

Kecerdasan buatan dalam ilmu biologi: Transformasi riset, bioinformatika, dan bioteknologi di era digital

Fahrus Surya Ardiansyah

Program studi Biologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang
e-mail: *fahruksuryaardiansyah@gmail.com

Kata Kunci:

kecerdasan buatan;
bioinformatika; bioteknologi;
pembelajaran mesin; ekologi
komputasi

Keywords:

smart computers; study of life
information; use of living
things; learning through
machines; studying nature with
computers.

ABSTRAK

Kecerdasan Buatan (AI) telah mengubah banyak hal dalam bidang ilmu biologi. Perubahan ini terlihat di berbagai area seperti bioinformatika, ekologi, mikrobiologi, dan bioteknologi. Artikel ini membahas secara konsep dan perbandingan bagaimana teknologi AI termasuk machine learning, deep learning, dan neural network digunakan untuk mempercepat dan meningkatkan ketepatan penelitian di bidang biologi. Dengan menggunakan cara analisis literatur dan studi perbandingan, artikel ini menemukan empat area utama penggunaan AI dalam biologi: (1) analisis genom dan protein dengan bantuan AI; (2) ramalan fungsi enzim dan interaksi biomolekul; (3) pengawasan keanekaragaman hayati dan ekologi

menggunakan sensor pintar; dan (4) pengembangan agen biokontrol serta bioteknologi pertanian yang tepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AI bisa mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk menganalisis data biologis yang rumit dari bertahun-tahun menjadi hanya beberapa hari, dan juga membuka peluang untuk menemukan hal-hal baru dalam ilmu pengetahuan yang sebelumnya sulit dicapai dengan cara-cara biasa. Namun, penggunaan AI dalam biologi juga membawa tantangan, seperti kualitas data yang digunakan untuk pelatihan, bagaimana model tersebut dapat dipahami, dan masalah etika dalam penelitian. Artikel ini menyatakan bahwa kerjasama antara ilmu biologi dan kecerdasan buatan adalah suatu keharusan di zaman penelitian sekarang. Artikel ini juga menyarankan agar ada kurikulum biologi yang menggabungkan kemampuan komputasi dan kecerdasan buatan.

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) has caused a big change in the field of biological sciences, affecting areas like bioinformatics, ecology, microbiology, and biotechnology. This article looks at how AI technology, like machine learning, deep learning, and neural networks, is used to speed up and enhance the accuracy of biological research by comparing different ideas and approaches. This article uses a method of looking at literature and comparing studies to highlight four key areas where AI is used in biology: (1) AI help in analyzing genes and proteins; (2) predicting the roles of enzymes and how biomolecules interact; (3) using smart sensors to monitor biodiversity and ecology; and (4) creating biocontrol agents and advanced agricultural biotechnology. The results show that AI can cut down the time it takes to analyze complicated biological data from years to just days, and it creates new opportunities for scientific discoveries that traditional methods couldn't reach before. But using AI in biology also brings some challenges, such as the quality of training data, how easy it is to understand the models, and concerns about research ethics. This article concludes that combining biological science with AI is essential in today's research world. It suggests that biology programs should include skills in computing and artificial intelligence.



This is an open access article under the [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pendahuluan

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (AI) dalam dua puluh tahun terakhir telah mengubah secara mendasar cara ilmu pengetahuan dilakukan, termasuk dalam bidang biologi. Sebelumnya, penelitian biologi sangat bergantung pada pengamatan manual, eksperimen di laboratorium biasa, dan analisis statistik yang sederhana. Sekarang, dengan adanya pendekatan yang menggunakan AI, kita bisa memproses data biologi dalam jumlah besar dengan akurasi dan kecepatan yang sebelumnya tidak bisa dibayangkan. Dari pemetaan urutan gen manusia yang dulunya memakan waktu sepuluh tahun, sekarang bisa diselesaikan dalam beberapa jam berkat algoritma AI dan komputasi awan. Ilmu biologi saat ini menghadapi tantangan dan juga peluang yang muncul dari banyaknya data biologis yang tersedia. Perkembangan teknologi sekuensing generasi berikutnya (next-generation sequencing/NGS), sensor lingkungan pintar, dan mikroskopi dengan resolusi tinggi menghasilkan jumlah data yang jauh lebih banyak daripada yang bisa dianalisis oleh manusia secara manual. Di sinilah AI, terutama machine learning dan deep learning, berfungsi sebagai penggerak utama dalam perubahan penelitian biologi. (Kusumawati, 2008) dalam penelitian pertamanya mengenai kecerdasan buatan menjelaskan bahwa AI pada dasarnya meniru cara berpikir manusia dalam mengenali pola, belajar dari pengalaman, dan membuat keputusan. Kemampuan ini kemudian digunakan secara luas dalam biologi komputasi modern.

Dalam penelitian biologi di Indonesia, penggunaan AI dalam cara-cara penelitian memberikan kesempatan besar untuk mempercepat penjelajahan keanekaragaman hayati yang sangat kaya di nusantara. Indonesia, sebagai negara yang kaya akan keanekaragaman hayati, memiliki jutaan spesies yang belum teridentifikasi dan didokumentasikan. (Suheriyanto & Lutfiyah, 2020) dalam studinya mengenai serangga tanah sebagai tanda kualitas lingkungan menekankan betapa pentingnya pendekatan ekologi yang teratur dan berdasarkan data. Menggabungkan AI dalam pendekatan seperti ini bisa sangat mengubah kemampuan penelitian ekologi di Indonesia dengan cara yang sangat besar. Artikel ini menggunakan cara analisis yang membandingkan dan memahami literatur ilmiah terbaru mengenai penggunaan AI dalam berbagai bagian biologi. Metode yang dipakai meliputi: (1) analisis sistematis dari literatur yang ada di database ilmiah internasional dan repositori institusi; (2) studi perbandingan penggunaan AI di berbagai bidang biologi; dan (3) penggabungan dampak untuk pengembangan penelitian biologi di Indonesia. Pentingnya penelitian ini adalah untuk membantu komunitas ilmiah biologi di Indonesia memahami dan menggunakan teknologi AI sebagai alat penting dalam penelitian, sekaligus mempersiapkan diri menghadapi tantangan metodologi dan etika yang mungkin muncul.

Pembahasan

AI dalam Genomik, Proteomik, dan Biologi Molekuler

Salah satu sumbangan paling mengubah permainan dari AI dalam biologi adalah dalam area genomik dan proteomik. Analisis urutan DNA dan RNA yang menghasilkan data dalam ukuran terabyte sekarang dapat diproses dengan efisien menggunakan algoritma pembelajaran mesin. Program AlphaFold yang dibuat oleh DeepMind/Google

berhasil memprediksi bentuk tiga dimensi protein hanya dari urutan asam amino dengan tingkat ketepatan yang lebih tinggi dibandingkan cara tradisional menggunakan kristalografi sinar-X. Inovasi ini sangat penting untuk penemuan obat, pengembangan enzim, dan pemahaman cara kerja penyakit pada tingkat molekuler.

Dalam studi tentang enzim, penelitian yang dilakukan oleh (Sulistiyantini & Utami, 2021) di UIN Maulana Malik Ibrahim Malang menunjukkan bahwa aktivitas enzim selulase yang dihasilkan oleh bakteri endofit *Bacillus cereus* sangat penting. Penelitian ini menunjukkan betapa relevannya penelitian enzim mikroba untuk industri bioteknologi. Karakterisasi enzim melalui eksperimen, seperti yang dilakukan dalam penelitian ini, kini semakin didukung oleh pendekatan *in silico* yang menggunakan AI. Pendekatan ini memungkinkan kita untuk memprediksi kondisi optimal enzim sebelum melakukan eksperimen, sehingga dapat menghemat waktu dan sumber daya dalam penelitian secara signifikan. Model pembelajaran mesin dapat meramalkan bagaimana perubahan kondisi seperti variasi ion logam Mn^{2+} dan durasi inkubasi akan mempengaruhi aktivitas enzim, berdasarkan data pelatihan dari ribuan percobaan yang serupa.

Di area biologi molekuler, AI juga mengubah cara kita menganalisis ekspresi gen (transkriptomik) dan interaksi antar protein (interaktomik). Algoritma deep learning dapat mengenali pola ekspresi gen yang berhubungan dengan kondisi penyakit tertentu dari data RNA-seq dengan tingkat akurasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode statistik tradisional. Ini memberikan kesempatan untuk mengembangkan biomarker yang lebih tepat untuk mendiagnosis penyakit dan untuk membuat terapi gen yang lebih akurat. Selain itu, AI digunakan dalam analisis metagenomik, yaitu penelitian tentang semua komunitas mikroorganisme di suatu ekosistem tanpa harus mengkultur setiap organisme satu per satu. (Jumper et al., 2021)

AI dalam Ekologi, Biodiversitas, dan Pemantauan Lingkungan

Penggunaan AI dalam ekologi dan penelitian tentang keanekaragaman hayati membuka cara baru untuk memahami bagaimana ekosistem bekerja. Teknologi penglihatan komputer yang menggunakan deep learning sekarang dipakai untuk secara otomatis mengenali spesies dari foto yang diambil di lapangan, rekaman dari kamera jebak, dan gambar satelit. Teknologi ini membuat kita bisa memantau keanekaragaman hayati dalam ukuran yang sebelumnya tidak bisa dilakukan hanya oleh peneliti manusia. Sistem AI bisa secara otomatis menganalisis ribuan foto, mengenali spesies, menghitung jumlah populasi, dan melihat perubahan perilaku hewan secara langsung. Penelitian (Suheriyanto & Lutfiah, 2020) mengenai potensi serangga tanah sebagai tanda kualitas tanah di kebun jeruk menunjukkan betapa rumitnya data yang terlibat dalam penelitian di lapangan. Pendekatan yang menggunakan AI bisa meningkatkan kemampuan penelitian seperti ini dengan menggabungkan data dari sensor tanah, gambar multispektral dari drone, dan data iklim mikro secara bersamaan.

Ini bertujuan untuk menciptakan model prediktif mengenai kualitas ekosistem yang lebih lengkap. Sensor lingkungan cerdas yang menggunakan algoritma AI di lapangan bisa mendeteksi perubahan dalam keanekaragaman hayati secara langsung. Ini memberikan peringatan lebih awal tentang kerusakan ekosistem. Dalam studi tentang

antibiotik dan resistensi bakteri, (Utami, 2012) dari UIN Malang meneliti bagaimana resistensi bakteri terhadap antibiotik berkembang dari sudut pandang ekologi mikroba. AI sekarang menjadi alat yang sangat kuat untuk memprediksi dalam analisis pola resistensi antibiotik. Algoritma pembelajaran mesin bisa menganalisis profil genetik bakteri untuk memprediksi ketahanan terhadap antibiotik tertentu, dan juga bisa memodelkan penyebaran gen ketahanan di antara populasi bakteri di lingkungan. Kemampuan untuk memprediksi ini sangat penting dalam usaha mengendalikan resistensi antibiotik yang telah menjadi masalah kesehatan di seluruh dunia.

AI dalam Bioteknologi: Pengendalian Hayati dan Pertanian Presisi

Bioteknologi adalah salah satu bidang yang paling banyak menggunakan AI untuk mempercepat inovasi (Xu et al., 2022). Dalam pengembangan agen biokontrol, AI membantu dalam memilih dan menyaring kandidat agen hayati dengan cara yang jauh lebih efisien dibandingkan metode tradisional. (Putri & Utami, 2020) dalam studi bioteknologi pengendalian hayati dengan menggunakan jamur entomopatogen dan antagonis menjelaskan bahwa penelitian biokontrol melibatkan analisis multivariat yang rumit. Ini mencakup berbagai aspek, seperti ciri-ciri morfologi, aktivitas enzim, dan kecocokan dengan tanaman inang. Pendekatan machine learning bisa menggabungkan semua variabel itu untuk meramalkan seberapa efektif agen biokontrol yang mungkin sebelum kita melakukan uji coba di lapangan. Dalam pertanian presisi, penggabungan AI dengan bioteknologi telah menghasilkan sistem yang membantu dalam pengambilan keputusan pertanian yang sangat inovatif.

Algoritma AI bisa menganalisis data dari citra drone, sensor tanah, dan data cuaca untuk meningkatkan penggunaan biopestisida dan pupuk hayati dengan cara yang lebih tepat waktu dan sesuai lokasi. (Savitri et al., 2021) dalam penelitian mengenai nanoteknologi alga merah yang digunakan sebagai bahan antiaging menunjukkan bagaimana makhluk hidup dapat menjadi sumber senyawa bioaktif yang sangat berharga. AI mempercepat penemuan senyawa bioaktif dengan memungkinkan pemeriksaan virtual dari jutaan kombinasi molekul sebelum sintesis dilakukan di laboratorium. Ini membantu mengurangi biaya dan waktu penelitian secara signifikan. Dalam bidang rekayasa genetika dan biologi sintetik, AI juga memiliki peran yang sangat penting. Algoritma generatif yang menggunakan deep learning bisa membuat urutan DNA sintesis sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Ini memberikan kesempatan untuk merancang organisme yang lebih baik untuk digunakan dalam industri bioteknologi. Selain itu, AI digunakan untuk memperbaiki kondisi fermentasi dalam pembuatan bioproses, memprediksi racun dari senyawa biologis, dan merancang peptida antimikroba baru yang efektif melawan kuman yang kebal terhadap antibiotik biasa.

Tantangan dan Etika Penerapan AI dalam Biologi

Walaupun AI memiliki potensi yang sangat besar dalam bidang biologi, penerapannya juga menghadapi banyak tantangan. Tantangan yang pertama dan paling penting adalah kualitas dan jumlah data pelatihan. Model AI hanya bisa berfungsi dengan baik jika data yang dipakai untuk melatihnya juga baik. Dalam biologi, data sering kali tidak lengkap, memiliki bias taksonomi (di mana spesies model seperti *E. coli* dan tikus terlalu

banyak direpresentasikan, sementara organisme tropis kurang terwakili), dan tidak terstandarisasi. Bias ini bisa membuat model AI yang tepat untuk organisme yang sudah dipakai sebagai contoh, tetapi tidak bisa diterapkan untuk organisme lain. Tantangan kedua berkaitan dengan interpretabilitas model (explainability). Banyak model deep learning bekerja seperti "kotak hitam" yang bisa memberikan prediksi yang tepat, tetapi tidak bisa menjelaskan cara kerja di balik prediksi tersebut.

Dalam biologi, memahami cara kerja suatu mekanisme sangat penting untuk menciptakan pengetahuan ilmiah yang bermanfaat. Tantangan ketiga berhubungan dengan aspek etika dalam penelitian, terutama mengenai penggunaan data biologis manusia dalam jumlah besar. Hal ini menyangkut masalah privasi genetik, persetujuan yang diinformasikan, dan kemungkinan terjadinya diskriminasi yang berdasarkan informasi genomik. Dalam pandangan Islam yang sesuai dengan konteks UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, pengembangan dan penggunaan AI di bidang biologi harus memperhatikan prinsip-prinsip etika yang berasal dari nilai-nilai dalam Al-Qur'an. Konsep khalifah di bumi berarti bahwa manusia memiliki tanggung jawab untuk menggunakan teknologi AI dengan cara yang baik untuk kepentingan ekosistem dan semua makhluk hidup, bukan untuk mengeksploitasi secara berlebihan. Pengembangan AI dalam bidang biologi yang berkelanjutan perlu menjadikan pelestarian keanekaragaman hayati, keadilan dalam akses ilmu pengetahuan, dan perlindungan terhadap martabat semua makhluk hidup sebagai nilai-nilai yang tidak boleh ditawar. (Jumhur et al., 2025)

Kesimpulan dan Saran

Studi ini menunjukkan bahwa penggabungan AI dalam ilmu biologi telah mencapai perubahan besar, yang secara mendasar mengubah cara penelitian biologi direncanakan, dilakukan, dan dipahami. Empat area utama yang telah dikenali genomik dan biologi molekuler, ekologi dan biodiversitas, bioteknologi dan pengendalian hayati, serta rekayasa genetika dan biologi sintetik semuanya menunjukkan peningkatan kemampuan yang signifikan dengan penggunaan AI. Indonesia, sebagai negara dengan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi dan ekosistem yang kaya serta unik, memiliki peluang besar untuk mendapatkan keuntungan dari penerapan AI dalam penelitian biologi di tingkat nasional.

Berdasarkan hasil temuan dan analisis yang telah disampaikan, artikel ini merekomendasikan: (1) penggabungan kurikulum bioinformatika dan AI ke dalam program studi biologi di semua perguruan tinggi di Indonesia, termasuk UIN Maulana Malik Ibrahim Malang; (2) pembangunan infrastruktur komputasi tinggi (HPC) yang dapat digunakan oleh komunitas peneliti biologi di seluruh Indonesia; (3) pengembangan basis data biologis nasional yang lengkap dan terstandarisasi sebagai dasar untuk pelatihan model AI; (4) pembuatan panduan etika untuk riset AI-biologi yang memperhatikan nilai-nilai budaya dan agama; (5) peningkatan kerjasama antar disiplin antara peneliti biologi, ilmuwan komputer, dan ahli etika; serta (6) pengembangan model AI yang mencakup dan merepresentasikan keanekaragaman hayati Indonesia, sehingga kontribusi ilmu biologi Indonesia di kancah global dapat semakin meningkat.

Daftar Pustaka

- Jumhur, Munawarah, R., & Mujahid, A. (2025). Integrasi Pandangan Islam dan Biologi dalam Menjaga Kesehatan Manusia serta Implikasinya terhadap Hukum Fiqih Kontemporer. *Maliki Interdisciplinary Journal*, 3(9). <https://urj.uin-malang.ac.id/index.php/mij>
- Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O., & Hassabis, D. (2021). Highly Accurate Protein Structure Prediction with AlphaFold. *Nature*, 596, 583–589. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2>
- Kusumawati, A. (2008). Kecerdasan Buatan Manusia (Artificial Intelligence): Teknologi Impian Masa Depan. *Ulul Albab: Jurnal Studi Islam*, 9(2). <https://doi.org/10.18860/ua.v9i2.6218>
- Putri, A. Y., & Utami, U. (2020). Studi Bioteknologi Pengendalian Hayati dengan Berbagai Jamur. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 3(1), 543–551. <http://repository.uin-malang.ac.id/14286/>
- Savitri, E. S., Shonhaji, A., Gamgali, A. R. D., Fitriyah, O., Efendi, A., & Arumsari, R. A. (2021). *Nanoteknologi Alga Merah sebagai Antiaging*. UIN Maliki Press.
- Suheriyanto, D., & Lutfiyah, A. (2020). The Potency of Soil Insect As Soil Quality Bioindicators in Citrus Plantations Poncokusumo District, Malang Regency. *El-Hayah: Jurnal Biologi*, 7(4). <https://doi.org/10.18860/elha.v7i4.10667>
- Sulistyantini, C., & Utami, U. (2021). The Effect of Addition Mn²⁺ Metal Ions and Incubation Time to Bacillus cereus Cellulase Enzyme Activity from Endophytic Bacteria of Curcuma Rhizome (Curcuma zanthorrhiza Roxb.). *El-Hayah: Jurnal Biologi*, 8(2), 62–69. <https://ejournal.uin-malang.ac.id/index.php/bio/article/view/12463>
- Utami, E. R. (2012). Antibiotika, Resistensi, dan Rasionalitas Terapi. *El-Hayah: Jurnal Biologi*, 1(4), 191–198. <https://ejournal.uin-malang.ac.id/index.php/bio/article/view/1783>
- Xu, D., Liu, B., Wang, J., & Zhang, Z. (2022). Bibliometric Analysis of Artificial Intelligence for Biotechnology and Applied Microbiology: Exploring Research Hotspots and Frontiers. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 998298. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.998298>