

Struktur dan Fungsi DNA dan RNA

Dr. Dadan Rosana, M.Si.



PENDAHULUAN

MAhasiswa super, dalam modul ini kita akan membahas mengenai DNA (*deoxyribonucleic acid*) dan RNA (*Ribonucleic Acid*) yang memegang peranan kunci dalam informasi genetik dan peranan struktural. Kaitannya dengan Kegiatan Belajar 2 sangat jelas karena dimana sandi genetik ditentukan oleh urutan basa pada DNA (atau pada mRNA hasil transkripsinya) dengan urutan asam amino pada suatu protein. Semua bentuk RNA seluler disintesis oleh berbagai polimerase RNA yang menerima perintah dari DNA acuan. Proses transkripsi ini diikuti oleh translasi, yaitu sintesis protein sesuai dengan perintah mRNA acuan. Jadi arus informasi genetik pada sel normal adalah



Ada dua kegiatan belajar dalam modul ini, yaitu; *pertama*, struktur dan fungsi DNA yang akan membahas *mengenai struktur double helix DNA, interaksi DNA dan protein, serta metode penentuan DNA*. *Kedua*, mengenai struktur dan fungsi RNA yang akan membahas *mengenai struktur RNA dan Fungsi RNA*.

Dengan mempelajari modul ini, Anda memiliki kemampuan untuk menganalisis struktur dan fungsi DNA dan RNA. Secara lebih khusus modul ini memberikan kemampuan pada mahasiswa agar dapat:

1. menganalisis struktur double helix DNA;
2. menganalisis interaksi DNA dengan protein;
3. menganalisis metode penentuan DNA;
4. penggunaan Teknologi DNA dalam Ilmu Forensik
5. menganalisis struktur RNA;
6. menganalisis fungsi RNA.

Dalam mempelajari modul ini diharapkan Anda telah memiliki bekal pengetahuan dan pemahaman mengenai beberapa topik dalam ilmu Fisika seperti mekanika, listrik magnet, fluida, dan getaran bunyi.

Selamat belajar, semoga Anda berhasil!

Kegiatan Belajar 1

Struktur dan Fungsi DNA

Deoxyribonucleic acid (DNA) merupakan makromolekul berupa benang sangat panjang yang terbentuk dari sejumlah besar deoksiribonukleotida, yang masing-masing tersusun dari satu basa, satu gula dan satu gugus fosfat. Apabila kita ibaratkan suatu tubuh, maka DNA diibaratkan sebagai otak yang dapat mengatur segala proses di dalam tubuh. Di samping itu, DNA juga mempunyai peran penting dalam pewarisan sifat. DNA merupakan suatu senyawa kimia yang penting pada makhluk hidup. Tugas utamanya membawa materi genetik dari suatu generasi ke generasi berikutnya. DNA juga merupakan senyawa polinukleotida yang membawa sifat-sifat keturunan yang khas pada kromosom.

DNA penting dalam hal hereditas. Paket semua informasi genetik dan dibagikan pada generasi berikutnya. Dasar untuk ini terletak pada kenyataan bahwa DNA membuat gen dan gen membuat kromosom. Manusia memiliki 23 pasang kromosom – total 46 kromosom. Dua puluh dua dari pasangan ini, yang disebut autosom, terlihat sama pada laki-laki dan perempuan. Ke 23 Pasangan disebut kromosom seks dan berbeda antara pria dan wanita. Wanita memiliki dua salinan dari kromosom X atau XX, sedangkan pria memiliki satu X dan satu kromosom Y.

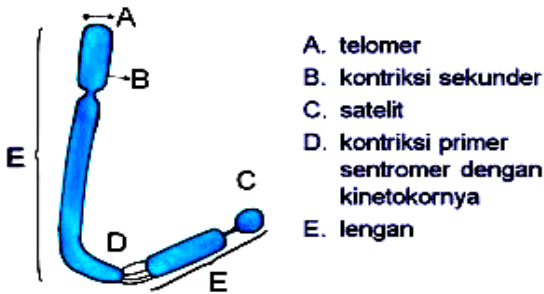
Kedua orang tua memiliki sel reproduksi – sperma di dalam ayah dan ovum atau telur pada ibu. Sperma dan telur mengandung setengah jumlah kromosom – 23 masing-masing. Ketika telur dan sperma membuahi, ini menimbulkan sebuah sel yang memiliki set lengkap. Jadi seseorang mewarisi setengahnya gen dari masing-masing orang tua.

Istilah kromosom dipopulerkan oleh Waldeyer (1888), asal katanya: chroma yang berarti warna dan soma yang berarti badan. Jadi, kromosom adalah benda-benda halus berbentuk lurus seperti batang atau bengkok dan terdiri dari zat yang mudah mengikat zat warna di dalam nukleus. Kromosom berfungsi membawa sifat individu dan membawa informasi genetik karena di dalam kromosom terdapat gen.

Bentuk kromosom berbeda-beda, tergantung pada species, namun bentuk kromosom tetap untuk setiap spesies $m\mu = 0,2-20\mu\text{m}$, μ Ukuran: $p = 0,2-50$

Lengan berjumlah satu atau dua; sama panjang atau tidak sama panjang; bentuk simetris atau tidak simetris.

Bagian-bagian Kromosom terdiri dari; (1) Kromomer adalah struktur berbentuk manik-manik yang merupakan akumulasi materi kromatin, (2) Sentromer adalah daerah lekukan (kontriksi) disekitar daerah pertengahan kromosom, dimana juga dijumpai kinetokor, (3) Kinetokor adalah daerah tempat perlekatan benang-benang spindel dan tempat melekatnya lengan kromosom, (4) Telomer adalah daerah terujung kromosom fungsinya menjaga stabilitas bagian ujung kromosom agar DNA tidak terurai. Satelit adalah bagian kromosom yang berbentuk bulatan dan terletak di ujung lengan kromatid

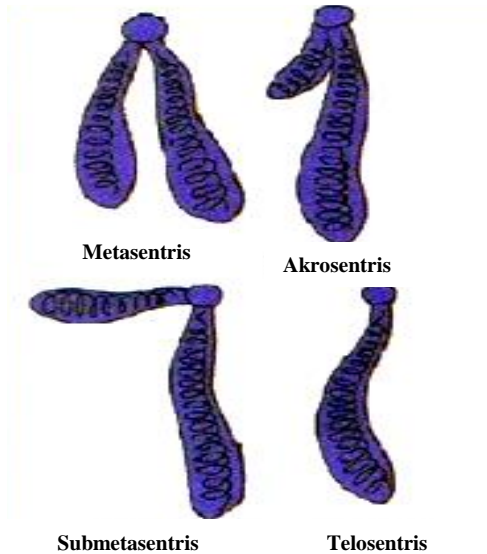


Gambar 3.1. Kromosom

Berdasarkan letak sentromer dan lengan, bentuk kromosom dibedakan menjadi empat macam; (1) Bentuk telosentrik, yaitu jika letak sentromer berada di ujung, (2) Bentuk akrosentrik, yaitu letak sentromer mendekati ujung, (3) Bentuk submetasentrik, yaitu jika letak sentromer agak jauh dari ujung kromosom dan biasanya membentuk huruf L atau J (4) Bentuk metasentrik, yaitu jika letak sentromer berada di tengah sehingga panjang masing-masing lengan sama.

Istilah lain yang erat kaitannya dengan pembahasan DNA adalah gen. Menurut Morgan, gen adalah suatu zarah yang kompak dan menempati suatu lokus pada kromosom yang mengandung satuan informasi genetika dan mengatur sifat menurun tertentu. Fungsi dari gen adalah untuk; (1) mengatur pertumbuhan/ perkembangan dan metabolisme individu, dan (2) menyampaikan informasi genetik dari generasi ke generasi berikutnya.

Sedangkan tempat gen dalam kromosom yang homolog (kromosom berada dalam pasangan) disebut lokus. Secara kimia gen dibangun oleh DNA



Gambar 3.2. Bentuk-bentuk kromosom berdasarkan letak sentromer

DNA pertama kali ditemukan oleh **F. Miescher** (1869) dari sel spermatozoa dan sel eritrosit burung, selanjutnya dinamakan sebagai *nuklein*. Penemuan lain dilakukan oleh **Fischer** (1880), yaitu tentang adanya zat pirimidin (yang berupa Sitosin dan Timin) dan dua purin (Adenin dan guanin). Setelah penemuan tersebut, dilengkapi pula dengan penemuan **Levine** (1910) tentang gula 5 karbon ribosa, gula deoksiribosa, dan asam fosfat dalam inti. Keberadaan DNA tersebut sebagian besar di dalam nukleus (inti sel). Tetapi ada juga yang terdapat pada mitokondria.

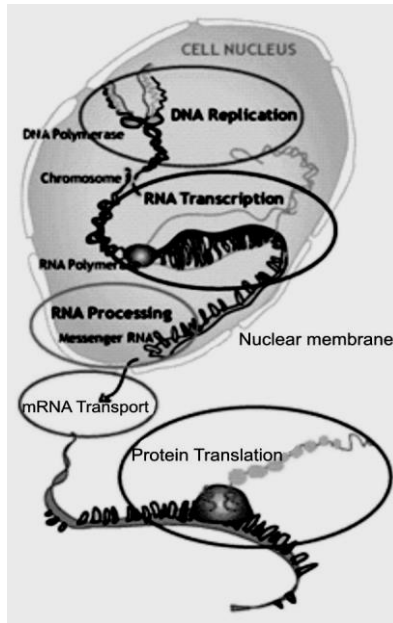
Pada tahun 1953, Frances Crick dan James Watson menemukan model molekul DNA sebagai suatu struktur heliks beruntai ganda, atau yang lebih dikenal dengan heliks ganda Watson-Crick. DNA merupakan makromolekul polinukleotida yang tersusun atas polimer nukleotida yang berulang-ulang, tersusun rangkap, membentuk DNA heliks ganda dan berpilin ke kanan. Setiap nukleotida terdiri dari tiga gugus molekul, yaitu; (1) gula 5 karbon (2-

deoksiribosa), (2) basa nitrogen yang terdiri golongan purin yaitu adenin (Adenin = A) dan guanin (guanini = G), serta golongan pirimidin, yaitu sitosin (cytosine = C) dan timin (thymine = T), dan (3) gugus fosfat

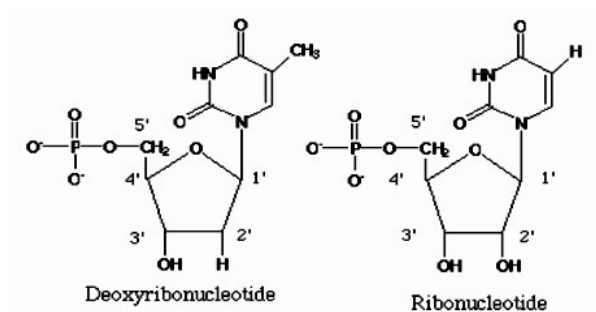
Basa pada molekul DNA membawa informasi genetik, sedangkan gula dan gugus fosfat mempunyai peranan struktural. Gula dalam deoksiribonukleotida merupakan deoksiribosa. Awalan deoksi menunjukkan bahwa gula ini kekurangan satu atom oksigen yang ada pada ribosa, senyawa induknya. Basa nitrogen merupakan derivat *purin* dan *pirimidin*. Purin dalam DNA adalah *adenin* (A) dan *Guanin* (G), serta pirimidinnya adalah *timin* (T) dan *sitosin* (C).

Sebuah nukleosida terdiri dari basa dan purin atau pirimidin yang berikatan dengan gula. Keempat unit nukletida dalam DNA disebut *deoksiadenosin*, *deoksiguanosin*, *deoksitimidin*, dan *deoksitidin*. Dalam sebuah deoksiribonukleosida, N-9 dalam purin atau N-1 dalam pirimidin terikat pada C-1 *deoksiribosa*. Konfigurasi ikatan *N-glikosida* ini adalah ikatan β (biasanya terletak di atas bidang gulanya). Suatu nukleotida merupakan sebuah ester fosfat dari suatu ester fosfat dari suatu nukleosida. Tempat esterifikasi yang paling umum dalam nukleotida yang terdapat di alam secara alamiah adalah gugus hidroksil C-5 pada gula. Senyawa seperti itu disebut nukleosida 5-fosfat atau *5-nukleotida*. Misalnya, *deoksiadenosin 5'-trifosfat (dATP)* merupakan prekursor yang diaktifkan pada sintesis DNA; nukleotida itu diaktifkan kalau ada dua ikatan *fosfoanhidrida* dalam unit *trifosfatnya*. Bilangan dengan tanda menunjukkan atom pada gula, sedangkan bilangan tanpa tanda menunjukkan bahwa gulanya berupa deoksiribosa untuk membedakan senyawa ini dari ATP gula dalam bentuk ribosa.

Tulang punggung DNA, yang bersifat tetap di sepanjang molekul, terdiri dari deoksiribosa yang berikatan dengan gugus-gugus fosfat. Khususnya 3'-hidroksil pada bagian gula sebuah deoksiribonukleotida disambungkan pada 5'-hidroksil gula yang berdekatan melalui jembatan fosfodiester. Bagian yang bervariasi pada DNA adalah urutan keempat macam basa (A, G, C dan T). Unit-unit nukleotida tersebut dinamakan *dioksidenilat*, *deoksiguaniilat*, *deoksisisidilat*, dan *deoksitimidilat*.



Gambar 3.3a. Mekanisme kerja DNA.



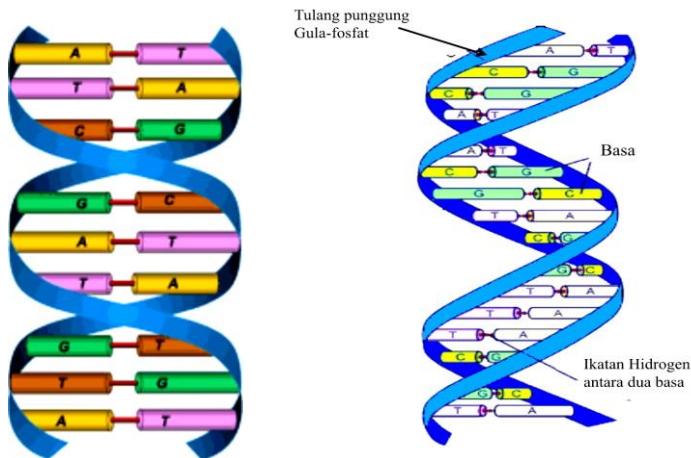
Gambar 3.13b. Perbedaan antara Deoxyribonucleotide dan Ribonucleotide.

A. STRUKTUR DOUBLE HELIX DNA

Friederich Miescher untuk pertama kali memisahkan DNA dari inti sel dalam tahun 1896 dan menamakan zat yang baru ditemukan itu "*nuklein*", suatu awal dari istilah asam nukleat. Walaupun DNA secara luas dipelajari

selama tahun-tahun berikutnya, namun peranan biologiknya sebagai pembawa informasi genetik tetap tidak jelas hingga selama masa akhir tahun 1940-an ketika Avery dan kawan-kawan menunjukkan bahwa DNA yang dimurnikan dapat memindahkan khasiat keturunan dari suatu turunan bakteri ke yang lain. Pada tahun 1953, penelitian kristalografik dengan sinar-X oleh James Watson dan Francis Crick mengungkapkan struktur tiga dimensi DNA dan segera menyimpulkan replikasinya. Pencapaian yang menakjubkan ini merupakan salah satu yang paling berarti dalam sejarah biologi karena membuka jalan untuk pemahaman tentang fungsi gen pada tingkat molekuler. Watson & Crick melakukan analisis gambaran difraksi sinar-X serat-serat DNA yang dibuat oleh Rosalind Franklin dan Maurice Wilkins dan menetapkan satu model struktural yang pada dasarnya terbukti benar. Ciri-ciri penting model DNA mereka adalah:

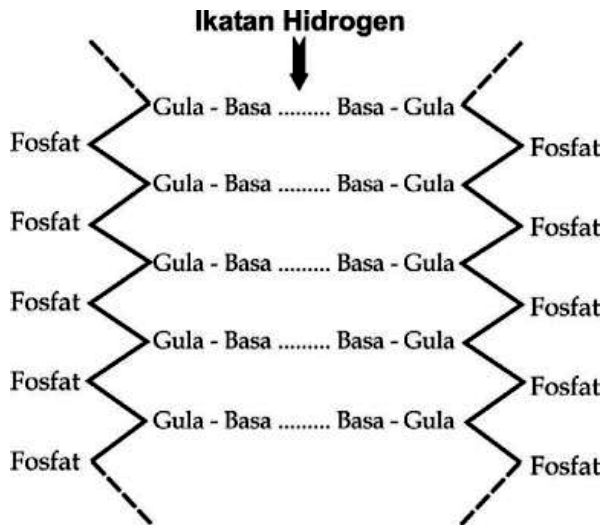
1. Dua rantai heliks polinukleotida melingkar mengelilingi satu sumbu. Kedua rantai memiliki arah yang berlawanan (Gambar 3.4).



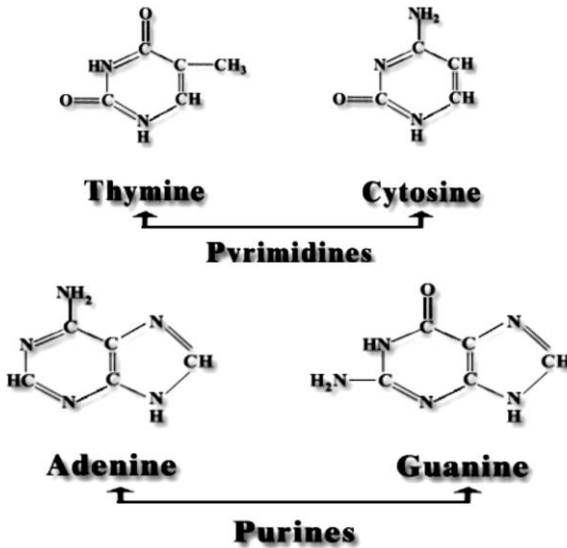
Gambar 3.4. Konfigurasi menyeluruh dari heliks rangkap DNA. Perhatikan bahwa kedua untai adalah komplementer dan anti-paralel. Ikatan Hidrogen antara dua basa

2. Basa purin dan pirimidin terdapat di bagian dalam heliks, sedangkan unit-unit fosfat dan deoksiribosa terdapat di bagian luar. Bidang-bidang basa tegak lurus terhadap sumbu heliks. Bidang-bidang gula hampir tegak lurus terhadap bidang basa.

3. Diameter heliks adalah 20 Å. Jarak antara basa yang bersebelahan ialah 3,4 Å pada poros heliks dengan sudut rotasi sebesar 36°. dengan demikian, putaran heliks berulang setelah 10 residu pada setiap rantai, yaitu pada interval 3,4 Å.
4. Kedua rantai saling berhubungan melalui ikatan hidrogen antara pasangan-pasangan basa. Adenin selalu berpasangan dengan timin; guanin selalu berpasangan dengan sitosin.
5. Urutan basa sepanjang rantai polinukleotida tidak dibatasi dengan cara apapun. *Urutan yang tepat basa-basa itu mengandung informasi genetik.*



Gambar 3.5a

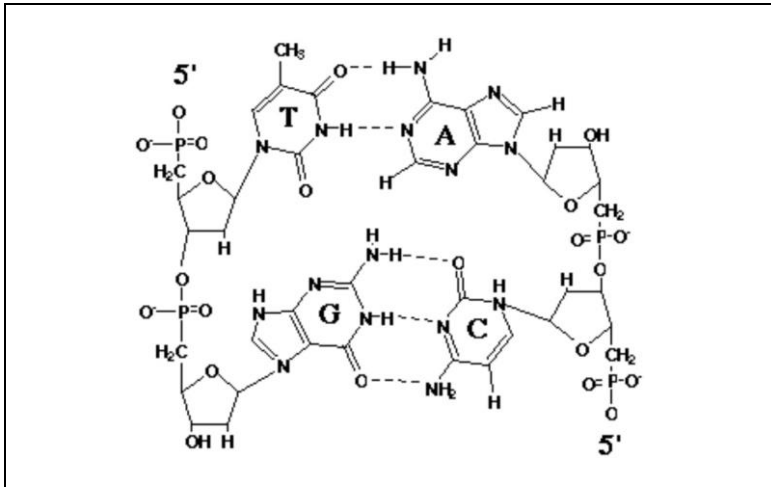


Gambar 3.5.b

Gambar 3.3 Ikatan hidrogen antara dua basa.

Aspek yang paling penting pada DNA heliks ganda adalah pasangan basa yang spesifik. Watson dan Crick menyimpulkan bahwa adenin harus berpasangan dengan timin, dan guanin dengan sitosisin, karena faktor-faktor sterik ikatan hidrogen. Pembatasan sterik ini disebabkan oleh sifat heliks tulang punggung gula fosfat yang teratur pada setiap rantai polinukleotida. Ikatan-ikatan glikosidik antara gula dan basa yang berpasangan berjarak kira-kira 10,8 Å. Pasangan basa purin-pirimidin sesuai benar dalam ruangan itu. Sebaliknya disitu tidak terdapat cukup ruangan untuk dua purin. Terdapat ruangan lebih dari cukup untuk dua pirimidin, tetapi keduanya akan terlalu jauh terpisah untuk memberikan ikatan hidrogen. Karena itu satu anggota pasangan basa dalam suatu heliks DNA harus selalu berupa purin dan yang lain berupa pirimidin, karena faktor-faktor sterik. Pasangan basa ini lebih jauh dibatasi oleh kebutuhan pengikatan hidrogen. Atom-atom hidrogen dalam basa purin dan pirimidin mempunyai posisi yang sudah tertentu. Adenin tidak dapat berpasangan dengan sitosin karena akan terdapat dua hidrogen di dekat salah satu tempat pengikatan dan tidak ada hidrogen di

tempat yang lainnya. Demikian pula guanin tidak berpasangan dengan timin. Sebaliknya adenin membentuk dua ikatan hidrogen dengan timin, sedangkan guanin membentuk tiga ikatan hidrogen dengan sitosin. Daya tarik antara kedua pasangan basa paling kuat pada orientasi dan jarak ikatan hidrogen ini.



Gambar 3.6. Model molekul DNA heliks ganda yang memperlihatkan tiga pasangan basa. Perhatikan bahwa arah kedua untai berlawanan. DNA bentuk B, heliks ganda klasik Watson-Crick, digambarkan disini. Dalam bentuk ini, bidang basa-basa tersebut tegak lurus terhadap sumbu heliks.

Skema pasangan basa ini sangat didukung oleh hasil kajian terdahulu tentang komposisi basa DNA pada berbagai species. Pada tahun 1950, Erwin Chargaff menemukan bahwa rasio *adenin terhadap timin dan guanin terhadap sitosin mendekati 1,0 pada semua species yang diamati*. Arti penemuan ini baru menjadi nyata pada waktu Watson-Crick dikemukakan. Baru pada waktu itu dapat dilihat bahwa penemuan-penemuan di atas mencerminkan segi esensial struktur dan fungsi DNA species pasangan basa. Struktur DNA heliks ganda yang diperlihatkan pada Gambar 3.3 adalah DNA bentuk B (*B-DNA*).

Model heliks ganda segera menyarankan metode replikasi DNA. Watson & Crick mengemukakan hipotesis sebulan setelah mereka menyajikan model struktural DNA dalam risalah sederhana dan mudah dimengerti sebagai berikut.

Bila susunan basa yang sebenarnya pada salah satu rantai diketahui, dapat dituliskan dengan tepat susunan basa pada rantai pasangannya karena pembentukan pasangan adalah spesifik. Jadi, satu rantai merupakan komplemen rantai yang lain, dan inilah gambaran yang menunjukkan bagaimana molekul asam deoksiribonukleat dapat melakukan duplikasi.

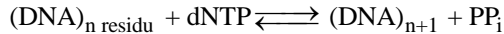
Bahasan-bahasan terdahulu mengenai duplikasi diri biasanya mengemukakan konsep cetakan. Baik salah satu cetakan dianggap menyalin dirinya secara langsung atau cetakan itu menghasilkan suatu cetakan "negatif" yang akan menjadi cetakan untuk menghasilkan "positif" yang asli lagi. Sama sekali tidak dijelaskan secara rinci bagaimana itu kiranya terjadi dipandang dari segi atom dan molekul.

Kini kita pelajari model untuk asam deoksiribonukleat, yang pada hakikatnya, merupakan sepasang cetakan, yang saling komplementer. Kita bayangkan bahwa sebelum duplikasi ikatan-ikatan hidrogen terputus, dan kedua rantai membuka dan berpisah. Kemudian masing-masing rantai berperan sebagai cetakan untuk pembentukan rantai pasangan yang baru bagi dirinya sendiri sehingga akhirnya di dapat dua pasangan rantai, yang sebelumnya hanya ada satu pasang rantai. Selain itu, urutan-urutan pasangan basa tersebut akan di duplikasi secara tepat.

B. INTERAKSI DNA DAN PROTEIN

Kita sekarang beralih ke mekanisme molekuler replikasi DNA. Di tahun 1958, Arthur Kornberg dan rekan-rekannya mengisolasi suatu enzim dari *E. Coli* yang mengkatalisis sintesis DNA. Mereka menamakan enzim tersebut DNA polimerase; yang sekarang disebut DNA polimerase I karena kemudian ditemukan DNA polimerase yang lain. Pada replikasi DNA terjadi interaksi yang rumit dan terkoordinasi lebih dari 20 macam protein. Kita sekarang memusatkan perhatian pada DNA polimerase I untuk menjelaskan beberapa prinsip yang baru.

DNA polimerase I merupakan rantai polipeptida tunggal 103-kd, yang mengkatalisis penambahan-penambahan unit-unit deoksiribonukleotida selangkah demi selangkah menjadi sebuah rantai DNA

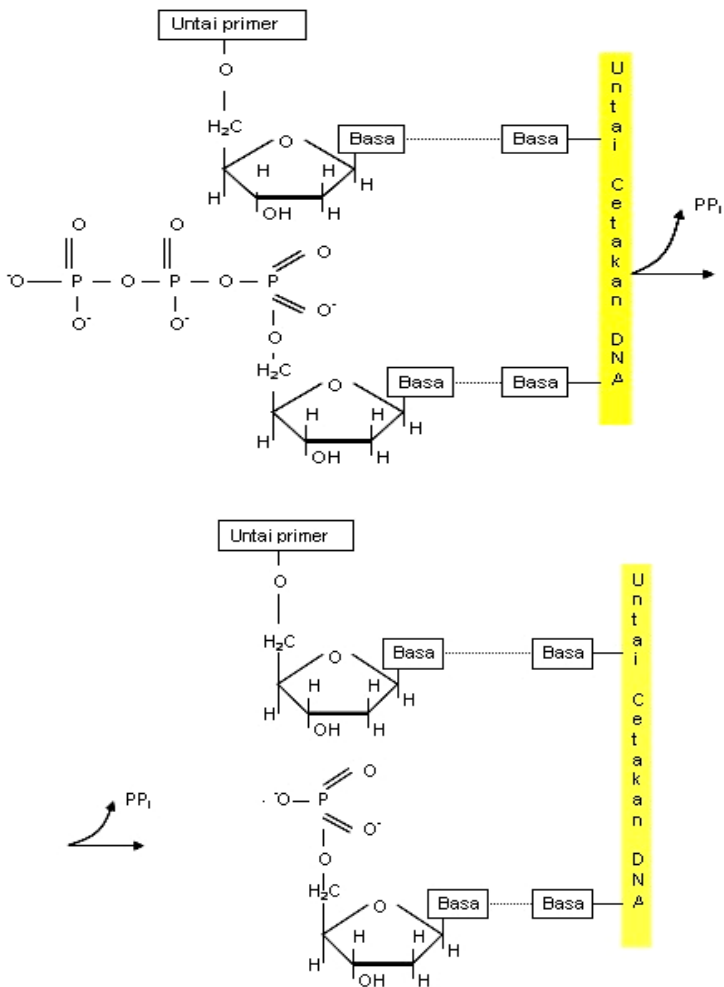


(Singkatan dNTP menunjukkan deoksiribonukleotida trifosfat, dan PP_i menunjukkan gugus pirofosfat). DNA polimerase I memerlukan komponen-komponen berikut untuk mensintesis sebuah rantai DNA:

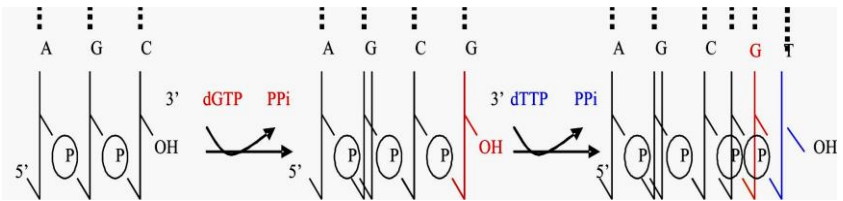
1. Harus ada keempat prekursor yang telah diaktifkan-deoksiribonukleosida 5'-trifosfat dATP, dGTP, dTTP dan dCTP. Ion Mg²⁺ juga diperlukan.
2. DNA polimerase I menambahkan deoksiribonukleosida ke ujung 3'-hidroksil pada rantai DNA yang sudah ada. Dengan kata lain, diperlukan suatu rantai pemula dengan sebuah gugus 3'-OH bebas.
3. Sebuah cetakan DNA adalah esensial. Cetakan dapat berupa untai DNA tunggal atau ganda. DNA untai ganda merupakan cetakan yang efektif hanya bila tulang punggung gula fosfat diputus pada satu atau dua tempat (Gambar 3. 4).

Reaksi perpanjangan rantai yang dikatalisis oleh DNA polimerase merupakan suatu serangan nukleofilik ujung 3'-OH *pada untai pemula (primer) terhadap atom fosfor paling dalam dari deoksiribonukleosida trifosfat*. Sebuah jembatan *fosfodiester* terbentuk dan secara bersamaan *pirofosfat* dilepaskan. Selanjutnya hidrolisis pirofosfat oleh pirofosfatase anorganik, yaitu enzim yang tersebar luas, mendorong terlaksananya polimerasi. *Perpanjangan rantai DNA berlangsung arah 5 → 3'* (Gambar 3.7).

DNA polimerase mengkatalisis pembentukan ikatan fosfodiester hanya bila basa pada nukleotida yang masuk merupakan komplementer terhadap basa pada untai cetakan. Kemungkinan untuk membentuk ikatan kovalen sangat rendah kecuali bila basa yang masuk membentuk tipe pasangan basa Watson-Crick dengan basa pada untai cetakan.



Gambar 3.7. Reaksi pemanjangan rantai yang dikatalisis oleh DNA polimerase.

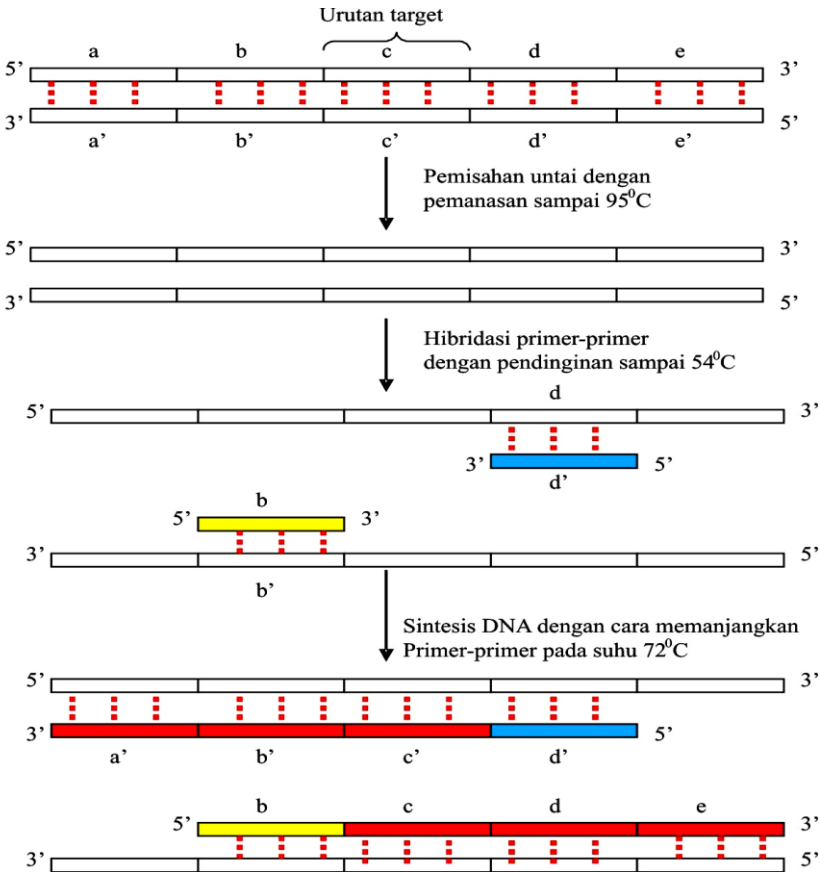


Gambar 3.8. DNA polimerase mengkatalisis elongasi rantai DNA arah 5' \pm 3'.

Jadi DNA polimerase merupakan enzim yang diarahkan oleh cetakan (*template-directed enzyme*). Enzim tersebut mendapat petunjuk dari cetakan dan mensintesis suatu produk dengan urutan basa yang komplementer terhadap urutan basa pada cetakan. Memang, DNA polimerase I merupakan enzim yang diarahkan oleh cetakan pertama yang ditemukan. Sifat mencolok lainnya DNA polimerase I lainnya adalah bahwa enzim tersebut memperbaiki kesalahan-kesalahan dalam DNA dengan cara mengeluarkan nukleotida yang salah. Sifat-sifat DNA polimerase I ini turut menyebabkan ketepatan replikasi DNA tinggi sekali, kesalahan rata-ratanya kurang dari 10^{-8} per pasangan basa.

C. METODE PENENTUAN STRUKTUR DNA

Metode penentuan struktur DNA dapat dilakukan dengan menggunakan kristalografi sinar-X seperti halnya pada saat menentukan struktur protein pada Modul 2. Pada tahun 1984, Kary Mullis menemukan suatu metode yang hebat untuk memperbanyak urutan-urutan DNA yang spesifik. Metode ini disebut reaksi rantai polimerase (PCR, *polymerase chain reaction*). Andaikan suatu dupleks DNA mengandung daerah *ABCDE*. Jutaan salinan dari *C* (sasaran) mudah diperoleh dengan PCR, jika urutan *B* dan *D* (urutan-urutan pengapit) diketahui. Marilah kita tandai satu untai dari dupleks ini dengan *a-b-c-d-e* dan untai komplementernya dengan *a'-b'-c'-d'-e'*. PCR dilaksanakan dengan menambahkan komponen-komponen berikut kepada larutan yang mengandung urutan sasaran: (1) sepasang pemula, *b* dan *d'*, (2) keempat deoksiribonukleosida trifosfat (dNTP), dan (3) suatu polimerase DNA yang tahan panas. Satu siklus PCR terdiri dari tiga tahap (Gambar 3.9).



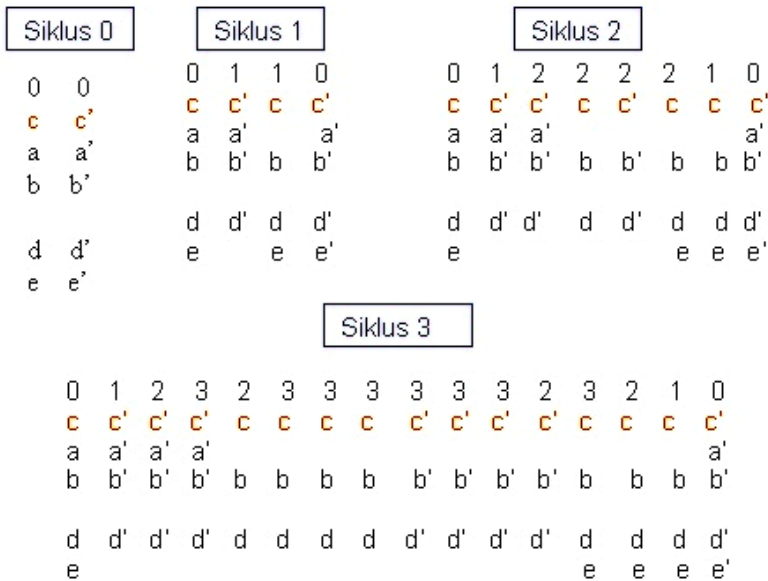
Gambar 3.9. Reaksi rantai polimerase (PCR). Siklus terdiri dari 3 tahap: pemisahan untai, hibridasi primer-primernya, dan pemanjangan primer-primernya melalui sintesis DNA. Reaksi dilakukan dalam bejana tertutup. Siklus didorong oleh perubahan suhu. Urutan-urutan pada 1 untai DNA awal ditandai dengan abcde dan urutan untai komplementernya dengan a'b'c'd'e'. Primer b diperlihatkan dengan warna kuning dan primer d' dengan warna biru; DNA baru berwarna merah.

1. Pemisahan untai. Kedua untai molekul DNA induk dipisahkan dengan cara memanaskan larutan pada suhu 95°C selama 15 detik.
2. Hibridasi pemula. Larutan kemudian didinginkan dengan tiba-tiba sampai mencapai suhu 54°C , agar setiap pemula dapat membentuk hibrid dengan seuntai DNA. Pemula b membentuk hibrida dengan b'

pada satu untai, dan pemula d' membentuk hibrida dengan d pada untai komplementernya. Karena jumlah pemula sangat berlebihan, dupleks-dupleks DNA induk tidak dibentuk. Pemula memiliki panjang yang khas, yaitu 20 sampai 30 nukleotida.

3. Sintesis DNA. Larutan kemudian dipanaskan sampai mencapai suhu 72°C, suhu optimum untuk polimerase DNA *Taq*. Polimerase yang tahan panas ini berasal dari *thermus aquaticus*, suatu bakteri termofil. Perpanjangan kedua pemula terjadi ke arah urutan sasaran karena ujung 3' pemula d' berhadapan dengan c, dan ujung 3' pemula b berhadapan dengan c'. Polimerasi dibiarkan berlangsung 30 detik. Satu untai DNA baru adalah *b-c-d-e* dan yang lainnya adalah *a'-b'-c'-d'*. dengan demikian kedua untai sasaran direplikasi.

Ketiga tahap ini -*pemisahan untai, hibridasi pemula, dan sintesis DNA*- dapat dilakukan dengan berulang-ulang hanya dengan mengubah suhu campuran reaksi tersebut. Termostabilitas polimerase memungkinkan PCR dilakukan dalam suatu wadah tertutup; tidak ada pereaksi yang ditambahkan setelah siklus pertama. Ciri kunci PCR adalah bahwa semua untai DNA baru bertindak sebagai acuan pada siklus berikutnya. Secara spesifik, *b-c-d-e* yang dibentuk pada siklus pertama bertindak sebagai acuan untuk sintesis *b'-c'-d'* pada siklus ke-2 dan siklus-siklus berikutnya. Demikian juga, *a'-b'-c'-d'* bertindak sebagai acuan untuk sintesis *b-c-d*. Pada akhir siklus ke-3, setengah jumlah total untai DNA merupakan unit *b-c-d* dan *b'-c'-d'*. Jumlah DNA *ini yang terdiri dari sasaran target yang diapit oleh pemula pemula bertambah secara eksponensial pada siklus-siklus berikutnya. Sedangkan urutan-urutan DNA lainnya dalam campuran tersebut hanya bertambah secara linier.* Karenanya setelah beberapa siklus, hampir semua DNA adalah BCD. Secara ideal, setelah n siklus, urutan ini diperbanyak 2^n kali. Dalam waktu kurang dari 1 jam, dapat dihasilkan perbanyakkan sejuta kali setelah 20 siklus, dan semilyar kali setelah 30 siklus.



Gambar 3.10. Produk 3 siklus reaksi rantai polimerase. Penambahan primer-primer b dan d' menghasilkan perbanyakkan urutan target c dan komplemennya c' (keduanya berwarna kuning) secara eksponensial. Angka-angka menunjukkan siklus dimana urutan tersebut dihasilkan.

Ada beberapa segi yang perlu diperhatikan dari metode perbanyakkan DNA yang luar biasa ini. *Pertama*, urutan C sasaran tidak perlu diketahui. Yang perlu diketahui hanya urutan-urutan pengapit B dan D. *Kedua*, sasaran bisa berukuran jauh lebih besar dari pemula. Dengan PCR telah dapat diperbanyak sasaran besar seukuran 10 kb. *Ketiga*, untuk memperbanyak DNA pemula tidak perlu merupakan komplemen yang sempurna dari urutan-urutan pengapit. Bila diketahui urutan suatu gen dimungkinkan untuk mencari variasi-variasi gen. Dengan PCR, ditemukan kelompok gen-gen sejenis. *Keempat*, PCR sangatlah spesifik karena hibridasi pada suhu tinggi. Yang diperbanyak hanyalah DNA yang terletak diantara pemula-pemula yang telah mengalami hibridasi. Suatu gen yang kandungan DNA-nya kurang dari sepersejuta DNA total, dapat diperoleh dengan menggunakan PCR. *Kelima*, PCR sangat sensitif. *Satu molekul DNA saja sudah dapat diperbanyak dan dideteksi*.

PCR merupakan teknik yang sangat ampuh dalam diagnosis kedokteran, forensik, dan evolusi molekuler. Dengan penggunaan PCR, pembuatan klon dan penentuan urutan DNA menjadi jauh lebih sederhana. Selain itu, teknik yang inovatif ini telah sangat memperluas ruang lingkup dan meningkatkan teknologi rekomendasi DNA. PCR dapat memberikan informasi diagnostik yang berguna bagi kedokteran. Bakteri dan virus dapat dideteksi dengan menggunakan pemula spesifik. Contohnya, PCR dapat mengungkapkan adanya virus imunodefisiensi manusia-1 (HIV-1) pada individu yang tidak menunjukkan respons imun terhadap patogen ini, sehingga tak terdeteksi pada uji antibodi. Menemukan kuman *Mycobacterium tuberculosis* pada spesimen jaringan memerlukan waktu dan sulit. Namun dengan PCR, 10 kuman tuberkulosis diantara sejuta sel manusia dapat diketahui dengan mudah. PCR juga merupakan metode yang menjanjikan untuk deteksi dini kanker tertentu. Mutasi gen-gen pengendali pertumbuhan tertentu, seperti gen RAS, dapat diidentifikasi dengan PCR. Kemampuan yang besar untuk memperbanyak daerah DNA tertentu dapat menjadi sangat penting untuk memantau kemoterapi kanker. Idealnya, pengobatan harus dihentikan saat sel-sel kanker telah dihilangkan, dan segera dimulai kembali jika kambuh lagi. PCR ideal untuk mendeteksi leukemia-leukemia yang disebabkan oleh penyusunan kembali kromosom.

PCR juga penting sekali di bidang kedokteran kehakiman dan forensik. Profil DNA suatu individu sangat khas, karena banyak lokus genetik yang sangat bervariasi dalam suatu populasi. Contohnya organ-organ yang ditransplantasi ditolak jika jenis HLA (jenis antigen leukosit manusia) donor dan resepien tidak cocok. Dalam kasus paternitas dan imigrasi, amplifikasi gen-gen multipel dengan PCR dipakai untuk menentukan asal-usul biologis. Analisis noda darah dan sampel semen dengan PCR sangat membantu pada kasus pemerkosaan dan penganiayaan. Di tempat kejadian sering ditemukan rambut. Akar selembur rambut mengandung cukup DNA untuk penentuan dengan menggunakan PCR.

Selain itu, dengan memperbanyak peninggalan fragmen-fragmen yang langka, PCR memungkinkan rekonstruksi DNA dari sampel-sampel purba. Baru-baru ini, bagian-bagian dari beberapa gen yang berasal dari mumi Mesir berumur 2400 tahun serta peninggalan-peninggalan arkeologis berumur 7500 tahun telah dapat dibaca dengan PCR. Jenis-jenis HLA manusia purba memberikan gambaran sepintas mengenai dinamika populasi dalam lingkungannya. Sejauh ini, DNA tertua yang telah dianalisis berasal dari

rayap yang terpendam dalam batu akik kuning. DNA sampel ini berumur 25-30 juta tahun. Urutan gen RNA ribosom fosil rayap, yang berasal dari jaman Meosin ini memperlihatkan evolusi rayap dan kecoa. DNA tanaman-tanaman purba juga telah mengungkap banyak informasi. Suatu gen kloroplas yang penting dari fosil Magnolia dari zaman yang sama telah digali kembali. Arkeologi dan *palaontologi* molekuler telah mulai dihidupkan. PCR menceritakan hikayat peninggalan-peninggalan purba yang telah banyak mengungkap sejarah.

D. PENGGUNAAN TEKNOLOGI DNA DALAM ILMU FORENSIK

Ilmu forensik melibatkan penggunaan prosedur ilmiah untuk mengumpulkan bukti terkait dengan masalah hukum. Sel-sel dari semua organisme mengandung asam deoksiribonukleat (DNA), dan DNA dari salah satu organisme adalah unik. Ilmuwan forensik telah belajar untuk mengumpulkan dan menganalisis DNA untuk membantu menentukan organisme – manusia serta jenis lain – yang hadir di tempat kejadian kejahatan atau bencana. DNA dapat digunakan untuk mencapai sejumlah tujuan khusus dalam penyelidikan forensik.

1. Mengidentifikasi Orang Individu

Karena urutan DNA setiap orang adalah unik, dapat dicocokkan padanya seperti sidik jari. Menurut Oak Ridge National Laboratory pemerintah AS, ilmuwan forensik menggunakan bukti DNA untuk mengidentifikasi orang dalam kasus pidana dan paternitas. Bukti DNA tidak selalu mengidentifikasi tersangka atau pria sebagai ayah dari seorang anak, kadang-kadang bukti forensik exonerates tersangka atau menentukan bahwa manusia bukanlah ayah dari seorang anak. Bukti DNA juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi korban bencana, seperti bencana alam atau serangan teroris.

2. Mengidentifikasi Spesies Hewan

Ada hukum yang mengatur konservasi dan perburuan spesies yang terancam punah. Jika seseorang diduga secara ilegal menangkap dan mengangkut spesies yang terancam punah, ilmuwan forensik dapat menggunakan analisis DNA untuk mengkonfirmasi atau menyingkirkan apakah spesimen hewan tersebut sebenarnya milik spesies yang dilindungi.

Sehelai rambut sedikit atau bahkan sel-sel kulit dari hewan tersebut akan cukup untuk menghasilkan hasil tes yang akurat, sehingga transporter hewan yang dicurigai atau pemburu tidak perlu ditangkap dengan binatang yang sebenarnya.

3. Aplikasi Lainnya

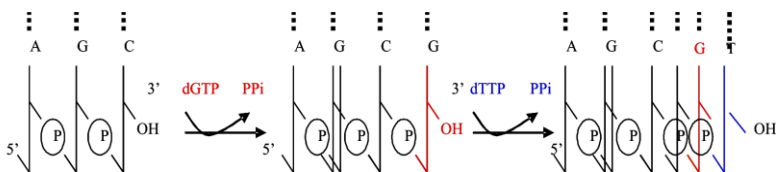
Bukti DNA dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis bakteri atau parasit yang mungkin telah menyebabkan kematian seseorang. Informasi ini dapat berguna dalam kasus-kasus kelalaian medis atau orangtua. Asal-usul bahan habis pakai mahal seperti minuman keras dan caviars dapat diverifikasi menggunakan analisis DNA. Terakhir, sampel DNA dapat membantu para profesional medis menemukan donor organ cocok untuk orang-orang yang membutuhkan transplantasi organ untuk bertahan hidup.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskanlah bagaimana hubungan antara DNA dengan hereditas, khususnya berkaitan dengan kromosom dan gen!
- 2) Berdasarkan gambar di bawah ini jelaskanlah bagaimana DNA polimerase mengka-talisis elongasi rantai DNA arah 5' → 3' !



- 3) Jelaskanlah bagaimana cara kerja metoda PCR dalam penelaahan struktur dan fungsi DNA!
- 4) Hubungan kedua rantai pada doble heliks DNA dipertahankan oleh ikatan hidrogen antara pasangan-pasangan basanya. Adenin (A) selalu berpasangan dengan timin (T) dan guanin (G) selalu berpasangan dengan sitosin (C). Dapatkah pasangan basa itu ditukar? Jelaskan!

- 5) Jelaskanlah secara singkat bagaimana penggunaan DNA dalam ilmu forensik!

Petunjuk Jawaban Latihan

Apabila Anda mengalami kesulitan dalam menjawab soal-soal di atas kembalilah baca uraian tentang struktur dan fungsi DNA ini. Dalam uraian telah jelas mengenai solusi dari permasalahan yang ada dalam latihan.



RANGKUMAN

DNA merupakan molekul hereditas yang terdapat di semua organisme baik prokariot maupun eukariot. Dalam virus, bahan genetik terdiri dari DNA atau RNA. Semua DNA sel terdiri dari dua rantai polinukleotida berbentuk heliks ganda yang sangat panjang dan melilit mengelilingi sumbu yang sama. Kedua untai heliks ganda itu berjalan dalam arah berlawanan. Tulang punggung gula fosfat setiap untai terdapat dibagian luar heliks ganda, sedangkan basa-basa purin dan pirimidin terdapat dibagian dalam. Hubungan kedua rantai itu dipertahankan oleh ikatan hidrogen antara pasangan-pasangan basanya. Adenin (A) selalu berpasangan dengan timin (T) dan guanin (G) selalu berpasangan dengan sitosin (C) dengan demikian, satu untai heliks ganda merupakan komplemen terhadap untai lain. Informasi genetik disandi dalam urutan basa sepanjang suatu untai. Kebanyakan molekul DNA berbentuk sirkular. Sumbu heliks ganda pada DNA sirkular dapat bergelung sendiri membentuk superheliks. DNA supercoiled ini lebih kompak daripada DNA kendur.

Pada replikasi DNA, kedua untai heliks ganda membuka dan berpisah sewaktu rantai baru disintesis. Setiap untai induk berperan sebagai suatu cetakan untuk pembentukan untai komplemen baru. Jadi replikasi DNA bersifat semikonservatif setiap molekul keturunan menerima satu untai dari molekul DNA induknya. Replikasi DNA merupakan proses yang kompleks dengan melibatkan banyak protein, termasuk juga berbagai DNA polimerase. Prekursor yang diaktifkan dalam sintesis DNA adalah empat deoksiribonukleosida 5'-trifosfat. Untai baru disintesis dalam arah 5' → 3' oleh serangan nukleofilik dengan ujung 3'-hidroksil untai primer pada atom fosfor paling dalam dari deoksiribonukleosida trifosfat yang masuk. Yang paling penting DNA polimerase mengkatalisis pembentukan ikatan fosfodiester hanya

jika basa pada nukleotida yang masuk merupakan komplemen dari basa pada untai cetakan. Dengan kata lain, DNA polimerase merupakan enzim yang diarahkan oleh cetakan.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Pada setiap DNA, purin dan pirimidin terikat pada gula deoksiribosa dan sebuah fosfat, unit ini disebut
 - A. nukleolus
 - B. nukleosida
 - C. nukleotida
 - D. nukleus

- 2) Bentuk kromosom dengan letak sentromer agak jauh dari ujung kromosom dan biasanya membentuk huruf L atau J adalah bentuk
 - A. telosentrik
 - B. submetasentrik
 - C. metasentrik
 - D. akrosentrik

- 3) DNA merupakan makro-molekul berupa benang sangat panjang yang terbentuk dari sejumlah besar deoksiribonukleotida, kata deoksi mengandung pengertian bahwa
 - A. ikatan hidrogen terjadi antar basa sebagai penyusun DNA
 - B. struktur penyusun intinya berupa nukleotida yang terdiri dari *adenin* (A), *Guanin* (G), *timin* (T) dan *sitosin* (C).
 - C. gula penyusun DNA kekurangan satu atom oksigen yang ada pada ribosa, senyawa induknya.
 - D. gugus gula yang kehilangan sebuah elektron

- 4) Gula dan gugus fosfat pada molekul DNA adalah
 - A. menjaga keseimbangan kekentalan sel
 - B. sebagai tulang punggung struktur double heliks
 - C. mempunyai peranan struktural
 - D. membawa informasi genetik

- 5) Hubungan kedua rantai basa di bagian dalam double heliks dipertahankan oleh ikatan hidrogen antara pasangan-pasangan basanya. Pasangan basa yang benar adalah
- adenin (A) dengan timin (T)
 - guanin (G) dengan adenin (A)
 - adenin (A) dengan sitosin (C)
 - sitosin (C) dengan timin (T)
- 6) Reaksi rantai polimerase (PCR, *polymerase chain reaction*) memiliki siklus yang terdiri dari 3 tahap. Tahapan yang benar dari reaksi tersebut adalah
- hibridasi primer-primer, pemisahan untai, dan pemanjangan primer-primer melalui sintesis DNA
 - pemisahan untai, hibridasi primer-primer, dan pemanjangan primer-primer melalui sintesis DNA
 - pemisahan untai, pemanjangan primer-primer, dan hibridasi primer-primer melalui sintesis DNA
 - hibridasi primer-primer, pemanjangan primer-primer, dan pemisahan untai melalui sintesis DNA
- 7) Pada langkah *pemisahan untai* dalam metode PCR, cara yang digunakan untuk memisahkan kedua untai molekul DNA induk adalah
- pemanasan larutan pada suhu 95°C selama 15 detik
 - pendinginan larutan sampai mencapai suhu -4°C selama 15 detik
 - pengadukan (centrifuging) selama 30 menit
 - mengkatalisis rantai DNA dengan ribosa
- 8) Pada langkah *hibridasi pemula* dalam metode PCR, agar setiap pemula dapat membentuk hibrid dengan seuntai DNA, maka dilakukan langkah
- pemanasan larutan pada suhu 95°C selama 15 detik
 - pendinginan larutan sampai mencapai suhu -4°C selama 15 detik
 - pengadukan (centrifuging) selama 30 menit
 - didinginkan dengan tiba-tiba sampai mencapai suhu 54°C
- 9) Tulang punggung DNA, yang bersifat tetap di sepanjang molekul, terdiri dari
- deoksiribosa yang berikatan dengan gugus-gugus fosfat
 - basa-basa yang terdiri dari nukleotida (A,G,T,C)
 - protein dan basa yang membentuk ikatan double heliks
 - karbohidrat yang terikat pada nukleotida

- 10) Metoda PCR tidak dapat digunakan untuk
- A. menentukan urutan gen RNA ribosom fosil rayap
 - B. mengungkapkan adanya virus *imunodefisiensi* manusia-1 (HIV-1)
 - C. menemukan kuman *mycobacterium tuberculosis* pada spesimen jaringan
 - D. mendeteksi pancaran gelombang elektromagnetik dari sel-sel otak

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

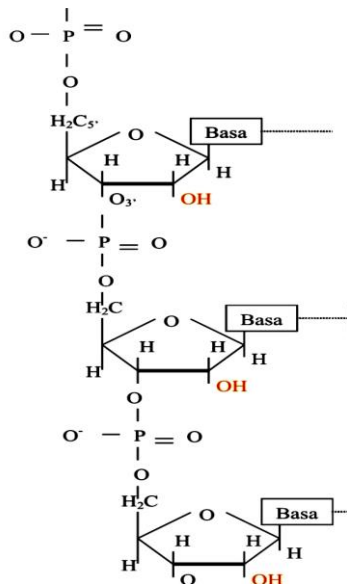
Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kegiatan Belajar 2 Struktur dan Fungsi RNA

A. STRUKTUR RNA

Gen pada semua organisme prokariot dan eukariot terbuat dari DNA. Pada virus gen terbuat dari DNA atau RNA (asam ribonukleat). RNA, seperti halnya DNA, merupakan polimer panjang tidak bercabang yang terdiri dari nukleotidanukleotida yang bersambung dengan ikatan 3'→5' fosfodiester (Gambar 3.8). Struktur kovalen RNA berbeda dengan DNA dalam dua hal. Sebagaimana terbaca dari namanya, unit-unit gula dalam RNA berupa ribosa bukan deoksiribosa. Ribosa mengandung sebuah gugus 2'-hidroksil yang tidak terdapat deoksiribosa. Perbedaan yang lain ialah bahwa satu dari keempat basa utama dalam RNA adalah urasil (U) yang menggantikan timin (T). Urasil, seperti timin, dapat membentuk pasangan basa dengan adenin, tetapi tidak mengandung gugus metil yang terdapat dalam timin. Molekul RNA dapat berbentuk Gambar 3.11. Struktur bagian dari suatu untai tunggal atau untai ganda.



Gambar 3.11. Struktur RNA.

RNA tidak dapat membentuk heliks ganda tipe B-DNA karena interferensi sterik oleh gugus 2'-hidroksil pada unit-unit ribosanya. Akan tetapi, RNA dapat membentuk modifikasi heliks ganda dan pasangan-pasangan basanya menjauh membuat sudut sekitar 20° lebih besar dari garis tegak lurus dengan sumbu heliks, suatu struktur yang mirip dengan A-DNA.

RNA menyusun 5-10% dari berat kering sel. Pada dasarnya, terdapat dua kelompok utama RNA yang menyusun makhluk hidup, yaitu RNA genetik dan RNA nongenetik. Apakah perbedaan kedua RNA tersebut?

1. RNA genetik

RNA genetik memiliki fungsi yang sama dengan DNA, yakni merupakan molekul genetik yang secara keseluruhan bertanggung jawab dalam membawa segala materi genetik, seperti yang dimiliki oleh DNA. Dengan kata lain, RNA ini berfungsi sebagai DNA. RNA genetik ini hanya dimiliki oleh makhluk hidup tertentu yang tidak memiliki DNA, seperti pada beberapa jenis virus.

2. RNA nongenetik

RNA nongenetik merupakan RNA yang tidak berperan sebagai DNA. RNA nongenetik dimiliki oleh makhluk hidup yang materi genetiknya diatur oleh DNA. Pada makhluk hidup kelompok ini, di dalam selnya terdapat DNA dan RNA.

Berdasarkan letak serta fungsinya, RNA non-genetik dibedakan menjadi tiga macam, yakni RNA duta, RNA ribosom, dan RNA transfer.

- a. **RNA duta** atau “messenger RNA” (mRNA) merupakan asam nukleat yang berbentuk pita tunggal dan merupakan RNA terbesar atau terpanjang yang bertindak sebagai pola cetakan pembentuk polipeptida. Fungsi utama mRNA adalah membawa kode-kode genetik dari DNA ke ribosom. mRNA juga berfungsi sebagai cetakan dalam sintesis protein.
- b. **RNA transfer** (tRNA) merupakan RNA terpendek yang bertindak sebagai penerjemah kodon dari mRNA. Selain itu, tRNA berfungsi mengikat asam-asam amino yang akan disusun menjadi protein dan mengangkutnya ke ribosom. Pada tRNA terdapat bagian yang berhubungan dengan kodon yang disebut antikodon dan bagian yang berfungsi sebagai pengikat asam amino.

- c. **RNA ribosom** (rRNA) merupakan RNA dengan jumlah terbanyak dan penyusun ribosom. RNA ini berupa pita tunggal, tidak bercabang, dan fleksibel. Lebih dari 80% RNA merupakan rRNA. Fungsi rRNA sampai sekarang masih belum banyak diketahui, tetapi diduga memiliki peranan penting dalam proses sintesis protein.

Tabel 3.1 mengutarakan beberapa dari karakteristik ketiga jenis dasar RNA untuk suatu sel bakteri sederhana seperti *E. Coli*. Molekul-molekul RNA sel-sel eukariotik merupakan jenis dasar yang sama. Tidak seperti DNA, maka RNA pada umumnya terdiri dari molekul berserat tunggal walaupun bagian-bagian dari serat RNA dapat menggulung kembali untuk membentuk struktur-struktur heliks yang kecil. Kita akan menguraikan struktur dan fungsi bentuk RNA dalam kegiatan belajar ini.

Tabel 3.1.
Sifat-sifat fisik asam-asam nukleat dari *Ecoli*

Jenis total	Batas-batas jumlah satuan NMP	Persentasi RNA dalam sel
t-RNA	75 – 90	16
m-RNA	75 - 3000*	2
r-RNA	5 S : kira-kira 100 16 S : kira-kira 1500 23 S : kira-kira.3100	82

Keterangan:

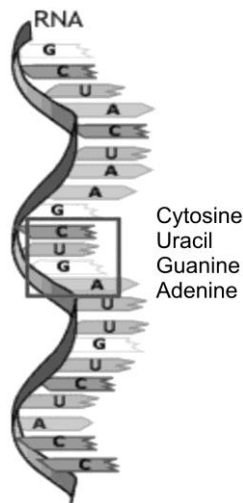
* Ukuran-molekul m-RNA ditentukan oleh jumlah sisa asam amino yang harus disintesis di dalam protein.

↑ Istilah 5 S, 16 S, dan 23 S menunjuk kepada laju komponen molekuler tertentu suatu preparat RNA ribosomal mengendap, atau mengempas dalam medan gravitasi tinggi suatu ultrasentrifus. Molekul yang lebih berat (besar) mengendap lebih cepat dan karenanya mempunyai koefisien sedimentasi lebih tinggi. Koefisien sedimentasi dinyatakan dalam satuan Svedberg (S) diambil dari nama ahli Fisika Swedia T. Svedberg yang menciptakan ultrasentrifus dalam tahun 1925.

Selain bentuk-bentuk di atas, RNA juga merupakan bahan genetik dalam virus tertentu. Seperti halnya dalam ribosom merupakan struktur protein

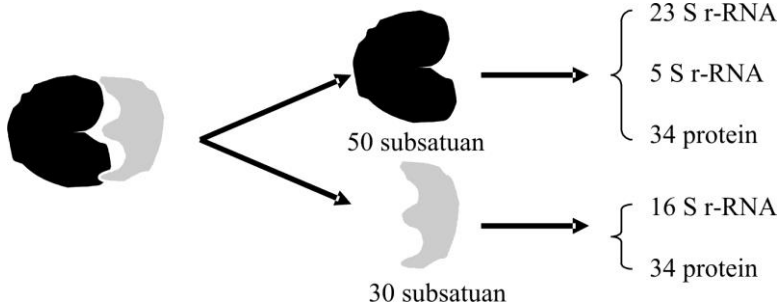
RNA yang kompleks, maka virus-pun merupakan kumpulan asam nukleat dan molekul-molekul protein.

Asam nukleat sering dijumpai di alam bergabung dengan protein. Dalam sel somatik dari tumbuhan dan binatang. DNA kromosomal atau kromatin tergabung dengan protein. Termasuk dalam gabungan protein DNA ini terdapat suatu kelompok yang disebut histon. Histon ini mengandung sebagian sisa-sisa lisin, arginin atau keduanya tergantung pada histon apa, dan dengan demikian membuat sangat kompleks dengan gugus-gugus fosfodiester yang bermuatan negatif dari tulang punggung DNA. Karena interaksi antara DNA dan histon tidak sembarang dalam, maka kromosom eukariotik merupakan kompleks asam nukleat-protein yang sebenarnya. Kompleks-kompleks asam nukleat protein penting yang lainnya termasuk ribosom dan virus.



Gambar 3.12. Struktur protein RNA.

1. Ribosom



Gambar 3.13. Disosiasi ribosom *E. Coli* menjadi r-RNA dan protein-protein. Dengan persyaratan keadaan yang serasi RNA ribosomal dan protein-protein yang dipisahkan secara spontan akan bergabung kembali untuk membentuk satuan-satuan kecil ribosomal yang utuh dan berfungsi.

Ribosom merupakan struktur subseluler dimana sintesis protein berlangsung. Jika ribosom dari sel prokariotik berbeda dalam ukuran dan perincian struktural dari ribosom eukariot, namun hal-hal dasar penting adalah sama bagi keduanya.

Struktur ribosomal dari *E. Coli* telah diselidiki secara luas. Ribosom 70 S yang utuh terdiri dari dua subsatuan, yaitu 50 S dan 30 S subsatuan. Kedua satuan ini bergabung untuk membentuk sebuah ribosom yang utuh berdiameter sekitar 200 \AA dan bobot molekuler sekitar $2,5 \times 10^6$. Struktur nukleoprotein dari ribosom dapat didisiasikan oleh perlakuan dengan bahan-bahan kimia menjadi komponen-komponen induknya, seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.10. Penyelidikan terhadap penyusunan kembali dari subsatuan-subsatuan ribosomal 30 S dan 50 S telah membuktikan bahwa protein ribosomal merupakan hal penting bagi struktur dan fungsi ribosom.

2. Virus

Virus merupakan partikel lembam yang menular dan terdiri dari molekul asam nukleat dikelilingi oleh lapisan protein pelindung. Lapisan protein melindungi asam nukleat viral terhadap aksi nuklease. Protein viral juga dapat melakukan fungsi-fungsi struktural seperti dalam hal virus bakterial pemakan bakteri T2. Virus tidak dapat melaksanakan metabolisme energi dan

dapat berada dalam keadaan tetap hanya dengan menulari sel tuan rumah. Apabila virus menulari sel tuan rumah, bahan genetik viral (DNA atau RNA) tersuntikkan ke dalam sel. Protein sel dan alat biosintetik asam nukleat kemudian menghasilkan asam nukleat viral baru dan protein dengan menggunakan keterangan genetik yang dibawa oleh DNA dan RNA yang disuntikkan. Penyusunan spontan dari protein-protein viral dan asam nukleat berakibatkan pembentukan virus baru. Banyak virus akhirnya membinasakan sel tuan rumah dan dengan demikian dikatakan bersifat *patogenik* atau pembangkit penyakit. Beberapa virus menyebabkan sel tuan rumah memperkembangkan pola-pola pertumbuhan dan permukaan-permukaan sel yang tak normal. Hal ini diistilahkan sebagai virus *oncogenik* atau virus yang menyebabkan tumor.

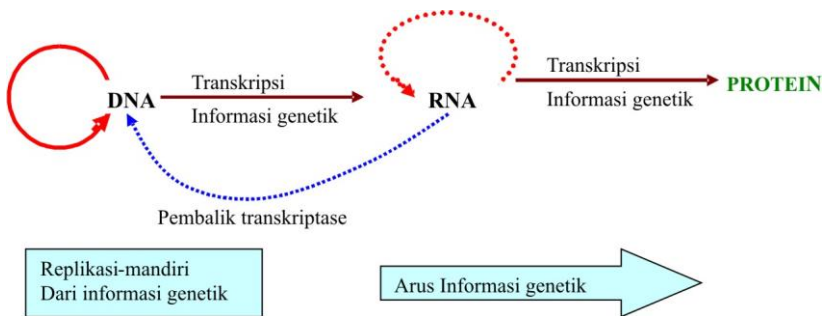
Struktur asam nukleat-protein dari kebanyakan virus telah diketahui dengan baik. Beberapa virus adalah rudimenter yaitu mempunyai asam nukleat kecil dengan hanya 3 gene. Virus lain mempunyai struktur lebih rumit dan karena itu lebih banyak gen dalam beberapa hal sebanyak 250 atau lebih.

Virus pertama yang diteliti sebagai suatu ribonukleoprotein adalah virus mosaik tembakau (TMV) pada tahun 1935. Strukturnya merupakan perwakilan dari suatu kelompok umum virus yang mempunyai bentuk seperti tongkat heliks. TMV menggambarkan jenis umum dari struktur viral yang asam nukleatnya dikelilingi oleh sebuah kulit struktural yang tersusun dari banyak molekul protein identik atau banyak dari beberapa macam protein.

Struktur TMV terdiri atas heliks, RNA tunggal yang sangat rapat dikelilingi oleh kurang lebih 2130 subunit protein yang identik, dengan menghasilkan partikel virus dengan panjang total sekitar 3000 Å dan diameter sekitar 180 Å. Dengan persyaratan keadaan yang serasi, subunit protein dapat terdisosiasi dari RNA-nya dan kemudian bergabung kembali untuk menghasilkan lagi sebuah virus yang menjangkit. Ini merupakan suatu contoh dari pengumpulan diri dari kompleks super molekular yang sering diamati dalam biokimia dan biologi molekular struktur viral dapat juga kompleks seperti dalam hal bakteriofag T2. DNA dari bakteriofag T2 telah dicakup dalam suatu kapsul oleh kulit protein yang mempunyai bentuk *icosahedral*. Ini merupakan suatu pengaturan biasa pada kebanyakan jenis virus.

B. SIFAT-SIFAT DAN FUNGSI RNA

Karena sel berkembang biak menurut proses pembelahan, maka DNA harus membiak dalam bentuk tepat sama dalam tiap sel dari generasi ke generasi. Tambahan pula berfungsinya suatu sel individu yang normal diperlukan penggunaan informasi genetik yang terkandung dalam DNA untuk mengarahkan biosintesis dari protein enzim. Kedua hal ini menentukan peranan bahan genetik dalam sel dan menimbulkan dogma pusat genetika molekuler. Pendapat ini merupakan garis besar mengenai peranan DNA dan RNA pada pewarisan informasi genetik dari satu bentuk simpanan menjadi struktur primer akhir dari suatu molekul protein, seperti tampak pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Dogma pusat dari genetika molekuler. Anak panah menggambarkan arah arus informasi genetik. Garis terputus-putus menunjukkan keadaan-keadaan khusus yang menyimpang dari bagan ini.

Tiga proses utama terlihat pada Gambar 3.14, yaitu *replikasi*, *transkripsi*, dan *translasi*:

1. Replikasi menyangkut perangkaian secara linier satuan-satuan monomer DNA untuk membentuk replikat atau kopi yang tepat dari rangkaian struktur DNA yang lama. Proses ini memungkinkan pembentukan dua molekul anak DNA selama pembelahan sel, masing-masing satu kopi yang tepat dari induk DNA.
2. Transkripsi menyangkut perangkaian secara linier satuan-satuan monomer RNA., atau *ribo-nukleotida*, dengan menggunakan suatu bagian khas yang kecil (*gene*) dari untaian DNA sebagai model. Molekul RNA tidak saja menyediakan cetakan kerja bagi biosintesis protein,

tetapi juga bekerja sebagai pembawa istimewa untuk asam amino serta juga memperlengkapi tempat tautan di mana sintesis protein akan berlangsung.

3. Translasi meliputi perangkaian secara linier monomer-monomer asam amino, dengan menggunakan satu jenis khas RNA sebagai cetakan dan jenis khas RNA lain sebagai pembawa dan pengubah asam amino. Ini sesuai dengan proses yang sesungguhnya dalam sintesis protein.

Bagan yang tampak pada Gambar 3.14. juga memuat proses lain, yang ditemukan oleh penelitian baru-baru ini: dalam keadaan tertentu, RNA dapat bertindak sebagai suatu cetakan untuk biosintesis DNA proses ini diistilahkan transkripsi kebalikan. Dalam hal ini jelas bahwa asam-asam nukleat memainkan peranan penting dalam biosintesis protein.

Dalam Gambar 3.14 telah kita lihat bagaimana arus informasi genetik dalam suatu sel berlangsung dari DNA ke RNA. Transkripsi adalah suatu satuan spesifik dari informasi genetik dalam DNA yang menyebabkan pembentukan sebuah molekul RNA berserat tunggal dengan suatu urutan asam basa komplementer terhadap bagian untai DNA yang ditranskripsikan. Kita dapat membayangkan adanya suatu untai DNA yang terbagi menjadi bagian-bagian pendek yang saling dihubungkan. Setiap bagian, atau gen terdiri dari suatu urutan basa yang membuat suatu kode untuk molekul RNA yang unik. Molekul RNA yang sesuai dengan suatu gene tertentu, mungkin merupakan salah satu dari tiga tipe RNA, yaitu m-RNA, r-RNA dan t-RNA, sebagaimana telah dibahas terdahulu.

Golongan terbesar yang maha luas dari gene dalam kromosom memberi kode untuk molekul-molekul m-RNA, dengan demikian menyediakan pengarahan utama untuk sintesis protein. Peta-peta genetik yang menunjukkan tempat-tempat dari banyak gene yang sesuai dengan protein-protein tertentu, telah disimpulkan untuk bakteri tertentu, termasuk E. Coli.

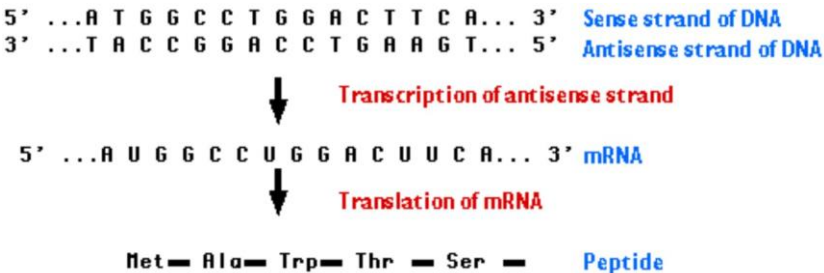
Proses sintesis molekul RNA oleh transkripsi dari cetakan DNA yang bersangkutan dapat dibagi menjadi beberapa tahap.

Tahap 1. Enzim RNA polimerase terikat pada urutan spesifik dari basa, atau tanda permulaan, pada permulaan gene sedang mengalami transkripsi. Tempat-tempat permulaan ini merupakan urutan basa yang kaya akan pirimidin dan mempunyai sekitar 10 nukleotida. Pengikatan RNA polimerase pada tempat permulaan menyebabkan terbukanya gulungan heliks rangkap DNA pada

bagian pendeknya. Untuk setiap gene tertentu, hanya satu untai heliks rangkap berfungsi sebagai cetakan untuk transkripsinya. RNA polimerase dari *E. Coli* menghasilkan semua dari tiga jenis RNA seluler. Pada sel mamalia terbukti bahwa ada beberapa RNA polimerase yang berbeda. RNA polimerase *E. Coli* mempunyai bobot molekuler kira-kira 5×10^5 dan terdiri dari lima sub satuan.

Tahap 2.

Substrat untuk reaksi RNA polimerase, yaitu ATP, GTP, UTP, dan CTP, merupakan pasangan basa terhadap basa komplementernya pada satu dari bagian-bagian DNA. Kekhususan dari pasangan basa memungkinkan DNA untuk bertindak sebagai cetakan pada penambahan ribonukleosida trifosfat dalam urutan yang benar kepada untai RNA yang sedang tumbuh. RNA polimerase mengkatalisis pembentukan hubungan fosfodiester antara ribonukleosida trifosfat dan ujung 3'-OH dari untai RNA yang sedang tumbuh. Pembebanan yang diikuti hidrolisis pirofosfat membantu menyediakan gaya pendorong untuk reaksi ini. Bekerjanya RNA polimerase sama dengan bekerjanya DNA polimerase 1. Pertumbuhan untai RNA seperti halnya dengan DNA, berlangsung dalam arah $5' \rightarrow 3'$.



Gambar 3.15. Proses transkripsi RNA.

Tahap 3.

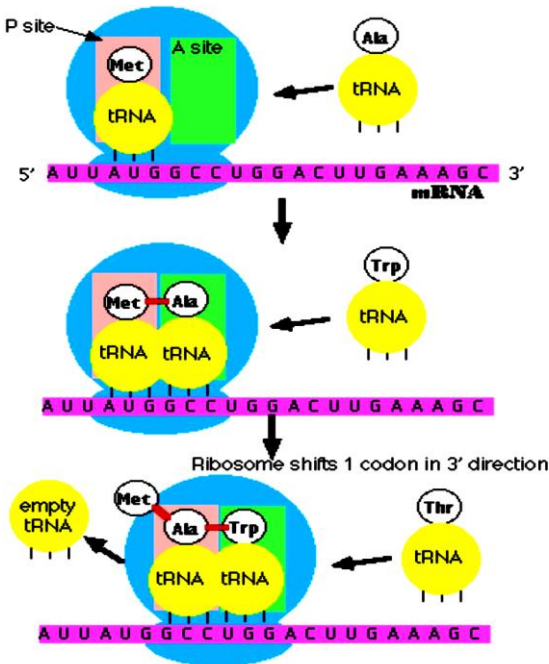
Sementara RNA polimerase bergerak ke bawah menuruti untai DNA, maka hibrida RNA/DNA dupleks yang dihasilkan, membuka kumparannya, dan untai cetakan DNA membentuk kembali heliks rangkap DNA/DNA yang lebih mantap dengan

untai komplementer kromosomnya. Pada ujung gene, suatu urutan basa khusus menyebabkan berhentinya transkripsi dan RNA polimerase melepaskan diri dari molekul DNA. Dalam beberapa hal terbukti bahwa protein khusus, yaitu faktor *p*, mungkin terlibat dalam proses penyelesaian.

Tahap 4. Setelah molekul RNA disintesis, is mungkin dapat diubah secara kimiawi. Misalnya telah diketahui bahwa 18 S dan 28 S r-RNA ribosom mamalia merupakan hasil dari metilasi dan pembelahan pelopor 45 S yang tunggal. Ini mengingatkan kepada pembentukan zimogen atau pelopor tak aktif dari protein enzim tertentu. Ada bukti bahwa molekul t-RNA dihasilkan oleh pembelahan selektif terhadap molekul RNA yang lebih besar. Tambahan pula, basa-basa yang kurang penting terutama t-RNA biasa, mungkin merupakan akibat dari perubahan kimia sesudah terjadi transkripsi dari pelopor t-RNA.

1. Transfer RNA (t-RNA)

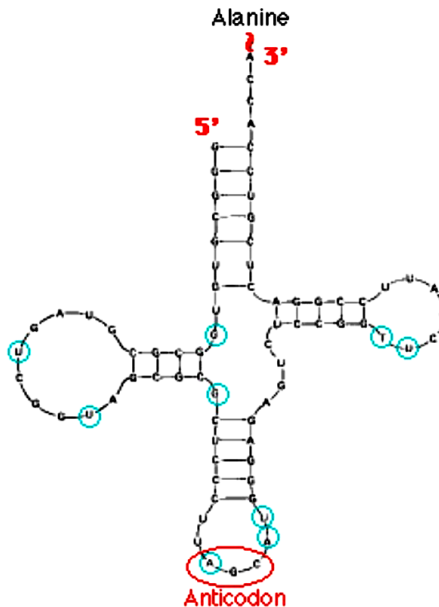
Transfer RNA (t-RNA) merupakan bentuk terkecil dari RNA. Karena ukurannya, maka kadang disebut s-RNA (small-RNA), sebagai akibat bahwa ia tinggal di dalam cairan bagian atas dari larutan, sedangkan bentuk RNA yang lain (yang lebih berat) mengendap oleh sentrifugasi ultra. Masing-masing dari ke-20 asam amino mempunyai sedikitnya satu molekul t-RNA istimewa, yang berguna untuk mengangkut molekul t-RNA tadi ke tempat sintesis protein dan menjamin penempatannya yang benar dalam urutan asam amino dari protein yang sedang disintesis. Gambar 3.16 memberikan gambaran secara skematik molekul t-RNA. Lengkung antikodon yang diperlihatkan dalam gambar ini mengandung sebuah basa triplet (antikodon) yang komplementer terhadap salah satu kodon untuk alanin. Antikodon memainkan peranan kunci dalam sintesis protein.



Gambar 3.16. Gambaran skematik molekul t-RNA.

Model "daun semanggi" struktur t-RNA yang diperlihatkan dalam Gambar 3.17 merupakan pendekatan dua dimensional dari bentuk sesungguhnya. Dengan menggunakan analisis difraksi sinar-X telah ditentukan struktur-struktur tiga dimensional sejumlah t-RNA.

Perhatikan bahwa pada Gambar 3.16 satu antikodon untuk alanin adalah triplet 3'CGI5', yang komplementer terhadap kodon 5'GCC3'. (I berarti inosin). Para peneliti memiliki banyak sekali bukti bahwa kedudukan ketiga di dalam anti kodon (basa pada ujung 5' dari anti kodon) mempunyai jauh lebih banyak kebebasan untuk bergerak daripada dua basa yang pertama.



Gambar 3.17. Model daun semanggi struktur t-RNA.

Pengamatan ini disebut konsep goyang dan menjelaskan mengapa triplet antikodon yang sama dalam molekul t-RNA tertentu dapat berpasangan basa dengan berbagai kodon triplet yang berbeda. Seperti yang akan kita lihat, apabila kita membicarakan kode genetik secara terperinci, maka suatu asam amino tertentu dapat mempunyai lebih dari satu kodon triplet. Dalam hal molekul aminoasil t-RNA yang diperlihatkan dalam Gambar 3.14 maka kodon-kodon GCU, GCC, GCA, GCG semuanya adalah kode untuk alanin. Dari keempat kodon ini, anti kodon yang ditunjukkan dalam Gambar 3.14 akan berpasangan basa dengan GCU, GCC, dan GCA. Perhatikan bahwa kedua basap-ertama dalam tiga kodon ini adalah sama (CG), dan hanya kedudukan ketiga berlainan. Interaksi antara inosin, basa goyang dalam alanin antikodon dan masing-masing dari tiga basa, yang dapat berpasangan basa dengan basa tadi. Penting untuk dicatat bahwa potensi berpasangan basa ganda ini pada kedudukan anti kodon ketiga berarti bahwa molekul amoniasil t-RNA yang sama dapat berpasangan basa sampai dengan tiga kodon, semuanya mengkhhususkan diri dengan asam amino yang sama.

Hasil guna dari ikatan misalnya CGI dan tiap-tiap ketiga kodon yang bersesuaian adalah tidak sama untuk masing-masing. Variasi dalam kemampuan mengikat ini dapat berguna sebagai dasar untuk pengendalian laju sintesis protein. Adalah mungkin karenanya bahwa laju penggabungan suatu asam amino tertentu pada suatu rantai protein yang sedang tumbuh, ditentukan oleh kemungkinan kodon mana yang digunakan.

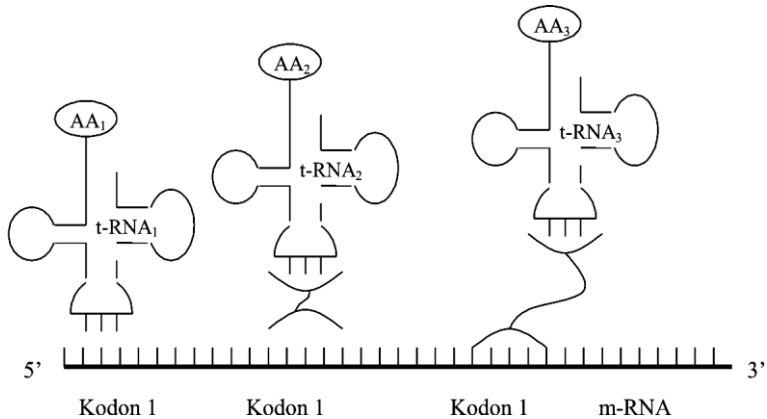
2. Messenger RNA (m-RNA)

Ukuran molekul m-RNA tergantung pada jumlah sisa asam amino dalam protein yang memerlukan molekul m-RNA itu sebagai cetakan. Sintesis suatu protein yang mengandung sisa asam amino sebanyak 500 jelas harus diurus oleh molekul m-RNA yang mempunyai sedikitnya 1500 (3×500 basa).

Dalam pembicaraan tentang struktur t-RNA terlihat bahwa suatu antikodon istimewa dalam molekul t-RNA sesuai dengan asam amino tertentu yang dibawa serta. Dalam urutan basa dari cetakan kerja untuk sintesis protein, yaitu m-RNA terdapat basa triplet atau kodon yang komplementer terhadap t-RNA antikodon. Letak setiap kodon pada untai m-RNA sesuai dengan letak asam amino yang bersesuaian di dalam struktur primer protein, yang memerlukan m-RNA sebagai cetakan.

Perubahan m-RNA dalam bakteri berlangsung sangat cepat, dengan memperlihatkan umur rata-rata sekitar 2 menit. Sementara transkripsi suatu gen tertentu menghasilkan hanya satu molekul m-RNA sekali, namun satu molekul m-RNA ini dapat mengarahkan biosintesis dari banyak molekul protein secara serentak.

Hubungan antara aminoasil t-RNA dan m-RNA diperlihatkan secara skematik dalam Gambar 3.18. Gambar ini mengikhtisarkan apa yang telah dikatakan tentang peranan dari interaksi kodon-antikodon dalam penempatan secara benar dari asam amino di dalam rantai protein. Karena sekarang telah dibicarakan tentang "bagian-bagian" dan cetakan untuk sintesis protein, maka tinggallah membicarakan letak berlangsungnya sintesis protein yaitu ribosom.

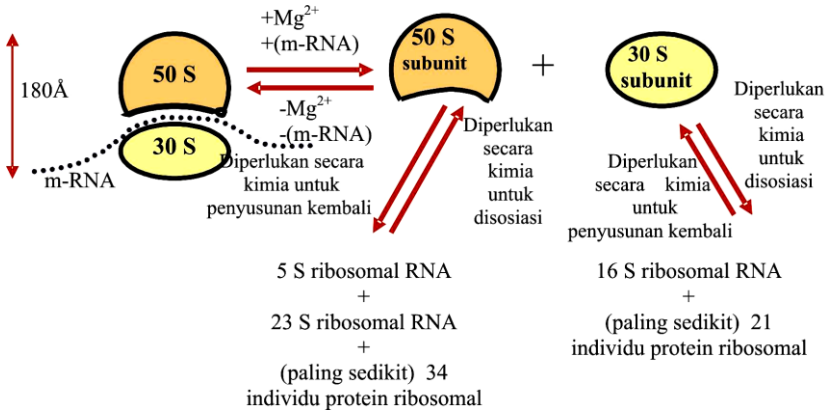


Gambar 3.18. Molekul amoniasil t-RNA dan hubungannya dengan m-RNA. Spesifitas yang tinggi dalam hal berpasangan basa kodon-antikodon menjamin letak yang betul dari molekul amoniasil t-RNA sepanjang cetakan m-RNA.

3. Ribosomal RNA (m-RNA)

Sintesis protein terjadi di atas permukaan RNA-protein kompleks, yang dikenal sebagai ribosom. Seluruh fungsi ribosom adalah menjamin orientasi yang benar antara cetakan m-RNA dan molekul-molekul amoniasil t-RNA yang sedang diikatkan kepada cetakan. Karena itu, ribosom secara khusus mengikat m-RNA, amoniasil t-RNA yang datang masuk, dan bagian dari rantai yang sedang tumbuh, semuanya pada orientasi stereokimiawi yang betul. Tambahan pula, ribosom mengandung enzim-enzim tertentu disebut translokase, yang menyebabkan ribosom bergerak sepanjang untai m-RNA sewaktu sintesis protein berlangsung.

Pada suatu prokariot seperti *E. Coli* sekitar, 15.000 ribosom terdistribusi ke seluruh sitoplasma. Ribosom *E. Coli* yang utuh mempunyai partikel dengan berat 3×10^6 Dalton dan diistilahkan sebagai ribosom 70 S, karena sifat sedimentasi di dalam ultrasentrifus. Bentuk seluruh ribosom 70 S yang diperkirakan terlihat dalam Gambar 3.19.



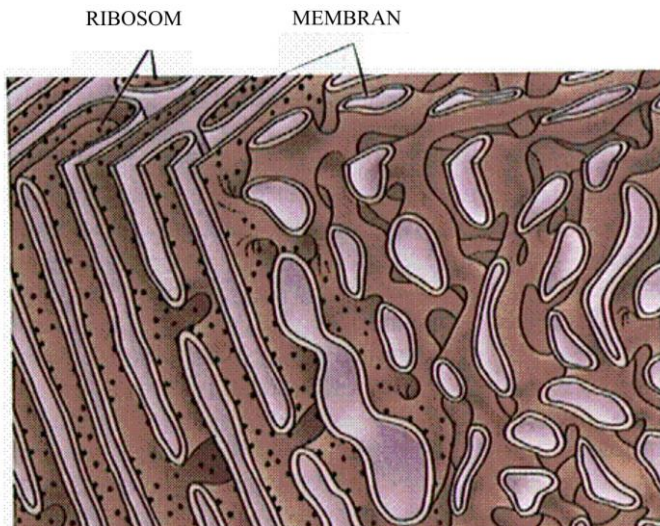
Gambar 3.19. Struktur E. Coli ribosom, yang memperlihatkan disosiasi tiap subsatuan menjadi komponen-komponennya r-RNA dan protein. Perhatikan bahwa suatu ribosom 70 S yang utuh terbentuk, apabila subsatuan subsatuan mengikat diri dengan m-RNA. (Perhatikan juga bahwa koefisien sedimentasi tergantung pada baik bobot molekuler maupun bentuk molekul. Karena itu harga S dari subsatuan ribosom tidak menghasilkan jumlah harga S dari ribosom yang utuh).

Tanpa adanya m-RNA dan pada konsentrasi rendah Mg^{2+} , ribosom 70 S berdisosiasi menjadi dua subsatuan: satu subsatuan 50 S (berat partikel kira-kira 2×10^6 Dalton) dan satu subsatuan 30 S (berat partikel kira-kira 1×10^6 Dalton). RNA robosomal dan komponen-komponen protein tiap subsatuan dapat didisiasikan dan diisolasikan dengan cara-cara kimia yang sesuai, dan fraksionasi. Hasil pemisahan komponen-komponen dari tiap subsatuan ribosomal E. Coli ditunjukkan dalam Gambar 3.17. Sangat menarik bahwa pada keadaan yang tepat dimungkinkan untuk secara spontan terjadinya penyusunan kembali subsatuan-subsatuan ribosomal 30 S dan 50 S yang aktif. Jadi jelas bahwa penataan yang kompleks dan sangat spesifik dari protein dan asam-asam nukleat dan ribosom disebabkan oleh perakitan mandiri dari komponen-komponennya.

Pada sel eukariotik, sintesis protein tidak saja terjadi di dalam sitoplasma, tetapi juga sampai ukuran terbatas di dalam mitokhondria dan kloroplas. Ribosom dari kloroplas dan mitokhondria sama dengan ribosom 70 S dari prokariot, sedang ribosom dalam sel sitoplasma sel eukariotik lebih besar dan lebih kompleks. Seperti ribosom 70 S dari prokariot, maka ribosom dari 80 S dari eukariot berdisosiasi menjadi satu subsatuan besar (60 S) dan

satu subsatuan kecil (40 S). subsatuan 60 S mengandung tiga molekul RNA : 5 S, 7 S, dan 23 S. Subsatuan 40 S mempunyai satu molekul RNA 18 S yang tunggal. Selain itu terdapat protein-protein ribosomal di dalam nukleoprotein yang berstruktur kompleks dari ribosom eukariotik.

Dalam suatu sel eukariotik, seperti hepatosit, ribosom biasanya ditemukan dalam persekutuan dengan retikulum endoplasmik, yaitu suatu struktur yang tersusun dari banyak saluran terbentang ke segala jurusan di dalam seluruh sitoplasma. Gambar 3.20 menunjukkan retikulum endoplasmik dan ribosom.



Gambar 3.20. Retikulum endoplasmik. Perhatikan ribosomnya, yang tampak sebagai granula berjajar-jajar sepanjang jalan lintas retikulum endoplasmik.

Tidak memandang jenis sel apa, maka cara kerja ribosom dalam sintesis protein adalah umum. Kedua subsatuan ribosomal membentuk suatu ribosom lengkap apabila terikat pada m-RNA. Kompleks ribosom m-RNA merupakan satuan penyebab sintesis protein yang aktif. Hubungan antara ribosom, m-RNA dan t-RNA biasanya lebih dari satu ribosom terikat pada satu untai m-RNA. Ini memungkinkan pembentukan serentak beberapa protein dari cetakan yang sama dengan cara "garis rakitan". Multi-ribosom/m-RNA kompleks ini disebut polisom, dan telah diamati secara langsung dengan mikroskop elektron. Pembentukan m-RNA dengan transkripsi dari DNA dan

penjelmaan dari urutan basa dari m-RNA ke dalam struktur protein oleh sintesis protein ribosomal terkoordinasi secara ketat terhadap waktu dan tempat, setidak-tidaknya di dalam E. Coli. Sementara ujung 5' dari m-RNA yang baru terbentuk terkelupas dari cetakan DNA, maka subsatuan ribosomal mengikatkan diri dan sintesis protein dimulai meskipun cetakan m-RNA sedang dibuat.

Komponen penyusun DNA dan RNA memiliki banyak kemiripan. Namun, karena fungsinya berbeda, keduanya juga memiliki beberapa perbedaan, terutama dalam hal letak, struktur, kadar, fungsi, dan komposisi kimianya. Berbagai perbedaan tersebut dapat Anda pelajari pada Tabel

Tabel 3.2 Perbedaan DNA dan RNA

NO	OBJEK	DNA	RNA
1	Letak	Inti sel	Inti sel, sitoplasma, ribosom
2	Bentuk	Pita spiral ganda	Pita tunggal
3	Komponen gula	Deoksiribosa	Ribosa
4	Ukuran	Sangat panjang	Pendek
5	Basa nitrogen	Purin : Adenin, Guanin Pirimidin : Sitosin, Timin	Purin : Adenin, Guanin Pirimidin : Sitosin, Urasil
6	Kadar	Tidak dipengaruhi oleh kecepatan sintesis protein	Berubah-ubah menurut kecepatan sintesis protein
7	Fungsi	Mengendalikan faktor keturunan dan sintesis protein	Sintesis protein



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskanlah secara ringkas apa perbedaan antara RNA genetik dan non genetik!
- 2) Jelaskanlah perbedaan antara 3 macam RNA, yaitu t-RNA, m-RNA, dan r-RNA!
- 3) Jelaskanlah apa fungsi ribosom!
- 4) Jelaskanlah tahapan proses sintesis molekul RNA oleh transkripsi dari cetakan DNA!
- 5) Jelaskanlah secara skematik bagaimana informasi genetik terjadi melalui DNA dan RNA!

Petunjuk Jawaban Latihan

Apabila, Anda mengalami kesulitan dalam menjawab soal-soal di atas kembalilah baca uraian tentang struktur dan fungsi DNA ini. Untuk membantu pemahaman Anda bacalah penjelasan berikut.

- 1) RNA genetik memiliki fungsi yang sama dengan DNA, yakni merupakan molekul genetik yang secara keseluruhan bertanggung jawab dalam membawa segala materi genetis, seperti yang dimiliki oleh DNA. Sedangkan RNA nongenetik merupakan RNA yang tidak berperan sebagai DNA. RNA nongenetik dimiliki oleh makhluk hidup yang materi genetiknya diatur oleh DNA. Pada makhluk hidup kelompok ini, di dalam selnya terdapat DNA dan RNA.
- 2) Perbedaan antara tiga macam RNA seluler
 - a. *RNA penyampai* (m-RNA) yang bertindak sebagai cetakan untuk sintesis rantai protein.
 - b. *RNA ribosomal* (r-RNA) yang bertindak sebagai komponen asam nukleat pada struktur ribosom sebagai tempat dilangsungkan sintesis protein.
 - c. *RNA pemindah* (t-RNA) yang bertindak sebagai pembawa asam amino spesifik pada pembentukan rantai polipeptida.
- 3) Ribosom merupakan struktur subseluler dimana sintesis protein berlangsung.

- 4) **Tahap 1.** Enzim RNA polimerase terikat pada urutan spesifik dari basa, atau tanda permulaan, pada permulaan gene sedang mengalami transkripsi
- Tahap 2.** Substrat untuk reaksi RNA polimerase, yaitu ATP, GTP, UTP, dan CTP, merupakan pasangan basa terhadap basa komplementernya pada satu dari bagian-bagian DNA
- Tahap 3.** Sementara RNA polimerase bergerak ke bawah menurut untai DNA, maka hibrida RNA/DNA dupleks yang dihasilkan, membuka kumparnya, dan untai cetakan DNA membentuk kembali heliks rangkap DNA/DNA yang lebih mantap dengan untai komplementer kromosomnya.
- Tahap 4.** Setelah molekul RNA disintesis, ia mungkin dapat diubah secara kimiawi. Misalnya telah diketahui bahwa 18 S dan 28 S r-RNA ribosom mamalia merupakan hasil dari metilasi dan pembelahan pelopor 45 S yang tunggal.
- 5) Untuk memahami soal ini lihat kembali Gambar 3.11. Dogma pusat dari genetika molekuler.



RANGKUMAN

RNA, seperti halnya DNA, merupakan polimer panjang tidak bercabang yang terdiri dari nukleotida-nukleotida yang bersambung dengan ikatan 3' → 5' fosfodiester. Struktur kovalen RNA berbeda dengan DNA dalam dua hal. Sebagaimana terbaca dari namanya, unit-unit gula dalam RNA berupa ribosa bukan deoksiribosa. Ribosa mengandung sebuah gugus 2'-hidroksil yang tidak terdapat deoksiribosa. Perbedaan yang lain ialah bahwa satu dari keempat basa utama dalam RNA adalah urasil (U) yang menggantikan timin (T). Urasil, seperti timin, dapat membentuk pasangan basa dengan adenin, tetapi tidak mengandung gugus metil yang terdapat dalam timin. Molekul RNA dapat berbentuk untai tunggal atau untai ganda.

Ada tiga macam RNA seluler, yaitu:

1. RNA penyampai (m-RNA) yang bertindak sebagai cetakan untuk sintesis rantai protein.
2. RNA ribosomal (r-RNA) yang bertindak sebagai komponen asam nukleat pada struktur ribosom sebagai tempat dilangsungkannya sintesis protein.

3. RNA pemindah (t-RNA) yang bertindak sebagai pembawa asam amino spesifik pada pembentukan rantai polipeptida.

RNA juga merupakan bahan genetik dalam virus tertentu. Seperti halnya dalam ribosom merupakan struktur protein RNA yang kompleks, maka virus-pun merupakan kumpulan asam nukleat dan molekul-molekul protein.

Ribosom merupakan struktur subseluler dimana sintesis protein berlangsung. Jika ribosom dari sel prokariotik berbeda dalam ukuran dan perincian struktural dari ribosom eukariot, namun hal-hal dasar penting adalah sama bagi keduanya.

Virus merupakan partikel lembam yang menular dan terdiri dari molekul asam nukleat dikelilingi oleh lapisan protein pelindung. Lapisan protein melindungi asam nukleat viral terhadap aksi nuklease.

Tiga proses utama dalam informasi genetik, yaitu:

1. Replikasi menyangkut perangkaian secara linier satuan-satuan monomer DNA untuk membentuk replikat atau kopi yang tepat dari rangkaian struktur DNA yang lama.
2. Transkripsi menyangkut perangkaian secara linier satuan-satuan monomer RNA., atau ribo-nukleotida, dengan menggunakan suatu bagian khas yang kecil (gene) dari untaian DNA sebagai model.
3. Translasi meliputi perangkaian secara linier monomer-monomer asam amino, dengan menggunakan satu jenis khas RNA sebagai cetakan dan jenis khas RNA lain sebagai pembawa dan pengubah asam amino.

**TES FORMATIF 2**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Unit-unit gula yang menjadi penyusun RNA adalah
 - A. deoksiribosa
 - B. glukoribosa
 - C. ribosa
 - D. deoksiadenosin

- 2) Satu dari keempat basa utama dalam RNA yang menggantikan timin (T) adalah
 - A. urasil (U)
 - B. fenilalanin (F)
 - C. lisin (L)
 - D. prolin (P)

- 3) RNA yang bertindak sebagai cetakan untuk sintesis rantai protein, adalah
 - A. r-RNA
 - B. b-RNA
 - C. m-RNA
 - D. t-RNA

- 4) Yang termasuk dalam gabungan protein DNA, yang mengandung sebagian sisa-sisa lisin, arginin atau keduanya, berupa suatu kelompok yang disebut
 - A. histon
 - B. urasil
 - C. lisin
 - D. prolin

- 5) RNA yang bertindak sebagai komponen asam nukleat pada struktur ribosom sebagai tempat dilangsungkan sintesis protein adalah
 - A. r-RNA
 - B. b-RNA
 - C. m-RNA
 - D. t-RNA

- 6) Struktur subseluler dimana sintesis protein berlangsung adalah
- virus
 - kloroplas
 - ribosom
 - mitokondria
- 7) RNA yang bertindak sebagai pembawa asam amino spesifik pada pembentukan rantai polipeptida, adalah
- r-RNA
 - b-RNA
 - m-RNA
 - t-RNA
- 8) Pengamatan yang menjelaskan mengapa triplet antikodon yang sama dalam molekul t-RNA tertentu dapat berpasangan basa dengan berbagai kodon triplet yang berbeda disebut
- dogma pusat
 - model daun semanggi
 - konsep goyang
 - polimerase
- 9) Perangkaian secara linier satuan-satuan monomer RNA atau *ribonukleotida*, dengan menggunakan suatu bagian khas yang kecil (gene) dari untaian DNA sebagai model, disebut
- replikasi
 - transformasi
 - translasi
 - transkripsi
- 10) Perangkaian secara linier monomer-monomer asam amino, dengan menggunakan satu jenis khas RNA sebagai cetakan dan jenis khas RNA lain sebagai pembawa dan pengubah asam amino, disebut
- replikasi
 - transformasi
 - translasi
 - transkripsi

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) C Pada setiap DNA, purin dan pirimidin terikat pada gula deoksiribosa dan sebuah fosfat. Unit ini disebut nukleotida
- 2) B Bentuk submetasentrik, yaitu jika letak sentromer agak jauh dari ujung kromosom dan biasanya membentuk huruf L atau J
- 3) B struktur penyusun intinya berupa nukleotida yang terdiri dari *adenin (A)*, *Guanin (G)*, *timin (T)* dan *sitosin*
- 4) D Membawa informasi genetik.
- 5) D. Sitosin (C) dengan Timin (T).
- 6) B. Pemisahan untai, hibridasi primer-primer, dan pemanjangan primer-primer melalui sintesis DNA.
- 7) A. Pemanasan larutan pada suhu 95°C selama 15 detik.
- 8) D. Didinginkan dengan tiba-tiba sampai mencapai suhu 54°C.
- 9) A. Deoksiribosa yang berikatan dengan gugus-gugus fosfat.
- 10) D. Mendeteksi pancaran gelombang elektromagnetik dari sel-sel otak.

Tes Formatif 2

- 1) C. Ribosa.
- 2) A. Urasil (U).
- 2) C. m-RNA.
- 4) A. Histon.
- 5) A. r-RNA.
- 6) C. Ribosom.
- 7) D. t-RNA.
- 8) A. Konsep goyang.
- 9) D. Transkripsi.
- 10) C. Translasi.

Daftar Pustaka

Dennis Kunkel. (2004). <http://rabi.phvs.virainia.edu/HTW/book.html>.
www.Cellsbio.com.

Freeman. (2004). *The Science of Biology*, 4th Edition, by Sinauer Associates
(www.sinauer.com) and (www.whfreeman.com).

Lubert, Styer. (2000). *Biokomia*. Vol I. Edisi 4. Jakarta: Penerbit Buku
Kedokteran EGC.

_____. (2001). *How things work: the physics of everyday life* (2" ed),
(Versi Elektronik). <http://rabi.nhys.vireiniaedu/HTW/book.html>

http://www.biosci.uga.edu/ahnac/bio_103/notes/may_15.htm.

<http://www.cellsalive.com/cells>

_____. (2004). *The Science of Biology*, 4th Edition, by Sinauer
Associates (www.sinauer.com)

Ralph Nossal & Harold Leccar. (1991). *Mollecular & Cell Biophysics*.
Canada: Addison-Wesley Publishing Company.

William Hughes.(1979). *Aspect of Biophysics*. Canada: John & Sons, Inc.