

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

POLA-POLA HEREDITAS PADA MAKHLUK HIDUP

A. Tujuan Pembelajaran

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

B. Uraian Materi

1) Penentuan Jenis Kelamin (Determinasi Seks)

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

1) Penentuan Jenis kelamin pada Tumbuhan

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

2) Penentuan Jenis Kelamin pada Hewan

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

a. Tipe XY

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



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

Rumus Indeks Kelamin (IK):

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

Keterangan:

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

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

Contoh:

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

b. Tipe XO

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

Contoh:

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

c. Tipe ZW

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

Contoh:

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

d. Tipe haploid-diploid

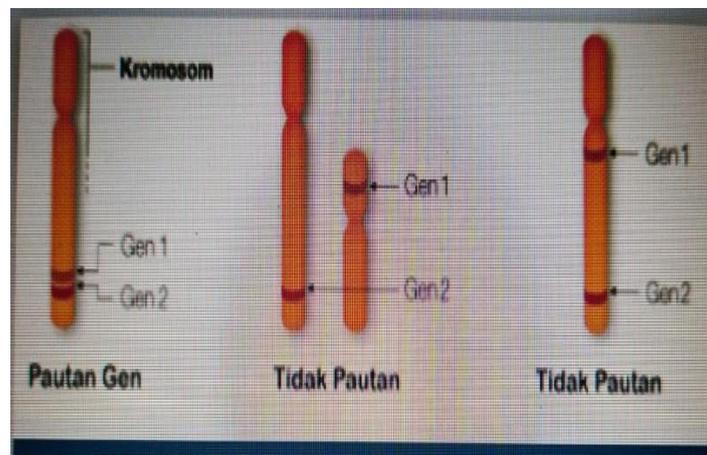
Tipe haploid-diploid terdapat pada beberapa serangga yang dapat melakukan parthenogenesis (terbentuknya individu baru dari sel telur tanpa didahului pembuahan oleh sel sperma), misalnya pada lebah madu. Peristiwa parthenogenesis terjadi pada pembentukan lebah jantan sehingga bersifat haploid (n) yang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

2) Pautan

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

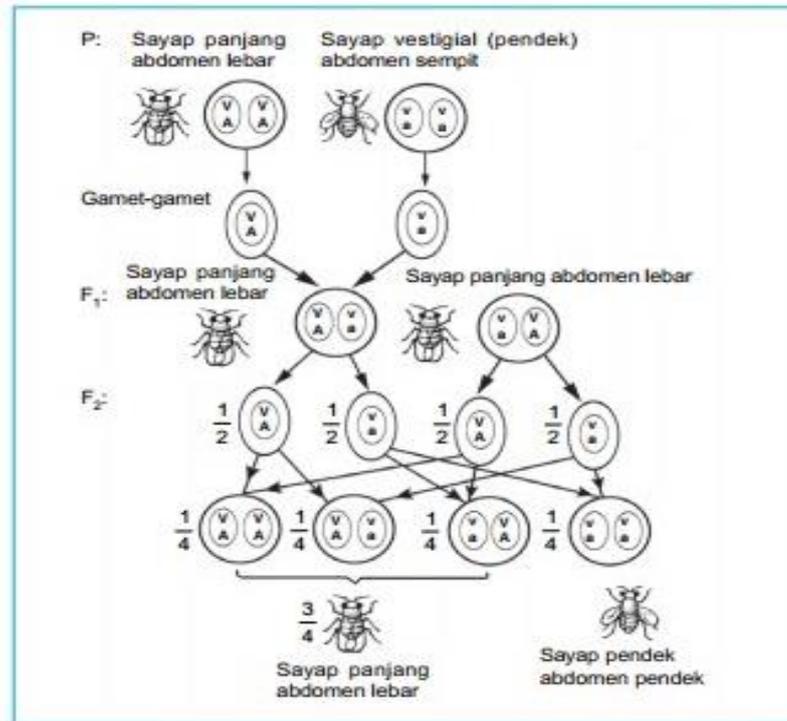
1) Pautan gen

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



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

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



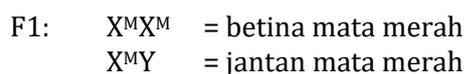
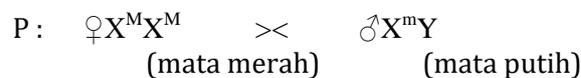
Gambar 3. Diagram peristiwa pautan pada lalat buah
 Sumber: bioharyono.blogspot.com

2) Pautan seks

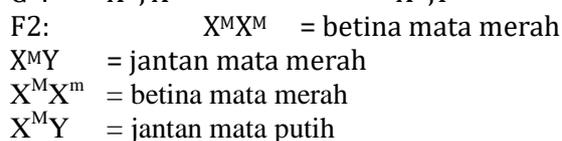
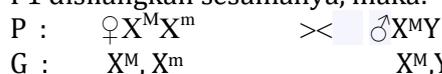
Dalam kehidupan sehari-hari, mungkin Anda pernah mengamati adanya suatu sifat khas individu yang hanya dimiliki oleh wanita saja atau laki-laki saja. Peristiwa ini terjadi karena adanya pautan seks. Peristiwa terdapatnya gen dalam kromosom kelamin disebut terpaut seks (sex linkage). Gen-gennya disebut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

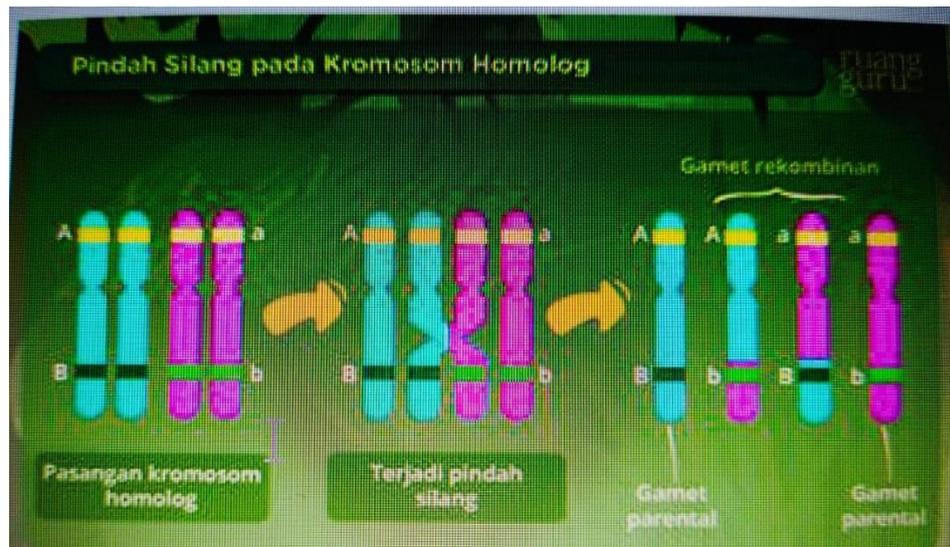
a. Pautan seks pada *Drosophila melanogaster*

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



F1 disilangkan sesamanya, maka:





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

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

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

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

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

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

Keterangan:

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

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

Contoh soal 1:

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

Besar asam = 150

Besar manis = 750

Kecil manis = 100

Kecil asam = 500

Tentukan nilai pindah silangnya?

Pembahasan:

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

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

Contoh soal 2:

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

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

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

Pembahasan:

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

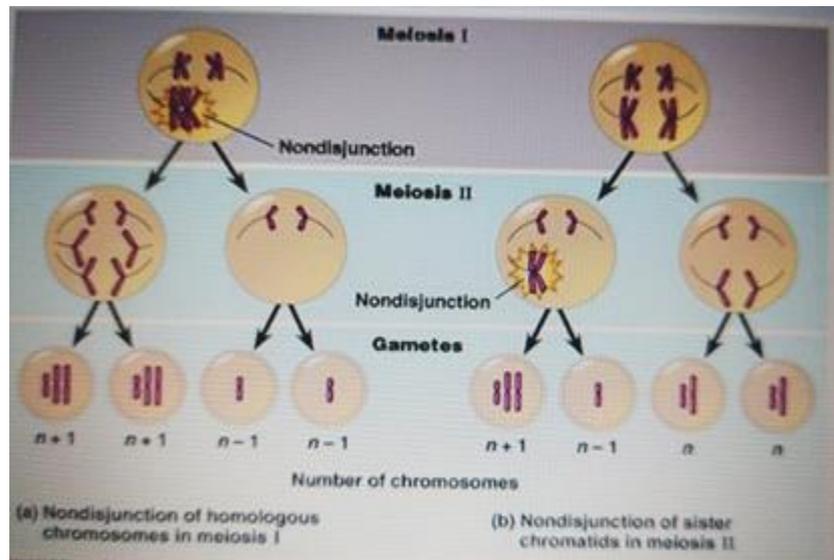
Rekombinan = (merah,keriput + ungu,normal) = 16 + 22 = 38

Jumlah total keturunan = 735 + 38 = 773

3) Gagal Berpisah (Non-Disjunction)

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

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



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

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

6) Gen Letal

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

1) Gen letal dominan

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



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

a) Ayam redep atau ayam creeper

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

P : ayam normal >< ayam normal
(Cc) (Cc)

G : C, c

F1 : CC = ayam letal
Cc = ayam redep
Cc = ayam redep
cc = ayam normal

b) Tikus kuning

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

P : tikus kuning >< tikus kuning
(Yy) (Yy)

G : Y, y

F1 : YY = tikus letal
Yy = tikus kuning
Yy = tikus kuning
yy = tikus abu-abu

2) Gen letal resesif

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

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

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



Gambar 7. Jagung albino
Sumber: ruangguru.com

C. Rangkuman

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

D. Penugasan Mandiri

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