



## Kelas XII BIOLOGI

# Materi Genetik

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, kamu diharapkan memiliki kemampuan berikut.

1. Memahami tentang materi genetik yang terdiri atas kromosom, gen, DNA, dan RNA.
2. Memahami tentang hubungan antara kromosom, gen, dan DNA.
3. Memahami tentang sintesis protein.

## A. Pendahuluan

**Materi genetik** adalah informasi yang terdapat pada setiap sel makhluk hidup dan dapat diturunkan pada keturunan berikutnya. Materi genetik sering kali disebut sebagai **asam nukleat** atau **faktor hereditas**. Pada makhluk hidup, materi genetik terdiri atas kromosom, gen, DNA, dan RNA. Semua materi genetik ini akan diturunkan melalui proses reproduksi. Bagaimanakah sebenarnya hubungan antara DNA, gen, dan kromosom itu? Hubungan antara DNA, gen, dan kromosom secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut.

DNA merupakan penyusun gen → gen terdapat di dalam kromosom → kromosom terdapat di dalam inti sel → inti sel terdapat pada hampir semua sel tubuh

## B. Kromosom

**Kromosom** adalah benda-benda halus seperti kumpulan benang yang berfungsi sebagai pembawa dan penyimpan informasi genetik makhluk hidup. Kromosom terdiri atas zat-

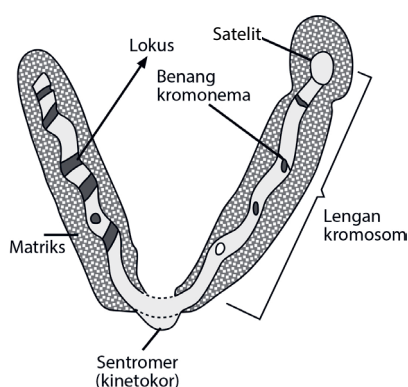
zat yang mudah menyerap warna di dalam inti sel. Di dalam sel tubuh, kromosom terlihat berpasang-pasangan. Sepasang kromosom ini disebut sebagai **kromosom homolog**, yaitu kromosom yang memiliki bentuk, ukuran, dan komposisi yang sama atau hampir sama karena berasal dari induk yang sama.

Di dalam sel, sepasang kromosom homolog memiliki bentuk, ukuran, dan komposisi yang berbeda dengan pasangan lainnya. Oleh sebab itu, dalam kariotipe kromosom (pengaturan kromosom suatu individu secara standar berdasarkan panjang, jumlah, dan bentuknya), tampak pasangan kromosom dengan bentuk yang berbeda-beda. Pasangan kromosom homolog disebut dengan **genom** atau **ploid**. Sementara itu, kromosom yang bukan pasangannya disebut dengan **kromosom nonhomolog**.

Kromosom memiliki ukuran dan bentuk yang bervariasi. Kromosom memiliki panjang sekitar 12–50  $\mu\text{m}$  dengan diameter 0,2–20  $\mu\text{m}$ . Pada umumnya, kromosom pada tumbuhan berukuran lebih besar daripada kromosom pada hewan dan manusia. Panjang kromosom pada tumbuhan mencapai sekitar 50  $\mu\text{m}$ , sedangkan pada hewan sekitar 4–6  $\mu\text{m}$  dan pada manusia sekitar 6  $\mu\text{m}$ .

## 1. Komponen dan Struktur Kromosom

Kromosom tersusun atas DNA dan protein yang saling berikatan. Protein penyusun kromosom ada dua macam, yaitu protein yang bersifat basa dan protein yang bersifat asam. Protein yang bersifat basa disebut **protein histon**, sedangkan protein yang bersifat asam disebut **protein nonhiston**. Di dalam inti sel, setiap kromosom memiliki bagian-bagian sebagai berikut.



Gambar 1. Bagian-bagian kromosom

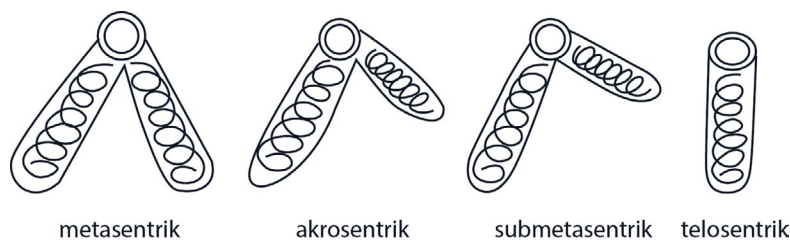
- a. **Lengan** atau **kromatid** merupakan badan kromosom yang berisi **kromonema**. Kromonema merupakan benang-benang kromosom yang dikelilingi oleh matriks. Lengan atau kromatid berwarna lebih gelap karena menyerap zat warna.

- b. **Sentromer** atau **kinetokor** merupakan pusat kromosom yang membagi kromosom menjadi dua lengan. Sentromer tidak mengandung gen dan terjadi karena konstiksi (mengecil) primer. Sentromer berwarna lebih terang karena kurang menyerap zat warna.
- c. **Kromomer** merupakan bagian kromonema yang mengalami penebalan. Di dalam kromomer, terdapat **lokus** yang menjadi tempat kedudukan gen.
- d. **Telomer** merupakan bagian ujung kromosom yang berfungsi untuk menghalangi terjadinya perlekatan antarkromosom. Selain itu, telomer juga berfungsi menjaga agar DNA di dalamnya tidak mudah terurai.
- e. **Satelit** merupakan ujung kromosom yang mengalami konstiksi (mengecil) sekunder.

## 2. Tipe-Tipe Kromosom

Berdasarkan **letak sentromernya**, kromosom dibagi menjadi empat tipe sebagai berikut.

- a. **Tipe metasentrik**, jika sentromer tepat berada di tengah-tengah kromatid sehingga kromatid sama panjang. Tipe ini dapat digambarkan seperti huruf V.
- b. **Tipe submetasentrik**, jika sentromer tidak tepat di tengah-tengah kromatid sehingga kromatid tidak sama panjang. Tipe ini dapat digambarkan seperti huruf L.
- c. **Tipe akrosentrik**, jika sentromer terletak di dekat ujung kromatid, sehingga salah satu kromatid lebih panjang dari yang lain. Tipe ini dapat digambarkan seperti huruf J.
- d. **Tipe telosentrik**, jika sentromer terletak di ujung kromatid sehingga hanya ada satu kromatid. Tipe ini dapat digambarkan seperti huruf I.



Gambar 2. Bentuk-bentuk kromosom

Berdasarkan **jumlah sentromernya**, kromosom dibagi menjadi empat tipe sebagai berikut.

- a. **Asentrik**, jika kromosom tidak memiliki sentromer.
- b. **Monosentrik**, jika kromosom memiliki satu sentromer.
- c. **Disentrik**, jika kromosom memiliki dua sentromer.
- d. **Polisentrik**, jika kromosom memiliki banyak sentromer.

Berdasarkan **bentuknya**, kromosom dibagi menjadi enam tipe sebagai berikut.

- a. Tipe bulat
- b. Tipe cerutu
- c. Tipe koma
- d. Tipe batang
- e. Tipe huruf V
- f. Tipe huruf L

Berdasarkan **fungsinya**, kromosom dibagi menjadi dua macam sebagai berikut.

- a. Kromosom tubuh atau **autosom**.
- b. Kromosom kelamin atau **gonosom**. Ada dua macam gonosom, yaitu gonosom X dan gonosom Y.

### 3. Jumlah Kromosom

Setiap organisme memiliki jumlah kromosom tertentu. Berikut ini adalah tabel yang menggambarkan jumlah kromosom pada beberapa organisme.

No.	Nama Organisme	Jumlah Kromosom
1.	Manusia	46
2.	Kera	42
3.	Simpanse	48
4.	Sapi	60
5.	Merpati	80
6.	Tomat	24
7.	Jagung	20
8.	Bawang putih	16
9.	Kentang	48
10.	Pepaya	18

#### 4. Penulisan Kariotipe Kromosom pada Manusia

a. Pada sel kelamin atau sel gamet

Sel gamet mengandung 1 set kromosom (**haploid**) yang terdiri atas 23 buah kromosom dengan komposisi berikut.

- 1.) Sel sperma:  $22 A + X$  atau  $22 A + Y$
- 2.) Sel ovum:  $22 A + X$

b. Pada sel tubuh atau sel somatik

Sel tubuh mengandung 2 set kromosom (**diploid**) yang terdiri atas 23 pasang kromosom atau 46 buah kromosom dengan komposisi berikut.

- 1.) Pria:  $22 AA + XY$  atau  $44 A + XY$  atau **46, XY**
- 2.) Wanita:  $22 AA + XX$  atau  $44 A + XX$  atau **46, XX**



##### Contoh Soal 1

Jumlah kromosom pada otot binaragawan adalah ....

- A.  $22A + X$
- B.  $22A + Y$
- C.  $44A + XX$
- D.  $44A + XY$
- E.  $44A + X$  atau  $Y$

Jawaban: D

##### Penjelasan:

Seorang binaragawan pasti berjenis kelamin laki-laki dan sel-sel ototnya bersifat diploid. Oleh karena manusia memiliki 46 buah kromosom pada sel-sel tubuhnya, maka jumlah kromosom pada otot binaragawan tersebut terdiri atas:

- 44 buah kromosom tubuh atau autosom (A); dan
- 2 buah kromosom kelamin penanda laki-laki, yaitu XY.

Jadi, penulisannya adalah  $44A + XY$ .

### C. Gen dan Alel

#### 1. Gen

Gen merupakan zarah atau unit terkecil dari materi genetik yang mengendalikan sifat-sifat hereditas organisme. Gen terdiri atas DNA yang terpintal oleh protein histon, terletak dalam lokus-lokus pada kromosom, serta tersusun dalam satu deret secara linear dan beraturan. Setiap kromosom memiliki ratusan lokus sehingga di dalam

sel, terdapat ribuan gen. Pada sel tubuh manusia yang mengandung 46 kromosom, diperkirakan terdapat 26.000–40.000 gen. Setiap satu gen mengendalikan satu sifat tertentu sehingga satu individu memiliki ribuan sifat.

Komponen penyusun gen ada tiga macam, yaitu sebagai berikut.

- a. **Rekon**, komponen yang lebih kecil dari gen dan terdiri atas satu atau dua pasang nukleotida saja.
- b. **Muton**, komponen yang lebih besar dari rekon dan terdiri atas satu atau dua pasang nukleotida saja.
- c. **Sistron**, komponen yang terdiri dari ratusan nukleotida.

Gen-gen yang terletak dalam lokus yang sama pada sepasang kromosom homolog dapat memiliki tugas yang sama, hampir sama, atau berlawanan. Gen-gen juga dapat memiliki keaktifan yang berbeda-beda sehingga dapat dibedakan menjadi gen aktif (ekspresif) dan gen pasif. Sebagai contoh, gen penumbuh rambut hanya aktif pada sel-sel kulit, tetapi tidak aktif di sel-sel lainnya. Keaktifan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tempat gen, jenis kelamin, dan umur.

Berdasarkan **jumlah sentromernya**, kromosom dibagi menjadi empat tipe sebagai berikut.

- a. **Gen dominan** merupakan gen yang ekspresinya kuat dan dilambangkan dengan huruf besar.
- b. **Gen setengah dominan** merupakan gen yang ekspresinya di antara gen dominan dan resesif.
- c. **Gen resesif** merupakan gen yang ekspresinya lemah dan dilambangkan dengan huruf kecil.

Berdasarkan **perannya**, ada dua macam gen sebagai berikut.

- a. **Gen struktural** merupakan gen yang mengode protein (enzim) dan ekspresinya dikendalikan oleh gen regulator.
- b. **Gen regulator** merupakan gen yang berperan mengatur ekspresi gen struktural.

Di dalam kromosom, gen memiliki fungsi dan sifat-sifat sebagai berikut.

- a. Fungsi gen
  - 1.) Sebagai zarah tersendiri di dalam kromosom.
  - 2.) Pembawa informasi genetik dari generasi ke generasi.
  - 3.) Pengatur proses metabolisme dan perkembangan pada organisme.

- b. Sifat-sifat gen
  - 1.) Mengandung materi genetik dan dapat menduplikasikan diri.
  - 2.) Setiap gen memiliki fungsi yang berbeda-beda.
  - 3.) Ditentukan oleh kombinasi basa nitrogennya.

## 2. Alel

**Alel** merupakan pasangan gen yang terletak dalam lokus yang bersesuaian pada kromosom homolog. Alel memiliki tugas yang sama atau berlawanan untuk suatu sifat tertentu. Susunan gen dan alelnya dalam kromosom homolog disebut **genotipe**. Ada tiga kemungkinan genotipe yang dapat dimiliki oleh suatu individu, yaitu sebagai berikut.

- a. **Genotipe homozigot dominan**, jika pasangan alel terdiri atas dua gen dominan.  
Contoh: AA
- b. **Genotipe homozigot resesif**, jika pasangan alel terdiri atas dua gen resesif.  
Contoh: aa
- c. **Genotipe heterozigot**, jika pasangan alel terdiri atas dua gen yang berbeda, yaitu satu dominan dan satu resesif.  
Contoh: Aa

Ada dua macam alel, yaitu alel tunggal dan alel ganda.

### a. Alel tunggal

**Alel tunggal** adalah gen yang hanya memiliki satu gen sealel sehingga hanya muncul satu sifat. Contoh: gen A untuk pigmentasi kulit dan gen a tidak menghasilkan pigmentasi kulit.

### b. Alel ganda

**Alel ganda** adalah gen yang memiliki lebih dari dua pasang gen sealel dan menempati lokus yang sama. Pada alel ganda, akan muncul beberapa sifat. Contoh: golongan darah sistem ABO pada manusia dan warna bulu pada kelinci.

- 1.) Golongan darah sistem ABO pada manusia dipengaruhi oleh tiga macam gen, yaitu gen  $I^A$ ,  $I^B$ , dan  $I^O$ . Ketiga gen tersebut dapat menjadi alel satu sama lain sehingga terbentuk 6 macam genotipe. Perhatikan tabel berikut ini.

No.	Pasangan Alel	Genotipe	Golongan Darah
1.	$I^A \times I^A$	$I^A I^A$	A (homozigot)
2.	$I^A \times I^O$	$I^A I^O$	A (heterozigot)
3.	$I^B \times I^B$	$I^B I^B$	B (homozigot)
4.	$I^B \times I^O$	$I^B I^O$	B (heterozigot)
5.	$I^A \times I^B$	$I^A I^B$	AB
6.	$I^O \times I^O$	$I^O I^O$	O

2.) Warna bulu pada kelinci dipengaruhi oleh empat macam gen, yaitu gen  $W$ ,  $w^{ch}$ ,  $w^h$ , dan  $w$ . Pengaruh gen-gen tersebut terhadap warna bulu adalah sebagai berikut.

$W$  = bulu normal, warna kelabu

$w^{ch}$  = bulu chinchilla

$w^h$  = bulu himalayan

$w$  = bulu albino

Dominansi gen-gen tersebut secara berurutan dari yang paling dominan hingga resesif adalah sebagai berikut.

$$W > w^{ch} > w^h > w$$

Keempat gen tersebut dapat menjadi alel satu sama lain sehingga terbentuk 10 macam genotipe. Perhatikan tabel berikut ini.

No.	Pasangan Alel	Genotipe	Warna Bulu
1.	$W \times W$	$WW$	bulu normal (homozigot)
2.	$W \times w^{ch}$	$Ww^{ch}$	bulu normal (heterozigot)
3.	$W \times w^h$	$Ww^h$	bulu normal (heterozigot)
4.	$W \times w$	$Ww$	bulu normal (heterozigot)
5.	$w^{ch} \times w^{ch}$	$w^{ch}w^{ch}$	bulu chinchilla (homozigot)
6.	$w^{ch} \times w^h$	$w^{ch}w^h$	bulu chinchilla (heterozigot)
7.	$w^{ch} \times w$	$w^{ch}w$	bulu chinchilla (heterozigot)
8.	$w^h \times w^h$	$w^h w^h$	bulu himalayan (homozigot)
9.	$w^h \times w$	$w^h w$	bulu himalayan (heterozigot)
10.	$w \times w$	$ww$	bulu albino (homozigot)





## Contoh Soal 2

Gen adalah substansi hereditas yang memiliki sifat-sifat berikut, *kecuali* ....

- A. dapat bermutasi
- B. dapat menduplikasi diri
- C. hanya terdapat pada gamet
- D. mengandung informasi genetik
- E. menempati satu lokus di dalam kromosom

**Jawaban: C**

### Penjelasan:

Gen adalah materi genetik penentu sifat makhluk hidup yang terdapat di dalam kromosom. Oleh karena itu, gen tidak hanya terdapat di dalam sel-sel gamet. Akan tetapi, juga terdapat di dalam sel-sel tubuh lainnya yang memiliki inti sel.

Jadi, yang bukan sifat gen adalah hanya terdapat pada gamet.

## D. DNA dan RNA

### 1. DNA

**DNA** atau *deoxyribonucleic acid* adalah suatu asam nukleat yang merupakan penyusun gen di dalam inti sel. DNA menyimpan segala informasi biologis dari setiap makhluk hidup dan beberapa virus. Selain di dalam inti sel, DNA juga bisa ditemukan di dalam mitokondria, kloroplas, sentriol, dan plastid. Pada beberapa organisme tertentu seperti katak dan tumbuhan paku, DNA ditemukan di dalam sitoplasmanya.

#### a. Struktur DNA

DNA merupakan suatu molekul besar yang kompleks. DNA terdiri atas dua pita panjang yang saling berpilin membentuk heliks ganda (double helix). Setiap pita merupakan suatu polimer dari ratusan hingga ribuan nukleotida. Setiap nukleotida terdiri atas tiga komponen sebagai berikut.

##### 1.) Gula pentosa deoksiribosa

**Gula deoksiribosa** adalah gula pentosa (berat atom 5C) yang kehilangan satu atom oksigen.

##### 2.) Gugus fosfat

Gugus fosfat terikat pada atom C nomor 5 dari gula pentosa.

### 3.) Basa nitrogen

Basa nitrogen terikat pada atom C nomor 1 dari gula pentosa. Ada dua jenis basa nitrogen, yaitu basa **purin** dan basa **pirimidin**. Basa purin terdiri atas **adenin (A)** dan **guanin (G)**, sedangkan basa pirimidin terdiri atas **sitosin (S/C)** dan **timin (T)**.

Keempat jenis basa nitrogen tersebut membentuk pasangan yang tetap. Basa nitrogen dari pita satu akan berpasangan secara tetap dengan basa nitrogen dari pita lainnya. Pasangan tersebut adalah **A** dengan **T** dan **G** dengan **C**. Menurut **Erwin Chargaff**, jumlah adenin pada setiap DNA hampir sama dengan timin dan jumlah guanin hampir sama dengan sitosin.

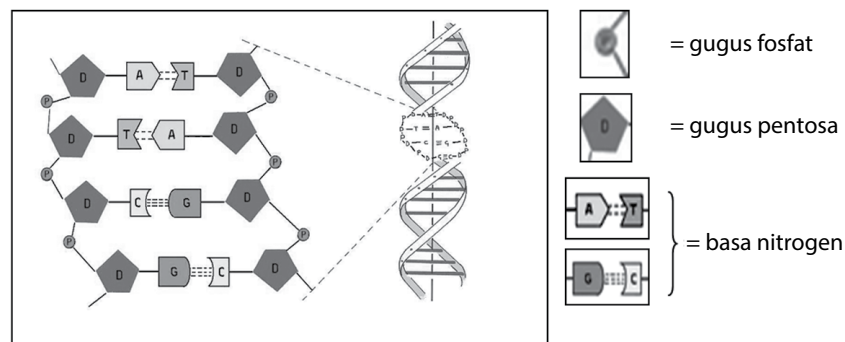
Ada tiga macam ikatan kimia yang terdapat pada rantai DNA, yaitu sebagai berikut.

- 1.) **Ikatan fosfodiester** adalah ikatan kimia antara gugus fosfat dari satu nukleotida dan gula dari nukleotida berikutnya. Ikatan antara gula dan fosfat ini diilustrasikan sebagai “ibu tangga” dari struktur heliks DNA.
- 2.) **Ikatan hidrogen** adalah ikatan kimia antarpasangan basa nitrogen. Adenin yang berikatan dengan timin dihubungkan dengan dua ikatan hidrogen (A = T), sedangkan guanin yang berikatan dengan sitosin dihubungkan dengan tiga ikatan hidrogen (G → C). Ikatan hidrogen dari pasangan basa purin-pirimidin ini diilustrasikan sebagai “anak tangga” dari struktur heliks DNA.
- 3.) Ikatan antara gula deoksiribosa dan basa nitrogen. Ikatan ini ada empat macam, yaitu sebagai berikut.
  - **Deoksiadenosin monofosfat (dAMP)** adalah ikatan kimia antara gula deoksiribosa dan basa adenin.
  - **Deoksiguanin monofosfat (dGMP)** adalah ikatan kimia antara gula deoksiribosa dan basa guanin.
  - **Deoksisistidin monofosfat (dCMP)** adalah ikatan kimia antara gula deoksiribosa dan basa sitosin.
  - **Deoksitimidin monofosfat (dTMP)** adalah ikatan kimia antara gula deoksiribosa dan basa timin.

Satu molekul gula yang berikatan dengan satu molekul basa nitrogen akan membentuk satu **nukleosida**. Jika satu nukleosida berikatan dengan satu gugus fosfat, akan terbentuk satu **nukleotida**. Dengan demikian, diketahui bahwa satu nukleotida terdiri atas satu gugus fosfat, satu gula, dan satu basa nitrogen.

Rantai DNA merupakan rangkaian panjang nukleotida sehingga DNA merupakan suatu **polinukleotida**. Heliks ganda DNA yang terdiri atas dua rantai polinukleotida

berjalan antiparalel satu sama lain. Satu rantai berjalan dengan arah 5' → 3' dan rantai pasangannya berjalan berlawanan dengan arah 3' → 5'. Untuk memahami struktur DNA dengan baik, perhatikan gambar berikut.



Gambar 3. Struktur DNA

#### b. Fungsi DNA

DNA memiliki beberapa fungsi, yaitu sebagai berikut.

- 1.) Sebagai pembawa informasi genetik.
- 2.) Berperan dalam pewarisan sifat.
- 3.) Ekspresi informasi genetik.
- 4.) Dapat menyintesis molekul kimia lain, seperti RNA dan protein (disebut fungsi heterokatalisis).
- 5.) Dapat menduplikasikan diri atau bereplikasi (disebut fungsi autokatalisis).

#### c. Sifat DNA

DNA memiliki beberapa sifat sebagai berikut.

- 1.) Jumlah DNA konstan pada setiap jenis sel dan spesies.
- 2.) Kandungan DNA dalam sel bergantung sifat ploidi (genom) atau jumlah kromosom.
- 3.) Bentuk DNA pada inti sel eukariotik seperti benang yang tidak bercabang, sedangkan pada sel prokariotik, plastida, dan mitokondria berbentuk sirkuler.

#### d. Replikasi DNA

DNA memiliki kemampuan untuk menduplikasikan diri atau replikasi diri. Proses replikasi terjadi saat interfase sebelum sel membelah. Tujuan replikasi ini agar sel anakan hasil pembelahan mengandung DNA yang identik dengan DNA sel induk. Jika terjadi kesalahan dalam proses replikasi, sifat pada sel-sel anaknya akan mengalami perubahan. Ada tiga hipotesis tentang terjadinya replikasi DNA, yaitu sebagai berikut.

##### 1.) Hipotesis konservatif

Hipotesis ini menyatakan saat replikasi, dua rantai polinukleotida tidak terpisah dan tidak menjadi cetakan bagi rantai baru. Dengan demikian, pada rantai polinukleotida baru, tidak terkandung rantai polinukleotida lama.

## 2.) Hipotesis semikonservatif

Hipotesis ini menyatakan saat replikasi, dua rantai polinukleotida terpisah kemudian masing-masing rantai membuat rantai pelengkap. Dengan demikian, akan terbentuk dua pasang rantai polinukleotida yang setiap pasangannya terdiri atas rantai baru dan rantai lama.

## 3.) Hipotesis dispersif

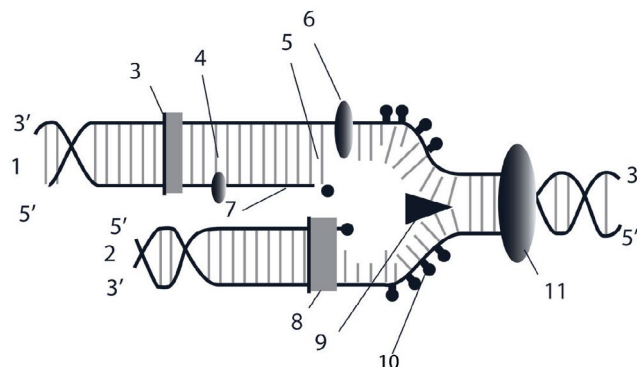
Hipotesis ini menyatakan saat replikasi, kedua rantai polinukleotida induk terputus-putus pada beberapa bagian. Setiap bagian yang putus akan mencetak pelengkap. Pada akhirnya, kedua rantai polinukleotida hasil replikasi terdiri atas potongan rantai lama dan rantai baru yang berselang-seling.

Dari ketiga hipotesis tersebut, setelah dilakukan percobaan oleh **Matthew Meselson** dan **Franklin Stahl**, yang lebih diyakini kebenarannya adalah hipotesis semikonservatif sesuai dengan prediksi **Watson** dan **Crick**.

Dalam proses replikasi DNA, ada beberapa enzim yang berperan di dalamnya, yaitu sebagai berikut.

- 1.) **Helikase** berfungsi memutuskan ikatan hidrogen sehingga heliks ganda DNA terbuka dan memisah menjadi rantai tunggal.
- 2.) **RNA primase** berfungsi menggabungkan nukleotida-nukleotida RNA sehingga membentuk primer (kelas lain asam nukleat).
- 3.) **DNA polimerase** berfungsi menggabungkan nukleotida-nukleotida menjadi polimer DNA.
- 4.) **DNA ligase** berfungsi menyambungkan fragmen-fragmen DNA yang baru terbentuk menjadi rantai DNA yang lengkap.
- 5.) **Topoisomerase** berfungsi untuk mematahkan tegangan ikat pada heliks ganda DNA sehingga pembukaan heliks ganda dapat dimulai.

Setelah kamu memahami tentang hipotesis dan enzim-enzim pada replikasi DNA, sekarang perhatikan langkah-langkah atau mekanisme replikasi DNA berikut.



Gambar 4. Proses replikasi DNA

- 1.) Dua rantai DNA dibuka oleh enzim helikase (nomor 9) dengan bantuan enzim topoisomerase (nomor 11).
- 2.) Rantai tunggal DNA dilekati oleh protein-protein pengikat untai tunggal (nomor 10) agar tidak terbentuk heliks ganda kembali.
- 3.) Enzim RNA primase (nomor 6) menggabungkan nukleotida-nukleotida menjadi primer RNA, yaitu potongan pendek RNA.
- 4.) Molekul DNA polimerase (nomor 3 dan 8) melekat pada untai tunggal DNA dan bergerak di sepanjang untai tersebut. Dari proses ini, terbentuk untai DNA baru yang disebut *leading strand* atau **untai utama** (nomor 2) dan *lagging strand* atau **untai lamban** (nomor 1). *Leading strand* disintesis secara terus-menerus pada arah 5' → 3', sedangkan *lagging strand* disintesis secara tidak kontinu. Pada sintesis lagging strand, DNA polimerase harus membentuk segmen-segmen polinukleotida diskontinu yang disebut **fragmen Okazaki**.
- 5.) DNA ligase (nomor 4) kemudian menyambungkan fragmen-fragmen tersebut.

## 2. RNA

**RNA** atau *ribonucleic acid* adalah makromolekul polinukleotida berupa rantai tunggal atau ganda, tetapi tidak berpilin, seperti pada DNA. Rantai pada RNA juga pendek-pendek karena dibentuk melalui transkripsi fragmen-fragmen DNA. Tidak seperti DNA yang umumnya ditemukan di dalam inti sel, RNA banyak ditemukan di dalam ribosom atau sitoplasma. Keberadaan RNA di dalam sel tidak tetap karena mudah terurai dan harus dibentuk kembali.

### a. Struktur RNA

RNA merupakan suatu polinukleotida yang tersusun atas banyak ribonukleotida. Setiap ribonukleotida tersusun atas 3 komponen, yaitu sebagai berikut.

- 1.) Gula pentosa ribosa
- 2.) Gugus fosfat  
Gugus fosfat dan ribosa akan membentuk tulang punggung RNA.
- 3.) Basa nitrogen  
Basa nitrogen terdiri atas basa purin dan basa pirimidin. Basa purin terdiri atas **adenin (A)** dan **guanin (G)**, sedangkan basa pirimidin terdiri atas sitosin (S/C) dan **urasil (U)**. Pasangan basa nitrogen antara rantai DNA dan RNA dalam sintesis protein adalah **A** dengan **U** dan **C** dengan **G**.

Di dalam nukleoplasma, ribonukleotida RNA terdapat bebas dalam bentuk nukleosida trifosfat, seperti:

- 1.) adenosin trifosfat (ATP);
- 2.) guanosa trifosfat (GTP);
- 3.) sistidin trifosfat (STP); dan
- 4.) uridin trifosfat (UTP).

b. Fungsi RNA

RNA berperan dalam proses sintesis protein di dalam sel. Akan tetapi, pada beberapa jenis virus, RNA berperan seperti DNA, yaitu pembawa informasi genetik.

c. Macam-Macam RNA

RNA dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu sebagai berikut.

1.) RNA genetik

**RNA genetik** adalah RNA yang memiliki peran seperti DNA, yaitu sebagai pembawa informasi genetik. RNA tipe ini hanya terdapat pada beberapa jenis virus. Oleh karena virus hanya memiliki satu macam materi genetik saja, yaitu DNA atau RNA, maka pada virus yang tidak memiliki DNA, sebagai penggantinya adalah RNA.

2.) RNA nongenetik

**RNA nongenetik** adalah RNA yang tidak berperan sebagai informasi genetik, tetapi hanya berperan dalam proses sintesis protein. RNA tipe ini terdapat pada organisme yang memiliki DNA. Ada tiga macam RNA nongenetik, yaitu sebagai berikut.

- RNA duta atau mRNA

**RNA duta** atau **mRNA** merupakan rantai tunggal yang panjang dan tersusun atas ratusan nukleotida. RNA ini dibentuk oleh DNA melalui proses transkripsi di dalam inti sel. Urutan basa nitrogen pada mRNA adalah pasangan komplementer atau pelengkap dari rantai sense DNA.

Basa-basa nitrogen yang terdapat di sepanjang rantai mRNA tersusun dalam bentuk **triplet**. Setiap triplet terdiri atas tiga basa nitrogen dengan urutan tertentu. Triplet ini disebut juga **kodon**. Satu triplet atau satu kodon akan menentukan satu jenis asam amino.

Fungsi dari mRNA sebagai pembawa kode genetik (kodon) dari inti sel ke sitoplasma. Oleh sebab itu, rantai mRNA disebut juga rantai kodon.

- RNA pemindah atau tRNA

**RNA pemindah** atau **tRNA** merupakan rantai tunggal yang pendek. RNA ini dibentuk oleh DNA di dalam inti sel kemudian diangkut ke sitoplasma. Rantai tRNA berupa struktur tiga dimensi yang mempunyai ikatan hidrogen antarbasa nitrogen pada tempat-tempat tertentu.

Pada rantai tRNA, terdapat dua ujung perlekatan yang penting, yaitu ujung untuk perlekatan asam amino dan ujung untuk perlekatan kodon dari mRNA. Ujung tempat perlekatan kodon disebut **antikodon**. Antikodon terdiri atas triplet basa nitrogen yang dapat berikatan secara spesifik dengan kodon. Antikodon jumlahnya lebih sedikit dari kodon karena antikodon mampu mengenali dua atau lebih kodon yang berbeda. Jumlah total kodon adalah 64, sedangkan jumlah antikodon sekitar 45.

Fungsi dari tRNA adalah sebagai penerjemah kodon dari mRNA dan pengangkut asam-asam amino dari sitoplasma ke ribosom. Asam-asam amino yang diangkut oleh tRNA ini merupakan bahan dasar pembentuk protein.

- RNA ribosom atau rRNA

**RNA ribosom** atau **rRNA** merupakan RNA yang terdapat di dalam ribosom, tetapi dibentuk oleh DNA di dalam inti sel. rRNA berupa rantai tunggal, tidak bercabang, dan fleksibel. Dalam satu sel, jumlah rRNA lebih banyak dibandingkan dengan jumlah mRNA dan tRNA.

Fungsi rRNA adalah sebagai mesin perakitan polipeptida pada sintesis protein yang bergerak ke satu arah di sepanjang rantai mRNA.

### 3. Perbedaan antara DNA dan RNA

Perbedaan antara DNA dan RNA dapat dilihat pada tabel berikut ini.

No.	Faktor Pembeda	DNA	RNA
1.	Struktur	Rantai ganda ( <i>double helix</i> ) yang panjang	Rantai tunggal yang pendek
2.	Fungsi	Pembawa informasi genetik dan sintesis protein	Sintesis protein

No.	Faktor Pembeda	DNA	RNA
3.	Letak	Inti sel, kloroplas, mitokondria, sentriol, dan plastida	Sitoplasma, ribosom, dan inti sel
4.	Jenis gula	Deoksiribosa	Ribosa
5.	Basa nitrogen	Purin: adenin dan guanin Pirimidin: sitosin dan timin	Purin: adenin dan guanin Pirimidin: sitosin dan urasil
6.	Kadar jumlah	Tetap, tidak terpengaruh oleh aktivitas sintesis protein	Tidak tetap, dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein
7.	Keberadaannya	Permanen	Tidak permanen, karena mudah terurai

 Contoh Soal 3

Berikut ini adalah komponen penyusun nukleotida pada DNA, kecuali ....

- A. gugus fosfat
- B. gula deoksiribosa
- C. basa adenin
- D. basa urasil
- E. basa sitosin

**Jawaban: D**

**Penjelasan:**

Komponen penyusun nukleotida pada DNA adalah gula deoksiribosa, gugus fosfat, basa purin yang terdiri atas adenin dan guanin, serta basa pirimidin yang terdiri atas sitosin dan timin. Sementara itu, basa urasil adalah basa pirimidin penyusun nukleotida pada RNA.

Jadi, komponen yang bukan komponen penyusun nukleotida pada DNA adalah basa urasil.





## SUPER "Solusi Quipper"

**DINA mengajak ADE, GANI, SITI, dan TINI**

(DNA terdiri atas ADENIN – GUANIN – SITOSIN – TIMIN)

**RIANA mengajak ADE, GANI, SITI, dan USI**

(RNA terdiri atas ADENIN – GUANIN – SITOSIN – URASIL)



### Contoh Soal 4

Berikut ini yang merupakan fungsi dari tRNA adalah ....

- A. bertindak sebagai pola cetakan untuk membentuk polipeptida
- B. sebagai pembawa kode-kode genetik yang disebut kodon
- C. mengikat asam-asam amino yang akan disusun menjadi protein
- D. sebagai mesin perakitan polipeptida pada sintesis protein
- E. sebagai cetakan untuk menyintesis protein di dalam ribosom

**Jawaban: C**

#### **Penjelasan:**

Fungsi dari tRNA adalah sebagai penerjemah kodon dari mRNA dan pengangkut asam-asam amino dari sitoplasma ke ribosom. Asam-asam amino yang diangkut oleh tRNA ini merupakan bahan dasar pembentuk protein.

Jadi, fungsi dari tRNA adalah mengikat asam-asam amino yang akan disusun menjadi protein.

## **E. Sintesis Protein**

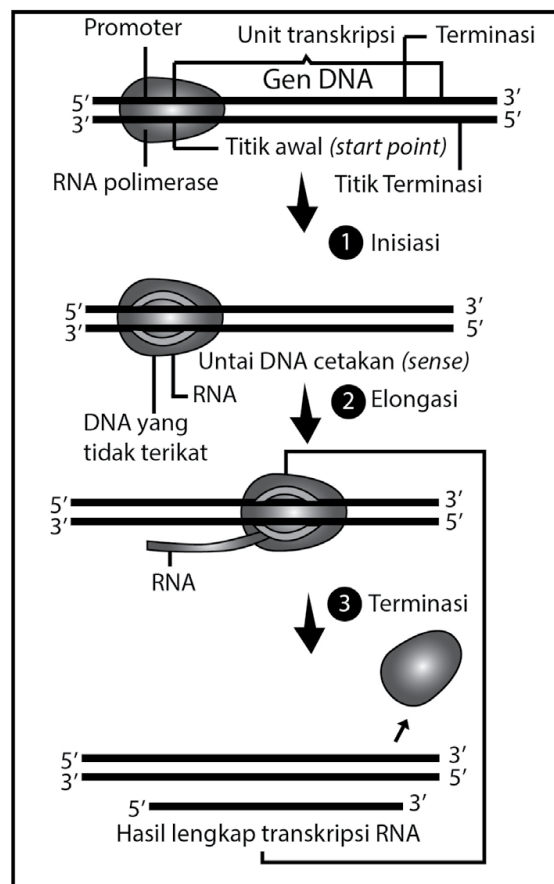
**Sintesis protein** adalah proses pembentukan protein yang dikode oleh DNA dan dilaksanakan oleh RNA. Proses sintesis protein sebagian berlangsung di dalam inti sel dan sebagian lagi berlangsung di dalam ribosom. Bahan baku dalam sintesis protein adalah asam amino. Terdapat 20 jenis asam amino. Jenis asam amino yang digunakan dalam sintesis protein ditentukan oleh DNA. Perbedaan jenis, jumlah, dan susunan asam amino menentukan jenis protein yang disintesis.

Hasil dari proses sintesis protein adalah protein fungsional. Aktivitas dari protein fungsional akan memengaruhi sifat-sifat tubuh organisme. Perbedaan sifat-sifat tubuh ini selanjutnya akan menghasilkan perbedaan fenotipe (sifat yang tampak) pada organisme. Contoh protein fungsional adalah enzim, hormon, keratin, atau hemoglobin.

Lantas, bagaimanakah mekanisme sintesis protein? Mekanisme sintesis protein terdiri atas dua tahap utama, yaitu **transkripsi** dan **translasi**. Transkripsi adalah proses pencetakan RNA oleh DNA, sedangkan translasi adalah proses penerjemahan kode genetik pada RNA menjadi urutan asam amino.

## 1. Transkripsi

Pada proses transkripsi, disintesis mRNA, tRNA, dan rRNA. Akan tetapi, yang berperan dalam menentukan urutan asam amino penyusun protein adalah basa-basa nitrogen pada rantai mRNA. Proses transkripsi sendiri terdiri atas tiga tahap, yaitu **insiasi** (permulaan) transkripsi, **elongasi** (pemanjangan) rantai RNA, dan **terminasi** (pengakhiran) transkripsi. Di samping ini adalah gambar dari proses transkripsi.



Gambar 5. Proses Transkripsi oleh DNA

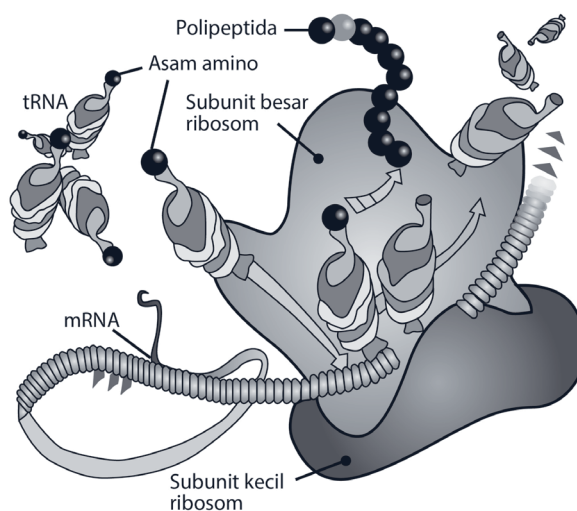
Urutan proses transkripsi tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Enzim RNA polimerase yang berfungsi membuka ikatan heliks DNA dan membuat salinan informasi genetik dari DNA menempel pada DNA. Tempat menempelnya RNA polimerase pada DNA disebut **promoter**.
- Dua rantai DNA, yaitu rantai cetakan (*template/sense*) dan rantai komplemennya (*antitemplate/antisense*) mulai memisah. Promoter menempel pada rantai cetakan (*sense*).

- c. RNA polimerase mulai membentuk RNA dari titik awal promotor dan terus bergerak di sepanjang rantai cetakan DNA. Heliks DNA terbuka secara berurutan, sekitar 10 – 20 basa nitrogen sekaligus. Perakitan nukleotida-nukleotida RNA ini selalu dari arah 5' → 3'.
- d. Basa-basa nitrogen yang dibentuk pada RNA merupakan komplemen dari basa-basa nitrogen pada rantai DNA sense sebagai berikut.
  - 1.) Basa T pada DNA untuk cetakan A pada RNA.
  - 2.) Basa C pada DNA untuk cetakan G pada RNA.
  - 3.) Basa A pada DNA untuk cetakan U pada RNA.
  - 4.) Basa G pada DNA untuk cetakan C pada RNA.
 Contoh: triplet TAG pada DNA akan dicetak menjadi AUC pada RNA.
- e. Proses transkripsi RNA akan berhenti setelah RNA polimerase mentranskripsi DNA terminator.
- f. RNA kemudian akan terlepas dari RNA polimerase dan heliks DNA akan menutup kembali.
- g. mRNA yang terbentuk pada transkripsi selanjutnya akan keluar dari inti sel menuju ke ribosom.

## 2. Translasi

Pada proses translasi, disintesis polipeptida dengan menggunakan kode genetik pada mRNA. Proses ini berlangsung di dalam ribosom dan dilakukan oleh tRNA serta ribosom itu sendiri. Setiap asam amino digabungkan oleh tRNA pada kodon mRNA dengan bantuan enzim sintetase tRNA-aminoasil. Seperti halnya transkripsi, translasi juga terdiri atas tiga tahap, yaitu inisiasi translasi, elongasi translasi, dan terminasi translasi. Di samping ini adalah gambar dari proses translasi.



Gambar 6. Proses translasi oleh tRNA

Urutan dari proses translasi tersebut adalah sebagai berikut.

- Subunit kecil ribosom berikatan dengan molekul mRNA di ujung 5'.
- Translasi dimulai dari **kodon start**, yaitu **AUG** yang terdapat pada mRNA. Setelah itu, tRNA inisiator dengan antikodon UAC akan membawa asam amino **metionin** untuk dilekatkan pada kodon AUG. Metionin selalu menjadi asam amino awal dalam sintesis protein.
- Setelah itu, asam-asam amino akan ditambahkan satu per satu oleh enzim sintetase tRNA-aminoasil sampai terbentuk rantai polipeptida yang lengkap.
- Proses translasi berakhir jika sudah sampai pada **kodon stop**. Triplet kodon stop ada tiga macam, yaitu **UAA**, **UGA**, dan **UAG**. Ketiga kodon stop tersebut berfungsi untuk menghentikan proses translasi dan tidak mengode asam amino lagi.
- Selanjutnya, polipeptida yang terbentuk dilepaskan dari ribosom.

Proses sintesis protein secara ringkas dapat dituliskan sebagai berikut.

DNA melakukan transkripsi di dalam inti sel membentuk RNA → mRNA meninggalkan inti sel menuju ribosom dengan membawa kodon → tRNA akan membawa asam amino sesuai kodon menuju ribosom (translasi) → asam amino dirangkai sesuai kode genetik pada kodon → terbentuk senyawa polipeptida (protein).

Berikut ini adalah kode genetik untuk menentukan asam amino sesuai dengan kodonnya.

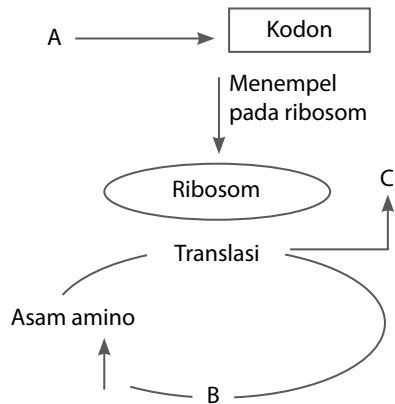
		Kodon basa kedua					
		U	C	A	G		
Kodon basa pertama	U	UUU Phenylalanine phe UUC UUA Leucine leu UUG	UCU Serine ser UCC UCA UCG	UAU Tyrosine tyr UAC UUA stop codon UUG	UGU Cysteine cys UGC UGA stop codon UGG Tryptophan trp	U	Kodon basa ketiga
	C	CUU Leucine leu CUC CUA CUG	CCU Proline pro CCC CCA CCG	CAU Histidine his CAC CAA Glutamine gln CAG	CCU Arginine arg CGC CGA CGG	C	
	A	AUU Isoleucine iLe AUC AUA AUG Methionine met (start codon)	ACU Threonine thr ACC ACA ACG	AAU Asparagine asn AAC AAA Lysine lys AAG	AGU Serine ser AGC AGA Arginine arg AGG	A	
	G	GUU Valine val GUC GUA GUG	GOU Alanine ala GOC GOA GOG	GAU Aspartic acid asp GAC GAA Glutamic acid glu GAG	GGU Glycine gly GGC GGA GGG	G	

Gambar 7. Kode genetik



### Contoh Soal 5

Perhatikan diagram sintesis protein berikut!



Pada diagram tersebut, A, B, dan C secara berurutan adalah ....

- A. RNA duta, RNA transfer, dan protein
- B. DNA, RNA transfer, dan polipeptida
- C. RNA transfer, RNA duta, dan RNA ribosom
- D. kodogen, kodon, dan antikodon
- E. kodogen, RNA ribosom, dan asam amino

**Jawaban: B**

#### Penjelasan:

Pada diagram sintesis protein tersebut, A adalah DNA yang bertugas melakukan transkripsi sehingga dihasilkan mRNA (RNA duta) dengan kodon tertentu. Selanjutnya, kodon tersebut akan dibawa ke ribosom. B adalah tRNA atau RNA transfer yang bertugas menerjemahkan kodon pada mRNA. C adalah polipeptida, yaitu hasil dari sintesis protein.

Jadi, A, B, dan C secara berurutan adalah DNA, RNA transfer, dan polipeptida.



### Contoh Soal 6

Berikut ini adalah peristiwa yang terjadi selama sintesis protein.

1. tRNA mengangkut asam amino ke ribosom.
2. mRNA meninggalkan inti menuju ribosom.
3. Asam amino dirangkai menjadi senyawa polipeptida.
4. DNA mengadakan transkripsi membentuk RNA.
5. Terbentuklah protein sesuai kode genetik.

Urutan sintesis protein yang benar adalah ....

- A. 4 – 2 – 1 – 3 – 5
- B. 3 – 4 – 5 – 2 – 1
- C. 4 – 2 – 3 – 1 – 5
- D. 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- E. 5 – 4 – 3 – 2 – 1

Jawaban: A

**Penjelasan:**

Secara ringkas, proses sintesis protein dapat dituliskan sebagai berikut.

DNA mengadakan transkripsi membentuk RNA → mRNA meninggalkan inti menuju ribosom → tRNA mengangkut asam amino ke ribosom → asam amino dirangkai menjadi senyawa polipeptida → terbentuklah protein sesuai kode genetik.

Jadi, urutan sintesis protein yang benar adalah 4 – 2 – 1 – 3 – 5.

## F. Pengontrolan Ekspresi Gen

Ekspresi gen adalah proses penyalinan informasi genetik yang ada di dalam DNA melalui proses transkripsi dan translasi. Dalam proses tersebut, perlu pengontrolan yang efisien agar sel tidak kehilangan banyak energi.

Ada dua sistem pengaktifan ekspresi gen, yaitu ekspresi gen secara konstitutif dan ekspresi gen secara induktif. Gen yang diekspresikan secara konstitutif akan dinyatakan secara terus-menerus dalam keadaan apapun. Gen yang tergolong jenis ini adalah gen-gen yang bertanggung jawab terhadap proses-proses metabolisme, seperti gen penghasil enzim-enzim pengkatalisis reaksi metabolisme. Sementara itu, gen yang diekspresikan secara induktif hanya akan dinyatakan jika keadaan memungkinkan atau ada induksi, misalnya gen untuk efisiensi selular.

Proses pengontrolan suatu gen sehingga dapat terekspresi atau tidak pada waktu dan kondisi yang berbeda disebut **regulasi ekspresi gen**. Regulasi ekspresi gen ini memungkinkan sel untuk mengatur struktur dan fungsi yang menjadi dasar dari diferensiasi, morfogenesis, dan kemampuan adaptif setiap organisme. Pengontrolan ekspresi gen pada sel eukariotik (sel yang memiliki membran inti, misalnya pada manusia) lebih kompleks daripada sel prokariotik (sel yang tidak memiliki membran inti, misalnya pada bakteri). Pada sel prokariotik, pengontrolan ekspresi gen hanya terjadi pada tingkat transkripsi. Sementara pada sel eukariotik, pengontrolan ekspresi gen terjadi mulai dari tingkat transkripsi hingga pascatranslasi.