

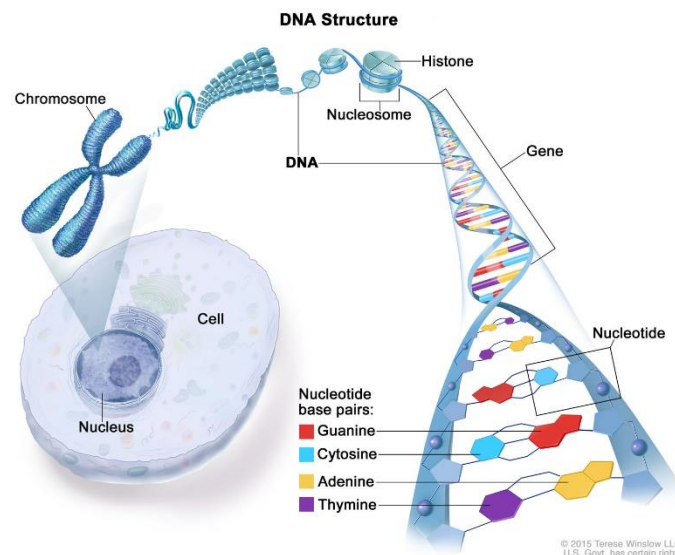
BAHAN MATERI APLIKASI

GENETIKA KELAS XII SMA

GENETIKA?

- Menurut Brookes, Genetika adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang pewarisan (penurunan karakteristik dari orang tua atau induk kepada keturunannya) dan variasi (berbagai perbedaan yang tampak diantara semua makhluk hidup)
- Menurut Russel, Genetika adalah ilmu tentang pewarisan sifat yang mencakup struktur dan fungsi gen, serta cara pewarisan gen-gen dari satu generasi ke generasi berikutnya.
- Menurut Corebima, genetika diartikan sebagai ilmu cabang biologi yang mengkaji materi genetik tentang strukturnya, reproduksinya, kerjanya, perubahan dan rekombinasinya, keberadaannya dalam populasi, serta perekayasaannya.
- Genetika adalah cabang biologi yang mempelajari pewarisan sifat dari orang tua ke keturunan melalui gen. Ilmu ini mencakup studi tentang struktur dan fungsi gen, cara gen diwariskan, serta bagaimana gen mempengaruhi karakteristik fisik dan perilaku organisme.

MATERI GENETIK

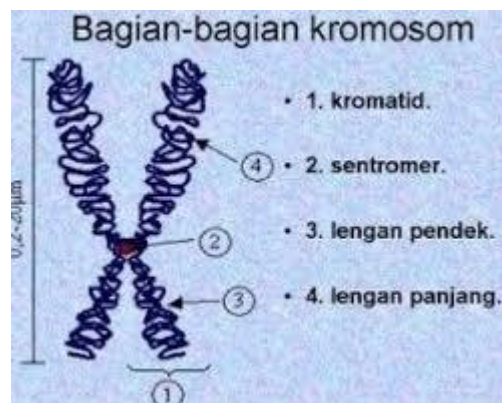


- Materi genetik berperan terhadap pewarisan sifat sifat genetik dari induk kepada keturunannya.
- Materi genetik terdapat di berbagai sel diseluruh tubuh, misalnya pada sel-sel darah, sel tulang, sel gamet dan lain-lain, tepatnya materi genetika tersebut berada di dalam nukleus.
- Materi genetik terdiri dari Kromosom, DNA, RNA, Gen, Sintesis Protein.

1. KROMOSOM



- Kromosom berasal dari bahasa Yunani yaitu chrome yang berarti warna dan soma berarti badan sehingga kromosom diartikan sebagai badan yang mampu menyerap warna lain.
- Kromosom merupakan benda benda yang halus berbentuk lurus seperti batang atau bengkok yang berada di dalam nukleus
- Kromosom terdiri atas DNA
- Kromosom memiliki panjang antara 0,2 – 50 mikron dan diameter 0,2 – 20 mikron



Jenis Kromosom Berdasarkan Fungsi

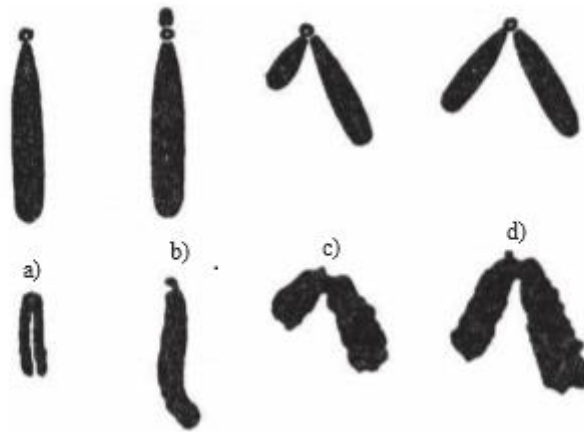
Autosom

- Berpersan menentukan ciri-ciri tubuh, seperti warna mata, warna kulit, tinggi badan, dan lainnya
- Bersifat diploid ($2n$)
- Mengalami pembelahan mitosis
- Jumlahnya $2x$ gonosom

Gonosom

- Berperan menentukan jenis kelamin, contohnya kromosom X dan kromosom Y
- Bersifat haploid (n)
- Mengalami pembelahan meiosis

Jenis Kromosom berdasarkan letak sentromer



Sumber: *Biologi Sel*, 1986

- a. Telosentris, sentromer terletak di ujung kromosom sehingga kromosom hanya mempunyai satu lengan. Manusia tidak memiliki kromosom dalam bentuk ini.
- b. Akrosentris, sentromer terletak di bagian subterminal (dekat ujung kromosom), sehingga kromosom berbentuk lurus seperti batang dengan satu lengan sangat pendek dan satunya lagi sangat panjang
- c. Submetasentris, sentromer terletak di submedian salah satu ujung kromosom, sehingga kromosom terbagi menjadi dua lengan yang tak sama panjang, lengan yang tak sama panjang mempunyai bentuk seperti huruf L.
- d. Metasentris, sentromer terletak di tengah kromosom sehingga kromosom terbagi menjadi dua lengan yang sama panjang dan berbentuk seperti huruf V.

Jenis kromosom berdasarkan jumlah sentromer bentuk kromosom dibagi menjadi empat macam :

- a. **Asentrik**, kromosom yang tidak memiliki sentromer
 - b. **Monosentrik**, kromosom yang hanya memiliki satu sentromer
 - c. **Disentrik**, kromosom yang memiliki dua sentromer
 - d. **Polisentrik**, kromosom yang memiliki banyak sentromer
- Jumlah kromosom antar organisme berbeda-beda dan tidak dipengaruhi oleh derajat tingkatan kesempurnaan suatu organisme maupun ukuran tubuhnya.
Contoh organisme dengan jumlah kromosom yang dimiliki pada setiap sel tubuhnya.

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



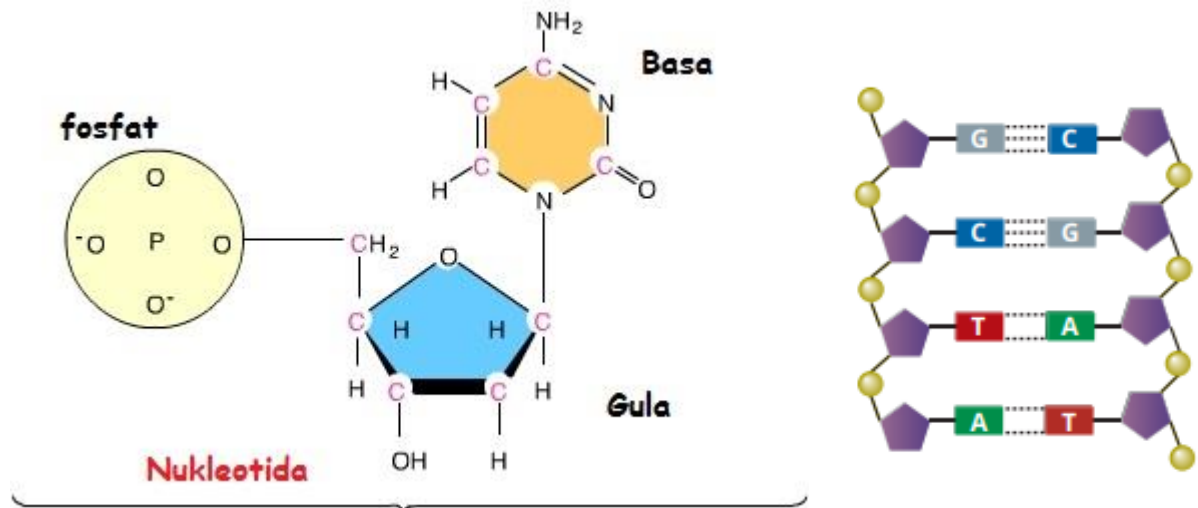
2. DNA



<https://smart.servier.com/?s=nucleotide>

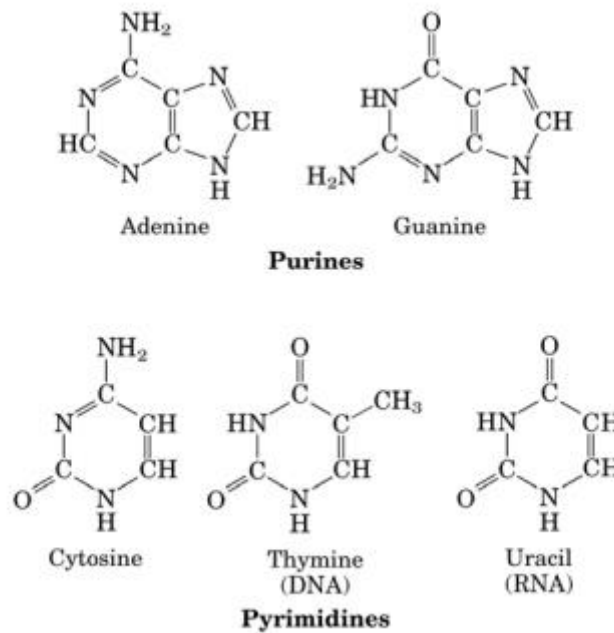
- DNA (*Deoxyribonucleic Acid*) adalah substansi pembawa informasi genetik dari suatu generasi ke generasi lainnya.
- DNA berbentuk untai panjang helix ganda (*double helix*) berpilin ke arah kanan.
- DNA merupakan suatu polimer yang terdiri atas nukleotida-nukleotida dengan jumlah ratusan hingga ribuan. Setiap nukleotida terdiri atas 3 komponen sebagai berikut :

1. Gula pentose deoksiribosa (ribose yang kehilangan suatu atom oksigennya)
 2. Gugus fosfat
 3. Basa Nitrogen, terdiri dari dua jenis yaitu
 - a. Purin, terdiri dari Guanin (G) dan Adenin (A)
 - b. Pirimidin, terdiri dari Timin (T) dan Sitosin (C)
- Satu nukleotida terdiri atas 1 gula deoksiribosa, 1 gugus fosfat dan 1 basa nitrogen.



<https://www.edubio.info/2019/01/pengertian-nukleotida.html>

- Pasangan tetap basa nitrogen purin – pirimidin yaitu sebagai berikut.
 Guanin (G) – Sitosin (C)
 Adenin (A) – Timin (T)
 Adenin (A) dan Timin (T) membentuk dua ikatan hidrogen (A = T) sedangkan Guanin (G) dan Sitosin (C) membentuk tiga ikatan hidrogen (G ≡ C).



Ikatan hydrogen pasangan tetap basa nitrogen pada DNA

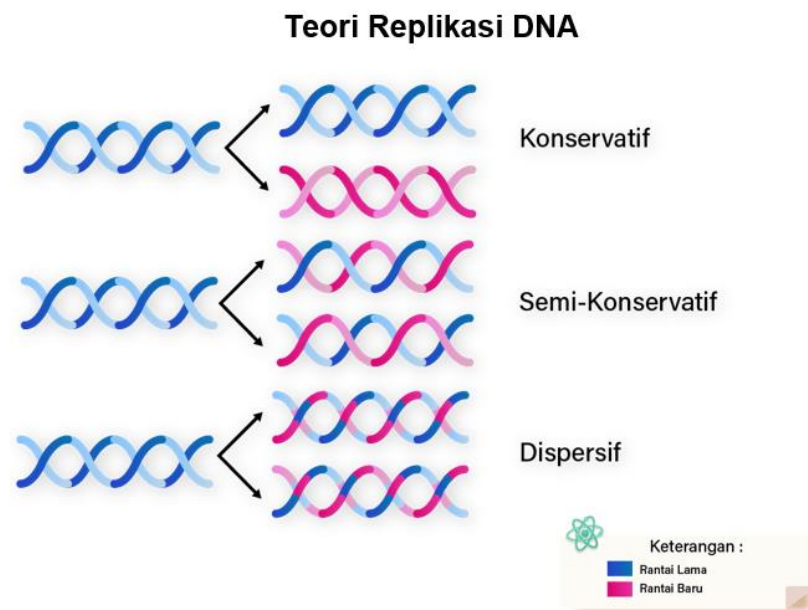
https://pustaka.unpad.ac.id/wp-content/uploads/2009/06/diktat_biotekmol.pdf

- DNA berperan sebagai pembawa informasi genetik dari satu generasi ke generasi lain. DNA yang mengekspresikan sifat tertentu, mengkode pembentukan suatu polipeptida yang nantinya akan membentuk protein. Protein inilah yang menjalankan fungsi gen dalam pewarisan sifat. Keterkaitan antara DNA, gen, dan protein dalam pembentukan sifat (fenotip tertentu) dikenal dengan istilah dogma sentral.
- DNA mengandung empat macam basa nitrogen yaitu Adenin (A), Sitosin (C), Guanin (G), dan Timin (T). basa nitrogen di dalam DNA selalu berpasangan
- DNA memiliki beberapa sifat yaitu sebagai berikut :
 1. Berupa makromolekul asam nukleat
 2. Bersifat kekal karena dapat beraplikasi (mengganda) sehingga dapat diperbanyak dan diwariskan kepada keturunannya.
 3. Dapat mencetak kode-kode genetik untuk selanjutnya diterjemahkan menjadi asam amino penyusun protein.
 4. Memiliki pola urutan nukleotida yang berbeda-beda pada setiap orang, kecuali kembar identik.

REPLIKASI DNA

- Replikasi DNA adalah proses penggandaan DNA untuk memperbanyak diri yang terjadi di fase sintesis saat interfase menjelang sel akan membelah

1. Model Replikasi DNA



- Model konservatif, kedua untai polinukleotida induk atau yang lama tidak berubah dan berfungsi sebagai cetakan, heliks ganda DNA baru tidak mengandung polinukleotida lama.
- Model semikonservatif, kedua untai polinukleotida berpisah, kemudian masing-masing untai nukleotida membuat rantai polinukleotida baru sebagai pelengkapanya sehingga diperoleh dua heliks ganda DNA yang masing masing mengandung satu untai polinukotida lama dan satu untai polinukleotida baru.
- Model dispertif, beberapa bagian kedua untai polinukleotida lama secara tersebar berfungsi sebagai cetakan, kemudian masing-masing bagian tersebut membuat bagian-bagian polinukleotida baru sebagai pelengkapanya sehingga diperoleh dua heliks ganda DNA yang masing masing mengandung molekul DNA lama dan DNA baru secara selang-seling pada kedua rantai polinukleotida.

2. Mekanisme Replikasi DNA

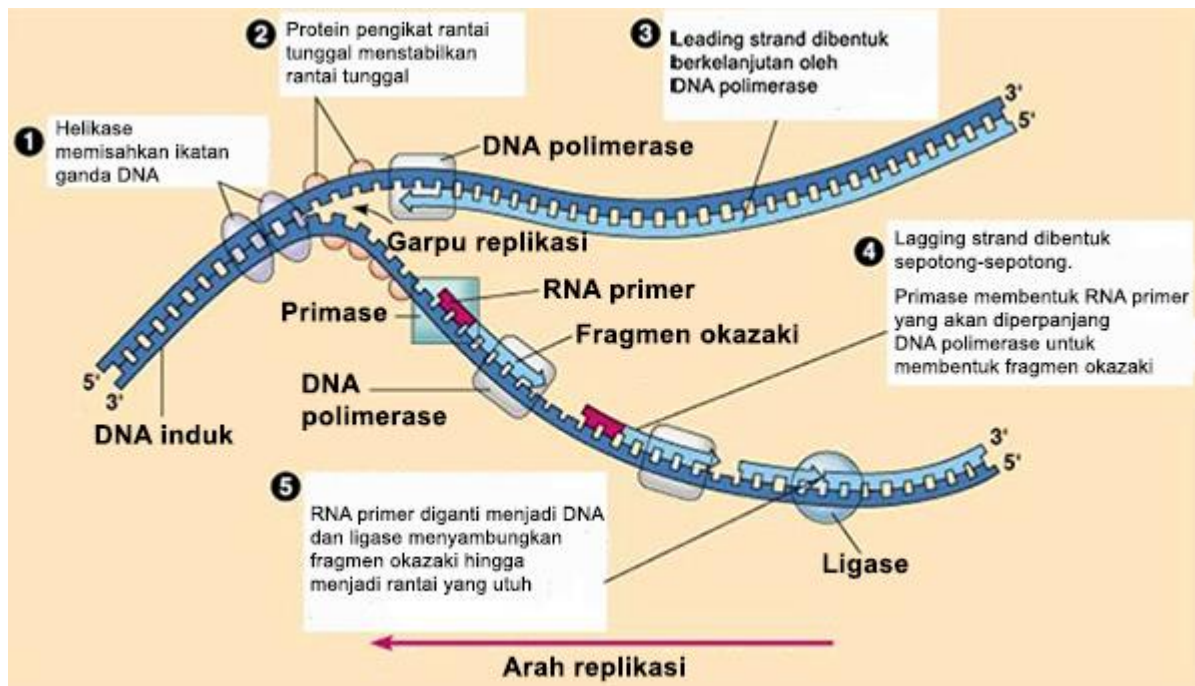
Replikasi DNA terjadi di Nukleus dengan sumber energi berasal dari nukleosida trifosfat (nukleotida dengan 3 gugus fosfat).

Replikasi DNA dikatalis oleh beberapa enzim, antara lain :

- Helikase, memutuskan ikatan hydrogen untuk membuka heliks ganda DNA menjadi dua untai Tunggal
- RNA primase, menggabungkan nukleotida RNA agar dapat membentuk primer (kelas lain asam nukleat)
- DNA polymerase, menggabungkan nukleotida menjadi polimer DNA yang panjang.

- d. DNA ligase, menyambungkan fragmen-fragmen DNA (fragmen Okazaki) yang baru terbentuk sehingga menjadi untai DNA yang lengkap.

Mekanisme replikasi DNA adalah sebagai berikut.



Menampilkan Video <https://www.youtube.com/watch?v=L-EOqacAa1U>

3. RNA

- RNA (*ribonucleic acid*) adalah makromolekul polinukleotida yang berbentuk untai tunggal.
- RNA berperan dalam sintesis protein.
- RNA memiliki untai polimer yang lebih pendek daripada DNA karena dibentuk melalui transkripsi fragmen-fragmen DNA.
- Keberadaan RNA di dalam sel tidak tetap karena RNA mudah terurai dan harus diproduksi kembali.

Komponen penyusun RNA sebagai berikut :

1. Gula ribose berkarbon 5
2. Gugus fosfat
3. Basa nitrogen, terdiri atas dua jenis :
 - a. Purin, terdiri dari Guanin (G) dan Adenin (A)
 - b. Pirimidin, terdiri dari Urasil (U) dan Sitosin (S)

RNA dibedakan menjadi tiga jenis, mRNA (*messenger RNA*), rRNA (*ribosomal RNA*), dan tRNA (*transfer RNA*).

1. mRNA (*messenger RNA*) atau (RNA duta)
 - mRNA dibentuk oleh DNA melalui proses transkripsi di dalam inti sel.

- mRNA memiliki urutan basa nitrogen sesuai dengan pasangan komplementer salah satu untai DNA (untai cetakan/template).
- mRNA berfungsi membawa kode genetik (kodon) dari kromosom didalam inti sel ke ribosom di dalam sitoplasma sel.



Ilustrasi untai tunggal mRNA

2. tRNA (*transfer RNA*)

RNA transfer (tRNA) Berperan menterjemahkan kodon yang terdapat pada RNA-d menjadi satu jenis asam amino serta mengangkut asam amino ke permukaan ribosom pada saat translasi.

3. rRNA (*ribosomal RNA*)

RNA ribosom (rRNA) merupakan RNA terbanyak, sekitar 60% dari RNA yang dikandung oleh suatu sel. Banyak terdapat di dalam ribosom dan berperan sebagai tempat pembentukan protein.

4. GEN dan ALEL

- Gen adalah unit terkecil dari materi genetic yang mengendalikan sifat-sifat hereditas suatu organisme.
- Gen terdiri dari protein dan asam nukleat (DNA dan RNA)
- Gen berukuran antara 4 – 8 m (mikron).

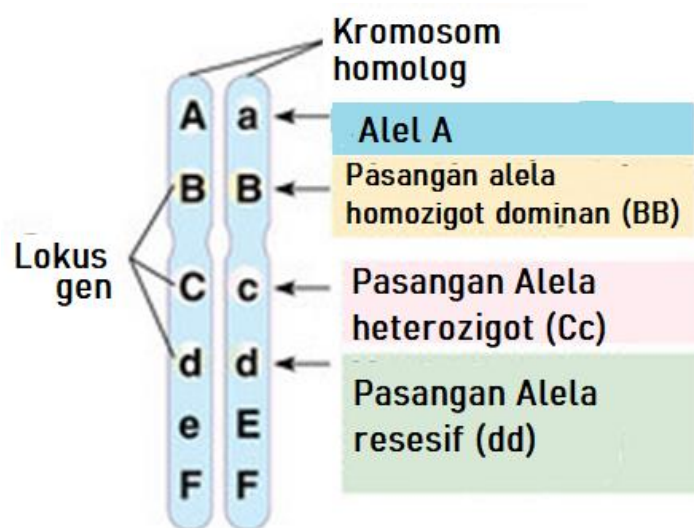
Sifat-sifat Gen diantaranya :

- Mengandung informasi genetik
- Masing gen memiliki tugas dan fungsi berbeda
- Gen dapat mengadakan duplikasi pada saat pembelahan mitosis dan meiosis

- Gen ditentukan oleh susunan basa nitrogen
- Terdapat dalam kromosom

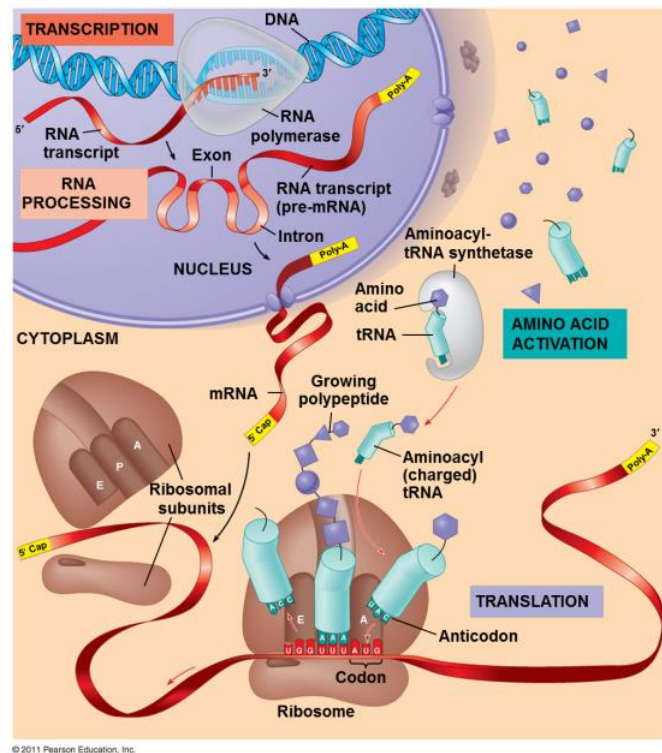
Gen memiliki fungsi sebagai berikut :

- Sebagai zarah tersendiri yang ada dalam kromosom.
- Menyampaikan informasi genetic dari induk kepada keturunannya.
- Mengatur proses metabolisme dan perkembangan.
- Alel adalah pasangan gen yang terdapat pada kromosom homolog yang menunjukkan sifat alternatif sesamanya.
- Pasangan gen atau alel dari kromosom dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu homozigot dominan, heterozigot dan homozigot resesif.



<https://prestasiherfen.blogspot.com/2021/10/apa-itu-gen.html>

5. SINTESIS PROTEIN



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

Sintesis protein melalui dua tahapan yaitu transkripsi dan translasi.

a. Transkripsi



<https://smart.servier.com>

<https://www.youtube.com/watch?v=2ks9fiBBTuA>

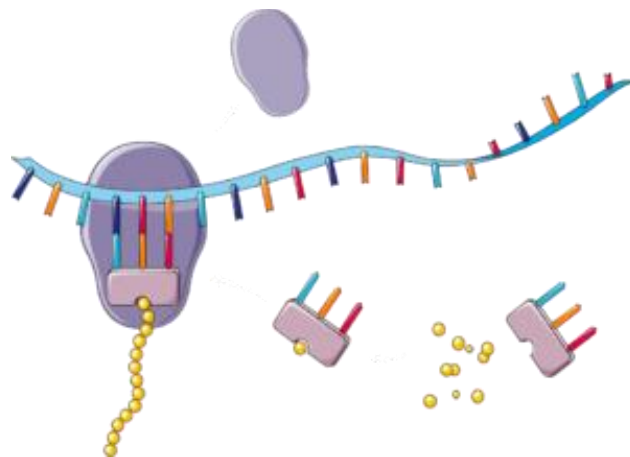
- Transkripsi adalah sintesis RNA pada suatu cetakan DNA dengan enzim RNA polimerase
- DNA memiliki dua untai, satu untai sebagai cetakan atau disebut **template**, **noncoding**, **antisense** dan satu untai komplementernya sebagai pengode atau disebut **coding**, **sense**, **nontemplate**, **noncetakan**.

- Rentangan DNA yang ditranskripsikan menjadi menjadi molekul RNA disebut **unit transkripsi**.
- Transkripsi berfungsi mensintesis mRNA, tRNA dan rRNA. Namun, hanya urutan basa nitrogen pada mRNA yang menentukan jenis asam amino penyusun protein yang disintesis.

Transkripsi meliputi tiga tahap

1. Inisiasi (permulaan) transkripsi
2. Elongasi (pemanjangan) untai RNA
3. Terminasi (pengakhiran) transkripsi

b. Translasi



<https://smart.servier.com>

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

- Proses transkripsi dapat dibagi dalam tiga tahap yaitu inisiasi sintesis RNA, pemanjangan (elongasi) RNA, dan penyelesaian (terminasi) sintesis RNA.
- Proses translasi berlangsung di sitoplasma, dalam proses translasi asam amino akan dirangkaikan dengan asam amino lainnya untuk membentuk rantai polipeptida atau protein
- Translasi memerlukan energi dari GTP (guanosin 5-trifosfat)

Translasi meliputi tiga tahap, yaitu

1. Inisiasi translasi
2. Elongasi translasi
 - Pengenalan kodon
 - Pembentukan ikatan peptide
 - Translokasi
3. Terminasi translasi

PEWARISAN SIFAT



1. Hukum Mendel

<https://www.youtube.com/watch?v=ouDcvX4fgHw>

Mendel melahirkan hukum mengenai pewarisan sifat yang dikenal dengan Hukum Mendel. Hukum ini terdiri dari dua bagian:

a. Hukum pemisahan (segregation) atau Hukum I Mendel

Hukum segregasi bebas menyatakan bahwa pada pembentukan gamet, kedua gen yang merupakan pasangan alel itu akan memisah sehingga tiap-tiap gamet menerima satu gen dari alelnya. Secara umum hukum ini mencakup tiga pokok :

- Gen memiliki bentuk-bentuk alternatif yang mengatur variasi pada karakter yang sama. Ini adalah konsep mengenai alel.
- Setiap individu diploid ($2n$) memiliki sepasang gen, satu dari induk jantan dan satu dari induk betina.
- Jika sepasang gen ini merupakan dua alel yang berbeda, alel dominan akan terekspresikan. Alel resesif yang tidak terekspresikan, tetap akan diwariskan pada gamet yang dibentuk.

P_1 (parental) : mawar merah x mawar putih
genotif : MM mm
G (gamet) : M m
 F_1 (filial) : Mm (fenotif merah 100%)

P_2 : F_1 x F_1
Mm x Mm
G : M dan m M dan m
 F_2 :

	M	m
M	MM	Mm
m	Mm	mm

Keterangan:
MM = merah
Mm = merah
mm = putih

Rasio fenotif dan rasio genotif pada F_2

Rasio fenotif F_2 = merah : putih
3 1
Rasio genotif F_2 = MM : Mm : mm
1 2 1

b. Hukum berpasangan secara bebas (independent assortment) atau Hukum II Mendel

Hukum kedua Mendel menyatakan bahwa bila dua individu mempunyai dua pasang atau lebih sifat, maka diturunkannya sepasang sifat secara bebas, tidak bergantung pada pasangan sifat yang lain. Dengan kata lain, alel dengan gen sifat yang berbeda tidak saling mempengaruhi. Hal ini menjelaskan bahwa gen yang menentukan seperti tinggi tanaman dengan warna bunga suatu tanaman, tidak saling mempengaruhi.

2. Persilangan Monohibrid

Persilangan monohibrid adalah persilangan dengan satu sifat beda. Dengan kata lain, kita hanya memerhatikan satu sifat saja dari setiap individu, seperti warna bunga (ungu, putih, dan sebagainya) atau bentuk buah (bulat, keriput, dan sebagainya).

Hukum Mendel I ditemukan berdasarkan persilangan monohibrid, di mana pada saat pembentukan gamet kedua (G_2), gen di dalam alel yang sebelumnya berpasangan akan mengalami pemisahan secara bebas dalam sel anakan yang berbentuk gamet.

Mendel melakukan persilangan monohibrid dengan satu sifat beda yang menunjukkan sifat dominansi yang muncul secara penuh. Persilangan pada kasus dominan penuh akan terjadi apabila sifat gen yang satu lebih kuat dibandingkan dengan sifat gen yang lain. Sifat gen yang lebih kuat tersebut dapat menutupi sifat gen yang lemah. Gen yang memiliki sifat kuat disebut gen dominan dan gen yang memiliki sifat lemah disebut gen resesif. Fenotip merupakan sifat yang tampak dan dapat diamati secara langsung dan hasil perbandingan fenotip yang didapatkan sebesar 3:1.

3. Persilangan Dihibrid

Pada persilangan dihibrid memerhatikan dua sifat beda atau lebih. Misalkan, warna buah dan bentuk buah atau bentuk bibir bunga dan warna bunga. Hukum Mendel II ditemukan berdasarkan persilangan dihibrid, karena ketika pembentukan F_2 , gen di dalam gamet yang semula mengalami pemisahan akan bergabung secara bebas.

Dari persilangan tanaman sesama F_1 dihasilkan tanaman F_2 yang memiliki empat kombinasi fenotip, dengan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1. Kombinasi hasil F_2 tersebut menunjukkan adanya pengelompokan dua pasang gen secara bebas yang dikenal dengan hukum Mendel II.

P ₁	:	bulat kuning	x	kisut hijau	
		BBKK		bbkk	
G	:	BK		bk	
F ₁	:	BbKk (fenotif bulat kuning 100%)			
P ₂	:	F ₁	x	F ₁	
		BbKk	x	BbKk	
G	:	BK		BK	
		Bk		Bk	
		bK		bK	
		bk		bk	
F ₂	:				

	BK	Bk	bK	bk
BK	BBKK	BBKk	BbKK	BbKk
Bk	BBKk	BBkk	BbKk	Bbkk
bK	BbKK	BbKk	bbKK	bbKk
bk	BbKk	Bbkk	bbKk	bbkk

Pada F₂ diperoleh macam fenotif:
 Bulat kuning : 9
 Bulat hijau : 3
 Kisut kuning : 3
 Kisut hijau : 1

Jadi rasio fenotif F₂ = 9 : 3 : 3 : 1

4. Uji silang

Genotip organisme yang menunjukkan sifat dominan dapat ditentukan dengan cara menyilangkan organisme induk homozigot dominan dengan organisme induk homozigot resesif. Cara tersebut dikenal sebagai uji silang. Bila organisme heterozigot disilangkan maka setengah jumlah total keturunan akan menunjukkan sifat dominan. Sisanya lagi akan menunjukkan sifat resesif.

Contoh

F1 disilangkan dengan galur murni (parental 1) resesif			
A	=	bunga merah	
a	=	bunga putih	
P1	AA (merah)	X	aa (putih)
Gamet	A		a
F1		Aa	
P2	Aa (merah)	X	aa (putih)
Gamet	A,a		a
F2	1Aa (merah) :	1aa (putih)	

5. Interaksi Antar Gen

Interaksi antar gen adalah interaksi antara dua pasangan gen nonalelik atau lebih yang menimbulkan fenotip-fenotip dengan rasio yang menyimpang secara semu terhadap hukum Mendel. Beberapa peristiwa akibat interaksi antar gen antara lain Atavisme, Epistasis-Hipotasis, Polimeri, Kripromeri, dan Komplementer.

1) Atavisme

Atavisme adalah interaksi beberapa gen yang menghasilkan sifat baru, terjadi pada bentuk jengger ayam ras (negeri).



Contoh

Diagram Persilangan Ayam Ros dan Ayam Pea

P	fenotipe : ♂ ros genotipe: RRpp gamet : Rp	× ↓	pea ♀ rrPP rP
F ₁	fenotipe : genotipe: RrPp walnut		
F ₁ × F ₁	genotipe: RrPp gamet : RP, rP, Rp, rp	×	RrPp Rp, rP, Rp, rp

F₂ :

<div>♀ \ ♂</div>	RP	rP	Rp	rp
RP	RRPP (walnut)	RrPP (walnut)	RRPp (walnut)	RrPp (walnut)
rP	RrPP (walnut)	rrPP (pea)	RrPp (walnut)	rrPp (pea)
Rp	RRPp (walnut)	RrPp (walnut)	RRpp (ros)	Rrpp (ros)
rp	RrPp (walnut)	rrPp (pea)	Rrpp (ros)	rrpp (single)

2) Epistasis-Hipotasis

Epistasis-Hipotasis adalah bentuk interaksi ketika suatu gen mengalahkan gen lainnya yang bukan sealel. Kedua gen yang berinteraksi tersebut terletak dalam lokus yang berbeda.

Epistasis : Gen dominan yang menutup gen dominan lainnya

Hipotasis : Gen dominan yang tertutup

Contoh pada persilangan buah labu

P1= M1M1M2M2 X m1m1m2m2
 (merah) (putih)
 G1= M1M2 -----> m1m2
 F1= M1m1M2m2 (merah)
 P2= M1m1M2m2 X M1m1M2m2
 (merah) (merah)
 G2= M1M2 M1M2
 M1m2 M1m2
 m1M2 m1M2
 m1m2 m1m2

F2=

Tabel	M1M2	M1m2	m1M2	m1m2
M1M2	M1M1M2M2 (merah tua)	M1M1M2m2 (merah sedang)	M1m1M2M2 (merah sedang)	M1m1M2m2 (merah muda)
M1m2	M1M1M2m2 (merah sedang)	M1M1m2m2 (merah muda)	M1m1M2m2 (merah muda)	M1m1m2m2 (merah muda sekali)
m1M2	(M1m1M2M2 (merah sedang)	M1m1M2m2 (merah muda)	m1m1M2M2 (merah muda)	m1m1M2m2 (merah muda sekali)
m1m2	M1m1M2m2 (merah muda)	M1m1m2m2 (merah muda sekali)	m1m1M2m2 (merah muda sekali)	m1m1m2m2 (putih)

Berdasarkan hasil F2, dapat kita ketahui kalau banyaknya jumlah gen M akan mempengaruhi warna pada biji gandum. Semakin banyak faktor M, maka warna biji gandum semakin tua atau Gelap.
 Ratio fenotip = merah : putih
 15 : 1

Sifat warna merah bervariasi, semakin banyak alel dominan maka warna semakin merah.

4) Kriptomeri

Kriptomeri adalah sifat gen dominan yang tersembunyi jika berdiri sendiri, tetapi akan tampak pengaruhnya jika bertemu dengan gen dominan lainnya yang bukan sealel.

Contoh kasus kriptomeri dapat kita lihat pada persilangan bunga *Linnaria maroccana* berbunga merah dengan *Linnaria maroccana* berbunga putih. Warna yang muncul pada bunga *Linaria maroccana* pun dipengaruhi oleh 4 gen, yaitu:

A = terbentuk pigmen antosianin

a = tidak terbentuk pigmen antosianin

B = protoplasma basa

b = protoplasma asam

Antosianin sendiri merupakan pigmen yang akan memicu kemunculan warna pada bunga *Linaria maroccana*. Artinya, jika tumbuhan *Linaria* memiliki gen A, maka akan menghasilkan bunga yang berwarna. Sedangkan pada tumbuhan *Linaria* yang tidak punya gen A, maka bunganya akan berwarna putih atau albino.

Akan tetapi, warna yang dihasilkan oleh pigmen antosianin juga tergantung dari tingkat keasaman (pH) protoplasma sel. Jika protoplasma yang ada pada tumbuhan *Linaria* bersifat basa (dipengaruhi oleh gen B), maka akan timbul warna ungu. Sedangkan, saat protoplasmanya bersifat asam (dipengaruhi gen b), maka akan muncul bunga warna merah.

Dengan begitu, warna bunga pada *Linaria maroccana* ini tidak hanya dipengaruhi oleh gen penentu pigmen antosianin, tapi juga dipengaruhi oleh gen penentu pH protoplasma. Berikut penjelasan persilangan bunga *Linaria maroccana* warna merah dengan yang berwarna putih.

P1= AAbb x aaBB
 (merah) (putih)
 G1= Ab → aB
 F1= AaBb (ungu)

Jika F1 disilangkan dengan sesamanya, maka:

P2= AaBb x AaBb
 (ungu) (ungu)
 G2= AB AB
 Ab Ab
 aB aB
 ab ab

Tabel	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Berdasarkan tabel diatas, diperoleh F2 adalah merah (A-bb), ungu (A-B-), dan putih (aaB-) dan (aabb).

Ratio fenotip = merah : ungu : putih
 3 : 9 : 4

5) Komplementer

Komplementer adalah interaksi antara gen-gen dominan yang saling melengkapi dalam mengekspresikan suatu sifat.

Contohnya, tumbuhan *Lathyrus odoratus* memiliki dua gen yang saling berinteraksi untuk memunculkan pigmen warna bunga.

C: penghasil pigmen warna

c: tidak menghasilkan pigmen warna

P: penghasil enzim pengaktif

p: tidak menghasilkan enzim pengaktif

Pada tumbuhan *Lathyrus odoratus*, warna bunga ungu hanya akan muncul jika terdapat gen C dan gen P sekaligus. Namun, jika bunga tersebut tidak memiliki salah satu dari kedua gen dominan C dan P. Maka, warna bunga yang terbentuk adalah warna putih.

P1= CCpp (putih) X ccPP (putih)
 G1= Cp → cP
 F1= CcPp (ungu)

Jika F1 disilangkan dengan sesamanya, maka:

P2= CcPp X CcPp (ungu)
 G2= CP CP
 Cp Cp
 cP cP
 cp cp

F2=

Tabel	CP	Cp	cP	cp
CP	CCPP	CCPp	CcPP	CcPp
Cp	CCPp	CCpp	CcPp	Ccpp
cP	CcPP	CcPp	ccPP	ccPp
cp	CcPp	Ccpp	ccPp	ccpp

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh F2 adalah bunga berwarna ungu dengan pigmen warna dan enzim pengaktif (C-P-), bunga berwarna putih dengan pigmen warna dan tanpa enzim pengaktif (C-pp), bunga berwarna putih tanpa pigmen warna dan ada enzim pengaktif (ccP-), dan bunga berwarna putih tanpa pigmen warna dan enzim pengaktif (ccpp)

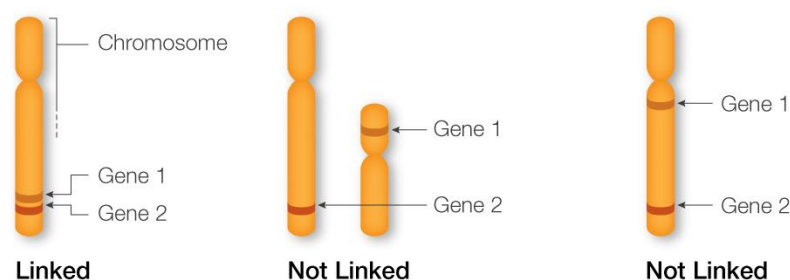
Ratio fenotip = ungu : putih
 9 : 7

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).



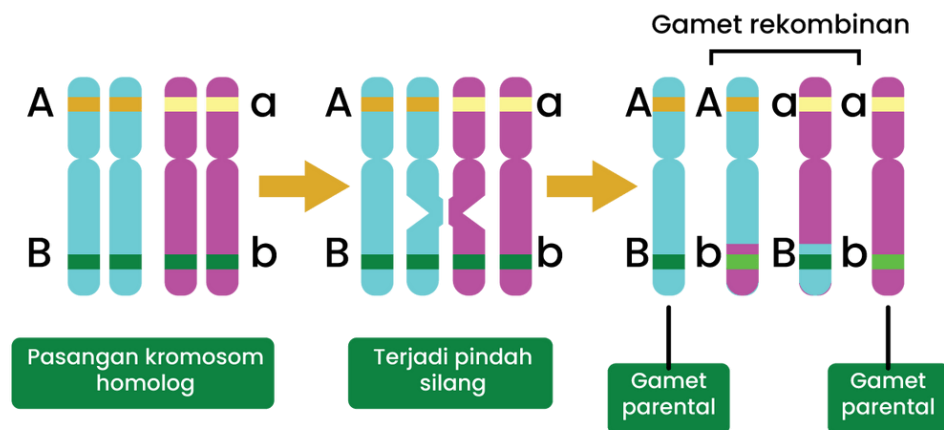
Letak yang saling berdekatan menyebabkan gen-gen tersebut akan tetap sama sampai saat pembentukan gamet. Pautan dari dua macam gen atau lebih akan menghasilkan jumlah gamet yang lebih sedikit, sehingga keturunan yang dihasilkan akan memiliki perbandingan fenotip dan genotip yang lebih sedikit pula.

2. Pautan Seks

Pautan seks (sex linkage) merupakan peristiwa terdapatnya gen dalam kromosom kelamin. Gen-gen terpaut seks (sex linked genes) karena kromosom X lebih panjang dari kromosom Y, jumlah gen-gen yang terpaut kromosom X lebih banyak daripada gen-gen terpaut kromosom Y.

3. Pindah Silang (Crossing Over)

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



Hereditas Pada Manusia

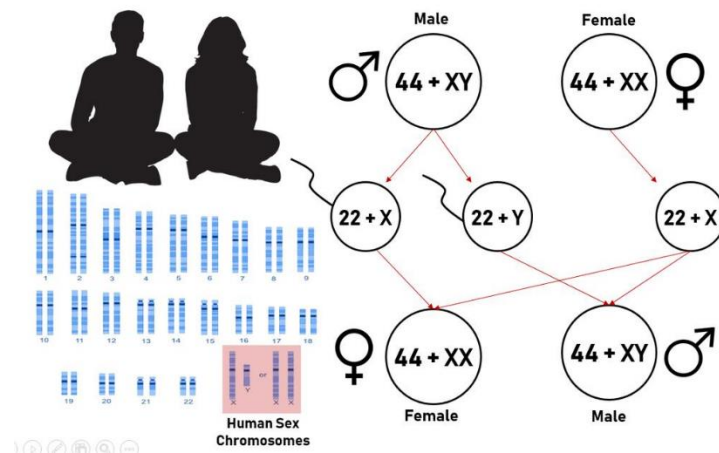
<https://www.youtube.com/watch?v=vuCI-VzfQdM>

Hereditas adalah suatu proses penurunan sifat-sifat dari induk (orang tua) kepada keturunannya melalui gen (Eny, 2021). Hereditas pada manusia meliputi penentuan jenis kelamin, penyakit keturunan dan golongan darah.

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. Misalnya pada manusia, laki-laki memiliki satu kromosom X dan satu kromosom Y dalam setiap sel tubuh normal. Adapun pada perempuan memiliki sepasang kromosom X dalam setiap sel tubuh normal.





2. Penyakit keturunan

a. Buta warna

Buta warna adalah suatu kondisi di mana manusia tidak dapat melihat warna tertentu, atau tidak dapat membedakan warna tertentu. Penyakit keturunan ini disebabkan adanya mutasi pada kromosom X.

Genotip	Fenotipe	Macam Gamet
$X^B X^B$	Wanita normal	X^B
$X^B X^b$	Wanita carrier	X^B, X^b
$X^b X^b$	Wanita buta warna	X^b
$X^B Y$	Laki-laki normal	$X^B Y$
$X^b Y$	Laki-laki hemofilia	$X^b Y$

B merupakan alel normal, sedangkan b merupakan alel buta warna. Alel normal (B) boleh tidak dituliskan, contohnya $X^B X^B$ menjadi XX dan $X^B X^b$ menjadi XX^b

	X	Y
X^{cb}	$X^{cb} X$ (Mata normal, <i>carrier</i>)	$X^{cb} Y$ (Buta warna)
X^b	$X^b X$ (Mata normal, <i>carrier</i>)	$X^b Y$ (Buta warna)

b. Albinisme

Albino merupakan kelainan yang disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh dalam membentuk pigmen melanin. Albino dikendalikan oleh gen autosom yang bersifat resesif dengan simbol a sebagai gen penyebab albino dan A sebagai gen normal. Jika seseorang bergenotip aa maka orang tersebut akan menderita albino, sedangkan orang yang bergenotip Aa merupakan orang yang normal, tetapi berpotensi sebagai pembawa albino. Orang yang normal memiliki genotip AA. Contoh, jika seorang perempuan yang normal heterozigot menikah dengan laki-laki normal heterozigot maka kemungkinannya 25% memiliki anak albino.

P (Parental)	Perempuan normal heterozigot (Aa)	X	laki-laki normal heterozigot (Aa)
G (Gamet)	A,a		
F1	1 AA : normal homozigot (25%) 2 Aa : normal heterozigot (50%) 1 aa : albino (25%)		

c. Hemofilia

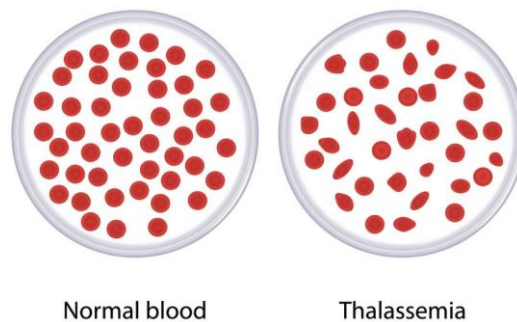
Hemofilia merupakan kelaianan berupa darah sukar membeku jika terjadi luka. Darah penderita tidak memiliki zat antihemofilia globulin sehingga tidak mampu membentuk tromboplastin. Karakteristik genetis hemofilia yaitu sebagai berikut :

- Bersifat resesif dan tertaut pada kromosom X
- Wanita bergenotipe homozigot (hemofilia) bersifat letal sehingga tidak pernah ada di dunia.

Genotip	Fenotipe	Macam Gamet
$X^H X^H$	Wanita normal	X^H
$X^H X^h$	Wanita carrier	X^H, X^h
$X^h X^h$	Wanita hemofilia (letal)	X^h
$X^H Y$	Laki-laki normal	$X^H Y$
$X^h Y$	Laki-laki hemofilia	$X^h Y$

d. Talasemia

Talasemia adalah kelainan eritrosit berbentuk lonjong dan kecil-kecil sehingga daya ikat terhadap oksigen rendah dan mengakibatkan anemia.



P : ♀ Thth (Thalasemia Minor) × ♂ Thth (Thalasemia Minor)
G : Th, th Th, th
F :

	Th	th
Th	ThTh (Thalasemia Mayor)	Thth (Thalasemia Minor)
th	Thth (Thalasemia Minor)	thth (Normal)

Jadi, rasio keturunan yang bersifat normal yaitu $\frac{1}{4}$

3. Golongan darah

a. Golongan darah sistem ABO

Sistem ABO ditemukan oleh Karl Landsteiner. Sistem ABO berdasarkan perbedaan kandungan aglutinogen (antigen) dan agglutinin (antibodi).

Golongan Darah	Kandungan dalam Eritrosit	Kandungan dalam Plasma Darah
A	Aglutinogen A	Aglutinin β atau anti-B
B	Aglutinogen B	Aglutinin α atau anti-A
AB	Aglutinogen A dan B	Tidak ada aglutinin
O	Tidak ada aglutinogen	Aglutinin α dan agglutinin β

Fenotip	Genotip	Keterangan	Gamet
A	$I^A I^A$	Golongan darah A homozigot	I^A
	$I^A I^O$	Golongan darah A heterozigot	I^A dan I^O
B	$I^B I^B$	Golongan darah B homozigot	I^B
	$I^B I^O$	Golongan darah B heterozigot	I^B dan I^O
AB	$I^A I^B$	Golongan darah AB heterozigot	I^A dan I^B
O	$I^O I^O$	Golongan darah O homozigot	I^O

Fenotipe, genotip dan macam gamet pada golongan darah sistem ABO

Dalam populasi terdapat golongan darah A dan B yang bersifat homozigot maupun heterozigot. Jika seseorang tidak diketahui apakah golongan darahnya bergenotip homozigot atau heterozigotm akan dianggap bergenotip heterozigot ketika ingin menghitung angka perbandingan keturunan hasil perkawinannya.

Golongan darah	Genotipe	Antigen dalam eritrosit	Antibodi dalam serum	Eritrosit yang digumpalkan	Dapat memberi kepada	Dapat menerima
A	AA, Aa	A (A)	anti B (β)	B dan AB	A dan AB	A dan O
B	$A^B A^B$, $A^B a$	B (A^B)	anti A (α)	A dan AB	B dan AB	B dan O
AB	AA^B	A dan B	-	-	AB	A,B,AB, O
O	aa	kosong	anti A & anti B	A, B, dan AB	A,B,AB, O	O

Fenotipe Golongan Darah

Fenotipe Gol. Darah Orang Tua	Kemungkinan Gol. Darah anak-anaknya	Gol. Darah yang tidak ada
O x O	O	A, B, AB
O x A	O, A	B, AB
O x B	O, B	A, AB
O x AB	A, B	AB, O
A x A	A, O	B, AB
A x B	A, B, AB dan O	-
A x AB	A, B, AB	O
B x B	B, O	A, AB
B x AB	A, B, AB	O
AB x AB	A, B, AB	O

b. Golongan darah sistem Rhesus

Penggolongan darah sistem rhesus ditemukan oleh Karl Landsteiner dan Alexander S. Wiener pada tahun 1937. Sistem ini dibedakan oleh antigen rhesus (faktor rhesus) terdapat dua macam golongan darah yaitu Rh^+ (rhesus positif) dan Rh^- (rhesus negatif).

Golongan darah Rh⁺ (rhesus positif) mengandung antigen rhesus dan menunjukkan reaksi positif (penggumpalan) terhadap antibodinya (zat anti-D). sementara itu, golongan Rh⁻ (rhesus negatif) tidak mengandung antigen rhesus sehingga reaksi terhadap antiserum rhesus menunjukkan reaksi negatif (tidak terjadi penggumpalan)

Fenotipe	Genotipe	Macam Gamet
Rhesus + Rhesus -	$I^{Rh}I^{Rh}, I^{Rh}i$ ii	I^{Rh}, i i

Mutasi

<https://www.youtube.com/watch?v=F1RZlweCBBs>

Mutasi adalah perubahan struktur materi genetik yang dapat diturunkan kepada generasi berikutnya jika terjadi pada sel gamet dan tidak diturunkan jika terjadi pada sel tubuh. Mutasi dapat disebabkan oleh kesalahan replikasi materi genetika selama pembelahan sel oleh radiasi, bahan kimia (mutagen), atau virus, atau dapat terjadi selama proses meiosis. Tetapi ada juga mutasi yang tidak jelas mutagennya, yang diperkirakan hanya karena suatu kealpaan atau kekeliruan suatu proses metabolisme dalam sel. Tujuan mutasi adalah menghadapi perubahan alam yang sewaktu-waktu akan timbul. Berdasarkan tingkatan terjadinya, macam-macam mutasi yaitu :

- Berdasarkan sel yang dapat bermutasi. Mutasi somatik dan mutasi gametik, mutasi somatik adalah mutasi yang terjadi pada sel somatik yaitu sel tubuh seperti sel kulit. Sedangkan, mutasi gametik adalah mutasi yang terjadi pada sel gamet yaitu sel organ reproduksi yang meliputi sperma dan ovum pada manusia.
- Berdasarkan tempat terjadinya mutasi. Mutasi besar (gross mutation) dan mutasi kecil (point mutation). Mutasi besar (gross mutation) adalah perubahan yang terjadi pada struktur dan susunan kromosom. Sedangkan Mutasi kecil (point mutation) adalah perubahan yang terjadi pada susunan molekul (ADN gen).

Pemanfaatan mutasi dibedakan menjadi dua yaitu pemanfaatan yang menguntungkan dan pemanfaatan yang merugikan. Beberapa contoh pemanfaatan mutasi yang menguntungkan misalnya: terapi sel tumor, pemuliaan tanaman, dan tanaman poliploidi.