



MODUL
Biologi Molekuler
(FBM 111)

Materi 11
Ekspresi Gen (Transkripsi DNA)

Disusun Oleh
Trisia Lusiana Amir, S.Pd., M. Biomed

UNIVERSITAS ESA UNGGUL
2018

Transkripsi DNA

A. Pendahuluan

Transkripsi merupakan proses sintesis RNA menggunakan salah satu untai molekul DNA sebagai cetakan atau *templat*nya. Pada tahap awal, informasi yang ada pada gen disalin satu per satu (basa per basa) dari sebuah rantai DNA di dalam nukleus sel menjadi rantai RNA pembawa pesan (*messenger RNA*= mRNA atau RNA duta= rNAd). Rantai DNA berfungsi sebagai cetakan atau *template* yang akan menghasilkan mRNA komplementnya. Bedanya, basa T (Timin) pada DNA digantikan oleh U (Urasil) pada mRNA. Namun, keduanya tetap sama-sama berkomplemen dengan A (Adenin). Proses penyalinan DNA menjadi RNA ini dinamakan transkripsi. Proses ini terjadi di dalam nukleus baik pada sel prokariotik maupun sel eukariotik. Pada tahap ini, setiap basa nitrogen DNA dikodekan ke dalam basa nitrogen RNA. Misalnya, jika urutan basa nitrogen DNA adalah ACG TAG CTA, maka urutan mRNA hasil transkripsi adalah UGC AUC GAU.

Tahapan transkripsi secara umum hampir sama antara sel prokariotik dan sel eukariotik, yaitu melewati tiga tahapan utama: inisiasi, elongasi dan terminasi. Namun dalam prosesnya, terdapat beberapa perbedaan proses transkripsi antara sel prokariotik dan sel eukariotik. Perbedaan tersebut dapat dilihat dari karakteristik promoter, faktor-faktor transkripsi dan modifikasi mRNA pasca transkripsi. Adanya perbedaan ini dapat disebabkan karena bentuk dan ukuran DNA (sel prokariotik sirkular dan pendek sedangkan sel eukariotik linear dan panjang), struktur sel (sel prokariotik tidak memiliki membran inti sehingga mRNA yang terbentuk dari transkripsi dapat langsung ditranslasi sedangkan sel eukariotik memiliki membran inti sehingga proses transkripsi harus benar-benar selesai dulu di nukleus setelah itu mRNA yang matang dikeluarkan dari membran inti untuk selanjutnya diterjemahkan melalui proses translasi di sitoplasma.

B. Kompetensi Dasar

Mahasiswa mampu mendeskripsikan tentang transkripsi DNA dengan benar dan tepat

C. Kemampuan Akhir yang Diharapkan

Pada akhir pembelajaran ini, diharapkan mahasiswa mampu:

- Menyebutkan definisi transkripsi DNA dengan benar dan tepat
- Menyebutkan tahap-tahap transkripsi DNA secara umum dengan benar dan tepat
- Menjelaskan tahapan transkripsi DNA pada sel prokariotik dengan benar dan tepat
- Menjelaskan tahapan transkripsi DNA pada sel eukariotik dengan benar dan tepat
- Menjelaskan perbedaan proses transkripsi DNA antara sel prokariotik dan sel eukariotik dengan benar dan tepat

D. Uraian Materi

1. Definisi Transkripsi

Transkripsi adalah proses penyalinan kode-kode genetik yang ada pada urutan DNA menjadi molekul RNA. Selain itu juga Transkripsi merupakan proses dimana polimerisasi ribonukleotida dipandu oleh pasangan dasar komplementer menghasilkan transkrip RNA gen. Transkripsi merupakan tahap pertama ekspresi gen, dimana segmen DNA tertentu disalin ke RNA dengan enzim RNA Polimerase. Proses ini terjadi di dalam sel, tepatnya di nukleus, mitokondria, dan plastida yang di dalamnya terkandung DNA

2. Tujuan Transkripsi

Tujuan transkripsi adalah menyalin informasi genetik dari DNA ke dalam bentuk mRNA untuk dibawa ke luar dari inti sel, untuk diterjemahkan menjadi bentuk protein (translasi). Protein yang dihasilkan dalam proses translasi akan berperan sebagai enzim, hormon, maupun, komponen sel yang penting bagi kelangsungan hidup organisme.

3. Ciri-Ciri Transkripsi

Transkripsi mempunyai ciri-ciri kimiawi yang serupa dengan sintesis/replikasi DNA, yaitu:

- a. Adanya sumber basa nitrogen berupa nukleosida trifosfat. Bedanya dengan sumber basa untuk sintesis DNA hanyalah pada molekul gula pentosanya yang tidak berupa deoksiribosa tetapi ribosa dan tidak adanya basa timin tetapi digantikan oleh urasil. Jadi, keempat nukleosida trifosfat yang diperlukan adalah adenosin trifosfat (ATP), guanosin trifosfat (GTP), sitidin trifosfat (CTP), dan uridin trifosfat (UTP).
- b. Adanya untai molekul DNA sebagai cetakan. Dalam hal ini hanya salah satu di antara kedua untai DNA yang akan berfungsi sebagai cetakan bagi sintesis molekul RNA. Untai DNA ini mempunyai urutan basa yang komplementer dengan urutan basa RNA hasil transkripsinya, dan disebut sebagai pita antisens. Sementara itu, untai DNA pasangannya, yang mempunyai urutan basa sama dengan urutan basa RNA, disebut sebagai pita sens. Meskipun demikian, sebenarnya transkripsi pada umumnya tidak terjadi pada urutan basa di sepanjang salah satu untai DNA. Jadi, bisa saja urutan basa yang ditranskripsi terdapat berselang-seling di antara kedua untai DNA.
- c. Sintesis berlangsung dengan arah $5' \rightarrow 3'$ seperti halnya arah sintesis DNA.
- d. Gugus $3'$ -OH pada suatu nukleotida bereaksi dengan gugus $5'$ -trifosfat pada nukleotida berikutnya menghasilkan ikatan fosfodiester dengan membebaskan dua atom pirofosfat anorganik (PPi). Reaksi ini jelas sama dengan reaksi polimerisasi DNA. Hanya saja enzim yang bekerja bukannya DNA polimerase, melainkan RNA polimerase. Perbedaan yang sangat nyata di antara kedua enzim ini terletak pada kemampuan enzim RNA

polimerase untuk melakukan inisiasi sintesis RNA tanpa adanya molekul primer.

4. Molekul RNA yang Disintesis

Molekul RNA yang disintesis dalam proses transkripsi dapat dibedakan menjadi 3 kelompok molekul RNA, yaitu:

a. mRNA (*messenger RNA*)

→ adalah RNA yang merupakan salinan kode-kode genetik pada DNA yang dalam proses selanjutnya (proses translasi) akan diterjemahkan menjadi urutan asam-asam amino yang menyusun suatu protein tertentu.

b. tRNA (*Transfer RNA*)

→ adalah RNA yang berperan membawa asam-asam amino spesifik yang akan digabungkan dalam proses sintesis protein

c. rRNA (*Ribosomal RNA*)

→ adalah RNA yang digunakan untuk menyusun ribosom.

5. Komponen yang Terlibat dalam Transkripsi

Komponen molekular yang terlibat dalam proses transkripsi adalah sebagai berikut:

a. Enzim RNA polimerase

→ suatu enzim yang membantu mempercepat proses pembentukan RNA. Enzim ini berbeda dengan enzim DNA polimerase, RNA polimerase dapat memulai pembentukan rantai RNA tanpa menggunakan primer. Berfungsi memisahkan dua untai DNA. Pada sel prokariotik (bakteri), hanya ada satu tipe enzim RNA polimerase. Sedangkan pada sel eukariotik, ada tiga tipe enzim RNA polimerase, yaitu enzim RNA

polimerase I, enzim RNA polimerase II, dan enzim RNA polimerase III. Pada proses transkripsi, enzim yang digunakan adalah enzim RNA polimerase II. Dua enzim RNA polimerase yang lain merekam molekul RNA yang tidak diterjemahkan menjadi protein.

b. Faktor-faktor Transkripsi

→ sekelompok protein di dalam inti sel yang berperan serta dalam proses transkripsi kode genetik menjadi mRNA. Faktor transkripsi merupakan mata rantai terakhir pada lintasan transduksi sinyal yang mengkonversi sinyal ekstraselular menjadi modulasi ekspresi genetik.

c. Prekursor untuk sintesis RNA

→ Prekursor untuk sintesis RNA ada

4 macam: 5'-trifosfat ATP, GTP, CTP, dan UTP (tidak ada thymine pada RNA)

d. Urutan DNA yang akan ditranskripsi

- **Promoter**, urutan bagian DNA dimana enzim RNA polimerase memulai proses transkripsi.
- **Bagian Struktural**, bagian urutan nukleotida DNA spesifik yang akan ditranskripsikan
- **Terminator**, urutan bagian DNA yang menandakan bagian akhir dari transkripsi.

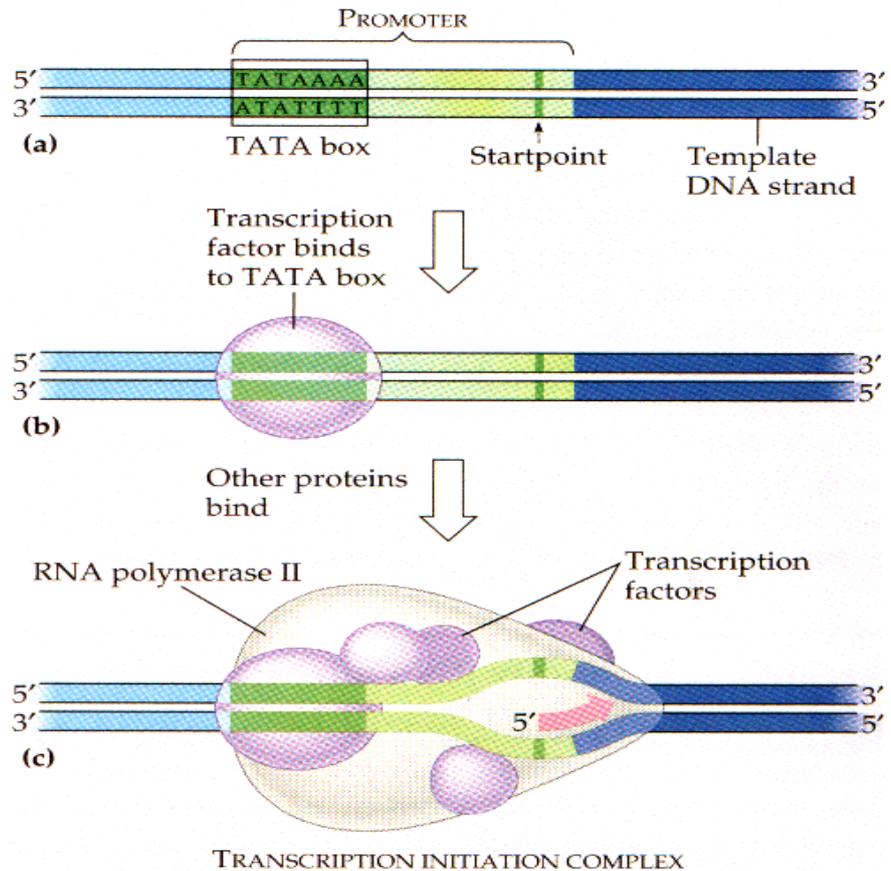
6. Proses Transkripsi

Proses transkripsi pada sel prokariotik secara umum hampir sama dengan yang terjadi pada sel eukariotik. Adapun tahapan secara umum proses transkripsi terdiri atas tiga tahap, yaitu: inisiasi, elongasi dan terminasi.

a. Inisiasi

Inisiasi adalah awal dari transkripsi. Hal ini terjadi ketika enzim polimerase RNA mengikat ke wilayah gen yang disebut promotor. RNA polimerase mengikat dua untai DNA untuk di *copy*. RNA polimerase mengenali dan mengikat promotor (urutan DNA khusus dekat ujung akhir gen dimana transkripsi akan dimulai). Meskipun promotor dari gen yang berbeda sangat bervariasi dalam ukuran dan urutan, semua promotor mengandung beberapa karakteristik urutan pendek dari 6-10 pasang nukleotida yang membantu mengikat RNA polimerase.

Selain berfungsi sebagai tempat pengikatan untuk RNA polimerase dan menentukan di mana transkripsi dimulai, promotor menentukan mana dari dua heliks DNA yang digunakan sebagai template. Bagian tertentu dari promotor sangat penting untuk mengikat RNA polimerase.

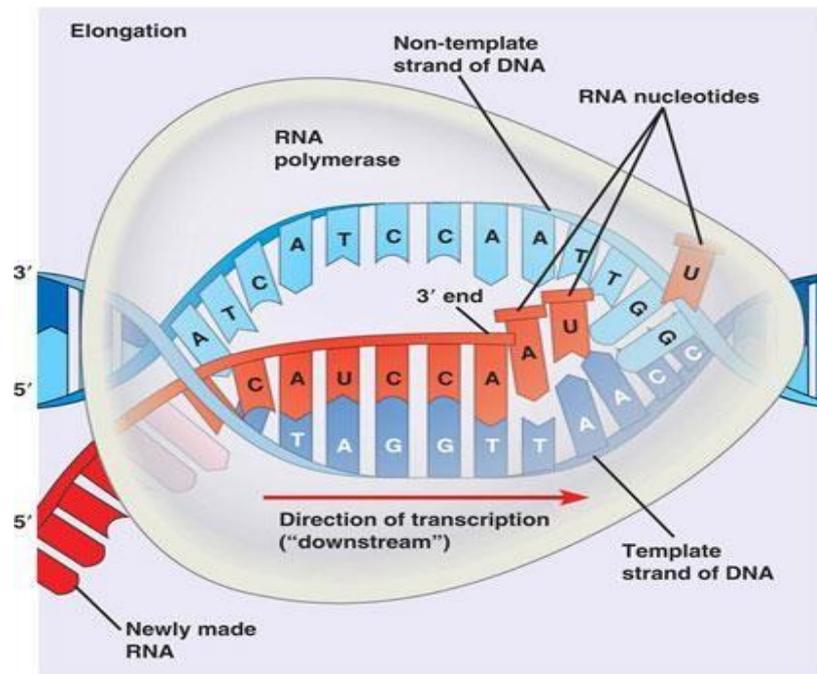


Gambar 1. Tahap Inisiasi dari Proses Transkripsi DNA

b. Elongasi

Bagian DNA yang telah terbuka oleh RNA polimerase disebut gelembung transkripsi/*transcription bubble*. Ketika RNA polimerase bergerak di sepanjang DNA, ia terus membuka rantai heliks ganda dan memperlihatkan sekitar 10 sampai 20 basa sekaligus. RNA polimerase menambahkan nukleotida ke ujung 3' dari molekul RNA yang sedang terbentuk. Setelah sintesis RNA berlangsung, DNA heliks ganda terbentuk kembali dan molekul RNA yang baru akan lepas dari cetakan DNA-nya. Begitu polimerase RNA telah berpindah dari promotor, molekul RNA polimerase lainnya dapat bergerak masuk untuk memulai. Jika promotor sangat kuat, yaitu jika ia dapat dengan cepat menarik RNA polimerase, gen tersebut dapat mengalami transkripsi oleh banyak RNA polimerase secara bersamaan. Saat RNA polimerase bergerak dan membuka rantai DNA, arah RNA polimerase terbagi menjadi dua. Jika transkripsi dimulai pada ujung 5' gen pada titik A dan bergerak di sepanjang gen ke arah yang sama

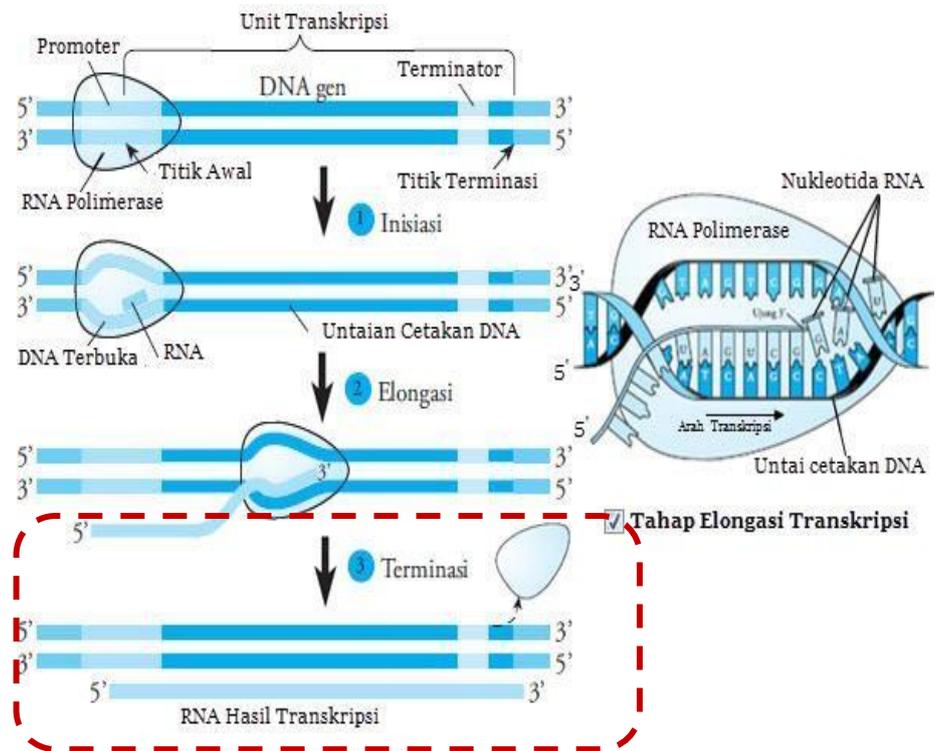
dengan RNA polimerase ke titik B, maka transkripsi akan berjalan ke arah hilir/*downstream*. Jika sebaliknya, transkripsi dimulai pada titik B dan bergerak ke arah yang berlawanan dari RNA polimerase ke titik A, transkripsi akan bergerak ke arah hulu/*upstream*.



Gambar 2. Tahap Elongasi dari Proses Transkripsi DNA

c. Terminasi

Transkripsi berlangsung sampai RNA polimerase mentranskripsi urutan DNA yang disebut Terminator yang juga merupakan urutan RNA yang mensinyali akhir dari transkripsi.



Gambar 3. Tahap Terminasi dari Proses Transkripsi DNA

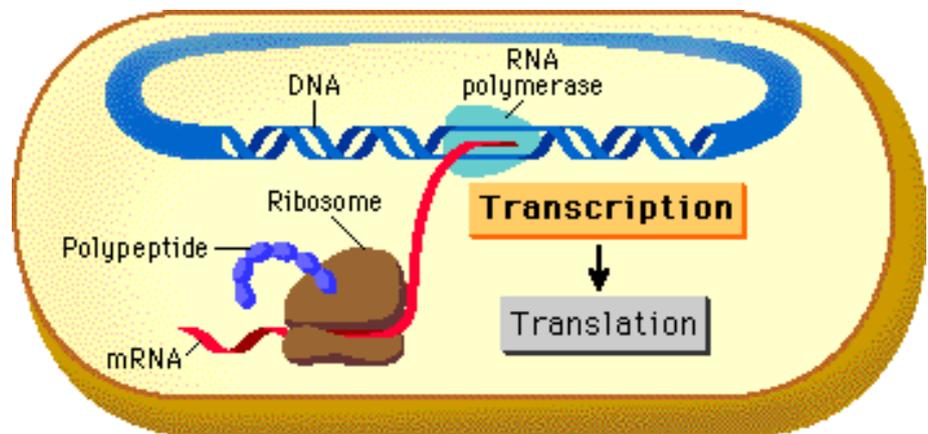
Terdapat dua tipe terminator: terminator intrinsik yang menyebabkan inti enzim RNA polimerasi menghentikan proses transkripsi itu sendiri dan terminator ekstrinsik yang membutuhkan protein selain RNA polimerase (terutama polipeptida yang dikenal sebagai *rho*) untuk melakukan terminasi. Enzim RNA polimerase bergerak di sepanjang untai DNA sampai menemukan kodon terminator. Pada titik terminator sequece RNA polimerase melepaskan polimer mRNA dan melepaskan diri dari molekul DNA.

7. Mekanisme Transkripsi pada Prokariotik

Transkripsi pada bakteri juga dikenal sebagai transkripsi prokariotik, itu adalah proses di mana messenger RNA mentranskrip materi genetik pada prokariota.

- a. **Inisiasi** – Dalam prokariota, proses transkripsi dimulai dengan pengikatan RNA polimerase ke DNA promotor. RNA polimerase mengikat promotor spesifik dalam DNA prokariotik (TATA box). DNA ini dibuka dan dikenal sebagai kompleks terbuka. RNA polimerase mentranskripsi DNA dan menghasilkan transkrip yang tidak dapat meninggalkan enzim sampai faktor rho memisahkan dari enzim inti.

- b. Elongasi** – promotor berbeda dalam kekuatan dan ini adalah bagaimana mereka mendorong transkripsi urutan DNA mereka yang berdekatan. Enzim RNA polimerase menambahkan nukleotida baru (RNA) dari ujung 5' ke ujung 3' dan membangun rantai polinukleotida.
- c. Terminasi** – Pada prokariota, pemutusan dapat dilakukan dengan dua cara yang berbeda – terminasi rho-independent dan terminasi rho-dependent. Terminasi rho-independent adalah dimana transkripsi dihentikan ketika RNA yang baru disintesis membentuk GC. Sedangkan terminasi rho-independent adalah dimana transkripsi dihentikan ketika RNA yang baru disintesis membentuk AU. Kemudian, RNA lepas (mRNA) dan RNA polimerase lepas dari DNA



Gambar 4. Tahapan Transkripsi pada Sel Prokariotik

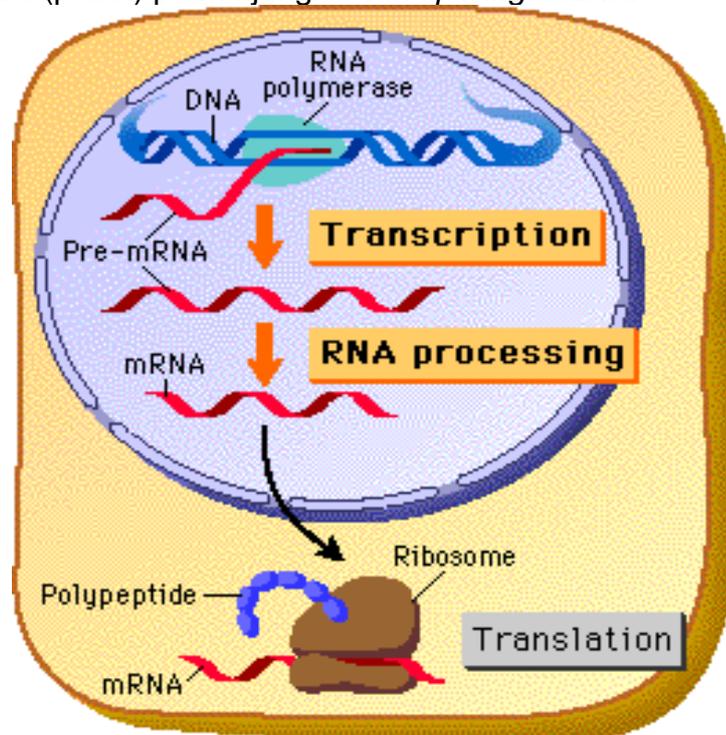
8. Mekanisme Transkripsi pada Eukariotik

Pada dasarnya menyerupai mekanisme transkripsi pada prokariot. Namun, mekanismenya jauh lebih kompleks daripada mekanisme pada prokariot.

- a. Inisiasi** – Dalam inisiasi, transkripsi eukariota membutuhkan kehadiran urutan promotor inti dalam DNA. Daerah Promotor pada eukariota ditemukan bagian hulu (upstream) dari situs transkripsi. RNA polimerase berikatan dengan promotor inti untuk memulai transkripsi. Proses transkripsi lebih kompleks pada eukariota. Sekelompok protein yang disebut faktor transkripsi memediasi pengikatan RNA polimerase dan memulai transkripsi. Jadi pada tahap ini RNA polimerase berikatan dengan suatu daerah promotor dari satu untai DNA template (TATA box/kotak GC/Kotak CCAAT) terikat faktor-faktor transkripsi
- b. Elongasi** - RNA polimerase melintasi untai cetakan dan

menambahkan basa untuk melengkapi template DNA dan membuat salinan RNA atau dengan kata lain RNA polimerase menambahkan nukleotida baru (RNA) dalam arah 5' ke 3'. Elongasi pada eukariota juga melibatkan mekanisme proofreading yang menggantikan basa yang salah ditempatkan.

- c. Terminasi** – RNA polimerase menemukan daerah terminasi (AAUAAA) di dalam pra mRNA kemudian RNA lepas (mRNA belum matang dan RNA polimerase lepas dari DNA). Pematangan mRNA akan terjadi melalui proses modifikasi pasca transkripsi atau dikenal juga dengan sebutan pemrosesan RNA), yang meliputi: penambahan tutup (cap) pada ujung 5', penambahan ekor (poli A) pada ujung 3' dan *splicing* mRNA.



Gambar 5. Tahapan Transkripsi pada Sel Eukariotik
Modifikasi pasca transkripsi pada sel eukariotik:

1. Penambahan tudung (cap) pada ujung 5' mRNA
 - ➔ Pada tahap ini ada penambahan gugus metil pada ujung 5' hingga membentuk 7 metilguanasin. Fungsinya:
 - Melindungi mRNA dari degradasi
 - Meningkatkan efisiensi translasi mRNA
 - Meningkatkan pengangkutan nRNA dari nukleus ke sitoplasma
 - Meningkatkan proses splicing mRNA

2. Poliadenilasi mRNA

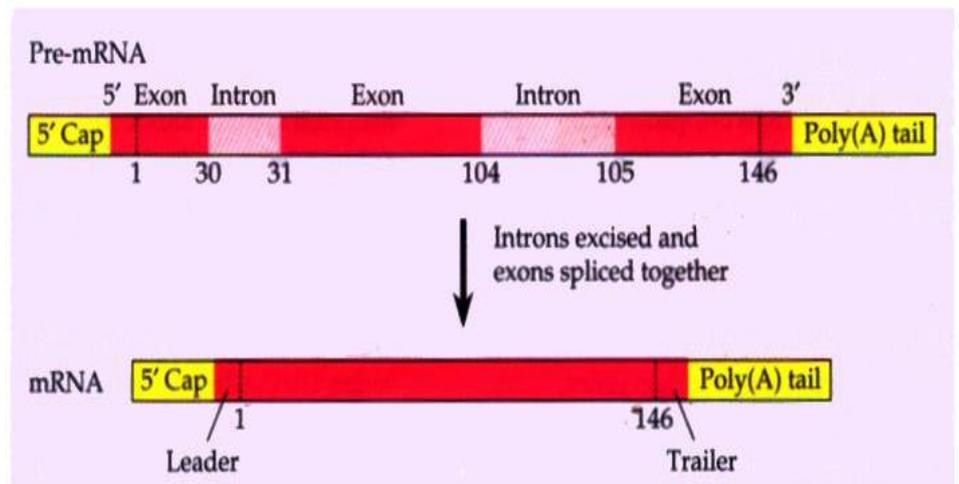
→ Penambahan poliA pada ujung 3' sepanjang 200-250 nukleotida oleh enzim poliA polimerase, ini berfungsi :

- Meningkatkan stabilitas mRNA
- Meningkatkan efisiensi translasi dengan cara kemampuan yang lebih tinggi mengikat ribosom

3. Splicing mRNA

→ Proses pemotongan intron dan penyambungan ekson, berfungsi :

- Membentuk transkrip mRNA yang matang. Intron merupakan urutan nukleotida yang terdapat dalam gen antara ekson namun tidak mengkode protein sehingga untuk tahap selanjutnya intron akan dibuang namun nanti suatu saat dipakai kembali sebagai oligonukleotida



Gambar 6. Tahapan Modifikasi Pasca Transkripsi pada Sel Prokariotik

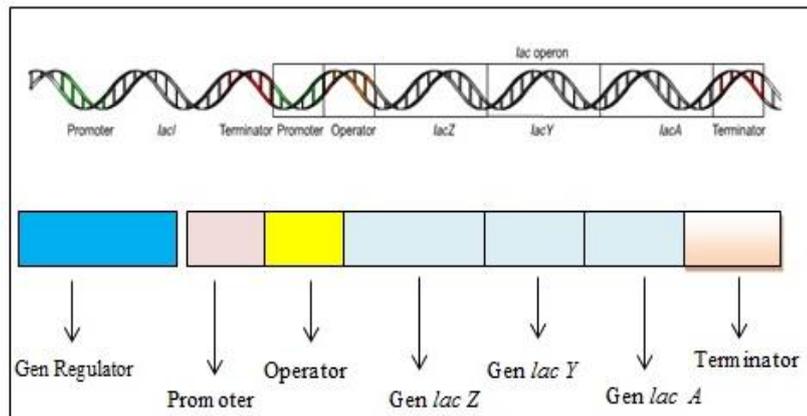
9. Perbedaan Proses Transkripsi pada Eukariotik dan Prokariotik

Secara umum, tahapan proses transkripsi hampir sama antara sel prokariotik maupun sel eukariotik, yaitu sama-sama terjadi di inti sel (nukleus) dan tahapannya meliputi inisiasi, elongasi dan terminasi. Namun ada, beberapa perbedaan proses selama transkripsi tersebut berlangsung antara sel prokariotik maupun sel eukariotik. Perbedaan itu diantaranya adalah:

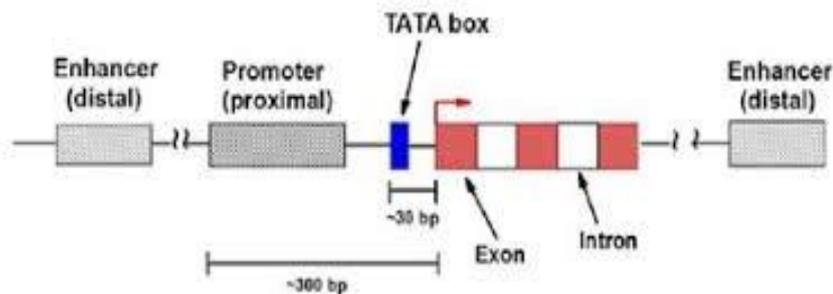
a. Promoter

- Pada sel prokariotik, karena DNA berbentuk sirkuler maka satu promoter dapat mengkode beberapa gen, seperti gen lac Z, gen lac Y dan gen lac A. Sistem seperti ini dikenal sebagai

sistem operon. Sehingga, pada sel prokariotik hanya ada satu promoter saja. Sedangkan pada sel eukariotik, karena DNA berbentuk linear maka satu promoter hanya mengkode satu gen, yang mana struktur gennya terdiri atas intron (bagian yang tidak ditranslasi) dan ekson (bagian yang ditranslasi). Sehingga, pada sel eukariotik terdapat beberapa promoter.



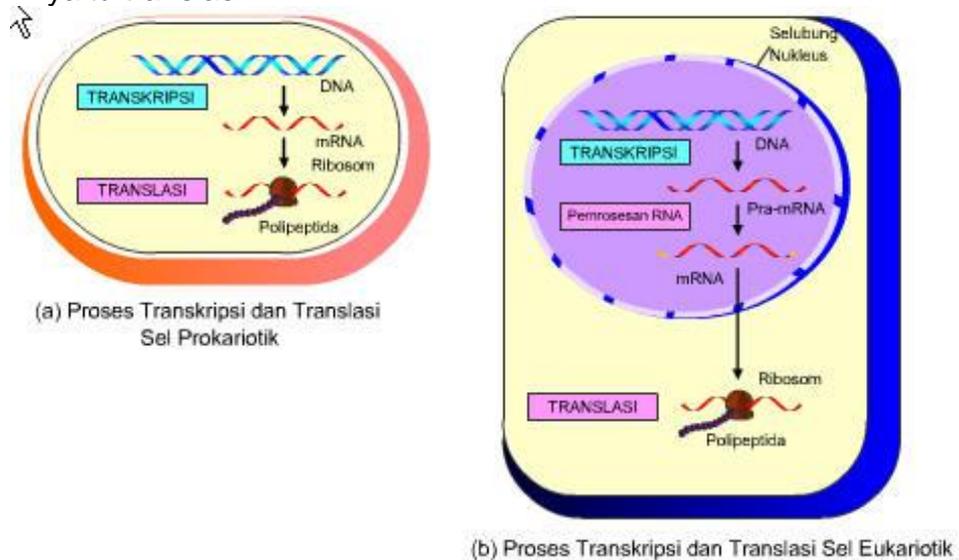
Gambar 7. Promoter pada Sel Prokariotik



Gambar 8. Promoter pada Sel Eukariotik

- b. Pada sel prokariotik, mRNA yang terbentuk dari hasil transkripsi di nukleus dapat langsung ditranslasi di ribosom (sitoplasma), walaupun proses transkripsi belum selesai sempurna. Sedangkan pada sel eukariotik, mRNA yang terbentuk dari hasil transkripsi di nukleus tidak dapat langsung ditranslasikan, melainkan proses transkripsi harus diselesaikan terlebih dahulu sampai sempurna. Setelah mRNA matang, barulah mRNA siap keluar melewati membran inti dan menuju ribosom (sitoplasma) untuk ditranslasi. Perbedaan proses seperti ini terjadi karena perbedaan struktur dari dua jenis sel tersebut. Pada sel prokariotik, tidak terdapat membran inti, sehingga transkripsi dan translasi dapat terjadi secara berkelanjutan. Sedangkan pada sel eukariotik, terdapat membran inti yang memisahkan nukleus dengan sitoplasma. Sehingga pada sel eukariotik, proses transkripsi harus diselesaikan dengan sempurna terlebih dahulu dengan adanya pematangan mRNA yang mengakibatkan mRNA tersebut dapat

keluar dari membran inti dan berjalan menuju ribosom di sitoplasma untuk melanjutkan proses ekspresi gen berikutnya, yaitu translasi.



Gambar 9. Perbandingan proses transkripsi antara sel prokariotik dan sel eukariotik

E. Latihan Soal

1. Enzim yang mempengaruhi gerak di sepanjang promotor sampai di belakang terminator dan yang berperan menambahkan nukleotida RNA sesuai dengan DNA *template* adalah enzim...
 - a. RNA protease
 - b. katalase
 - c. amilase
 - d. RNA polimerase**
 - e. DNA polimerase

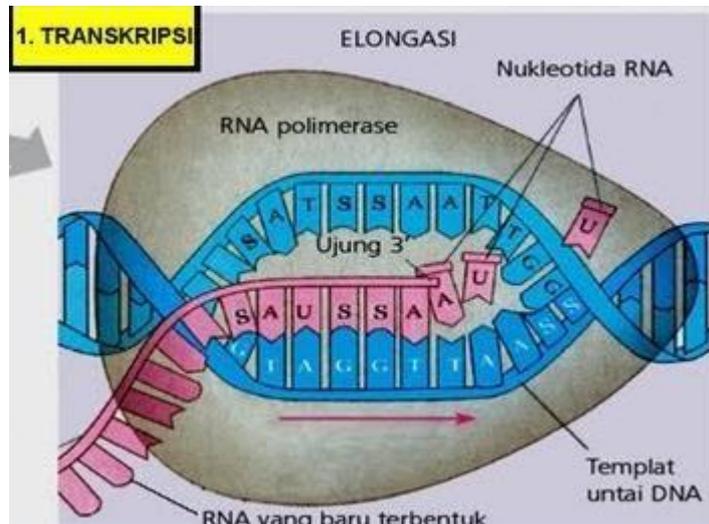
Pembahasan:

karena Enzim RNA polimerase membuka pilinan kedua untai DNA sehingga terpisah dan mengaitkan nukleotida RNA pd saat molekul ini membentuk pasangan basa disepanjang cetakan DNA.

2. Pita DNA yang berfungsi sebagai pencetakan RNA disebut
 - a. template**
 - b. antisense
 - c. RNA

- d. basa nitrogen
- e. anticodon

Pembahasan:



Sama seperti dijelaskan digambar, RNA mencetak dari DNA template.

3. Dibawah ini adalah elemen-elemen regulator gen , kecuali ..
- a. promoters
 - b. eksresi**
 - c. silencers
 - d. response elements
 - e. enhancer

Pembahasan:

pengaturan transkripsi dimediasi oleh interaksi antara faktor-faktor transkripsi dan DNA binding sitenya. Terdapat empat macam elemen ini :

- promoters
- enhancers
- silencers
- response elements

4. Pasangan basa nitrogen adenin pada mRNA yaitu
- a. urasil (U)**
 - b. guanin (G)
 - c. adenin (A)
 - d. sitosin (S)

e. timin (T)

Pembahasan:

Adenin berpasangan dengan Timin pada DNA, namun pada RNA adenin berpasangan dengan Urasil.

5. RNA akan membentuk cetakan untuk sintesis protein setelah menerima kode genetik dari DNA. Tempat berlangsungnya sintesis protein adalah....

- a. **ribosom**
- b. nukleus
- c. kromosom
- d. nukleolus
- e. gen

Pembahasan:

tempat berlangsungnya sintesis protein adalah pada organel sel bernama Ribosom.

6. Proses pembentukan RNA oleh DNA disebut

- a. Translokasi
- b. Translasi
- c. **Transkripsi**
- d. Transformasi
- e. Transmisi

Pembahasan:

Transkripsi dalam genetika adalah pembuatan RNA dengan menyalin sebagian berkas DNA. Transkripsi adalah bagian dari rangkaian ekspresi genetik.

7. Basa nitrogen yang terdapat pada DNA sebagai berikut, kecuali

- a. Guanin
- b. Adenin
- c. **Urasil**
- d. Timin
- e. Sitosin

Pembahasan:

Basa nitrogen DNA terdiri dari golongan purin yaitu adenine (A) dan guanin (G), serta golongan pirimidin, yaitu sitosin ©, dan timin (T). tidak ada urasil.

8. Apabila urutan nukleotida pada DNA berupa AAA CCC ACA GTC, maka urutan mRNA yang terbentuk setelah ditranskripsikan adalah...

- a. AAA GGG CGG CAG
- b. TTT CCC CGG ACG
- c. **UUU GGG UGU CAG**

- d. UUU CCC CGC ACG
- e. AAA CCC CGA ACG

Pembahasan:

Dalam pasangan basa Watson-Crick, adenin (A) membentuk pasangan basa dengan timin (T), sementara guanin (G) dengan sitosin (C) dalam DNA. Pada RNA, timin (T) digantikan oleh urasil (U).

9. Pembentukan mRNA atau RNA duta dari salah satu pita DNA di dalam
- a. Ribosom
 - b. Nukleus**
 - c. Lisosom
 - d. Badan golgi
 - e. RE halus

Pembahasan

transkripsi adalah pembentukan mRNA atau RNA duta dari salah satu pita DNA yang terjadi di dalam nukleus/inti sel.

10. Tempat awal dimulainya suatu transkripsi dari urutan nukleotida DNA pada tiap sel disebut dengan daerah...
- a. Promoter**
 - b. Terminator
 - c. silencers
 - d. response elements
 - e. enhancer

Pembahasan

Proses transkripsi, awalnya terjadi di daerah promoter dari sekuen DNA yang menyandi gen tertentu yang ingin diekspresikan.

F. Daftar Pustaka

Campbell, NA, Reece JB, Mitchell LG. 2000. *Biologi*. Jakarta: Erlangga.

Yuwono, Triwibowo. 2010. *Biologi Molekuler*. Jakarta: Erlangga.

Stansfield, WD, Colome JS, Cano RJ. 2006. *Biologi Molekuler dan Sel*. Jakarta: Erlangga.

Campbell, Neil A. and Jane B. Reece. 2005. *Biology 7th ed, International Edition*. San Fransico: Pearson Educational Inc.

Hartwell, Leland H., Leroy Hood, dkk. 2000. *Genetics: From Genes to Genomes*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.

Penerbit Erlangga. Panji. 2017. "Pengertian dan Proses Transkripsi DNA", www.edubio.info/2017/08/pengertian-dan-proses-transkripsi-dna.html, diakses pada 29 November 2017 pada pukul 10.25

Tim Dosen Biokimia FMIPA Universitas Negeri Manado. 2010. "Soal Jawab Biologi Molekuler", www.biokimiaunima.blogspot.co.id/2010/11/soal-jawab-biologi-molekuler.html, diakses pada 29 November 2017 pada pukul 11.37