipengaruhi oleh perbedaan



**Jawaban:**

- A. frekuensi alel  $P = \frac{2.50 + 30}{200} = 0,65$ ; frekuensi alel  $p = 1 - 0,65 = 0,35$
- B. jika populasi berada pada keseimbangan Hardy-Weinberg maka frekuensi heterozigot  $= 2fp.p = 2 \cdot 0,65 \cdot 0,35 = 0,455$ . Frekuensi heterozigot yang teramati adalah 0,3. Oleh sebab itu dapat dikatakan bahwa populasi tidak berada dalam keseimbangan Hardy-Weinberg
2. Pada suatu pulau terdapat dua gen yang mengatur warna tubuh belalang yaitu alel dominan A menyebabkan warna hijau sedangkan alel resesif a menyebabkan tubuh berwarna abu-abu. Frekuensi alel pada pulau tersebut adalah  $A = 0,5$  dan  $a = 0,5$ . Pada tahun X seorang petualang membawa burung ke pulau tersebut. Burung lebih mudah mengenali belalang berwarna abu-abu daripada hijau. Satu tahun kemudian dilakukan sampling populasi belalang, diketahui bahwa persentase belalang dengan genotip AA 50%, Aa 20%, dan aa 20%.
- A. Hitunglah frekuensi belalang hijau dan abu-abu sebelum datangnya petualang ke pulau tersebut!
- B. Tentukan frekuensi alel a dan alel A satu tahun setelah petualang membawa burung ke pulau tersebut!

**Jawaban**

- A. Frekuensi belalang hijau dapat dihitung dengan rumus  $f \text{ hijau} = A^2 + 2Aa = 0,5^2 + 2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,75$ . Frekuensi belalang abu-abu dapat dihitung dengan rumus  $f \text{ abu-abu} = 0,5^2 = 0,25$ .
- B. Frekuensi alel A satu tahun setelah petualang membawa burung =  $\frac{2nAA + Aa}{2N} = \frac{2 \cdot 0,5 + 0,3}{2} = 0,65$
- Frekuensi alel a =  $1 - fA = 1 - 0,65 = 0,35$
2. *Phenylketonuria* (PKU) adalah kelainan yang disebabkan oleh alel resesif pada autosom. Pada suatu desa dengan 1000 penduduk, 4% penduduknya menderita PKU. Jika populasi pada desa tersebut mencapai keseimbangan Hardy-Weinberg, tentukanlah persentase penduduk normal heterozigot!

Jika keseimbangan Hardy-Winberg tercapai maka persentase penduduk albino di pulau =  $a^2$ .  $100\% = 0,25\%$

5. Warna rambut hitam pada kelinci diatur oleh alel dominan W sedangkan alel resesif w menyebabkan kelinci berambut putih. Pak Eko memiliki peternakan kelinci yang terdiri dari 100 ekor kelinci. Hasil uji genetika menunjukkan bahwa 25% kelinci bergenotip HH, 50% Hh, dan 25% hh. Pada suatu pagi seorang pembeli mengambil dua ekor kelinci secara acak, satu jantan berambut hitam dan lainnya betina berambut putih. Jika pembeli mengawinkan kedua ekor kelinci, tentukan peluang memperoleh kelinci berwarna putih!

**Jawaban:**

Kelinci yang diambil oleh pembeli sudah pasti memiliki genotip hh sedangkan kelinci hitam yang diambil oleh pembeli memiliki dua kemungkinan genotip yaitu HH dan Hh. Peluang dari masing-masing genotip diambil oleh pembeli adalah:

$$\text{Peluang HH} = \frac{\text{Persentase HH}}{\text{Persentase HH} + \text{Hh}} = \frac{50}{75} = 0,67$$

$$\text{Peluang Hh} = \frac{\text{Persentase Hh}}{\text{Persentase HH} + \text{Hh}} = \frac{25}{75} = 0,33$$

Kelinci putih hanya dihasilkan dari perkawinan kelinci hitam Hh dengan kelinci putih. Peluang dihasilkan kelinci putih dari perkawinan =  $\frac{1}{2}$  (peluang Hh) = 0,165

## 9.6 SOAL EVALUASI

1. Berikut ini adalah distribusi genotip pada populasi:

Genotip	Jumlah
AABB	30
AaBB	10
AABb	20
AaBb	40
aaBb	50
AAbb	25
Aabb	10



## DAFTAR PUSTAKA

- Brooker, R. J. 2012. Genetic: analysis & principle 4<sup>th</sup> ed. Mc Graw Hill, New York
- Lewis, R. 2010. Human Genetic: concept and application 9<sup>th</sup>ed. Mc Graw Hill, New York.
- Passarge, E. 2001. Color Atlas of Genetics 2<sup>nd</sup>ed. Thieme
- Pearce, B.A. 2005. Genetic: A conceptual approach. W. H. Freeman & Co, New York.
- Snustad, D. P. & Simmons. 2012. Principle of Genetic 6<sup>th</sup>ed. John Wiley & Sons, Inc. USA

# DASAR-DASAR GENETIKA MENDEL DAN PENGEMBANGANNYA

Buku 'Dasar-dasar Genetika Mendel dan Pengembangannya' ini berisi tentang teori dan penerapan Genetika Mendel di kehidupan sehari-hari. Hal-hal yang dibahas di dalam buku ini meliputi sejarah genetika; prinsip Genetika Mendel; pengembangan Hukum Mendel; penentuan jenis kelamin dan dasar pewarisan sifat yang terpaut kromosom kelamin; analisis peta silsilah keluarga, pautan, rekombinasi & peta genetik; variasi kromosom; pewarisan sifat poligeni; dan genetika populasi. Pada buku ini dipaparkan juga hubungan antara genetika Mendel dengan dengan pembelahan meiosis.

Untuk memudahkan para pembaca memahami teori yang disampaikan, buku ini juga menampilkan contoh-contoh soal dan sekaligus cara penyelesaiannya. Selain itu, di setiap akhir bab dari buku ini juga dilengkapi dengan soal-soal evaluasi yang lengkap dengan pembahasannya. Bagi para pembaca yang memiliki gaya belajar visual, buku ini akan lebih membantu pemahaman materi karena terdapat banyak gambar yang menarik untuk melengkapi pembahasan pada soal-soal tertentu.



**Ida Bagus Made Artadana**, menyelesaikan pendidikan strata 1 (S-1) di departemen Biologi Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati (SITH) ITB pada tahun 2016. Pada tahun 2011 dan 2014, penulis menempuh pendidikan strata 2 (S-2) di Department Biotechnology, Faculty of Science-Mahidol University di Bangkok Thailand. Penulis telah menjadi Dosen tetap di Fakultas Teknobiologi Universitas Surabaya sejak tahun 2007 hingga sekarang. Selain sebagai

Dosen, penulis juga aktif terlibat dalam pembinaan tim olimpiade Biologi Indonesia yang akan diberangkatkan ke Olimpiade Biologi Internasional (IBO).



**Wina Dian Savitri** menyelesaikan pendidikan sarjana tingkat satu (S-1) di Jurusan Biologi, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga Surabaya pada tahun 2008. Pada tahun 2010-2012, penyusun diberi kesempatan untuk menempuh pendidikan strata dua (S-2) pada Jurusan Hortikultura di Kyungpook National University di Korea Selatan. Sejak bulan November tahun 2012 hingga sekarang, penyusun merupakan

dosen tetap di Jurusan Biologi, Fakultas Teknobiologi, Universitas Surabaya.

 **GRAHA ILMU**

ISBN: 978-602-262-797-5



9 786022 262797