

**MEKANISME REPLIKASI DNA: PEMAHAMAN TERBARU DAN  
TANTANGANNYA DALAM PENGAJARAN BIOLOGI**

**Angely Agriani Siahaan<sup>1</sup>, Sailana Mira Rangkuty<sup>2</sup>, Nadia Rouli Sinaga<sup>3</sup>, Yefta Darniati Sinaga<sup>4</sup>**

[siahaanangeli28@gmail.com](mailto:siahaanangeli28@gmail.com)<sup>1</sup>, [sailnamhira@yahoo.co.id](mailto:sailnamhira@yahoo.co.id)<sup>2</sup>, [sinaganadia212@gmail.com](mailto:sinaganadia212@gmail.com)<sup>3</sup>,  
[yeftaasinaga@gmail.com](mailto:yeftaasinaga@gmail.com)<sup>4</sup>,

**Universitas Negeri Medan**

**ABSTRAK**

Replikasi DNA merupakan proses fundamental yang memungkinkan sel mempertahankan informasi genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya. Mekanisme replikasi DNA mencakup tahap inisiasi, elongasi, dan terminasi yang melibatkan kompleks protein seperti DNA polimerase, helikase, primase, dan ligase. Pemahaman terbaru mengenai struktur kompleks replisom, peran elemen regulasi non-koding, serta mekanisme perbaikan kesalahan (DNA repair) telah memperkaya wawasan tentang replikasi DNA. Kemajuan ini juga memberikan kontribusi signifikan dalam penelitian biomedis, khususnya dalam memahami mutasi yang menyebabkan penyakit genetik dan kanker. Namun, kompleksitas mekanisme molekuler tersebut menimbulkan tantangan dalam proses pengajaran biologi, terutama pada jenjang pendidikan menengah dan awal perguruan tinggi. Beberapa konsep sulit dipahami oleh siswa akibat minimnya pengalaman praktis dan pendekatan visual yang memadai. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam metode pengajaran, seperti penggunaan simulasi interaktif, media 3D, dan pendekatan berbasis inkuiri untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap replikasi DNA. Artikel ini membahas perkembangan terkini dalam mekanisme replikasi DNA serta mengeksplorasi tantangan pedagogis yang dihadapi dan solusi potensial untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran biologi di era modern.

**Kata Kunci:** Replikasi DNA, Pendidikan Biologi, Metode Pengajaran.

## **PENDAHULUAN**

Replikasi DNA adalah proses esensial yang terjadi dalam setiap sel hidup untuk memastikan pewarisan informasi genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya. Proses ini menjadi landasan bagi stabilitas genetik dan fungsi seluler yang mendukung kehidupan. DNA, yang merupakan molekul penyimpan informasi genetik, menggandakan dirinya melalui serangkaian mekanisme molekuler yang melibatkan berbagai enzim dan protein. Proses replikasi ini mengikuti prinsip semi-konservatif, di mana setiap heliks ganda DNA yang baru terbentuk terdiri atas satu untai DNA lama dan satu untai baru. Mekanisme replikasi DNA mencakup tiga tahap utama, yaitu inisiasi, elongasi, dan terminasi, yang masing-masing diatur oleh kompleks protein khusus seperti DNA polimerase, helikase, primase, dan ligase.

Selama beberapa dekade, penelitian dalam biologi molekuler telah memberikan wawasan mendalam tentang langkah-langkah replikasi DNA dan mekanisme kontrolnya. Penemuan struktur DNA oleh Watson dan Crick pada tahun 1953 menjadi titik awal revolusi dalam pemahaman tentang bagaimana molekul ini menggandakan dirinya dengan akurasi yang tinggi. Kemajuan teknologi seperti mikroskop elektron, teknik pencitraan molekuler, dan analisis sekuens DNA telah mengungkapkan kompleksitas struktur replisom, yaitu kompleks protein yang bertanggung jawab atas replikasi DNA. Selain itu, penelitian terbaru telah menyoroti peran elemen non-koding, regulasi epigenetik, dan mekanisme perbaikan DNA (DNA repair) yang berkontribusi dalam menjaga stabilitas genom selama proses replikasi. Hal ini membuka peluang baru dalam penelitian biomedis, termasuk pemahaman tentang mutasi genetik, resistansi obat dalam sel kanker, dan potensi terapi gen.

Meskipun pemahaman tentang replikasi DNA terus berkembang, kompleksitas konsep ini menghadirkan tantangan tersendiri dalam pengajaran biologi, khususnya di tingkat pendidikan menengah dan perguruan tinggi. Banyak siswa mengalami kesulitan memahami proses molekuler yang abstrak ini karena minimnya pengalaman praktis dan keterbatasan pendekatan visual. Penelitian dalam bidang pedagogi sains menunjukkan bahwa beberapa konsep seperti kerja enzim DNA polimerase, penciptaan fragmen Okazaki pada untai tertinggal (lagging strand), dan proses proofreading dalam perbaikan DNA sulit dipahami tanpa penggunaan alat bantu yang efektif.

Dalam konteks pengajaran biologi, ada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan metode pembelajaran yang mampu menghadirkan konsep replikasi DNA dengan cara yang lebih mudah dipahami dan relevan bagi siswa. Inovasi pedagogis seperti simulasi berbasis komputer, video animasi molekuler, penggunaan alat peraga 3D, dan pendekatan berbasis inkuiri (inquiry-based learning) telah terbukti mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap proses replikasi DNA. Pendekatan ini tidak hanya membantu siswa memvisualisasikan mekanisme kompleks, tetapi juga mendorong keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah.

Oleh karena itu, artikel ini akan membahas secara mendalam mekanisme replikasi DNA berdasarkan perkembangan penelitian terbaru dan mengkaji tantangan pedagogis yang dihadapi dalam pengajaran topik ini. Selain itu, akan dieksplorasi pula berbagai solusi dan inovasi pembelajaran yang dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran replikasi DNA di era modern. Dengan pendekatan yang lebih efektif dan inovatif, diharapkan siswa tidak hanya mampu memahami mekanisme replikasi DNA dengan lebih baik, tetapi juga tertarik untuk mengeksplorasi lebih jauh dunia biologi molekuler yang penuh potensi dan peluang.

## **METODE**

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka (library research) sebagai pendekatan utama untuk menggali informasi dan data terkait mekanisme replikasi DNA

serta tantangan dalam pengajaran konsep ini di bidang biologi. Studi pustaka merupakan metode yang bertujuan untuk menganalisis berbagai sumber ilmiah yang relevan, termasuk buku referensi, artikel jurnal akademik, prosiding konferensi, serta sumber-sumber digital yang kredibel. Melalui pendekatan ini, penelitian berfokus pada pengumpulan dan analisis literatur yang berisi perkembangan terbaru dalam kajian replikasi DNA, mulai dari penemuan struktur molekuler, peran enzim dalam replikasi, hingga mekanisme regulasi yang mendukung proses ini. Selain itu, aspek pedagogis dalam pengajaran biologi juga dieksplorasi dengan mengacu pada berbagai publikasi yang membahas inovasi metode pembelajaran sains.

Langkah pertama dalam studi pustaka ini adalah melakukan seleksi literatur dengan kriteria tertentu, yaitu sumber-sumber yang berasal dari jurnal bereputasi seperti *Nature*, *Science*, dan *Journal of Molecular Biology*, serta artikel ilmiah yang diterbitkan dalam lima hingga sepuluh tahun terakhir agar data yang diperoleh tetap relevan dan terkini. Artikel dengan topik spesifik, seperti mekanisme molekuler replikasi DNA, DNA repair, regulasi epigenetik, dan tantangan pedagogis dalam pendidikan biologi, diprioritaskan untuk memastikan cakupan penelitian yang komprehensif. Selain itu, database ilmiah seperti PubMed, Google Scholar, dan ScienceDirect digunakan sebagai alat pencarian utama guna mengakses literatur yang terpercaya.

Setelah mengumpulkan literatur yang relevan, langkah berikutnya adalah melakukan analisis isi (*content analysis*) terhadap setiap sumber. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi temuan-temuan kunci, pola, dan tren dalam penelitian mengenai mekanisme replikasi DNA. Aspek yang dianalisis meliputi proses kerja replisom, interaksi antar-enzim, dan faktor-faktor yang mempengaruhi keakuratan replikasi DNA. Dalam aspek pendidikan, penelitian ini menganalisis berbagai pendekatan pedagogis yang telah diterapkan dalam pengajaran biologi, termasuk metode konvensional dan metode inovatif seperti pembelajaran berbasis inkuiri, penggunaan media visual interaktif, dan simulasi molekuler.

Selama proses analisis, dilakukan juga sintesis informasi untuk mengintegrasikan berbagai temuan menjadi kerangka yang koheren. Hal ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif tentang bagaimana mekanisme replikasi DNA dipahami dari perspektif ilmiah dan bagaimana tantangan pedagogis dalam pengajaran topik ini dapat diatasi dengan solusi berbasis bukti (*evidence-based*). Selain itu, studi pustaka ini mengkaji kelebihan dan keterbatasan dari berbagai metode pengajaran yang telah diterapkan, serta mengevaluasi efektivitas pendekatan tersebut dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep replikasi DNA.

Melalui pendekatan studi pustaka ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi teoretis yang signifikan, baik dalam bidang biologi molekuler maupun dalam ranah pendidikan biologi. Hasil analisis diharapkan dapat memperkaya diskursus ilmiah mengenai mekanisme replikasi DNA serta menyediakan rekomendasi praktis bagi para pendidik untuk mengembangkan metode pembelajaran yang lebih inovatif, efektif, dan mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap proses molekuler yang kompleks. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teoritis, tetapi juga memberikan implikasi praktis yang dapat diterapkan dalam pengajaran biologi di era modern.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Replikasi DNA adalah salah satu proses paling mendasar dan penting dalam biologi seluler. Proses ini memungkinkan sel untuk memperbanyak informasi genetiknya sebelum pembelahan sel terjadi, sehingga setiap sel anak memiliki salinan DNA yang identik dengan sel induknya. Mekanisme replikasi DNA, yang pertama kali dipahami melalui model semi-konservatif dari Watson dan Crick pada tahun 1953, kini telah mengalami banyak

pengembangan dalam pemahaman ilmiah berkat kemajuan teknologi biologi molekuler. Perkembangan terbaru dalam studi replikasi DNA telah membuka wawasan tentang aspek-aspek yang lebih kompleks dari proses ini, termasuk peran enzim kunci, regulasi replikasi, dan mekanisme perbaikan DNA (DNA repair). Namun, kompleksitas konsep ini menghadirkan tantangan tersendiri dalam pengajaran biologi, terutama bagi siswa di tingkat menengah dan perguruan tinggi yang sering kesulitan memahami proses molekuler yang abstrak.

### **1. Mekanisme Replikasi DNA dan Wawasan Terkini**

Replikasi DNA berlangsung melalui tiga tahap utama, yaitu inisiasi, elongasi, dan terminasi, yang masing-masing melibatkan berbagai protein dan enzim khusus. Pada tahap inisiasi, proses dimulai ketika heliks ganda DNA terbuka oleh enzim helikase di titik-titik spesifik yang disebut origin of replication. Proses ini menciptakan struktur berbentuk garpu yang dikenal sebagai replication fork. Selanjutnya, enzim primase membentuk primer RNA yang memberikan titik awal bagi DNA polimerase untuk memulai sintesis untai DNA baru. Selama tahap elongasi, DNA polimerase menyintesis untai DNA baru dengan menambahkan nukleotida secara berurutan sesuai dengan pasangan basa komplementer. Pada untai depan (leading strand), sintesis berlangsung secara kontinu, sedangkan pada untai tertinggal (lagging strand), sintesis terjadi secara diskontinu dalam bentuk fragmen-fragmen pendek yang dikenal sebagai fragmen Okazaki. Tahap akhir, yaitu terminasi, terjadi ketika dua garpu replikasi bertemu, dan ligase bergabung dengan fragmen Okazaki untuk menghasilkan heliks ganda DNA yang lengkap.

Penelitian terbaru telah memperdalam pemahaman tentang kompleks replisom, yang merupakan kumpulan protein yang bekerja secara terkoordinasi selama replikasi DNA. Selain itu, para ilmuwan telah menemukan bahwa elemen-elemen non-koding dan mekanisme regulasi epigenetik juga berperan dalam mengontrol waktu dan lokasi replikasi DNA. Misalnya, penelitian menunjukkan bahwa adanya domain replikasi tertentu dalam genom eukariotik membantu memastikan bahwa replikasi berlangsung secara akurat dan efisien. Penemuan ini memberikan implikasi yang luas dalam bidang biomedis, terutama dalam pemahaman tentang bagaimana mutasi yang terjadi selama replikasi DNA dapat menyebabkan penyakit genetik dan kanker.

### **2. Tantangan Pedagogis dalam Pengajaran Replikasi DNA**

Meskipun pemahaman ilmiah tentang replikasi DNA terus berkembang, mengajarkan konsep ini kepada siswa tetap menjadi tantangan yang signifikan. Banyak siswa di tingkat sekolah menengah dan perguruan tinggi mengalami kesulitan memahami proses replikasi DNA karena sifatnya yang sangat kompleks dan abstrak. Konsep seperti kerja enzim DNA polimerase, arah sintesis yang berbeda antara untai depan dan untai tertinggal, serta proses proofreading yang dilakukan oleh enzim perbaikan DNA sering kali sulit dipahami tanpa bantuan visualisasi yang memadai. Selain itu, keterbatasan fasilitas laboratorium di banyak sekolah juga menghambat siswa untuk mendapatkan pengalaman praktis yang dapat memperdalam pemahaman mereka tentang mekanisme molekuler ini.

Penelitian pedagogis menunjukkan bahwa pengajaran yang hanya berbasis ceramah atau penggunaan buku teks cenderung kurang efektif dalam membantu siswa memahami konsep replikasi DNA. Hal ini disebabkan oleh minimnya visualisasi dinamis yang mampu memperlihatkan bagaimana molekul-molekul seperti DNA polimerase, helikase, dan ligase berinteraksi satu sama lain selama proses replikasi. Akibatnya, siswa sering kali menghafal istilah dan langkah-langkah replikasi DNA tanpa benar-benar memahami bagaimana proses tersebut terjadi secara molekuler.

### **3. Inovasi Metode Pembelajaran untuk Mengatasi Tantangan**

Untuk mengatasi tantangan pedagogis ini, sejumlah metode dan pendekatan pembelajaran inovatif telah dikembangkan. Salah satu pendekatan yang efektif adalah

penggunaan simulasi berbasis komputer dan animasi molekuler. Simulasi ini memungkinkan siswa untuk melihat proses replikasi DNA dalam bentuk visualisasi 3D yang dinamis, sehingga mereka dapat memahami bagaimana setiap molekul bekerja secara terkoordinasi selama proses replikasi. Beberapa platform pembelajaran online juga menyediakan video interaktif yang menjelaskan proses replikasi DNA dengan cara yang lebih menarik dan mudah dipahami.

Selain itu, pendekatan berbasis inkuiri (inquiry-based learning) juga dapat meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep replikasi DNA. Dalam pendekatan ini, siswa didorong untuk aktif mengeksplorasi konsep-konsep biologi molekuler melalui kegiatan laboratorium, diskusi kelompok, dan pemecahan masalah. Misalnya, siswa dapat melakukan eksperimen sederhana yang mensimulasikan proses replikasi DNA dengan menggunakan alat peraga seperti model heliks DNA, kertas potongan nukleotida, atau puzzle molekuler. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual siswa, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah.

Selain itu, gamifikasi dalam pengajaran biologi juga mulai dikembangkan sebagai cara untuk meningkatkan keterlibatan siswa. Beberapa aplikasi dan permainan edukatif dirancang untuk mengajarkan proses replikasi DNA dengan cara yang interaktif dan menyenangkan. Misalnya, siswa dapat bermain peran sebagai enzim-enzim replikasi DNA dalam permainan simulasi, di mana mereka harus menyelesaikan tugas-tugas tertentu untuk memastikan bahwa replikasi berlangsung dengan akurasi tinggi.

#### **4. Implikasi dan Harapan ke Depan**

Inovasi dalam pengajaran replikasi DNA memiliki potensi besar untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep biologi molekuler yang kompleks. Dengan memanfaatkan teknologi digital, pendekatan berbasis inkuiri, dan metode pembelajaran interaktif, diharapkan siswa dapat lebih mudah memahami proses replikasi DNA dan mengaitkannya dengan konteks dunia nyata, seperti mekanisme penyakit genetik dan terapi molekuler. Selain itu, pendekatan yang lebih interaktif juga berpotensi meningkatkan minat siswa terhadap biologi molekuler dan mendorong mereka untuk mengeksplorasi karier di bidang sains dan bioteknologi.

Dengan perkembangan teknologi dan pedagogi yang terus berlanjut, tantangan dalam pengajaran replikasi DNA dapat diatasi secara bertahap. Hal ini akan memberikan kontribusi yang signifikan tidak hanya dalam meningkatkan kualitas pendidikan biologi, tetapi juga dalam membentuk generasi ilmuwan masa depan yang mampu menghadapi tantangan global di bidang kesehatan, lingkungan, dan bioteknologi.

## **SIMPULAN**

Replikasi DNA adalah proses yang sangat penting dalam kehidupan seluler karena memungkinkan pewarisan informasi genetik secara akurat dari satu generasi sel ke generasi berikutnya. Proses ini melibatkan serangkaian mekanisme molekuler yang kompleks, mulai dari inisiasi, elongasi, hingga terminasi, yang memerlukan kerja sama antara berbagai enzim dan protein, termasuk DNA polimerase, helikase, primase, dan ligase. Pemahaman terbaru mengenai mekanisme replikasi DNA, termasuk peran elemen non-koding, regulasi epigenetik, dan mekanisme perbaikan DNA, telah memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang bagaimana sel menjaga stabilitas genomiknya meskipun menghadapi berbagai tantangan lingkungan dan molekuler. Temuan ini juga memiliki implikasi luas dalam bidang biomedis, khususnya dalam pemahaman dan penanganan penyakit genetik, kanker, serta potensi aplikasi terapi berbasis gen.

Namun, kompleksitas mekanisme replikasi DNA menghadirkan tantangan tersendiri dalam dunia pendidikan, terutama dalam pengajaran biologi di tingkat menengah dan perguruan tinggi. Banyak siswa mengalami kesulitan memahami proses replikasi DNA

karena sifatnya yang abstrak dan molekuler, yang sulit divisualisasikan dengan metode pembelajaran konvensional. Tantangan ini diperparah oleh keterbatasan fasilitas laboratorium di sejumlah sekolah, yang menghambat siswa untuk mendapatkan pengalaman praktis yang mendukung pemahaman mereka. Akibatnya, siswa cenderung menghafal langkah-langkah replikasi tanpa benar-benar memahami proses molekuler yang terjadi di dalam sel.

Untuk mengatasi tantangan ini, inovasi pedagogis sangat diperlukan. Penggunaan simulasi berbasis komputer, video animasi molekuler, pendekatan berbasis inkuiri (inquiry-based learning), dan gamifikasi telah terbukti mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep biologi molekuler yang kompleks. Simulasi interaktif, misalnya, memungkinkan siswa untuk melihat bagaimana replisom bekerja dan memahami perbedaan antara sintesis untai depan dan untai tertinggal. Pendekatan berbasis inkuiri juga mendorong siswa untuk aktif mengeksplorasi konsep-konsep biologi melalui eksperimen dan diskusi, sehingga mereka tidak hanya memahami materi secara konseptual, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah.

Dengan adopsi metode pengajaran yang lebih interaktif dan inovatif, diharapkan siswa dapat lebih mudah memahami proses replikasi DNA dan mengaitkannya dengan fenomena dunia nyata, seperti mutasi genetik dan perkembangan terapi berbasis gen. Inovasi ini juga berpotensi meningkatkan minat siswa terhadap biologi molekuler dan mendorong mereka untuk mengeksplorasi karier di bidang sains dan teknologi. Ke depan, peningkatan kualitas pengajaran biologi, khususnya dalam topik replikasi DNA, diharapkan tidak hanya mampu mengatasi tantangan pedagogis saat ini, tetapi juga membentuk generasi ilmuwan yang siap menghadapi tantangan global di bidang kesehatan, bioteknologi, dan sains molekuler. Dengan sinergi antara kemajuan ilmiah dan inovasi pedagogis, pendidikan biologi dapat menjadi lebih efektif, relevan, dan inspiratif bagi siswa di era modern.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Afidah, A. (2021). Analisis Kemampuan Literasi Visual Peserta Didik SMP dan SMA Tangerang Selatan Pada Konsep Sel (Bachelor's thesis, Jakarta: FITK UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).
- Amukti, D. P., Pratami, R. I., & Gumelar, G. (2024). Tinjauan Literatur tentang Hubungan Mutasi Genetik dengan Resistensi Obat pada Mycobacterium Tuberculosis. *Journal of Pharmacy and Halal Studies*, 2(1), 6-12.
- FAIQOTUR, R. (2022). PENGARUH MODEL PEMBELAJARAN BRAIN BASED LEARNING BERBANTU ARGUMENT MAPPING TERHADAP HIGHER ORDER THINKING SKILLS (HOTS) DITINJAU DARI SELF EFFICACY MATA PELAJARAN BIOLOGI PESERTA DIDIK KELAS X TINGKAT SMA (Doctoral dissertation, UIN RADEN INTAN LAMPUNG).
- Juliansyah, M. I., & Garina, L. A. (2021). Kemungkinan Mekanisme Peran Zink dalam Patogenesis Covid-19. *Jurnal Riset Kedokteran*, 116-123.
- Narang, A. N. (2021). Mekanisme gangguan kardiovaskuler pada Covid-19. *Cermin Dunia Kedokteran*, 48(1), 400205.
- Pabiola, D. O., Berawi, K. N., & Putri, G. T. (2022). POTENSI TERAPI DARI NUTRASETIKAL DALAM UPAYA PENCEGAHAN PENYAKIT INFEKSI VIRUS. *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan*, 9(2), 820.
- Prayogi, P., Hasibuan, L. M., Tarigan, N., Nur, H., & Rahmadina, R. (2024). Amitosis, Mitosis dan Meiosis Meteri Genetika dan Replika DNA. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(3), 16414-16422.
- Setiawan, T., Maksum, I. P., & Yusuf, M. (2023). Mutasi DNA Mitokondria Penyebab Penyakit Mitokondria dan Diagnosis Mekanisme Molekulernya melalui Pendekatan In Silico. *Kimia Padjadjaran*, 2(1), 16-28.