

TUGAS PERTEMUAN 1

**PERKEMBANGAN BIOINFORMATIKA DALAM GENOMIK
(MINDMAP) DAN RESUMEN DOGMA SENTRAL BIOLOGI
MOLEKULER**

Dosen Pengampu : Tirta Setiawan, S.Pd., M.Si



Disusun Oleh:

Nama : Rika Ajeng Finatih

NIM : 121450036

Kelas : Bioinformatika RB

PROGRAM STUDI SAINS DATA

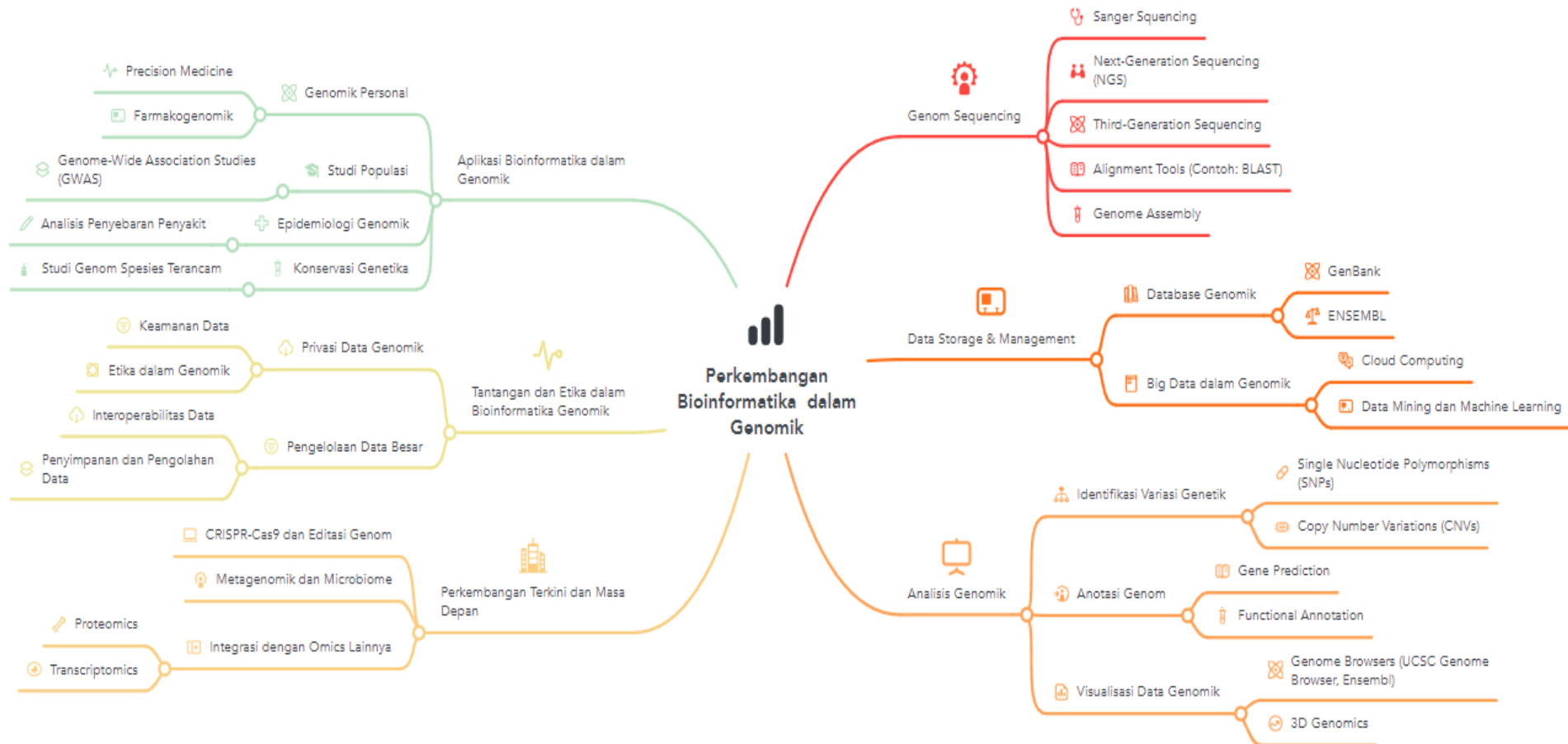
FAKULTAS SAINS

INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA

TAHUN 2024/2025

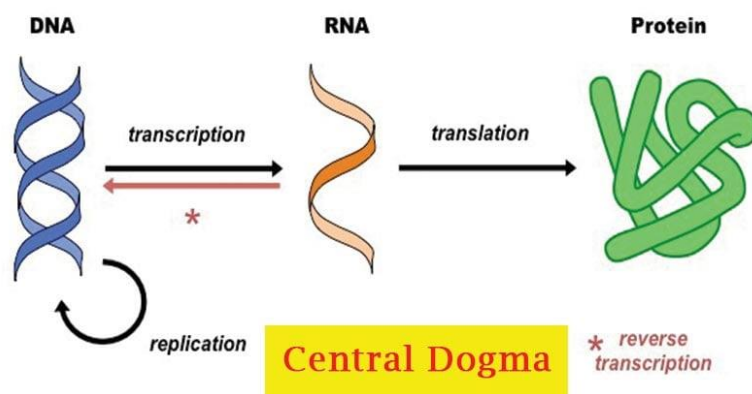
MINDMAPING

PERKEMBANGAN BIOINFORMATIKA DALAM GENOMIK



Dogma Sentral Biologi Molekuler

Dogma Sentral Biologi Molekuler adalah salah satu konsep fundamental yang membentuk dasar pemahaman tentang bagaimana informasi genetik disimpan, ditransmisikan, dan diekspresikan dalam sel. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Francis Crick pada tahun 1957, dan sejak itu telah menjadi landasan utama dalam biologi molekuler. Dogma Sentral memberikan kerangka kerja sederhana namun kuat untuk menjelaskan aliran informasi genetik dari DNA ke protein melalui dua proses utama: transkripsi dan translasi. Konsep ini juga mencakup replikasi sebagai proses penting dalam penggandaan informasi genetik, menjadikannya sebagai salah satu pilar utama dalam memahami bagaimana sel berfungsi dan bagaimana organisme mewariskan sifat-sifat mereka dari satu generasi ke generasi berikutnya.



Gambar 1. Ilustrasi Dogma Sentral Biologi Molekuler

(Sumber: <https://microbenotes.com/central-dogma-replication-transcription-translation/>)

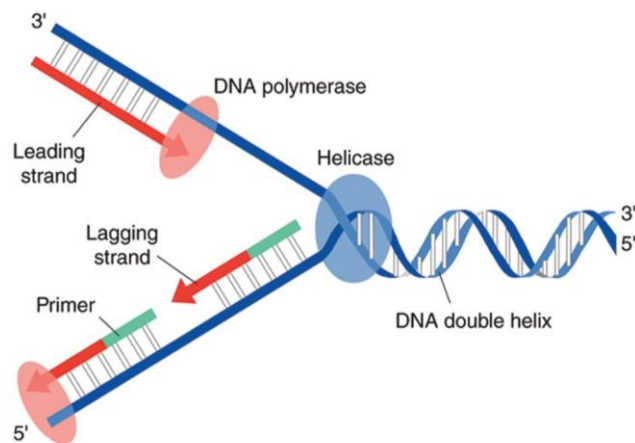
Secara singkat, Dogma Sentral menjelaskan bahwa informasi genetik yang tersimpan dalam DNA disalin menjadi RNA melalui proses yang disebut transkripsi, dan kemudian RNA ini diterjemahkan menjadi protein melalui proses yang disebut translasi. Dengan kata lain, DNA berfungsi sebagai cetak biru untuk sintesis RNA, dan RNA kemudian berfungsi sebagai cetak biru untuk sintesis protein, yang merupakan molekul fungsional utama dalam sel. Tiga proses utama yang terlibat dalam Dogma Sentral adalah replikasi, transkripsi, dan translasi, masing-masing memainkan peran kritis dalam menjaga integritas informasi genetik dan memastikan ekspresi yang tepat dari gen-gen yang dikodekan oleh DNA.

Namun, seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, Dogma Sentral tidak hanya dianggap sebagai aturan kaku yang tidak dapat diubah, tetapi juga sebagai kerangka kerja yang terus berkembang. Penemuan-penemuan baru telah memperluas pemahaman tentang kompleksitas aliran informasi genetik dan menunjukkan bahwa ada beberapa pengecualian dan variasi dalam cara informasi genetik dapat ditransmisikan dan diekspresikan. Dalam tulisan ini, akan membahas secara mendalam ketiga tahap utama dalam Dogma Sentral serta beberapa pengecualian dan penemuan terbaru yang telah memperluas pemahaman tentang aliran informasi genetik dalam sel.

1. Replikasi

Replikasi adalah proses dasar di mana DNA menggandakan dirinya sendiri untuk menghasilkan salinan identik. Proses ini sangat penting sebelum pembelahan sel karena memastikan bahwa setiap sel anak menerima salinan lengkap dari informasi genetik. Replikasi DNA adalah proses yang sangat teratur dan akurat, dimulai pada titik-titik tertentu di sepanjang molekul DNA yang dikenal sebagai *origin of replication*. Pada titik ini, mesin replikasi DNA mulai bekerja, melibatkan berbagai enzim dan protein yang berperan dalam membuka rantai DNA, menstabilkan rantai tunggal, dan mensintesis rantai baru yang komplementer dengan rantai asal.

Salah satu enzim utama yang terlibat dalam replikasi adalah DNA polimerase, yang berfungsi untuk menambahkan nukleotida baru ke rantai DNA yang sedang disintesis. Proses ini bersifat semi-konservatif, artinya setiap rantai dari molekul DNA asli berfungsi sebagai cetakan untuk rantai baru, sehingga menghasilkan dua molekul DNA yang masing-masing terdiri dari satu rantai lama dan satu rantai baru. Ini adalah mekanisme yang sangat efektif untuk memastikan bahwa informasi genetik tetap akurat dari satu generasi sel ke generasi berikutnya.



Gambar 2. Proses Replikasi DNA

(Sumber : <https://news.inbio-indonesia.org/article-99.html>)

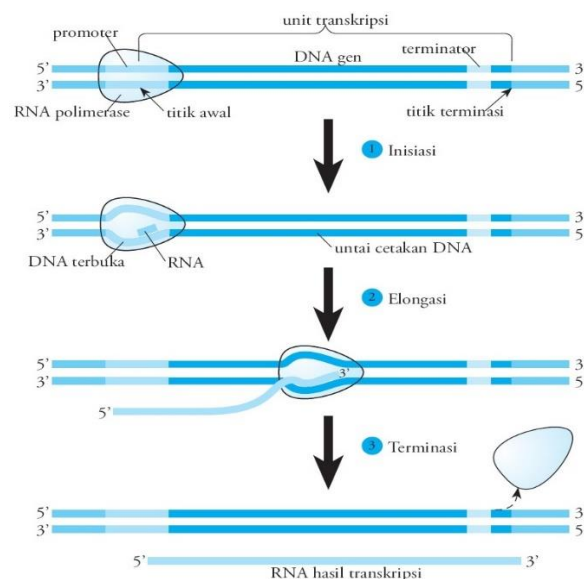
Proses replikasi DNA berlangsung dalam beberapa tahap yang sangat terkoordinasi. Pertama, heliks DNA diuraikan oleh enzim helicase, yang membuka rantai ganda DNA menjadi dua rantai tunggal. Proses ini menciptakan apa yang dikenal sebagai "fork replikasi," di mana dua cabang DNA tunggal yang baru terbentuk berfungsi sebagai cetakan untuk sintesis DNA baru. Untuk memulai sintesis DNA baru, enzim primase mensintesis primer RNA, yang merupakan fragmen pendek RNA yang memberikan titik awal bagi DNA polimerase untuk mulai bekerja. DNA polimerase kemudian menambahkan nukleotida baru ke ujung primer RNA, memperpanjang rantai DNA yang sedang disintesis. Sementara itu, enzim DNA ligase memainkan peran penting dalam menyambungkan fragmen-fragmen DNA yang tidak kontinu, seperti fragmen Okazaki pada rantai lagging, untuk menyelesaikan sintesis DNA.

Keakuratan replikasi DNA adalah aspek yang sangat penting dalam proses ini, karena kesalahan dalam replikasi dapat menyebabkan mutasi yang berpotensi merusak. Untuk memastikan bahwa replikasi berjalan dengan benar, terdapat mekanisme perbaikan yang aktif selama proses ini. DNA polimerase sendiri memiliki kemampuan untuk memeriksa dan memperbaiki kesalahan dengan cara "proofreading." Jika enzim ini mendeteksi adanya kesalahan dalam penambahan nukleotida, ia akan memperbaikinya sebelum melanjutkan sintesis DNA. Selain itu,

terdapat juga mekanisme perbaikan pasca-replikasi yang dapat mendeteksi dan memperbaiki kesalahan yang terlewatkan selama proses replikasi. Proses ini sangat efisien dan memastikan bahwa kesalahan dalam replikasi DNA tetap pada tingkat yang sangat rendah, memungkinkan sel untuk mempertahankan stabilitas genetiknya dari waktu ke waktu (Watson & Crick, 1953).

2. Transkripsi

Transkripsi adalah proses di mana informasi genetik dari DNA diubah menjadi molekul RNA. Proses ini merupakan langkah pertama dalam ekspresi gen, di mana urutan nukleotida dalam DNA digunakan sebagai cetakan untuk mensintesis urutan nukleotida komplementer dalam RNA. Transkripsi adalah proses yang sangat teratur dan spesifik, melibatkan pengikatan enzim RNA polimerase ke segmen DNA tertentu yang dikenal sebagai promotor, yang menandai awal dari sebuah gen. Setelah terikat pada promotor, RNA polimerase membuka heliks DNA dan mulai membaca urutan DNA pada salah satu rantai, yang dikenal sebagai rantai template.



Gambar 3. Proses Transkripsi DNA

(Sumber: <https://www.nafiu.com/2013/03/proses-dan-tahapan-sintesis-protein-pengertian-transkripsi-dna-dan-translasi-rna-pembentukan-poli-peptida.html>)

Proses transkripsi dapat dibagi menjadi tiga tahap utama: inisiasi, elongasi, dan terminasi. Pada tahap inisiasi, RNA polimerase mengikat promotor dan

membuka heliks DNA untuk memulai sintesis RNA. Setelah inisiasi berhasil dilakukan, RNA polimerase melanjutkan ke tahap elongasi, di mana ia bergerak sepanjang rantai template DNA, menambahkan nukleotida RNA ke rantai yang sedang disintesis. Setiap nukleotida RNA yang ditambahkan adalah komplementer dengan nukleotida pada rantai DNA template, sehingga memastikan bahwa urutan RNA yang dihasilkan adalah salinan tepat dari urutan DNA yang dikodekan oleh gen.

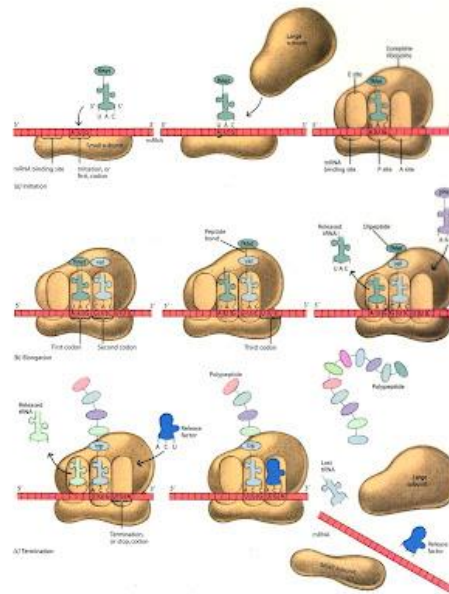
Setelah RNA polimerase mencapai sinyal terminasi pada DNA, proses transkripsi memasuki tahap terminasi, di mana RNA polimerase melepaskan molekul RNA yang baru terbentuk dan meninggalkan DNA. Molekul RNA yang dihasilkan dari transkripsi ini dikenal sebagai messenger RNA (mRNA), yang membawa informasi genetik dari DNA ke ribosom, tempat di mana informasi tersebut diterjemahkan menjadi protein. Selain mRNA, transkripsi juga menghasilkan jenis RNA lainnya, seperti transfer RNA (tRNA) dan ribosomal RNA (rRNA), yang memiliki fungsi penting dalam proses translasi dan aktivitas ribosom.

Pada organisme eukariotik, proses transkripsi tidak langsung menghasilkan mRNA yang siap diterjemahkan. Sebaliknya, mRNA yang baru disintesis (dikenal sebagai pre-mRNA) harus melalui beberapa tahap pemrosesan sebelum menjadi mRNA matang yang dapat diterjemahkan menjadi protein. Tahap-tahap pemrosesan ini termasuk penambahan cap pada ujung 5' mRNA, penambahan ekor poli-A pada ujung 3', dan splicing, di mana intron (segmen non-coding) dihapus dan ekson (segmen coding) digabungkan. Proses ini menghasilkan mRNA yang siap diekspor dari inti sel ke sitoplasma, di mana translasi terjadi (Alberts, et al., 2002).

3. Translasi

Translasi adalah proses di mana informasi genetik yang dibawa oleh mRNA diterjemahkan menjadi urutan asam amino, yang kemudian membentuk protein. Proses ini terjadi di ribosom, organel sel yang bertanggung jawab untuk sintesis protein. Ribosom membaca urutan mRNA dalam kelompok tiga nukleotida yang disebut kodon, dengan setiap kodon menentukan satu asam amino tertentu. Molekul tRNA membawa asam amino yang sesuai untuk setiap kodon mRNA,

memungkinkan asam amino untuk disambungkan menjadi rantai polipeptida yang kemudian dilipat menjadi protein fungsional.



Gambar 4. Proses Translasi DNA

(Sumber: https://biology.unm.edu/ccouncil/Biology_124/Summaries/T&T.html)

Translasi juga dapat dibagi menjadi tiga tahap utama: inisiasi, elongasi, dan terminasi. Pada tahap inisiasi, ribosom mengenali dan mengikat kodon awal pada mRNA, yang biasanya adalah kodon AUG yang mengkodekan metionin. tRNA dengan asam amino yang sesuai kemudian berikatan dengan kodon awal, dan ribosom mulai bergerak sepanjang mRNA. Selama elongasi, ribosom membaca kodon berikutnya, dan tRNA membawa asam amino yang sesuai, menyambungkan asam amino ke rantai polipeptida yang sedang tumbuh. Proses ini berlanjut sampai ribosom mencapai kodon terminasi, yang menandai akhir dari sintesis polipeptida. Pada tahap terminasi, polipeptida yang baru terbentuk dilepaskan dari ribosom dan kemudian dilipat menjadi struktur tiga dimensi yang fungsional, siap untuk melaksanakan tugas biologisnya dalam sel (Alberts, et al., 2002).

Sebagai contoh penerapan Dogma Sentral, produksi insulin dalam tubuh manusia dapat dijelaskan melalui proses transkripsi dan translasi. Gen yang mengkode insulin terletak pada DNA manusia. Proses ini dimulai dengan transkripsi gen insulin, di mana urutan DNA yang mengkodekan insulin disalin

menjadi mRNA. mRNA yang dihasilkan kemudian diekspor dari inti sel ke sitoplasma, di mana ribosom mengikatnya dan mulai proses translasi. Ribosom membaca urutan mRNA dan mensintesis rantai polipeptida yang membentuk protein insulin. Setelah selesai, insulin mengalami pemrosesan tambahan dan akhirnya disekresikan dari sel untuk mengatur kadar gula darah.

Meskipun Dogma Sentral memberikan kerangka kerja yang kuat untuk memahami aliran informasi genetik, ada beberapa pengecualian dan perkembangan baru dalam biologi molekuler yang telah memperluas konsep ini. Salah satu pengecualian yang paling terkenal adalah penemuan enzim transkriptase balik pada retrovirus, seperti HIV. Enzim ini memungkinkan RNA untuk disalin kembali menjadi DNA, yang kemudian dapat diintegrasikan ke dalam genom inang. Ini menunjukkan bahwa aliran informasi tidak selalu satu arah dari DNA ke RNA, tetapi juga dapat mengalir dari RNA ke DNA dalam kondisi tertentu.

Selain itu, dalam beberapa dekade terakhir, penelitian dalam epigenetika dan RNA non-coding telah mengungkapkan bahwa regulasi genetik jauh lebih kompleks daripada yang awalnya diperkirakan. Epigenetika menunjukkan bahwa perubahan kimia pada DNA dan histon dapat memengaruhi ekspresi gen tanpa mengubah urutan nukleotida, sementara RNA non-coding, seperti microRNA dan long non-coding RNA, dapat memainkan peran penting dalam mengatur ekspresi gen pada tingkat post-transkripsi. Penemuan-penemuan ini telah memperluas pemahaman kita tentang bagaimana informasi genetik diatur dan diekspresikan dalam sel, dan menunjukkan bahwa Dogma Sentral, meskipun sangat berguna, hanyalah salah satu bagian dari gambaran yang lebih besar dalam biologi molekuler.

Dogma Sentral tidak hanya menjadi dasar pemahaman teoritis dalam biologi molekuler, tetapi juga memiliki banyak penerapan praktis, khususnya dalam bioteknologi. Salah satu aplikasi paling signifikan adalah dalam rekayasa genetika dan produksi protein rekombinan. Dengan memahami bagaimana informasi genetik diterjemahkan menjadi protein, ilmuwan mampu merancang dan memodifikasi gen untuk menghasilkan protein yang diinginkan dalam organisme tertentu.

Misalnya, produksi insulin rekombinan untuk pengobatan diabetes adalah salah satu aplikasi paling terkenal dari Dogma Sentral. Sebelum teknik rekayasa genetika dikembangkan, insulin diekstraksi dari pankreas hewan seperti sapi dan babi, yang tidak hanya mahal tetapi juga dapat menyebabkan reaksi alergi pada beberapa pasien. Dengan pemahaman yang mendalam tentang Dogma Sentral, para ilmuwan dapat mengisolasi gen yang mengkode insulin manusia dan memasukkannya ke dalam bakteri *Escherichia coli*. Bakteri ini kemudian digunakan sebagai "pabrik" untuk memproduksi insulin manusia dalam jumlah besar. Melalui proses ini, Dogma Sentral diterapkan secara langsung, di mana DNA yang dimasukkan ke dalam bakteri disalin menjadi RNA, dan kemudian RNA diterjemahkan menjadi protein insulin yang fungsional.

Selain itu, Dogma Sentral juga diterapkan dalam pengembangan vaksin berbasis RNA, seperti vaksin mRNA untuk COVID-19. Vaksin mRNA bekerja dengan memberikan mRNA yang mengkodekan protein spike dari virus SARS-CoV-2 ke dalam sel manusia. Setelah masuk ke dalam sel, mRNA ini diterjemahkan menjadi protein spike, yang kemudian dikenali oleh sistem kekebalan tubuh sebagai antigen asing, memicu respons imun yang melindungi individu dari infeksi. Vaksin ini merupakan contoh nyata bagaimana Dogma Sentral dapat diterapkan untuk mengembangkan teknologi medis yang inovatif dan menyelamatkan nyawa.

Dogma Sentral Biologi Molekuler, meskipun sederhana dalam konsepnya, tetap menjadi landasan penting dalam memahami aliran informasi genetik dari DNA ke RNA dan kemudian ke protein. Proses replikasi, transkripsi, dan translasi merupakan inti dari bagaimana informasi genetik disimpan, diekspresikan, dan diwariskan dalam sel. Namun, perkembangan ilmu pengetahuan telah menunjukkan bahwa aliran informasi genetik tidak selalu linier dan terdapat pengecualian serta kompleksitas yang memperkaya pemahaman kita.

Teknologi modern, seperti rekayasa genetika, vaksin berbasis RNA, CRISPR-Cas9, dan RNA interference, telah menunjukkan bagaimana Dogma Sentral dapat diterapkan dalam berbagai bidang bioteknologi untuk menghasilkan produk medis dan pertanian yang inovatif. Penelitian dalam epigenetika, RNA non-coding, dan pengecualian terhadap Dogma Sentral, seperti prion dan RNA editing,

menunjukkan bahwa regulasi genetik lebih kompleks dan dinamis daripada yang sebelumnya diperkirakan.

Masa depan biologi molekuler kemungkinan akan terus mengungkap lapisan baru kompleksitas dalam aliran informasi genetik, dengan penekanan pada integrasi berbagai mekanisme regulasi untuk memahami bagaimana gen berinteraksi dengan lingkungan mereka dan bagaimana perubahan dalam proses ini dapat menyebabkan penyakit atau adaptasi evolusioner. Dengan demikian, Dogma Sentral, meskipun merupakan prinsip dasar, akan terus menjadi bagian penting dari pemahaman yang berkembang tentang biologi pada tingkat molekuler.

Referensi

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2002). Molecular Biology of the Cell, 4th edition. *Garland Science*. doi:10: 0-8153-3218-1
- Baltimore, D. (1970, Jun 27). RNA-dependent DNA polymerase in virions of RNA tumour viruses. *Nature*, 226(5252):1209-11. doi:10.1038/2261209a0
- Bird, A. (2007, May 24). Perceptions of epigenetics. *Nature*, 447(7143):396-8. doi:10.1038/nature05913
- Shapiro, J. A. (2009, October 15). Revisiting the Central Dogma in the 21st Century. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 6-28. doi:10.1111/j.1749-6632.2009.04990.x
- Yamauchi, T., Kamon, J., Waki, H., Murakami, K., Motojima, K., Komeda, K., . . . A Tsuchida, Y. A. (2001, Nov 2). The mechanisms by which both heterozygous peroxisome proliferator-activated receptor gamma (PPARgamma) deficiency and PPARgamma agonist improve insulin resistance. *J Biol Chem*, 276(44):41245-54. doi:10.1074/jbc.M103241200