

# DNA

## (Deoxyribonucleic Acid)

Oleh:

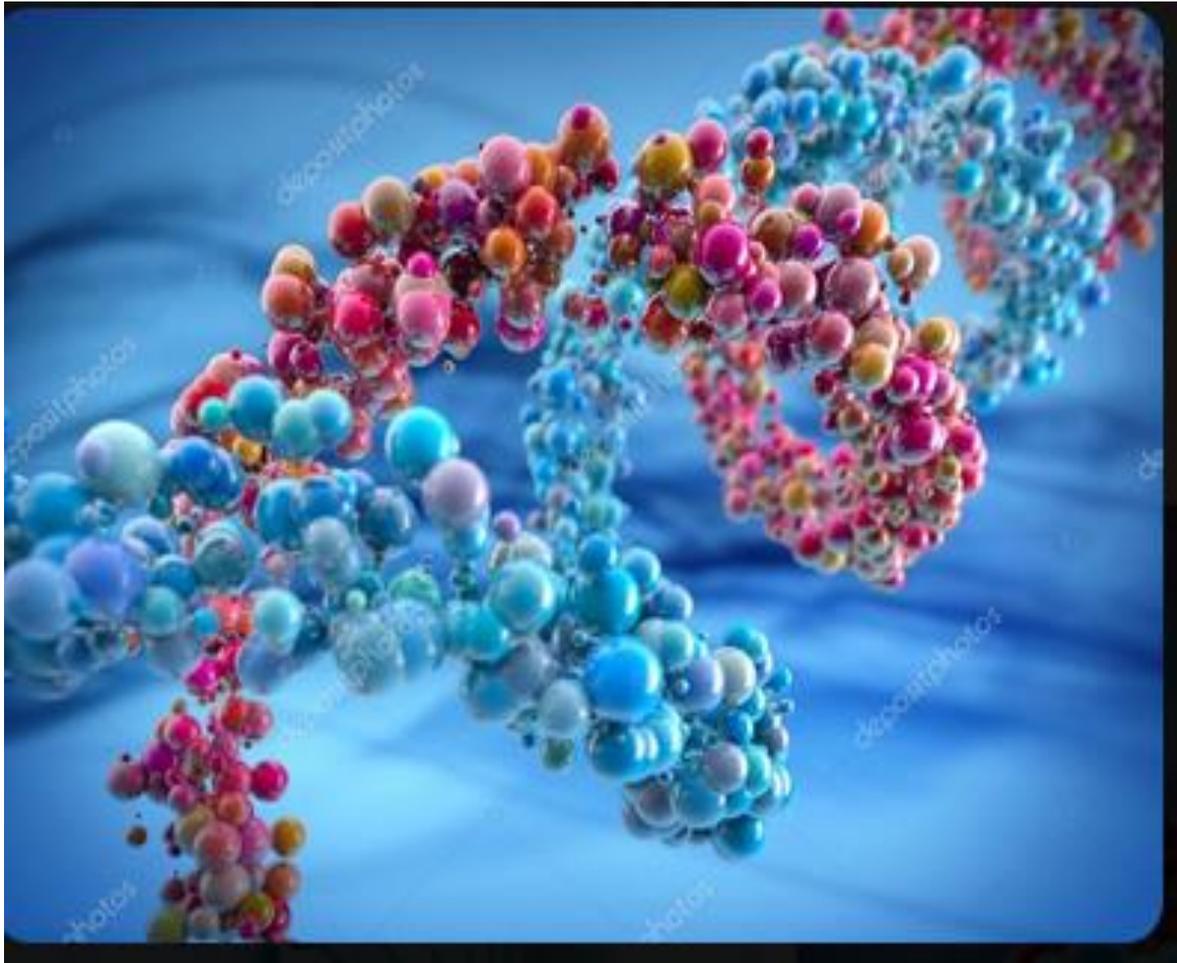
**[Prof ir Rudy C Tarumingkeng, PhD](#)**

RUDYCT e-PRESS

[rudyct75@gmail.com](mailto:rudyct75@gmail.com)

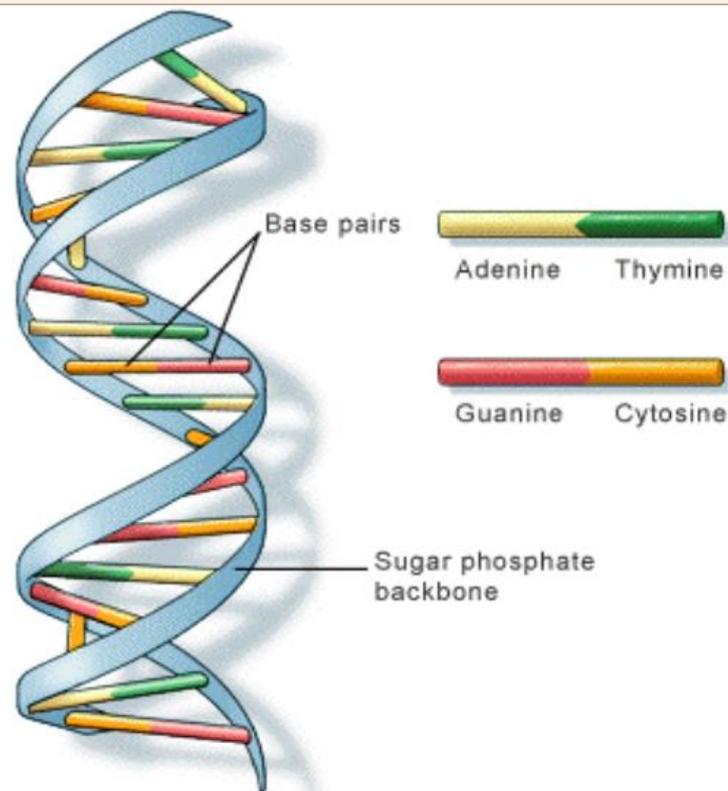
Bogor, Indonesia

4 Desember, 2024



Sumber: <https://depositphotos.com/id/photos/double-helix>

DNA, singkatan dari Deoxyribonucleic Acid (asam deoksiribonukleat), merupakan molekul biologis yang menyimpan, mentransmisikan, dan mengekspresikan informasi genetik dalam hampir seluruh organisme hidup, termasuk bakteri, tumbuhan, hewan, dan manusia. Secara struktural, DNA berbentuk seperti heliks ganda (double helix) yang menyerupai tangga berpilin. "Anak tangga" tersebut terbentuk dari pasangan basa nitrogen yang terikat melalui ikatan hidrogen, sementara "tali penyangga" tangga tersusun dari gugus fosfat dan gula deoksiribosa yang secara bergantian menyusun tulang punggung (backbone) DNA.



U.S. National Library of Medicine

### **Struktur dan Komposisi Dasar DNA:**

Molekul DNA tersusun atas unit dasar yang disebut nukleotida. Setiap nukleotida terdiri dari tiga komponen utama:

1. **Gula Deoksiribosa:** Merupakan gula pentosa (berkarbon lima) yang menjadi bagian dari tulang punggung untai DNA.
2. **Gugus Fosfat:** Terikat pada gula, fosfat membentuk rangkaian yang stabil sehingga dapat menjaga struktur molekul DNA tetap kokoh.
3. **Basa Nitrogen:** Ada empat jenis basa nitrogen utama dalam DNA, yaitu Adenin (A), Timin (T), Guanin (G), dan Sitosin (C). Dalam heliks ganda, A berpasangan dengan T,

dan G berpasangan dengan C. Pasangan basa inilah yang menyimpan "kode" genetik.

Urutan (sequence) keempat basa inilah yang menentukan sifat-sifat genetik suatu organisme. Setiap gen dalam DNA merupakan rangkaian basa tertentu yang, melalui proses transkripsi dan translasi, dapat menentukan struktur asam amino dalam protein. Protein ini pada gilirannya akan membentuk struktur sel, menjalankan fungsi metabolisme, serta mengatur hampir semua aspek biologi dalam organisme.

### **Proses Replikasi DNA:**

Saat sel hendak membelah, DNA melakukan proses duplikasi yang disebut replikasi. Replikasi DNA berlangsung secara semikonservatif, artinya setiap untai ganda DNA yang baru terbentuk akan mengandung satu untai lama (parental strand) dan satu untai baru yang disintesis. Enzim-enzim seperti DNA polimerase terlibat dalam proses ini, membaca untaian DNA lama sebagai cetakan dan menyusun nukleotida baru yang komplementer. Dengan demikian, informasi genetik dapat diturunkan secara akurat dari sel induk ke sel anak atau dari generasi ke generasi.

### **Ekspresi Genetik dan Protein:**

Informasi dalam DNA "diinterpretasikan" melalui dua proses utama: transkripsi dan translasi.

- **Transkripsi:** Bagian tertentu dari DNA (yang mewakili gen) ditranskripsi menjadi RNA (Ribonucleic Acid), khususnya mRNA (messenger RNA). RNA ini mirip dengan DNA, namun memiliki gula ribosa dan basa Urasil (U) sebagai pengganti Timin (T).
- **Translasi:** mRNA kemudian dibaca oleh ribosom (organel dalam sel) dan ditranslasi ke dalam rangkaian asam amino yang membentuk polipeptida (cikal bakal protein). Rangkaian asam amino yang tepat akan menentukan fungsi, bentuk, dan aktivitas biologis protein tersebut.

### **Variasi Genetik dan Mutasi:**

DNA juga bisa mengalami perubahan dalam urutan biasanya. Perubahan ini disebut mutasi. Mutasi dapat terjadi karena kesalahan replikasi, pengaruh radiasi, bahan kimia mutagenik, atau proses alami. Beberapa mutasi mungkin tidak berpengaruh apa-apa, beberapa dapat merugikan, dan sebagian lainnya dapat bermanfaat. Dalam konteks evolusi, mutasi yang menguntungkan dapat dipertahankan melalui seleksi alam, sehingga organisme tersebut memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik pada lingkungannya.

### **Contoh Naratif dan Kasus:**

Bayangkan sepasang kakak beradik yang sama-sama mewarisi setengah materi genetik dari orang tua mereka. Keduanya memiliki 50% kesamaan genetik dari ayah dan 50% dari ibu. Meski begitu, setiap anak berbeda karena kombinasi gen yang diwariskan tidak persis sama. Jika sang kakak memiliki rambut hitam lebat dan sang adik memiliki rambut cokelat muda, perbedaan ini muncul akibat variasi genetik yang tertulis dalam DNA mereka. Urutan basa nitrogen dalam DNA pada gen pengatur warna rambut menentukan pigmen yang dihasilkan folikel rambut, sehingga memunculkan warna yang berbeda.

Contoh lain dapat dilihat pada penyelidikan forensik. Melalui analisis DNA yang diambil dari rambut, air liur, atau sel kulit, ilmuwan forensik dapat mengidentifikasi individu karena setiap orang (kecuali kembar identik) memiliki pola DNA yang unik. Metode ini dikenal dengan istilah "DNA fingerprinting" atau "profiling DNA", yang membantu penegak hukum dalam mengusut kasus kriminal dan memastikan identitas seseorang.

### **Diskusi dan Pendapat:**

Secara akademik, pemahaman tentang DNA telah merevolusi ilmu biologi dan kedokteran. Melalui pengetahuan ini, kita dapat memetakan genom manusia secara lengkap (melalui Proyek Genom Manusia), memahami korelasi antara gen dan

penyakit, serta mengembangkan terapi gen untuk mengatasi beberapa penyakit genetik. Bahkan dalam bidang pertanian, rekayasa genetika pada tanaman telah memungkinkan pengembangan varietas tahan hama atau tahan cuaca ekstrem.

Namun, perkembangan ini juga memicu diskusi etis. Manipulasi genetika, seperti penggunaan teknologi CRISPR-Cas9 untuk mengedit gen, menimbulkan pertanyaan mendalam tentang batasan dan tanggung jawab kita dalam “mengutak-atik” materi dasar kehidupan. Bagaimana jika modifikasi genetika menimbulkan dampak jangka panjang yang tak terduga terhadap ekosistem? Bagaimana melindungi hak individu terkait privasi genetik dan potensi diskriminasi berdasarkan informasi genetik?

Dengan demikian, DNA tidak hanya sekadar molekul yang menyimpan informasi genetik, namun juga pintu gerbang bagi revolusi pengetahuan di bidang kesehatan, pertanian, forensik, dan etika. Diskusi mengenai potensi, penerapan, serta dampak ilmu genetika ini akan terus berkembang seiring kemajuan teknologi dan pemahaman kita tentang sains kehidupan.

Selain isu etika yang telah dibahas, pemahaman yang semakin mendalam tentang DNA juga membuka pintu menuju pemanfaatan-pemanfaatan inovatif yang melampaui bidang biologi kesehatan tradisional. Berikut ini adalah beberapa aspek lanjutan yang menunjukkan bagaimana DNA terus menjadi fokus kajian ilmiah, aplikasi teknologi, hingga bahan perdebatan filosofis dan sosial:

### **Epigenetika dan Regulasi Gen**

Di luar kode genetik yang tertera dalam urutan basa, terdapat lapisan regulasi lain yang disebut epigenetika. Epigenetika mengkaji perubahan ekspresi gen yang bukan disebabkan oleh perubahan urutan basa DNA, melainkan oleh modifikasi kimiawi pada molekul DNA atau protein histon yang

membungkusnya. Modifikasi ini—misalnya metilasi DNA atau asetilasi histon—dapat menghidupkan atau mematikan gen tertentu tanpa mengubah “teks” genetik itu sendiri. Dengan kata lain, sementara DNA adalah “naskah” genetik, epigenetika berperan sebagai “pembatas halaman” atau “stabilo” yang menekankan bagian-bagian tertentu dari naskah. Misalnya, pengalaman hidup, nutrisi, paparan toksin, atau bahkan stres psikologis dapat memicu perubahan epigenetik yang memengaruhi cara gen diekspresikan. Ini menunjukkan bahwa gen dan lingkungan memiliki hubungan yang sangat erat dan dinamis, di mana DNA bukanlah penentu tunggal sifat dan perilaku organisme, tetapi selalu berinteraksi dengan lingkungan dalam membentuk fenotipe.

### **Pengobatan Presisi (Precision Medicine)**

Dengan pemetaan genom individu yang kini dapat dilakukan lebih cepat dan murah, bidang kedokteran mulai bergeser menuju apa yang disebut sebagai “precision medicine” atau pengobatan presisi. Konsep ini mencakup penentuan terapi yang paling efektif bagi pasien berdasarkan profil genetik uniknya. Misalnya, dua pasien dengan jenis kanker yang sama mungkin menunjukkan respons yang berbeda terhadap obat tertentu karena variasi genetik yang mempengaruhi metabolisme obat atau sensitivitas sel terhadap terapi. Dengan memanfaatkan DNA sebagai “peta genetik”, dokter dapat menyesuaikan pendekatan terapi yang lebih personal, mengurangi trial and error, serta meningkatkan peluang kesembuhan sekaligus meminimalkan efek samping.

### **Forensik dan Rekayasa Kriminal**

Seperti disinggung sebelumnya, DNA telah menjadi alat penting dalam bidang forensik. Namun, penerapannya semakin meluas. Kini, profil DNA tidak hanya digunakan untuk mengidentifikasi tersangka kejahatan; ia juga diterapkan dalam rekonstruksi peristiwa masa lalu, identifikasi korban bencana alam atau kecelakaan pesawat, serta membantu

pemecahan kasus kriminal yang telah lama tidak terpecahkan (cold case). Pengembangan teknik seperti “Familial DNA Searching” memungkinkan otoritas penegak hukum mencari hubungan kekerabatan genetik antara sampel DNA di TKP dengan individu yang terdaftar dalam basis data, sekalipun sang tersangka utama tidak terdaftar secara langsung. Hal ini menimbulkan perbincangan terkait privasi, hak individu, serta batas-batas penggunaan data genetik dalam sistem hukum.

### **Rekayasa Genetik dan Pengembangan Organisme Transgenik**

Kemajuan teknologi pengeditan gen, seperti CRISPR-Cas9, telah merevolusi cara kita berinteraksi dengan DNA. Kini, para ilmuwan dapat melakukan intervensi spesifik pada gen tertentu, baik pada tumbuhan, hewan, maupun organisme mikroba, untuk memperoleh sifat yang diinginkan. Contohnya, pada sektor pertanian, pengeditan DNA dapat menghasilkan tanaman tahan penyakit atau mengandung nutrisi tambahan untuk membantu mengatasi kekurangan pangan. Di bidang medis, terapi gen bertujuan memperbaiki gen cacat yang menyebabkan penyakit tertentu. Namun, intervensi ini tidak bebas dari kontroversi: sejauh mana kita berhak mengubah “cetak biru” kehidupan? Apakah kita harus membatasi teknologi ini hanya untuk mengobati penyakit serius, atau bisakah manusia menggunakannya untuk “meningkatkan” sifat tertentu, seperti kecerdasan atau kekuatan fisik?

### **Konservasi dan Keanekaragaman Hayati**

DNA juga menjadi kunci dalam upaya konservasi dan pemetaan keanekaragaman hayati. Dengan analisis genetik, ilmuwan dapat mengidentifikasi spesies yang hampir punah, memahami pola migrasi dan perkawinan silang, serta memetakan hubungan evolusioner antarorganisme. Data DNA membantu ahli biologi konservasi merancang strategi perlindungan ekosistem yang lebih efektif. Bahkan, gagasan “membangkitkan” spesies yang telah punah—misalnya mamut

berbulu—dari sampel DNA yang terawetkan dalam fosil es kutub menjadi topik diskusi menarik, meski hingga kini masih berada pada ranah spekulatif dan menimbulkan pertanyaan etis dan ekologis yang kompleks.

### **Data Storage (Penyimpanan Data dalam DNA)**

Bidang yang mungkin terdengar futuristik namun kian diperbincangkan adalah penggunaan DNA sebagai medium penyimpanan data digital. Para ilmuwan telah berhasil menyandikan teks, gambar, bahkan potongan musik ke dalam urutan basa DNA. Keunggulan utama DNA sebagai media penyimpanan adalah kerapatannya yang luar biasa tinggi dan daya tahannya yang sangat lama bila disimpan dalam kondisi tepat. Saat data digital dalam bentuk magnetik atau optik rawan rusak dalam rentang beberapa dekade, DNA—jika tersimpan dalam lingkungan stabil—dapat bertahan hingga ribuan tahun. Meski masih pada tahap penelitian, pendekatan ini membuka kemungkinan baru dalam menghadapi ledakan data global di masa depan.

### **Penutup dan Tantangan Ke Depan**

DNA, dengan kompleksitas dan kekayaan informasinya, tidak lagi hanya dianggap sebagai “cetakan kehidupan” yang statis. Ia adalah subjek kajian multidisiplin yang melibatkan biologi, kedokteran, hukum, etika, ekonomi, dan teknologi informasi. Semakin kita memahami molekul ini, semakin banyak pintu baru terbuka: dari pengobatan presisi, pelestarian lingkungan, forensik modern, hingga penyimpanan data revolusioner. Namun, kemajuan ini menuntut tanggung jawab dan kebijaksanaan. Diskusi terkait pengawasan, regulasi, serta dampak jangka panjang penggunaan teknologi genetik perlu dilakukan secara inklusif, melibatkan bukan hanya ilmuwan dan pengambil kebijakan, tetapi juga masyarakat luas. Dengan demikian, kita akan lebih siap untuk menggunakan potensi yang ditawarkan DNA secara berkelanjutan, adil, dan bermartabat.

Seiring dengan semakin luasnya pemahaman kita terhadap DNA, ilmu pengetahuan tentang molekul ini telah bertransformasi menjadi sebuah bidang studi yang sangat kompleks, menjembatani berbagai disiplin ilmu. Jika sebelumnya kita berfokus pada struktur, fungsi, serta aplikasi dasar DNA di bidang kesehatan, forensik, dan pertanian, maka di era kontemporer dan mendatang kita juga akan menyaksikan DNA menjadi pusat kajian dalam konteks yang lebih holistik, mencakup bioinformatika, integrasi omik, perkembangan teknologi gene drive, serta hubungan antara genetika dengan dinamika lingkungan yang cepat berubah.

### **Bioinformatika dan Big Data Genomik**

Kemajuan teknologi sekuensing DNA, seperti metode Next-Generation Sequencing (NGS), telah memangkas biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk memetakan genom suatu organisme. Dampaknya, dalam kurun satu hingga dua dekade terakhir, telah terjadi ledakan data genetik. Data ini tidak hanya mencakup genom manusia, tetapi juga berbagai spesies tanaman, hewan, bakteri, dan virus. Pengelolaan, analisis, serta interpretasi data genomik berskala besar memerlukan alat dan pendekatan baru yang memadukan biologi, ilmu komputer, matematika, dan statistik.

Bioinformatika muncul sebagai disiplin yang membangun algoritma, perangkat lunak, dan basis data khusus untuk memahami pola kompleks dalam DNA. Berkat bioinformatika, ilmuwan kini dapat mengungkap relasi filogenetik antara spesies, memprediksi fungsi gen yang belum dikenal, memodelkan interaksi gen-protein, dan bahkan memperkirakan dampak mutasi tertentu terhadap fenotipe. Saat ini, penerapan machine learning dan kecerdasan buatan (AI) dalam analisis genomik semakin menonjol. Misalnya, dengan menggunakan deep learning, peneliti dapat lebih mudah mendeteksi pola mutasi yang terkait dengan penyakit tertentu, mengoptimalkan rancangan vaksin berbasis DNA, atau memprediksi hasil

rekayasa genetika pada mikroorganisme industri dengan lebih akurat.

### **Integrasi Omik dan Sistem Biologi**

DNA bukanlah entitas yang berdiri sendiri; ia berinteraksi erat dengan molekul lain seperti RNA, protein, metabolit, dan komponen seluler lainnya. Pendekatan integratif yang dikenal sebagai “omik”—meliputi genomik (DNA), transkriptomik (RNA), proteomik (protein), metabolomik (metabolit), dan epigenomik—berusaha memahami keseluruhan sistem biologis sebagai satu kesatuan yang dinamis.

Daripada hanya melihat gen satu per satu, pendekatan sistem biologi berupaya memetakan jaringan interaksi yang saling berkait: bagaimana ekspresi gen tertentu dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, bagaimana protein yang dihasilkan bekerja sama dalam jalur metabolik, serta bagaimana perubahan satu titik dalam sistem dapat berimbas pada fungsi keseluruhan. Integrasi data omik ini melahirkan pemahaman yang lebih utuh tentang mekanisme kehidupan, memungkinkan pengembangan terapi penyakit yang bukan hanya menargetkan satu gen atau satu protein, melainkan memperbaiki dinamika sistemik yang terganggu.

### **Gene Drive dan Intervensi Genetik Ekosistem**

Di dalam konteks ekologi dan konservasi, sebuah teknologi yang kian menjadi sorotan adalah “gene drive”. Gene drive adalah mekanisme genetik yang didesain untuk meningkatkan peluang alel (varian gen) tertentu untuk diwariskan kepada keturunan dengan frekuensi lebih tinggi dari aturan Mendelian biasa. Dengan cara ini, modifikasi genetik dapat menyebar dengan cepat dalam populasi liar. Ide ini telah dicoba pada beberapa organisme, seperti nyamuk pembawa malaria. Tujuannya adalah menurunkan populasi nyamuk tersebut atau membuat mereka tidak lagi mampu menularkan parasit, sehingga mengurangi prevalensi malaria.

Namun, pengaplikasian gene drive memancing diskusi etis dan ekologis yang intens. Bayangkan sebuah perubahan genetik yang dengan cepat menyebar di alam liar, sulit dikendalikan, dan berpotensi menimbulkan efek domino yang kompleks. Jika populasi nyamuk menurun tajam, bagaimana dampaknya pada rantai makanan di ekosistem tersebut? Bisakah ketidakseimbangan baru ini menimbulkan masalah lingkungan yang lebih luas? Pertanyaan-pertanyaan ini menunjukkan bahwa pengelolaan teknologi genetik tidak hanya berfokus pada masalah teknis, tetapi juga pada tanggung jawab moral dalam mengubah wajah alam secara sadar.

### **Genetika, Perubahan Iklim, dan Adaptasi Lingkungan**

Perubahan iklim global yang kini kita hadapi memaksa organisme hidup untuk beradaptasi dengan lingkungan yang kian dinamis dan tidak menentu. DNA menjadi catatan potensial bagi kemampuan beradaptasi tersebut. Misalnya, saat habitat berubah karena kenaikan suhu atau hilangnya sumber daya, populasi yang memiliki variasi genetik tinggi akan lebih berpeluang mengembangkan sifat adaptif dibanding populasi dengan variasi genetik rendah. Pemahaman tentang DNA spesies tertentu dapat memandu upaya konservasi dan restorasi ekosistem. Misalnya, pemuliaan tanaman pangan dengan pendekatan genetika dapat menghasilkan varietas yang lebih tahan kekeringan atau serangan patogen yang kian meningkat akibat perubahan iklim.

Di sisi lain, perubahan iklim dapat memicu laju mutasi atau seleksi alam pada mikroorganisme patogen, yang kemudian memengaruhi kesehatan manusia dan hewan. Studi genomik pada patogen baru atau yang mengalami perubahan adaptif—seperti virus SARS-CoV-2 penyebab COVID-19—memperlihatkan betapa cepat organisme dapat berevolusi, dan seberapa penting data genetik untuk memprediksi wabah, merancang vaksin, serta menyiapkan langkah-langkah mitigasi.

## **Etika, Kebijakan, dan Pendidikan Genetik**

Mempertimbangkan dampak luas DNA dan bioteknologi terkait, masyarakat dituntut untuk terus mengevaluasi kerangka etika dan regulasi yang mengatur penggunaannya. Harus ada keseimbangan antara kebebasan ilmiah, inovasi, perlindungan hak asasi manusia, serta kelestarian lingkungan. Pembentukan komite etik, standar internasional, serta kebijakan yang jelas sangat diperlukan. Pendekatan bottom-up yang melibatkan masyarakat dalam diskusi publik dapat memastikan bahwa keputusan terkait rekayasa genetika tidak hanya dimonopoli oleh segelintir ilmuwan atau korporasi, melainkan juga merefleksikan nilai-nilai dan kekhawatiran publik luas.

Di dunia pendidikan, literasi genetik menjadi elemen kunci. Dengan memahami konsep dasar genetika, siswa dan generasi muda dapat berpartisipasi dalam percakapan mengenai teknologi DNA dengan lebih kritis dan rasional. Pendidikan tidak hanya berfokus pada aspek ilmiah, tetapi juga memupuk daya kritis, pemahaman sosial, serta penghayatan terhadap implikasi moral dan filosofis dari manipulasi genetika. Berbekal literasi genetik yang baik, masyarakat diharapkan mampu membuat keputusan yang berdasar pengetahuan dalam menghadapi isu-isu yang semakin kompleks di masa depan.

## **Kesimpulan Akhir**

Dalam perkembangan selanjutnya, DNA akan terus menjadi salah satu poros utama yang menggerakkan ilmu pengetahuan dan teknologi biologi modern. Dari pengungkapan rahasia adaptasi organisme di alam liar, pengembangan pengobatan presisi, penanganan tantangan global seperti penyakit menular dan ketahanan pangan, hingga pertimbangan etis penggunaan teknologi gene drive, DNA menjadi simpul konseptual yang menghubungkan berbagai tantangan abad ke-21. Tantangannya adalah bagaimana kita mengelola kekayaan informasi ini secara bijak, mengintegrasikan pengetahuan lintas disiplin, serta tetap menghargai kompleksitas dan keanekaragaman kehidupan di planet yang kita huni. Dengan pendekatan yang bertanggung jawab, DNA dapat menjadi

panduan bagi manusia untuk membangun masa depan yang lebih sehat, adil, dan berkelanjutan.

Untuk deskripsi yang rinci dan berbagai gambar yang relevan terkait DNA dapat dicari melalui mesin pencari gambar:

### 1. **Struktur Heliks Ganda DNA:**

Gambar ini menampilkan dua untai DNA yang terpilin membentuk heliks ganda. Terlihat rangkaian gula-fosfat sebagai "tali" yang mengelilingi bagian luar heliks, sementara di bagian dalam terdapat pasangan basa Adenin (A) dengan Timin (T) dan Guanin (G) dengan Sitosin (C). Warna-warna kontras biasanya digunakan, seperti untai biru muda dan ungu, serta pasangan basa berwarna merah, kuning, hijau, dan biru, untuk mempermudah identifikasi.

[https://id.made-in-china.com/co\\_cnyysm/product\\_DNA-Molecule-Structure-Model-Biological-Model\\_euyourerg.html](https://id.made-in-china.com/co_cnyysm/product_DNA-Molecule-Structure-Model-Biological-Model_euyourerg.html)

### 2. **Model Bola-dan-Pasak (Ball-and-Stick) DNA:**

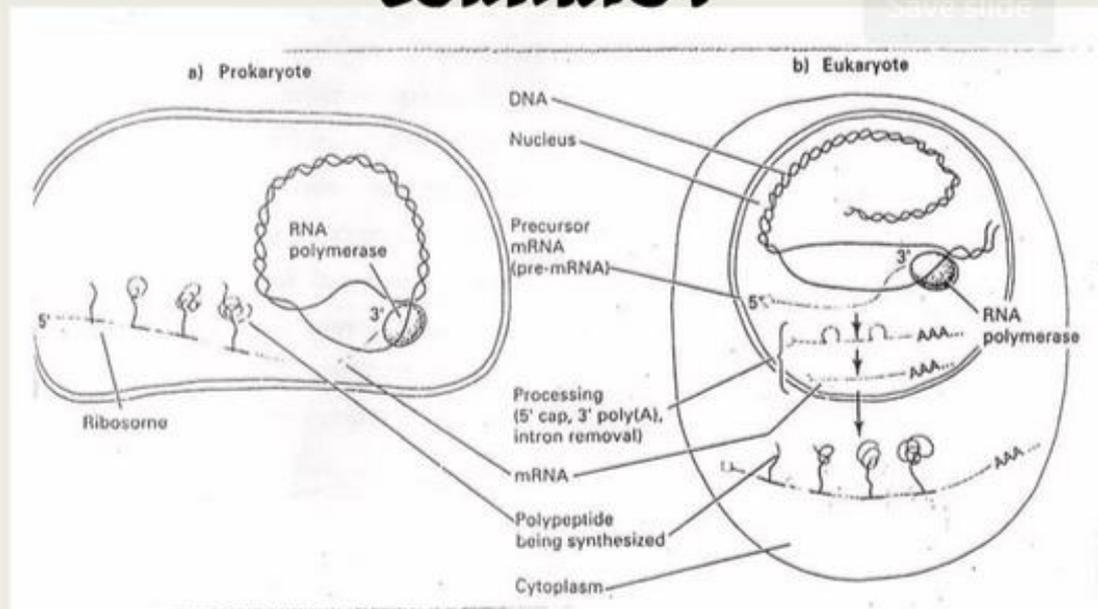
Gambar yang lebih detail secara kimiawi, menunjukkan atom-atom yang menyusun nukleotida. Gugus fosfat mungkin ditampilkan dalam warna kuning, atom karbon dalam warna abu-abu, oksigen berwarna merah, dan nitrogen berwarna biru. Gambar ini memberikan kesan ilmiah yang sangat teknis, cocok untuk pemahaman kimia struktural DNA.

### 3. **Proses Replikasi DNA:**

Ilustrasi yang menggambarkan bagaimana heliks ganda DNA "dibuka" oleh enzim helikase. Di tengah gambar, terlihat "fork" (cabang) replikasi dengan satu untai DNA

sebagai cetakan tempat DNA polimerase menambahkan nukleotida baru. Salah satu untai disintesis secara kontinu (leading strand), sedangkan untai lainnya disintesis secara terputus-putus (lagging strand) membentuk fragmen Okazaki. Gambar ini biasanya menampilkan enzim-enzim yang bekerja dalam warna dan bentuk simbolis, sehingga prosesnya dapat diikuti secara visual.

## PERBEDAAN TRANSKRIPSI DAN TRANSLASI PADA PROKARIOT DAN EUKARIOT



Gambar 3.3  
 Bagan kejadian transkripsi dan translasi yang berpasangan pada makhluk hidup prokariotik dalam perbandingan dengan kejadian yang tidak berpasangan pada makhluk hidup eukariotik (Russel, 1992)

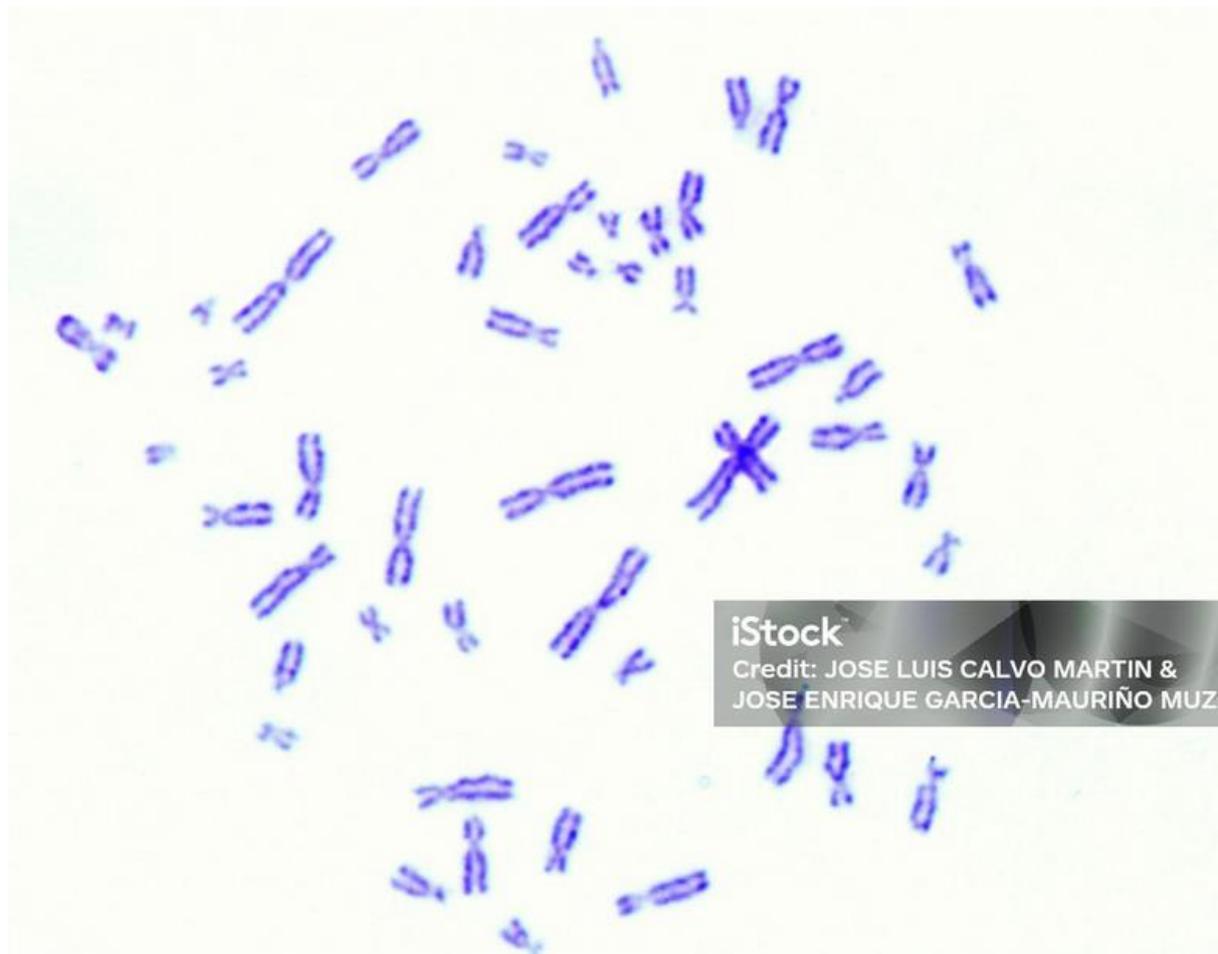
<https://www.slideshare.net/slideshow/kel-3-perbedaan-transkripsi-dan-translasi-pada-prokariot-dan-eukariot/29554553>

#### 4. Transkripsi dan Translasi:

Satu set ilustrasi yang menunjukkan bagaimana suatu gen pada DNA ditranskripsi menjadi mRNA, kemudian mRNA dibawa keluar dari inti sel ke ribosom dan ditranslasi

menjadi rantai asam amino. Gambar mungkin terdiri atas beberapa panel:

- Panel pertama: DNA di dalam inti sel, dengan bagian gen yang “dibuka” untuk transkripsi.
  - Panel kedua: mRNA yang telah terbentuk bergerak menuju sitoplasma.
  - Panel ketiga: mRNA di ribosom dengan tRNA membawa asam amino, menciptakan rantai polipeptida.
- Ilustrasi semacam ini membantu memahami alur ekspresi gen secara visual.



### **Kariotipe atau Peta Kromosom:**

Gambar yang memperlihatkan susunan kromosom manusia di bawah mikroskop. Kromosom ditampilkan berpasang-pasangan sesuai ukurannya, dari yang terbesar hingga terkecil, serta pasangan kromosom seks (XX untuk perempuan, XY untuk laki-laki). Meskipun tidak secara langsung menunjukkan DNA pada level molekuler, gambar ini membantu memahami bahwa DNA yang panjang terlipat rapat membentuk struktur kromosom.

### **5. Aplikasi DNA dalam Forensik:**

Sebuah foto laboratorium forensik yang memperlihatkan para ilmuwan sedang mengekstraksi DNA dari sampel biologis (rambut, darah, ludah) atau gambar gel elektroforesis yang menunjukkan "pola garis-garis" (DNA fingerprint) yang unik bagi setiap individu. Gambar-gambar seperti ini membantu mengilustrasikan penerapan DNA di dunia nyata.

## **Referensi**

Referensi ini mencakup buku teks dasar biologi molekuler, artikel ilmiah, serta sumber daring terpercaya.

### **Buku Teks dan Literatur Dasar:**

1. Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Molecular Biology of the Cell* (6th ed.). Garland Science.  
Buku ini sangat komprehensif membahas biologi seluler dan molekuler, termasuk struktur DNA, proses replikasi, transkripsi, translasi, serta pengaturan ekspresi gen.
2. Lewin, B. (2008). *Genes IX*. Jones & Bartlett Learning.  
Seri "Genes" oleh Benjamin Lewin merupakan salah satu literatur klasik yang membahas genetika molekuler dan memberikan landasan teoretis kuat tentang DNA, gen, dan proses ekspresinya.

3. Watson, J. D., Baker, T. A., Bell, S. P., Gann, A., Levine, M., & Losick, R. (2013). *Molecular Biology of the Gene* (7th ed.). Pearson Education.

Buku ini memberikan penjelasan mendetail tentang struktur DNA, mekanisme replikasi, perbaikan DNA, serta berbagai aspek regulasi genetik.

### **Artikel dan Publikasi Ilmiah:**

1. Lander, E. S., et al. (2001). Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature*, 409(6822), 860–921.  
Artikel penting yang melaporkan urutan pertama genom manusia dan merupakan tonggak sejarah dalam pemahaman DNA manusia.
2. Venter, J. C., et al. (2001). The sequence of the human genome. *Science*, 291(5507), 1304–1351.  
Bersama artikel Lander et al., publikasi ini menjadi referensi utama bagi studi-studi selanjutnya tentang genomik manusia.
3. Jinek, M., et al. (2012). A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337(6096), 816–821.  
Artikel ini menjelaskan mekanisme CRISPR-Cas9 yang menjadi dasar pengeditan gen modern.
4. Roadmap Epigenomics Consortium, et al. (2015). Integrative analysis of 111 reference human epigenomes. *Nature*, 518(7539), 317–330.  
Referensi penting untuk memahami epigenetika dan bagaimana modifikasi epigenetik memengaruhi ekspresi gen.

### **Sumber Daring Terpercaya:**

1. National Center for Biotechnology Information (NCBI):  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>  
Menyediakan basis data genomik, artikel ilmiah dalam PubMed, serta alat bioinformatika.

2. National Human Genome Research Institute (NHGRI):  
<https://www.genome.gov/>  
Menyediakan informasi terkini seputar penelitian genom manusia, etika, dan perkembangan bidang genomik.
3. Encyclopedia of DNA Elements (ENCODE) Project:  
<https://www.encodeproject.org/>  
Berisi data penelitian komprehensif tentang elemen-elemen fungsional dalam genom manusia.
4. DNA Learning Center (Cold Spring Harbor Laboratory):  
<https://dnlc.cshl.edu/>  
Menawarkan materi edukasi, animasi, dan sumber daya pembelajaran tentang DNA, genetika, serta biologi molekuler secara interaktif.
5. ChatGPT o1 (2024). Kopilot Artikel ini. Tanggal akses: 6 Desember 2024. Akun penulis.  
<https://chatgpt.com/c/67522fe8-6220-8013-8de9-ac5d2cc56b4a>