



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Hampir semua produk perdagangan disertai *barcode* (kode garis), untuk menyampaikan informasi tentang harga, nama produk, hingga jumlah stok.

Tahukah Anda bahwa manusia juga mempunyai "*barcode*"? Pada manusia *barcode* itu berupa profil DNA. Profil DNA dapat diperoleh melalui tes profil DNA. Tes ini dapat digunakan untuk mengungkap suatu misteri misalnya peristiwa pembunuhan.

Jika di tempat kejadian perkara (TKP) ditemukan sel, seperti sel darah, ahli forensik akan melakukan tes profil DNA. Hasil inilah yang akan dicocokkan dengan tersangka. Jika barcode ini cocok dengan milik tersangka, dia tidak bisa mengelak lagi. Apa sebenarnya DNA itu? Mari kita pelajari. Setelah mempelajari bab ini Anda diharapkan dapat mengenal dan memahami substansi genetik.



### Kata Kunci

DNA  
RNA  
nukleus  
replikasi  
transkripsi  
kodon  
sintesis protein  
gen  
kromosom  
double helix

Komponen terkecil penyusun makhluk hidup disebut **sel**. Setiap sel memiliki nukleus yang mengandung kromosom. Setiap makhluk hidup memiliki jumlah kromosom tertentu. Dalam kromosom ditemukan DNA yang berperan penting dalam menentukan sifat genetik setiap individu. Sifat genetik itu dapat diwariskan kepada generasi berikutnya. Oleh karena setiap individu memiliki DNA yang khas, maka DNA dapat digunakan untuk identifikasi makhluk hidup.

Mengapa DNA sangat penting dalam menentukan sifat genetik setiap individu? Hal ini akan kita bahas dalam bab berikut.

## A. DNA(*Deoxyribonucleic Acid*) dan RNA (*Ribonucleic Acid*)

Substansi dasar nukleus terdiri atas nukleoprotein yang dibangun oleh senyawa protein dan asam nukleat. Ada dua jenis asam nukleat yang berkaitan dengan hereditas, yaitu DNA dan RNA. Keduanya bertanggung jawab terhadap sintesis protein serta mengontrol sifat-sifat keturunan.

### 1. DNA (*Deoxyribonucleic Acid* = Asam Deoksiribo Nukleat)

DNA memiliki beberapa fungsi di antaranya membawa informasi genetik, membentuk RNA, dan mengontrol aktivitas sel baik secara langsung maupun tidak langsung. DNA juga berperan penting dalam proses sintesis protein.

#### a. Struktur DNA

Molekul DNA pertama kali diisolasi oleh **F. Miescher** pada tahun 1869 dari sel spermatozoa. Ia tidak dapat mengenali sifat zat kimia tersebut secara pasti, kemudian menyebutnya sebagai **nuklein**. Nuklein ini berupa senyawa kompleks yang mengandung unsur fosfor sangat tinggi. Nuklein selanjutnya dikenal sebagai gabungan asam nukleat dan protein sehingga sering disebut *nukleoprotein*. Dalam kedua jenis asam nukleat ini (DNA dan RNA) terdapat dua basa nitrogen yaitu *purin* dan *pirimidin*. Keduanya ditemukan oleh **Fischer** pada tahun 1880. Pada penelitian selanjutnya, **Kossel** menemukan dua jenis pirimidin, yaitu *sitosin* dan *timin* serta dua jenis purin, yaitu *adenin* dan *guanin*.

Selain basa purin dan pirimidin, dalam asam nukleat **Levine** (1910) mengenali gula berkarbon lima, yaitu ribosa dan deoksiribosa. Ia juga menyatakan adanya asam fosfat dalam asam nukleat.

**W.T. Atsbury** merupakan orang pertama yang mengemukakan gagasan tentang struktur tiga dimensi DNA. Ia menyimpulkan bahwa DNA sangat padat, polinukleotida penyusunnya berupa timbunan nukleosida pipih yang teratur tegak lurus terhadap sumbu memanjang. Apakah nukleotida dan nukleosida itu? Uraian berikut akan membahas kedua hal tersebut.

**James Watson** dan **Francis Crick** (1953) mengemukakan suatu model struktur DNA yaitu *double helix* (tangga berpilin). Menurut mereka, DNA memiliki struktur sebagai berikut.



### Eksperimen Plus

#### Bagaimana Mengekstrak DNA dari Sayuran?

Sediakan sayuran (misalnya brokoli) sekitar 100 mg, tambahkan  $\frac{1}{8}$  sendok teh garam dan 200 mL air es. Blender dengan kecepatan tinggi  $\pm 15$  detik. Saring, kemudian tambahkan  $\pm 30$  mL larutan detergen lalu dikocok. Diamkan campuran tersebut  $\pm 5$ –10 menit. Letakkan campuran itu dalam tabung reaksi  $\pm \frac{1}{3}$  tingginya. Tambahkan sedikit jus nenas pada setiap tabung dan kocok perlahan.

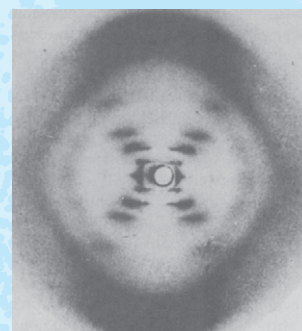
Miringkan tabung reaksi dan tambahkan alkohol (70–95% ethyl alkohol) melewati sisi tabung sampai terbentuk lapisan di atas campuran brokoli tersebut. DNA brokoli akan naik ke lapisan alkohol.



### Tahukah Anda

#### Pembuatan Foto DNA

**Rosalind Franklin** (1920–1958) bersama **Wilkins** merupakan tokoh yang berhasil membuat foto DNA melalui difraksi sinar-X, seperti gambar berikut.

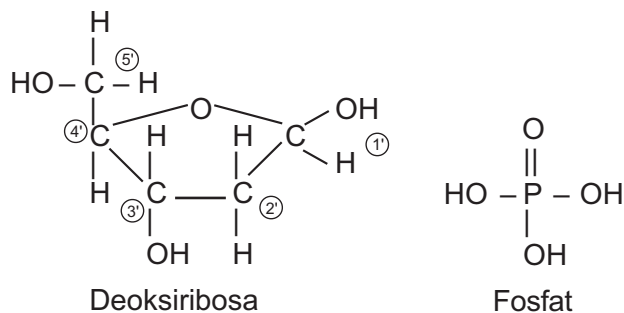


Sumber: *Biology, Raven & Johnson*

Foto tersebut mengilhami Watson dan Crick untuk membuat model struktur DNA berupa tangga terpilin (*double helix*).

- 1) Gula dan fosfat sebagai rantai atau tangga utama.
- 2) Basa nitrogen sebagai anak tangga dengan pasangan tetap, yaitu:
  - a) guanin dengan sitosin (dihubungkan oleh tiga atom H),
  - b) timin dan adenin (dihubungkan oleh dua atom H).

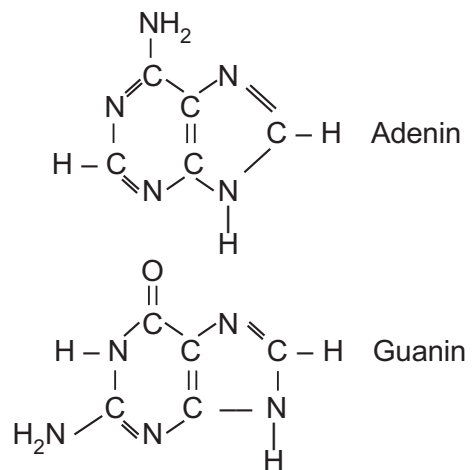
Berdasarkan hasil penelitian Watson dan Crick dapat disimpulkan bahwa DNA terdiri atas gula pentosa (deoksiribosa), fosfat ( $\text{PO}_4^-$ ), dan basa nitrogen yaitu purin meliputi guanin (G) dan adenin (A) serta pirimidin yang meliputi timin (T) dan sitosin (C = Cytosin). Rumus bangun deoksiribosa dan fosfat dapat Anda lihat pada Gambar 3.1. Sementara itu, rumus bangun purin dan pirimidin dapat Anda amati pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 3.1**

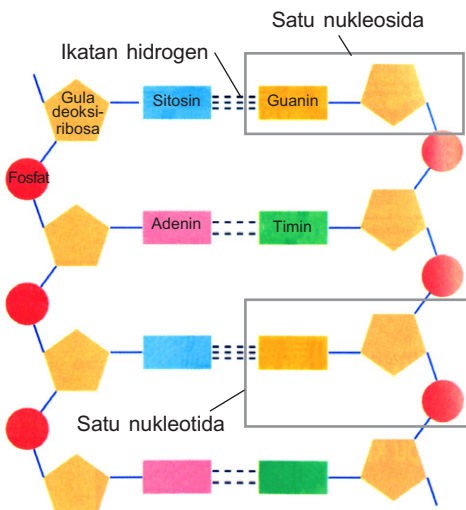
Rumus bangun deoksiribosa dan fosfat



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 3.2**

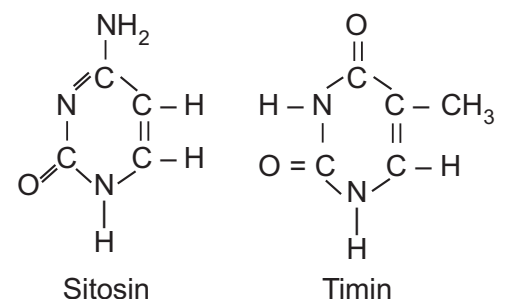
Rumus bangun purin



Sumber: *New Understanding Biology for Advanced Level*, Glenn & Susan Toole

**Gambar 3.4**

Struktur DNA



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 3.3**

Rumus bangun pirimidin

Rangkaian kimia antara deoksiribosa dengan purin dan pirimidin disebut **nukleosida** (deoksiribonukleosida). Nukleosida tersebut akan berikatan dengan fosfat membentuk **nukleotida** (deoksiribonukleotida). Gabungan dari nukleotida-nukleotida akan membentuk suatu **DNA**. Jadi, molekul DNA merupakan polimer panjang dari nukleotida yang dinamakan **polinukleotida**. Perhatikan Gambar 3.4 di samping.





## Tugas Kelompok

Bentuklah beberapa kelompok untuk membuat makalah dengan tema yang berhubungan dengan temuan Watson dan Crick mengenai struktur, sifat, dan fungsi DNA. Selain itu, setiap kelompok dapat juga membuat makalah tentang cara DNA menyampaikan informasi genetik kepada keturunan. Presentasikan makalah kelompok Anda di kelas.

DNA dapat menentukan sifat genetik suatu individu karena setiap makhluk hidup mempunyai urutan pasangan basa yang spesifik dan berbeda dengan yang lain. Perbedaan urutan pasangan basa antarindividu dapat dilihat pada saat *sequence* (proses pengurutan basa) dalam analisis DNA. DNA dapat berfungsi sebagai heterokatalitik (mensintesis molekul lain seperti RNA) dan otokatalitik (replikasi diri). Berikut ini Anda akan mempelajari fungsi DNA sebagai otokatalitik.

### b. Replikasi DNA

Replikasi DNA akan menghasilkan DNA baru. Ada tiga hipotesis yang menjelaskan terjadinya replikasi DNA. Hipotesis pertama menyatakan bahwa bentuk *double helix* DNA yang lama tetap dan langsung menghasilkan *double helix* yang baru disebut **konservatif**. Hipotesis kedua menyatakan *double helix* akan terputus-putus, selanjutnya segmen-segmen tersebut akan membentuk segmen-segmen baru yang bergabung dengan segmen lama membentuk DNA baru. Hipotesis ini disebut **dispersif**. Hipotesis ketiga menyatakan dua pita spiral dari *double helix* memisahkan diri dan setiap pita tunggal mencetak pita pasangannya disebut **semikonservatif**.

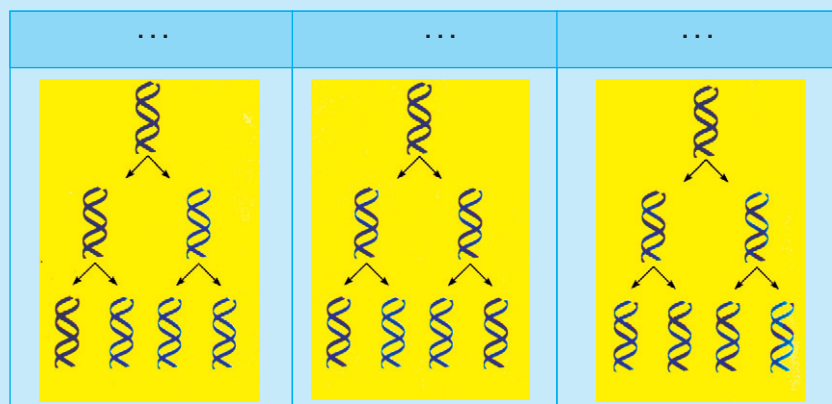
Lakukan kegiatan berikut agar Anda lebih mengenal ketiga hipotesis yang menjelaskan terjadinya replikasi DNA.

Replikasi DNA berlangsung pada sel-sel muda yaitu pada saat interfase (mitosis). Mengenai fase-fase mitosis dan meiosis akan dipelajari pada bab IV.

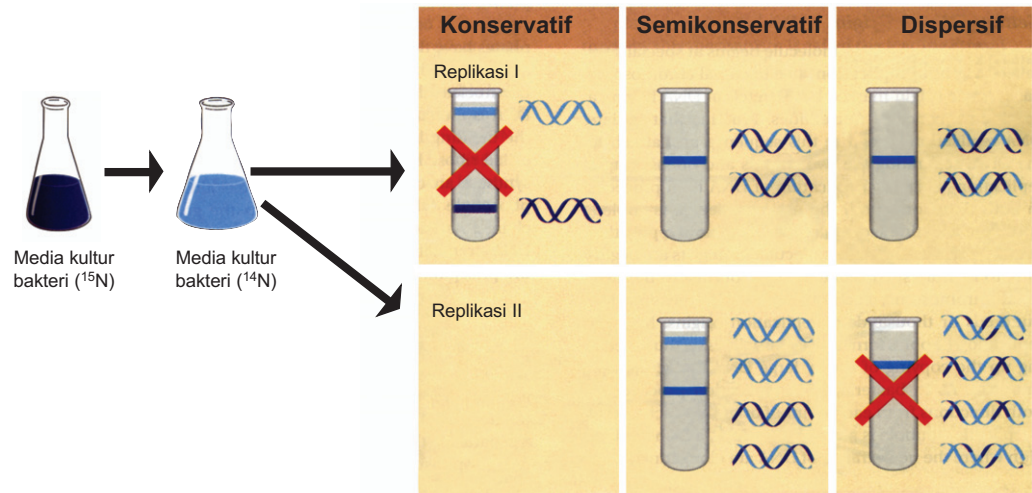


## Forum Diskusi

Perhatikan skema replikasi DNA di bawah ini. Diskusikan dengan teman-teman Anda dan tentukan hipotesis yang sesuai pada proses replikasi tersebut.



Teori replikasi DNA oleh Watson dan Crick menyatakan bahwa proses replikasi terjadi secara semikonservatif. Hipotesis ini mendapat dukungan kuat dari **M.S. Meselson** dan **F.W. Stahl**. Mereka menggunakan bakteri *Escherichia coli* sebagai organisme percobaan. *E. coli* dapat hidup pada garam anorganik jika dalam garam tersebut terdapat sumber atom nitrogen untuk pembuatan protein dan asam nukleat. Meselson dan Stahl memakai ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dalam penelitiannya. Meskipun isotop nitrogen yang paling lazim  $^{14}\text{N}$ , tetapi mereka menggunakan ion amonium yang mengandung isotop nitrogen yang lebih berat, yaitu  $^{15}\text{N}$ . Perhatikan Gambar 3.5.



Sumber: *Biology, Campbell*

**Gambar 3.5**

Replikasi DNA menurut Meselson dan Stahl

Pertama-tama Meselson dan Stahl memelihara *E. coli* selama beberapa generasi dalam media yang mengandung  $^{15}\text{NH}_4^+$ . Pada akhir periode ini, mereka menemukan DNA sel lebih berat dari normal. Selanjutnya, mereka memindahkan sel-sel itu ke media yang mengandung ion amonium normal ( $^{14}\text{NH}_4^+$ ) dan membiarkan sel tersebut hanya sekali membelah diri. DNA pada generasi baru ini memiliki berat di antara berat DNA normal dari DNA generasi sebelumnya. Hal ini menggambarkan bahwa pengaruh dari atom nitrogen dalam DNA baru yaitu  $^{14}\text{N}$  dan separuh  $^{15}\text{N}$ . Namun, apabila bakteri itu dibiarkan membelah diri lagi dalam ion amonium normal ( $^{14}\text{NH}_4^+$ ) maka terbentuklah dua jenis DNA dengan berat yang berbeda. Separuh dari DNA mempunyai berat normal dan separuh DNA lainnya mempunyai berat di tengah-tengah. Hal tersebut membuktikan bahwa molekul DNA tidak mengalami pemecahan dan penyusunan kembali di antara pembelahan sel-sel, tetapi tiap pita induk tidak mengalami perubahan saat ia membentuk pita komplementer. Berdasarkan uraian di atas maka hipotesis yang paling tepat yaitu hipotesis semikonservatif.

Selain memerlukan deoksiribonukleotida, dalam proses replikasi DNA juga memerlukan beberapa enzim berikut.

- 1) *Helikase*, enzim ini berfungsi menghidrolisis rantai ganda polinukleotida menjadi dua rantai tunggal polinukleotida.
- 2) *Polimerase*, berfungsi merangkai rantai-rantai mononukleotida membentuk DNA baru.
- 3) *Ligase*, berfungsi menyambung nukleotida ulir tunggal DNA yang baru terbentuk.

Fungsi DNA sebagai heterokatalitik yaitu mensintesis molekul lain seperti RNA. RNA merupakan hasil transkripsi DNA. Sel prokariotik dan eukariotik mengandung asam inti yang disebut asam ribonukleat (RNA).

## 2. RNA (*Ribonucleic Acid* = Asam Ribonukleat)

RNA tersusun seperti DNA, yaitu molekul-molekul gula D-ribosa, gugus fosfat, tetapi basa nitrogennya terdiri atas basa purin (meliputi adenin (A) dan guanin (G)) serta pirimidin (meliputi urasil (U) dan sitosin (C)). Perhatikan Gambar 3.6.

### a. Struktur RNA

Berbeda dengan DNA yang memiliki rantai ganda, RNA hanya memiliki rantai tunggal. Setiap pita RNA merupakan polinukleotida dari RNA.

### b. Tipe-Tipe RNA

Berbeda halnya dengan DNA yang terletak dalam nukleus, RNA banyak terdapat dalam sitoplasma terutama ribosom walaupun ada pula beberapa di antaranya dalam nukleus. Dalam sitoplasma, kadar RNA berubah-ubah. Hal ini dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein. Ketika suatu protein akan disintesis, kandungan RNA dalam sel meningkat begitu pula sebaliknya. RNA memiliki komponen gula berupa D-ribosa (pentosa). RNA juga memiliki basa nitrogen yang serupa dengan DNA, hanya saja basa timin pada pirimidin diganti dengan urasil.

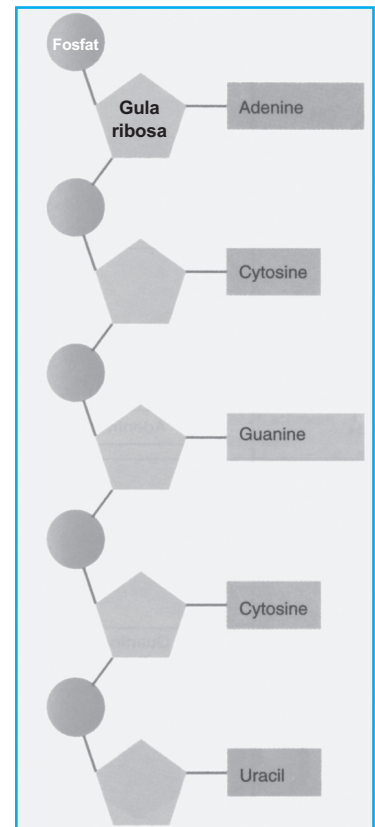
RNA mempunyai tiga tipe berikut.

#### 1) *rRNA (ribosom RNA)*

rRNA yaitu RNA yang terdapat dalam sitoplasma tepatnya di ribosom dan berfungsi mengatur dalam proses sintesis protein. rRNA dapat mencapai 80% dari jumlah RNA sel. Molekul rRNA berupa pita tunggal tidak bercabang dan fleksibel.

#### 2) *mRNA (messenger RNA)*

mRNA dibentuk dalam nukleus, merupakan RNA terbesar dan terpanjang. mRNA berfungsi membawa kode genetik dari DNA ke ribosom. mRNA sering disebut **kodon** karena urutan basa N penyusunnya merupakan kode genetik untuk sintesis protein. mRNA dicetak oleh DNA dalam inti, kemudian dikirim ke ribosom. Sintesis mRNA dicetak oleh DNA saat diperlukan saja dan tidak terus-menerus dicetak melainkan tergantung pada macam protein yang akan disintesis dalam sitoplasma.



Sumber: *New Understanding Biology for Advanced Level*, Glenn & Susan Toole

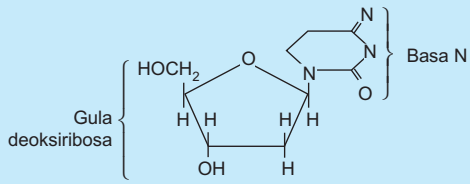
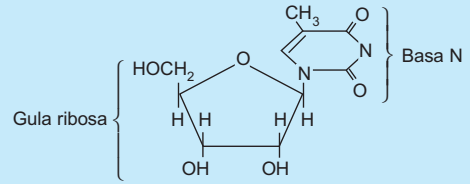
**Gambar 3.6**  
Struktur RNA

### 3) tRNA (transfer RNA)

tRNA merupakan RNA yang terdapat dalam sitoplasma dengan rantai terpendek yang bertugas menerjemahkan kodon dari mRNA. rRNA berfungsi mengangkut asam amino ke tempat sintesis protein, yaitu ribosom melalui penerjemahan kode-kode yang dibawa mRNA.

DNA dan RNA memiliki komponen yang hampir sama tetapi keduanya memiliki perbedaan struktur, fungsi, dan beberapa materi penyusun. Perhatikan tabel berikut.

**Tabel 3.1** Perbandingan Struktur, Fungsi, dan Materi Penyusun DNA dan RNA

DNA	RNA
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ditemukan dalam nukleus yaitu dalam kromosom, mitokondria, dan kloroplas.</li> <li>2. Berupa rantai panjang dan ganda (<i>double helix</i>).</li> <li>3. Fungsinya berhubungan erat dengan penurunan sifat dan sintesis protein.</li> <li>4. Kadarnya tidak dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein.</li> <li>5. Basa nitrogen terdiri atas purin: <i>adenin</i> (A) dan <i>guanin</i> (G), pirimidin: <i>timin</i> (T) dan <i>sitosin</i> (C).</li> <li>6. Komponen gulanya <i>deoksiribosa</i>, yaitu ribosa yang kehilangan satu atom oksigen pada atom C nomor 2.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ditemukan dalam sitoplasma, terutama dalam ribosom, dan juga dalam nukleus.</li> <li>2. Berupa rantai pendek dan tunggal.</li> <li>3. Fungsinya berhubungan erat dengan sintesis protein.</li> <li>4. Kadarnya dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein.</li> <li>5. Basa nitrogen terdiri atas purin: <i>adenin</i> (A) dan <i>guanin</i> (G), pirimidin: <i>urasil</i> (U) dan <i>sitosin</i> (C).</li> <li>6. Komponen gulanya <i>D-ribosa</i> (pentosa).</li> </ol>
 <p>Gula deoksiribosa</p>	 <p>Gula ribosa</p>

Anda telah mengetahui struktur DNA dan RNA. Pada halaman depan telah disebutkan bahwa kedua asam nukleat tersebut bertanggung jawab terhadap proses sintesis protein.

Aturan pencetakan RNA oleh DNA sebagai berikut.

- 1) Gula berupa pentosa (ribosa).
- 2) Basa N:
 

DNA	RNA
Adenin	Urasil
Timin	Adenin
Guanin	Sitosin
Sitosin	Guanin

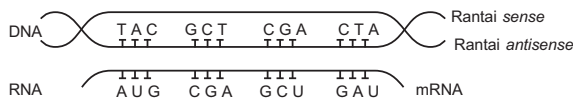


### 3. Sintesis Protein

Pada uraian mengenai DNA telah disebutkan bahwa DNA berfungsi sebagai heterokatalis (mensintesis molekul lain). Uraian berikut merupakan salah satu contoh fungsi DNA tersebut.

DNA yang terletak di dalam nukleus merupakan suatu cetakan kode genetik yang menghasilkan informasi genetik. Kode genetik disusun oleh urutan basa nitrogen (A, T, G, dan C). Dalam sintesis protein, kode-kode genetik dalam DNA disalin menjadi mRNA. Proses ini disebut **transkripsi**. Proses ini diawali dengan melekatnya RNA polimerase pada molekul DNA sehingga sebagian rantai double helix DNA membuka. Akibatnya, salah satu rantai DNA yang membuka tersebut mencetak RNA. Rantai DNA yang mengandung kode-kode genetik (kodon) dan dapat mencetak mRNA disebut **rantai sense**. Rantai DNA yang tidak mencetak mRNA disebut **rantai antisense**. Misalnya urutan basa N pada rantai DNA terdiri atas TAC, GCT, CGA, dan CTA maka urutan basa N pada rantai mRNA yaitu AUG, CGA, GCU, dan GAU. Perhatikan susunan DNA dan RNA berikut.

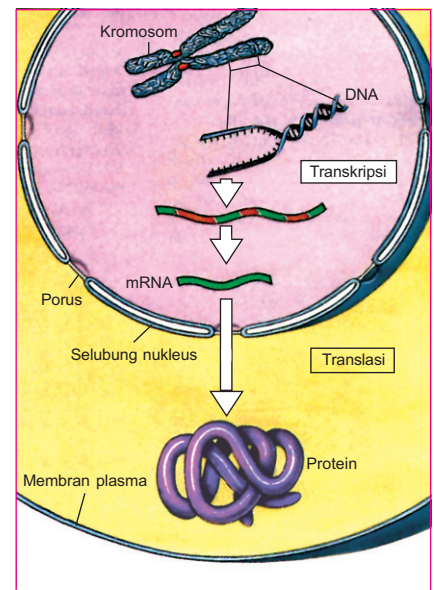




Setelah disalin, mRNA keluar dari nukleus menuju sitoplasma. mRNA tidak dapat mengenali suatu asam amino secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan tRNA untuk dapat membaca kode-kode yang dibawa mRNA. Di dalam sitoplasma banyak terdapat tRNA, asam amino dan enzim amino asil sintetase. Asam amino tersebut diaktifkan menggunakan ATP (Adenosin Trifosfat) dan enzim amino asil sintetase sehingga dihasilkan Amino asil Adenosin monofosfat (AA-AMP) dan fosfat organik. Selanjutnya Aminoasil Adenosin monofosfat diikat oleh t-RNA dan dibawa ke ribosom. Setiap tRNA memiliki tiga basa N dan asam amino, tiga basa N tRNA akan berpasangan dengan tiga basa N mRNA yang sesuai. mRNA merupakan susunan kodon yang panjang. Setiap tRNA akan menerjemahkan tiga basa. Setelah tRNA pertama melepaskan diri, datang tRNA selanjutnya, begitu terus-menerus sampai kodon pada mRNA habis.

Asam amino yang terbentuk selama penerjemahan oleh tRNA akan membentuk suatu ikatan. Bagian basa N pada tRNA yang menerjemahkan kode yang dibawa mRNA disebut **antikodon**. Sementara itu, tiga bagian basa N pada mRNA tersebut di atas yang memiliki kode untuk menspesifikasikan asam amino disebut **kodon**. Proses penerjemahan kode yang dibawa mRNA oleh tRNA disebut **translasi**. Asam amino-asam amino akan berjajar membentuk urutan sesuai dengan kode yang dibawa mRNA sehingga terbentuklah protein. Protein tersebut merupakan enzim yang berfungsi mengatur metabolisme sel. Langkah-langkah dalam sintesis protein dapat Anda lihat pada Gambar 3.7.

Anda telah mempelajari tugas tRNA yang membawa asam amino sebagai bahan untuk menyusun protein. Bagaimanakah cara tRNA menerjemahkan kode-kode perintah dari DNA itu?



Sumber: Biology, Raven

**Gambar 3.7**  
Skema sintesis protein

#### 4. Kode Genetik

Anda telah mengetahui bahwa dalam DNA terdapat empat basa nitrogen meliputi adenin (A), timin (T), sitosin (C), dan guanin (G). Anda juga telah mengetahui RNA mengandung 4 basa nitrogen tersebut, tetapi urasil (U) menggantikan timin (T).

**Nirenberg** dan **Matthaei** (1960) mengadakan percobaan untuk memecahkan masalah kode genetik dengan mencampurkan urasil dengan enzim pembentuk RNA. Dari percampuran ini dihasilkan RNA yang hanya terdiri atas urasil dan dinamakan poli-Urasil (poli-U). Apabila poli-U dimasukkan ke dalam campuran berbagai asam amino, akan terbentuk rangkaian fenilalanin, yaitu protein yang terdiri atas satu macam asam amino. Hal ini merupakan cara manusia pertama kali mampu memecahkan peristiwa kehidupan melalui tabung reaksi kimia. Sampai saat ini pun manusia terus melakukan penelitian untuk mengetahui proses-proses yang terjadi dalam sel makhluk hidup. Rumitnya susunan tubuh makhluk hidup menunjukkan betapa pandainya sang Pencipta. Kita hendaknya bersyukur kepada Tuhan karena diberi akal sehingga mampu mengungkap rahasia kehidupan.

Kode genetik yang dipakai saat ini yaitu kode yang tersusun oleh 3 basa N yang disebut **kodon triplet**. Kodon triplet ini merupakan bagian 3 basa N yang terdapat pada mRNA. Apabila suatu urutan tiga basa memberikan kode untuk satu asam amino, akan terjadi  $4^3 = 64$  kemungkinan kombinasi dari basa sehingga dapat memperinci 64 macam kode genetika. Asam amino yang dikenal sampai saat ini sebanyak 20 macam. Adanya 64 macam kodon dan 20 macam asam amino menyebabkan satu asam amino dapat memiliki lebih dari satu kodon. Kodon yang sesuai untuk setiap asam amino dapat dilihat dalam tabel berikut.

**Tabel 3.2** Kodon Beberapa Asam Amino

Basa Pertama	Basa Kedua								Basa Ketiga
	U		C		A		G		
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	Term	UGA	Term	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	Term	UGG	Tryp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	GluN	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	GluN	CGG	Arg	G
A	AUU	Ileu	ACU	Thr	AAU	AspN	AGU	Ser	U
	AUC	Ileu	ACC	Thr	AAC	AspN	AGC	Ser	C
	AUA	Ileu	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met Start	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

**Keterangan:**

U = Urasil	C = Sitosin	A = Adenin
G = Guanin	Term = Kodon terminasi	AspN = Asparagin
Ala = Alanin	Arg = Arginin	Gly = Glycine
Cys = Cystein	GluN = Glutamin	Leu = Leusin
His = Histidin	Ileu = Isoleusin	Phe = Phenylalanin
Lys = Lysin	Met = Methionin	Thr = Threonin
Pro = Prolin	kodon start	Val = Valin
Tryp = Tryptofan	Ser = Serin	Glu = Glutamat acid
	Tyr = Tyrosin	

Kode genetik berlaku universal, artinya kode yang sama berlaku untuk semua organisme. Bila terjadi kesalahan penerjemahan, protein yang disusun juga keliru sehingga enzim yang dihasilkan tidak sesuai. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya gangguan metabolisme. Kekeliruan tRNA menafsirkan kode-kode genetik yang diterima dari DNA juga merupakan salah satu mekanisme mutasi gen.



## Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

1. Apakah hubungan antara DNA dengan RNA?
2. Apakah perbedaan struktur antara DNA dengan RNA?
3. Apa yang akan terjadi bila terdapat kekeliruan penerjemahan basa-basa nitrogen pada peristiwa translasi?
4. Bagaimana protein dapat terjadi?
5. Bagaimana percobaan Meselson dan Stahl mengenai replikasi DNA dapat dikatakan mendukung hipotesis Watson dan Crick?

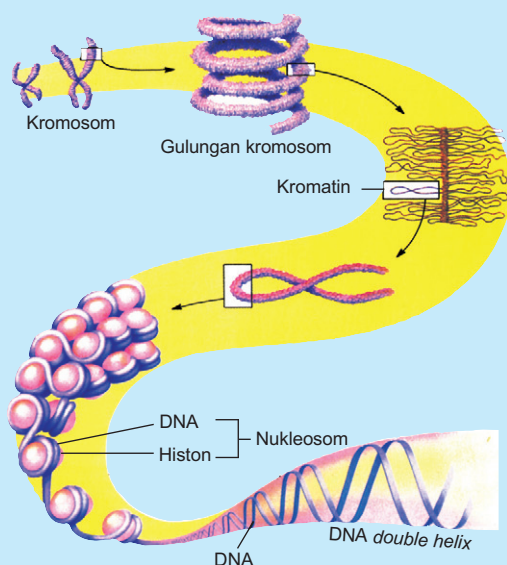
## B. Gen dan Kromosom

Anda tentu sering mendengar bahwa sel berperan dalam pewarisan sifat makhluk hidup. Pengendali faktor keturunan pada makhluk hidup disebut **gen** dan terdapat pada kromosom yang berada di dalam nukleus. Dari uraian sebelumnya, Anda sudah mengetahui bahwa komponen asam nukleat yaitu **DNA** dan **RNA** memiliki peranan besar dalam pembentukan pola hereditas. Apa yang membedakan DNA dengan gen?

Sebelum kita menjelaskan hubungan gen dengan kromosom, diskusikan gambar berikut.



### Forum Diskusi



Cermati gambar di atas. Selanjutnya diskusikan bersama kelompok Anda mengenai hubungan antara DNA, gen, dan kromosom. Presentasikan hasil diskusi di depan kelas.

## 1. Gen

Terdapat sejumlah kromosom di dalam nukleus. Menurut **Suryo** (1997) kromosom tersusun atas nukleoprotein, yaitu persenyawaan antara asam nukleat dan protein seperti histon atau protamin. Namun, yang membawa keterangan genetik hanyalah asam nukleat saja. Asam nukleat itu meliputi DNA dan RNA. Anda telah mengetahui struktur dan fungsi DNA dari subbab sebelumnya. Bagian dari rantai DNA yang dapat mengkode suatu polipeptida melalui proses transkripsi dan translasi disebut **gen**. Setiap gen dalam kromosom dimulai dari kodon AUG (*start*) disebut pula sebagai **kodon permulaan**, karena memulai sintesis polipeptida. Kodon UGA, UAG, dan UAA disebut **kodon tak bermakna** (*stop* = tanda akhir dari suatu protein) karena kodon-kodon ini tidak mengkode asam amino.

Setiap gen terletak pada suatu lokus. Menurut **Morgan**, gen memenuhi lokus suatu kromosom sebagai zarah kompak yang mengandung satuan informasi genetik dan mengatur sifat-sifat menurun tertentu. Pada kenyataannya, batas-batas lokus satu sama lain tidak seperti kotak dan gen itu sendiri masing-masing tidak kompak seperti butir-butir kelereng.

**G.W. Beadle** dan **E.L. Tatum** menyatakan bahwa setiap gen pada organisme mengendalikan produksi suatu enzim khusus. Enzim-enzim itu akan melakukan semua kegiatan metabolisme organisme tersebut sehingga mengakibatkan perkembangan suatu struktur dan fisiologi yang khas, yaitu fenotipe organisme tersebut.



Sumber: *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.8**

Fotograf kromosom manusia (950×)

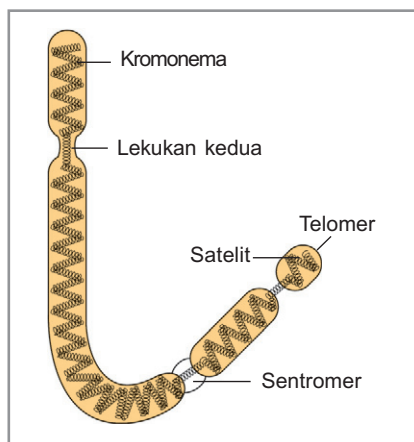
## 2. Kromosom

Kromosom terdapat di dalam nukleus berupa benda-benda halus berbentuk lurus atau bengkok lihat Gambar 3.9. Nama kromosom pertama kali diberikan oleh **Waldeyer** (1888) berasal dari kata *khroma* artinya warna dan *soma* artinya tubuh. Jadi, kromosom dapat diartikan sebagai badan yang mudah menyerap zat warna. Bahan yang menyusun kromosom yaitu *kromatin* sehingga sering disebut **benang kromatin**.

Kromosom merupakan badan berbentuk batang atau bengkok, mulai tampak pada saat sel akan membelah dan selama proses pembelahan. Kromosom tampak jelas pada fase pembelahan metafase karena kromosom berjajar di bidang ekuator. Ukuran kromosom dalam sebuah sel tidak pernah sama. Panjangnya 0,2–50  $\mu$  dan diameternya 0,2–20  $\mu$ .

Perhatikan Gambar 3.10. Secara umum, sebuah kromosom terdiri atas bagian-bagian kromonema, kromomer, sentromer, lekukan kedua, telomer, dan satelit. Perhatikan struktur kromosom berikut.

- Kromonema* berupa pita spiral yang terdapat penebalan.
- Kromomer* merupakan penebalan-penebalan pada kromonema. Di dalam kromomer terdapat protein yang mengandung molekul DNA. Beberapa DNA bergabung membentuk gen yang berfungsi sebagai pembawa bagian sifat keturunan dan menempati suatu bagian yang disebut sebagai **lokus gen**.



Sumber: *Genetika Manusia, Suryo*

**Gambar 3.9**

Kromosom dan bagian-bagiannya



- c. *Sentromer* merupakan bagian kromosom yang menyempit dan tampak lebih terang. Bagian ini tidak mengandung gen dan merupakan tempat melekatnya benang spindel.
- d. *Lekukan kedua* berperan dalam pembentukan nukleolus (anak inti sel).
- e. *Telomer* merupakan bagian ujung-ujung kromosom yang menghalang-halangi bersambungannya ujung kromosom yang satu dengan kromosom yang lain.
- f. *Satelit* yaitu suatu tambahan atau tonjolan yang terdapat pada ujung kromosom. Tidak semua kromosom mempunyai satelit.

Berdasarkan jumlah sentromernya, terdapat tiga jenis kromosom berikut.

- a. *Monosentris*, kromosom yang hanya memiliki sebuah sentromer.
- b. *Disentris*, kromosom yang memiliki dua sentromer.
- c. *Polisentris*, kromosom yang memiliki banyak sentromer.

Berdasarkan letak sentromernya, kromosom dibedakan menjadi empat macam, yaitu *metasentris*, *submetasentris*, *akrosentris*, dan *telosentris*.

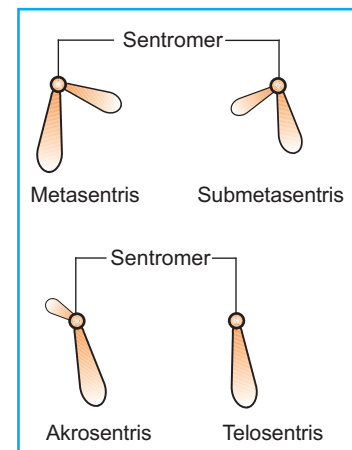
- a. *Metasentris*, sentromer terletak di tengah-tengah kromosom sehingga kromosom berbentuk seperti huruf V.
- b. *Submetasentris*, sentromer terletak submedian atau kira-kira ke arah salah satu ujung kromosom. Bentuk kromosom seperti huruf J.
- c. *Akrosentris*, sentromer terletak pada subterminal atau di dekat ujung kromosom. Satu lengan kromosom sangat pendek dan satu lengan lainnya sangat panjang. Bentuk kromosom lurus atau seperti batang.
- d. *Telosentris*, sentromer terletak pada ujung kromosom. Kromosom hanya memiliki satu lengan saja.

Keempat jenis kromosom tersebut dapat Anda amati pada Gambar 3.10.

Berdasarkan bentuknya, kromosom digolongkan menjadi enam macam, yaitu:

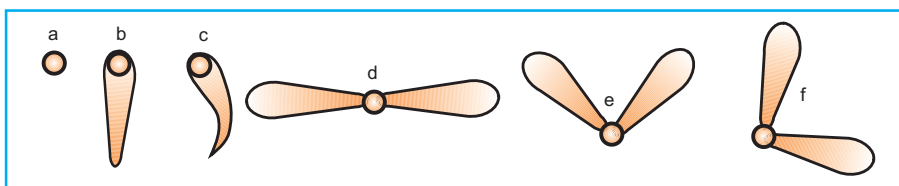
- a. bentuk bulat,
- b. bentuk cerutu,
- c. bentuk koma,
- d. bentuk batang,
- e. bentuk huruf V, dan
- f. bentuk huruf L.

Bentuk-bentuk kromosom dapat Anda cermati pada Gambar 3.11.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 3.10**  
Jenis kromosom

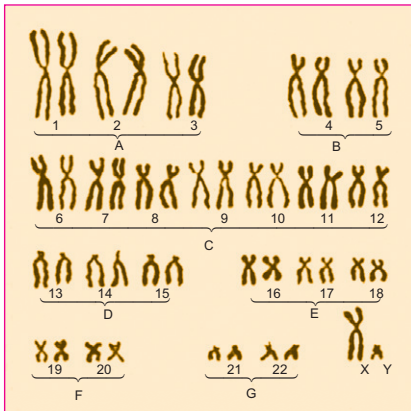


Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 3.11**  
Bentuk kromosom

Pada setiap sel tubuh, kromosom selalu dalam keadaan berpasangan. Kromosom yang berpasangan mempunyai bentuk, ukuran, dan komposisi sama atau hampir sama

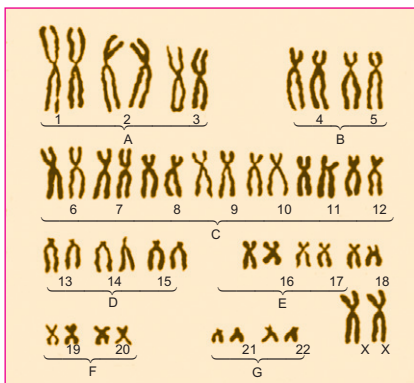
disebut **kromosom homolog** lihat Gambar 3.12. Pada setiap sel tubuh lalat buah terdapat 8 buah kromosom berarti terdapat 4 pasang kromosom homolog. Pada sel tubuh manusia terdapat 46 buah kromosom berarti terdapat 23 pasang kromosom homolog.



Sumber: New Understanding Biology for Advanced Level, Glenn and Susan Toole

**Gambar 3.13**

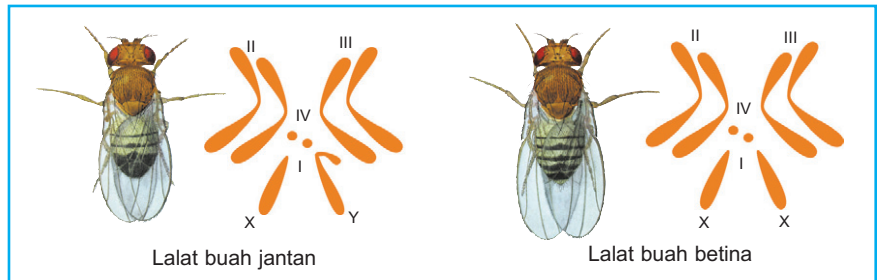
Kariogram laki-laki



Sumber: New Understanding Biology for Advanced Level, Glenn and Susan Toole

**Gambar 3.14**

Kariogram wanita



Sumber: Genetika Manusia, Suryo

**Gambar 3.12**

Bentuk kromosom *Drosophila melanogaster*

Pengaturan kromosom secara standar berdasarkan panjang, jumlah, serta bentuk kromosom sel somatis disebut **kariotipe**. Sementara itu, hasil dari pengaturan kromosom disebut **kariogram**. Kariogram kromosom manusia dapat dilihat pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14.

Jumlah macam kromosom disebut **ploid** atau **set**, **perangkat** atau **genom**. Dalam sel tubuh setiap kromosom terdapat berpasangan, berarti terdiri 2 set sehingga disebut **diploid** ( $2n$ ). Sebaliknya, pada sel gamet satu sel kelamin memiliki kromosom tidak berpasangan, berarti terdapat satu set kromosom sehingga disebut **haploid**.

Kadang-kadang ditemukan individu yang memiliki kromosom lebih dari normal ( $2n$ ). Misalnya, terjadinya sel kanker karena jumlah kromosomnya melebihi dari jumlah normal ( $2n$ ). Apabila jumlah kromosomnya 3 set disebut **triploid** ( $3n$ ). Sementara itu, apabila jumlah kromosomnya 4 set disebut **tetraploid** ( $4n$ ). Apabila jumlah kromosomnya lebih dari 4 set disebut **poliploid**. Mengapa individu normal ( $2n$ ) dapat menjadi triploid ( $3n$ ), tetraploid ( $4n$ ) atau poliploid?

Pada dasarnya kromosom semua organisme mempunyai dua tipe, yaitu autosom dan kromosom kelamin (seks kromosom = gonosom).

- Autosom* merupakan kromosom yang tidak mempunyai hubungan dengan penentuan jenis kelamin.
- Kromosom kelamin* atau *seks kromosom* merupakan sepasang kromosom yang menentukan jenis kelamin. Ada dua macam seks kromosom, yaitu kromosom-X dan kromosom-Y.

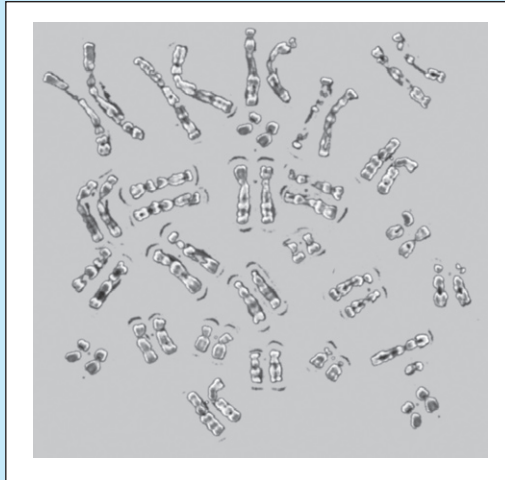
Inti sel lalat buah mengandung 8 buah kromosom, terdiri 6 buah (3 pasang) autosom dan 2 buah (1 pasang) gonosom. Formula kromosom sel tubuh lalat buah jantan yaitu  $3 AA + XY$  ( $6 A + XY$ ), sedangkan formula kromosom sel tubuh lalat buah betina yaitu  $3 AA + XX$  ( $6 A + XX$ ).

Inti sel tubuh manusia mengandung 46 buah kromosom, terdiri atas 44 (22 pasang) autosom dan 2 (1 pasang) kromosom kelamin. Seorang perempuan memiliki 22 pasang autosom

dan 1 pasang kromosom-X sehingga formula kromosom untuk perempuan yaitu  $22AA + XX$  atau ditulis  $44A + XX$  atau  $44,XX$ . Seorang laki-laki memiliki 22 pasang autosom + 1 kromosom-X + 1 kromosom-Y sehingga formula kromosom untuk orang laki-laki yaitu  $22AA + XY$  atau ditulis  $44A + XY$  atau  $44,XY$ .



### Forum Diskusi



Gambar di atas merupakan gambar kromosom manusia yang belum tersusun. Susunlah kromosom-kromosom tersebut sehingga membentuk suatu kariotipe (bila perlu, perbesarlah ukuran gambar tersebut). Tentukanlah jenis kelamin orang tersebut.



### Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Bagaimanakah hubungan antara DNA, gen, dan kromosom dilihat dari letaknya?
2. Gambarkan struktur kromosom dan berilah keterangannya.
3. Gambarkan bentuk kromosom berdasarkan letak sentromernya (metasentris, sub-metasentris, akrosentris, dan telosentris).
4. Apa yang dimaksud kariotipe?
5. Sebutkan jenis kromosom berdasarkan jumlah sentromernya. Jelaskan cirinya.



### Rangkuman

1. DNA dan RNA terdiri atas, gula fosfat dan basa. DNA memiliki gula berupa deoksiribosa sedangkan komponen gula pada RNA berupa D-ribosa (pentosa). Basa nitrogen pada DNA yaitu adenin (A), guanin (G), timin (T), dan sitosin (C). RNA juga memiliki komponen basa yang sama kecuali Timin diganti dengan Urasil(U).
2. DNA berada dalam nukleus yang kadarnya tidak dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein. RNA juga ditemukan dalam nukleus, tetapi lebih banyak ditemukan dalam sitoplasma dan kadarnya dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein.
3. RNA sangat menentukan dalam sintesis protein, karena dapat membentuk mRNA, rRNA dan tRNA sehingga dapat melakukan proses transkripsi dan translasi pada waktu sintesis protein.

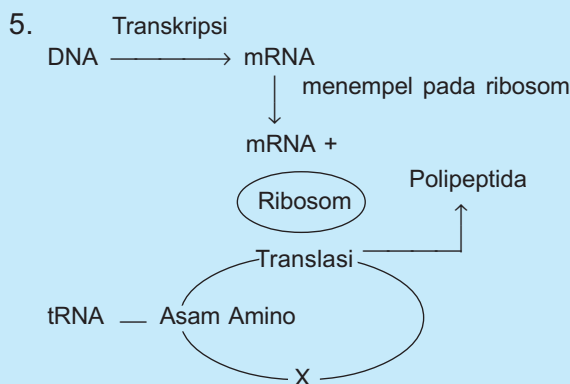
4. DNA, gen dan kromosom memiliki hubungan yang erat. Hal ini karena bagian rantai DNA yang dapat mengkode suatu polipeptida melalui proses transkripsi dan translasi disebut **gen**. Sementara itu, rangkaian DNA membentuk

kromosom. Kromosom memiliki bentuk dan struktur yang berbeda-beda. Setiap jenis organisme memiliki jumlah kromosom yang berbeda-beda.

## Evaluasi

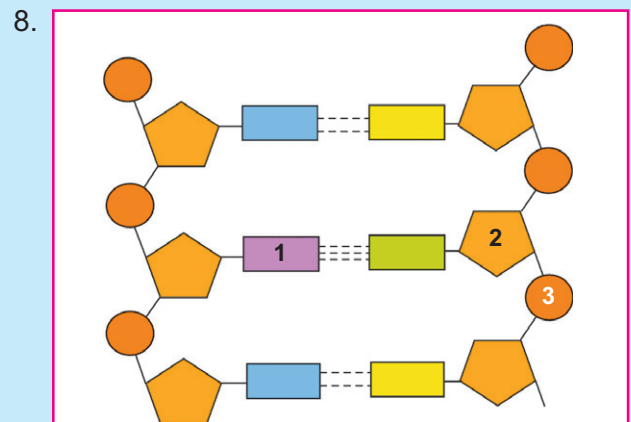
A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.

- Pada struktur "double helix" DNA, kedua basa N berpasangan dengan ikatan . . . .  
a. nitrogen  
b. hidrogen  
c. fosfat  
d. kromosom  
e. gen
- Pasangan basa N adenin pada mRNA yaitu . . . .  
a. urasil (U)  
b. guanin (G)  
c. adenin (A)  
d. sitosin (S)  
e. timin (T)
- Hampir semua sel pada suatu hewan mengandung gen-gen yang sama. Sel-sel tersebut mempunyai struktur dan fungsi yang berbeda karena perbedaan dari sintesis molekul . . . .  
a. tRNA  
b. mRNA  
c. histon  
d. ribosom  
e. rRNA
- Secara garis besar langkah pencetakan protein terjadi melalui 2 tahap yaitu . . . .  
a. replikasi dan sintesis  
b. translasi dan replikasi  
c. transkripsi dan translasi  
d. sintesis dan replikasi  
e. sintesis dan translasi



Dari diagram sintesis protein di atas, yang berlabel X merupakan . . . .

- RNA
  - mRNA
  - rRNA
  - tRNA
  - DNA
- Rantai RNA yang "mencetak" mRNA disebut rantai . . . .  
a. polimerase  
b. antisense  
c. sense  
d. peptida  
e. polipeptida
  - Kodon yang diperlukan untuk mengakhiri sintesis polipeptida yaitu . . . .  
a. AUG  
b. UAG  
c. USG  
d. SGA  
e. AAU



Berdasarkan gambar nukleotida, komponen penyusun nukleotida nomor 1, 2, dan 3 secara berurutan merupakan . . . .

- gula, basa, dan fosfat
  - basa, gula, dan fosfat
  - basa, fosfat, dan gula
  - fosfat, basa, dan gula
  - gula, fosfat, dan basa
- Poli-U yang dimasukkan ke dalam campuran berbagai asam amino akan terbentuk rangkaian . . . .  
a. prolin  
b. tirosin  
c. glisin  
d. lisin  
e. fenilalanin



10. Tiga basa yang mensintesis suatu asam amino pada mRNA disebut . . . .
- singlet
  - dublet
  - triplet
  - kodon
  - redudant

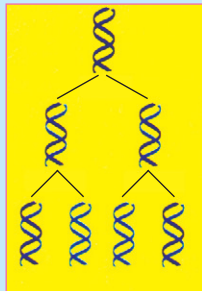
Bacalah pernyataan di bawah ini untuk menjawab soal nomor 11 dan 12.

Di bawah ini beberapa fungsi DNA.

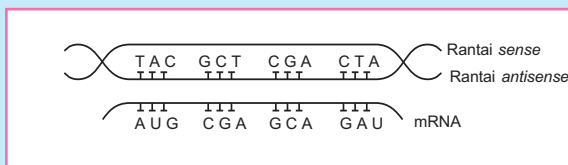
- Membawa informasi genetik.
  - Mengontrol aktivitas sel.
  - Berperan dalam pembentuk RNA.
  - Berperan dalam proses sintesis protein.
  - Melakukan replikasi membentuk DNA baru.
11. DNA yang berfungsi sebagai heterokatalitik terdapat pada . . . .
- 1)
  - 2)
  - 3)
  - 4)
  - 5)
12. Fungsi DNA yang berkaitan dengan penentuan pola hereditas terdapat pada pernyataan . . . .
- 1)
  - 2)
  - 3)
  - 4)
  - 5)
13. DNA dapat menduplikasi diri melalui proses replikasi sehingga DNA berfungsi sebagai . . . .
- heterokatalitik
  - otokatalitik
  - pengontrol aktivitas pembelahan sel
  - pembentuk protein
  - pengendali metabolisme sel

14. Perhatikan gambar di samping. Replikasi tersebut sesuai dengan hipotesis . . . .

- konservatif
- dispersif
- semikonservatif
- semidisersif
- dispersif-konservatif



15. Perhatikan proses transkripsi DNA berikut.



Proses tersebut terjadi dengan bantuan enzim . . . .

- polimerase
- ligase
- nukleotidase
- helikase
- nuklease

Bacalah pernyataan-pernyataan berikut untuk mengerjakan soal nomor 16 dan 17.

- Hanya ditemukan dalam nukleus, yaitu dalam kromosom, mitokondria, dan kloroplas.
- Berupa rantai pendek dan tunggal.
- Terdapat dalam sitoplasma, terutama dalam ribosom dan nukleus.
- Rantai panjang dan ganda.
- Kadarnya tidak dipengaruhi sintesis protein.
- Kadarnya dipengaruhi sintesis protein.

16. Ciri-ciri DNA terdapat pada nomor . . . .
- 1), 2), dan 3)
  - 1), 2), dan 4)
  - 1), 4), dan 5)
  - 2), 3), dan 6)
  - 3), 5), dan 6)

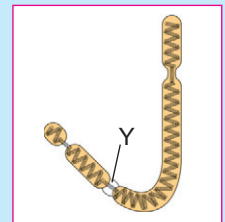
17. Ciri-ciri RNA terdapat pada nomor . . . .
- 1), 2), dan 3)
  - 1), 2), dan 4)
  - 1), 4), dan 5)
  - 2), 3), dan 6)
  - 3), 5), dan 6)

18. Aku adalah bagian basa N pada tRNA yang menerjemahkan kode yang dibawa mRNA. Siapakah aku?

- sense
- antisense
- ribosomal RNA
- antikodon
- kodon

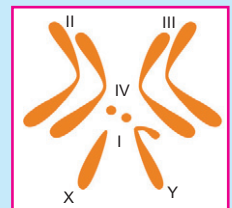
19. Pernyataan yang sesuai dengan bagian gambar yang ditunjuk yaitu . . .

- Telomer: menghalangi perlekatan dengan kromosom lain.
- Satelit: pusat aktivitas kromosom.
- Sentromer: tempat melekatnya spindle.
- Kromonema: bagian kromosom yang tidak mengandung DNA.
- Kromomer: penebalan pada kromonema.



20. Perhatikan gambar kromosom alat buah di samping. Formula kromosom yang benar sesuai gambar tersebut yaitu . . . .

- 3 A + X
- 3 AA + XX
- 3 AA + XY
- 3 XY + AA
- 3 XX + A



B. Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan beberapa pengertian berikut.
  - a. kodon
  - b. struktur "double helix"
  - c. rantai sense
  - d. rantai antisense
2. Jelaskan perbedaan struktur kimia DNA dengan RNA.
3. Sebutkan dan jelaskan 3 hipotesis tentang replikasi DNA.
4. Jelaskan tahap-tahap sintesis protein.
5. Mengapa DNA memiliki kemampuan melakukan transkripsi membentuk mRNA? Jelaskan.

C. Berpikir kritis.

Sekitar tahun 80-an, terjadi peristiwa perebutan bayi yang dikenal dengan "Cipluk dan Dewi". Dua orang tua yang melahirkan di rumah sakit dalam waktu yang bersamaan mengakui bahwa Dewi anak mereka. Siapa sebenarnya orang tua Dewi dan siapa orang tua Cipluk? Sebenarnya kita dapat segera mengetahui kepastian mengenai orang tua mereka yang sebenarnya dengan kemajuan teknologi seperti sekarang. Bagaimana caranya?



## Refleksi

### Substansi Genetika

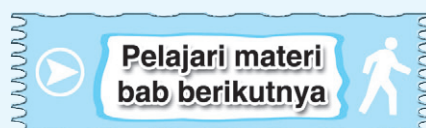
Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apakah DNA dan RNA?
2. Apa perbedaan antara DNA dan RNA itu?
3. Apa hubungan antara DNA, gen, dan kromosom?

Pelajari kembali

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul ≥ 60%



Pelajari materi  
bab berikutnya