

GENOMIK DIGITAL DAN KECERDASAN BUATAN SEBAGAI PILAR KONSERVASI BIODIVERSITAS INDONESIA DI ERA EKOSISTEM DIGITAL

Maisyarah Dyah Utami

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan, Indonesia

Penulis korespondensi : mai.utami205@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara megabiodiversitas yang memiliki sekitar 1,75% spesies flora dunia dan lebih dari 45% jenis fauna dunia. Ironisnya, seberapa besar kekayaan ini terancam punah sebelum sempat diidentifikasi, di mana tercatat lebih dari 48,600 spesies yang masuk ke dalam IUCN *Red List* dan 583 diantaranya dimiliki Indonesia. Perkembangan genomik digital beserta kecerdasan buatan (AI) menawarkan solusi untuk mempercepat analisis data biologis dalam skala masif. Kajian ini bertujuan menguraikan peran AI dan *machine learning* dalam analisis data genomik untuk konservasi spesies, menelaah aplikasi genomik digital dalam strategi konservasi biodiversitas, serta mengidentifikasi peluang dan tantangan implementasinya di Indonesia dalam kerangka ekosistem digital. Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematis literature review* (SLR) dengan analisis tematik dan sintesis naratif mengikuti panduan PRISMA, melibatkan penelusuran literatur pada database public dan diperoleh 24 literatur final yang memenuhi kriteria inklusi untuk dianalisis. Hasil kajian menunjukkan bahwa AI dan *machine learning* mampu mempercepat klasifikasi spesies berbasis *Deep learning*, memprediksi adaptasi genetik terhadap perubahan iklim, serta mendukung deteksi kerentanan populasi. Genomik digital melalui *DNA barcoding*, eDNA metabarcoding, dan genomik forensik telah diterapkan di berbagai ekosistem Indonesia seperti laut, akuakultur, terestrial, serta memperoleh momentum kebijakan melalui IBSAP 2025-2045. Namun, implementasinya masih dibayangi tantangan struktural berupa ketimpangan infrastruktur, kompetensi SDM dan fragmentasi data antarinstansi. Kajian ini memperlihatkan bahwa integrasi AI dan genomik digital berkontribusi nyata pada konservasi biodiversitas Indonesia, dengan keberhasilan implementasi ke depan bergantung pada penguatan infrastruktur teknis, kapasitas SDM, dan kerangka kebijakan kelembagaan yang terpadu.

Kata kunci: genomik digital, kecerdasan buatan, konservasi biodiversitas, *DNA barcoding*, ekosistem digital

1 PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara megabiodiversitas di dunia dan menempati urutan kedua setelah Brasil dengan menyimpan sekitar 1,75% spesies tumbuhan, 16% reptil, 12% mamalia, 17% spesies burung dan 270 spesies amfibi yang ada di dunia (Setiawan, 2022). Kekayaan hayati yang dimiliki bangsa ini bukan hanya sekedar warisan ekologis, tetapi juga berpotensi menjadi modal strategis dalam pembangunan berkelanjutan, ketahanan pangan, pengembangan teknologi serta bioekonomi nasional (Bappenas & KLHK, 2025). Namun ancaman kepunahan terhadap biodiversitas terus meningkat. IUCN (2025) mencatat terdapat lebih dari 48,600 spesies yang berstatus terancam punah dan angka tersebut terus bertambah setiap tahunnya. Setiawan, (2022) mengatakan bahwa di Indonesia sendiri tercatat setidaknya 583 spesies *endangered* yang terdampak akibat deforestasi dan fragmentasi habitat serta perubahan iklim dan tingginya kegiatan perdagangan satwa liar ilegal. Tantangan terbesar yang saat ini dihadapi dunia konservasi sudah bukan tekanan ekologis lagi, melainkan keterbatasan data yang gada di lapangan. Menurut Theissinger et al., (2023) sebagian besar spesies belum teridentifikasi dan mengakibatkan populasinya tidak terpantau serta distribusi genetiknya tidak diketahui.

Revolusi teknologi digital menawarkan peluang baru untuk menghadapi krisis tersebut dengan adanya perkembangan bioinformatika dan genomik digital. Bioinformatika merupakan perpaduan antara biologi, ilmu komputer dan matematika. Bidang ini memungkinkan untuk melakukan analisis data dalam skala masif. Negara-negara megabiodiversitas seperti Brasil mulai membuktikan hal ini dengan memanfaatkan data genomik dalam mendukung kebijakan konservasi dan bioekonomi (Vilaça et al., 2024). Termasuk juga melalui pendekatan *in silico* yang efisien dari segi waktu dan biaya serta memanfaatkan pengembangan basis data dan penerapan pendekatan komputasi seperti pembelajaran mesin untuk mengolah data menjadi informasi yang berguna (Paulina et al., 2025).

Selaras dengan adanya kemajuan kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning* yang memperkuat kapabilitas ini. Data DNA yang berjumlah masif kini dapat diproses, diinterpretasikan dan dimanfaatkan untuk pengambilan keputusan konservasi secara *real-time*. Misalnya saja seperti algoritma CNN (*Convolutional Neural Network*) yang mampu mengklasifikasikan spesies tanaman tropis dari data visual dengan akurasi hingga 90% (Martinus et al., 2025), serta analisis genomik populasi yang mampu memprediksi adaptasi spesies primata terhadap perubahan iklim (Teng et al., 2025). Sementara itu, algoritma *Deep learning* mampu mengklasifikasikan spesies dari data *DNA barcoding* dengan akurasi yang sangat tinggi (Riza et al., 2023), bahkan memungkinkan pemantauan keanekaragaman hayati dari satu sampel air atau tanah tanpa perlu menangkap organisme secara langsung (Deiner et al., 2017). Perkembangan ini sejalan dengan visi pembangunan ekosistem digital yang menjadi agenda strategis nasional. Di Indonesia, penerapan teknologi ini sudah mulai diterapkan. *DNA barcoding* telah digunakan untuk mengidentifikasi ikan laut (Halisah et al., 2024), teripang (Simbolon et al., 2021), tanaman lokal (Syahriani & Hala, 2026), rumput laut komersial (Satriani et al., 2024), hingga analisis variasi genetik untuk strategi konservasi pohon gaharu (Irsyad et al., 2020). Peluncuran *Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan* (IBSAP) 2025-2045 oleh Bappenas & KLHK (2025) menandai momentum strategis untuk mengintegrasikan teknologi yang ada dalam pengelolaan keanekaragaman hayati. Terlebih lagi, implementasi strategi ini juga didukung oleh kajian yang menegaskan bahwa efektivitas AI dalam pengelolaan lingkungan tropis dan konservasi biodiversitas sangat bergantung pada kesiapan infrastruktur dan kebijakan kontekstual (Hamka et al., 2025). Pada dasarnya transformasi digital tidak hanya menyentuh sektor ekonomi dan pemerintahan, tetapi juga membuka peluang

revolusioner dalam ilmu hayati dan konservasi lingkungan. Sehingga genomik digital dapat dijadikan sebagai jembatan antara data biologis mentah dan pengetahuan yang dapat diaplikasikan.

Tetapi kajian yang mensintesis peran AI dan genomik digital secara komprehensif sangat terbatas, khususnya pada konteks konservasi di Indonesia. Oleh karenanya diperlukan tinjauan yang dapat dijadikan sebagai landasan kebijakan dan arah riset ke depan. Kajian ini bertujuan untuk menguraikan peran AI dan *machine learning* dalam analisis data genomik untuk konservasi spesies, menelaah aplikasi genomik digital dalam strategi konservasi biodiversitas, serta mengidentifikasi peluang dan tantangan implementasinya di Indonesia dalam kerangka ekosistem digital berbasis pengetahuan. Urgensi ini didasarkan pada pengalaman negara-negara megadiverse lain yang telah menunjukkan bahwa pemanfaatan data genomik secara strategis dapat mendukung kebijakan konservasi dan bioekonomi secara bersamaan.

2 METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* (SLR) dengan pendekatan analisis tematik dan sintesis naratif (Anderson et al., 2014). Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan tujuan penelitian yang bersifat analisis dan sintesis kajian dari berbagai studi lintas disiplin tentang AI, genomik digital dan konservasi biodiversitas, tanpa perlu mengumpulkan data primer dilapangan.

Pengumpulan data dilakukan dengan menelusuri literatur pada *database* seperti Google Scholar, PubMed, ScienceDirect dan sumber terpercaya lainnya. Pencarian dilakukan menggunakan kata kunci seperti *bioinformatics*, *genomic digital*, *biodiversity conservation*, *artificial intelligence*, *machine learning*, *DNA barcoding*, *eDNA*, dan *genomik konservasi Indonesia*, serta mengkombinasikan dengan operator Boolean AND/OR. Cakupan pencarian dibatasi pada publikasi tahun 2015-2026 dalam bahasa Inggris dan Indonesia. Pengecualian untuk artikel BOLD Sytems yang dipublikasi pada tahun 2007 karena merupakan referensi dasar penting yang diperlukan untuk kajian ini (Ratnasingham & Hebert, 2007).

Kriteria inklusi yang pertama adalah literatur diterbitkan pada jurnal *peer-review* atau prosiding ilmiah terindeks. Kedua membahas minimal satu dari tiga topik utama, yaitu AI/*machine learning* untuk analisis genomik, aplikasi genomik digital untuk konservasi, atau peluang dan tantangan bioinformatika di negara berkembang. Terakhir tersedia dalam bentuk *full-text* yang bisa diakses secara terbuka melalui database publik atau akses institusi untuk memfasilitasi proses sintesis data. Sedangkan kriteria eksklusinya adalah literatur yang terpublikasi tanpa *peer-review*, hanya bisa diakses abstraknya saja, dan tidak memiliki keterkaitan langsung dengan konservasi biodiversitas atau genomik spesies liar.

Seleksi dilakukan dalam empat tahap mengacu pada panduan PRISMA, yaitu identifikasi melalui pencarian *database*, skrining judul dan abstrak, penilaian kelayakan, serta inklusi final (Page et al., 2021). Dari seluruh literatur yang teridentifikasi, sebanyak 24 artikel memenuhi kriteria inklusi dan selanjutnya dianalisis melalui pendekatan analisis tematik. Seluruh pustaka yang terpilih memiliki keterkaitan langsung dengan konservasi biodiversitas, meliputi aplikasi AI untuk klasifikasi spesies (Martinus et al., 2025), genomik populasi untuk adaptasi spesies terancam (Teng et al., 2025), hingga kebijakan manajemen kelembagaan konservasi (Paulina et al., 2025). Analisis dilakukan melalui tiga tahap pengkodean tematik yaitu *open*, *axial* and *selective coding* yang kemudian menghasilkan empat tema utama (Strauss & Corbin, 1998). Tema tersebut meliputi penggunaan AI dan *machine learning* dalam analisis genomik serta pemanfaatan teknologi genomik digital untuk konservasi (Tabel 1). Selain itu hasil analisis juga memetakan aplikasi

teknologi tersebut di Indonesia beserta berbagai peluang dan tantangan implementasi yang akan dihadapi.

Tabel 1. Ringkasan literatur yang dianalisis dalam kajian ini

Penulis & Tahun	Tema	Metode/Teknologi	Temuan Utama
Martinus et al. (2025)	AI/ML genomik	CNN (<i>Convolutional Neural Network</i>)	Klasifikasi <i>Uvaria grandiflora</i> dgn akurasi tinggi dari data visual
Riza et al. (2023)	AI/ML genomik	<i>Deep learning</i> + <i>DNA barcoding</i>	Penentuan taksonomi famili tumbuhan otomatis, akurasi tinggi
Teng et al. (2025)	AI/ML genomik	Genomik populasi	Prediksi adaptasi iklim monyet Tibet <i>pasca-bottleneck</i>
Hohenlohe et al. (2021)	AI/ML genomik	Analisis SNP berskala besar	Deteksi inbreeding & kerentanan genetik populasi
Deiner et al. (2017)	Genomik digital	eDNA metabarcoding	Pemantauan biodiversitas non-invasif dari sampel air/tanah
Ratnasingham & Hebert (2007)	Genomik digital	BOLD Systems	Basis data referensi barcode genetik global
Rahayu & Jannah (2019)	Genomik digital	Panduan teknis DNA <i>barcode</i>	Pedoman <i>barcoding</i> flora-fauna endemik Indonesia
Gu et al. (2024)	Genomik forensik	<i>Genome-wide markers</i>	Pelacakan asal-usul geografis trenggiling sitaan (<i>Manis javanica</i>)
Ogden & Linacre (2015)	Genomik forensik	Review forensik genetika	Standar metodologis forensik satwa liar global
Hogg et al. (2022)	Genomik populasi	Program nasional (<i>Threatened Species Initiative</i>)	Integrasi data genomik ratusan spesies dalam kebijakan nasional Australia
Halisah et al. (2024)	Indonesia - laut	<i>DNA barcoding</i>	Identifikasi spesies ikan laut Bali yang mirip secara morfologi
Sembiring et al. (2015)	Indonesia - laut	<i>DNA barcoding</i>	Mengungkap perdagangan hiu <i>endangered</i> yang ditarget
Simbolon et al. (2021)	Indonesia akuakultur	- <i>DNA barcoding</i>	Identifikasi genetik teripang di Lampung untuk budidaya & konservasi
Satriani et al. (2024)	Indonesia akuakultur	- Sekuensing DNA	Informasi genetik primer rumput laut <i>Kappaphycus alvarezii</i>

Syahrani & Hala (2026)	Indonesia terestrial	- <i>DNA barcoding</i> (tinjauan sistematis)	Identifikasi & konservasi tanaman lokal di kawasan terisolasi
Irsyad et al. (2020)	Indonesia terestrial	- ISSR molecular markers	Variasi genetik pohon gaharu (<i>Gyrinops versteegii</i>) di Flores
Chika & Zahro (2024)	Indonesia terestrial	- <i>DNA barcoding</i> in silico	Hubungan filogenetik <i>Castanopsis argentea</i>
Paulina et al. (2025)	Indonesia kelembagaan	- Analisis komparatif manajemen lab	Optimalisasi lab bioteknologi untuk konservasi biodiversitas
Hamka et al. (2025)	Indonesia kebijakan AI	- Studi kebijakan	Peran AI dalam pengelolaan lingkungan tropis, masih eksploratif
Bappenas & KLHK (2025)	Kebijakan nasional	Dokumen strategi (IBSAP)	Peta jalan IBSAP 2025-2045 sebagai momentum kebijakan
Vilaça et al. (2024)	Kebijakan & bioekonomi	Studi kasus Brasil	Genomik mendukung kebijakan konservasi & bioekonomi nasional
Setiawan (2022)	Latar belakang	Tinjauan biodiversitas	Status & ancaman keanekaragaman hayati Indonesia
IUCN (2025)	Latar belakang	Red List	Data status spesies terancam punah global & Indonesia
Theissinger et al. (2023)	Genomik konservasi	Tinjauan konseptual	Kerangka genomik untuk mendukung konservasi biodiversitas

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan proses analisis tematik, diperoleh empat tema utama yang merepresentasikan fokus kajian literatur mengenai pemanfaatan genomik digital dan bioinformatika dalam konservasi biodiversitas. Keempat tema tersebut beserta cakupan pembahasannya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Empat Tema Utama Hasil Analisis Tematik

Tema Utama	Cakupan Pembahasan
1. AI dan Machine Learning dalam Analisis Genomik dan Konservasi	Klasifikasi spesies berbasis CNN/ <i>Deep learning</i> , prediksi adaptasi iklim, deteksi kerentanan genetik populasi
2. Aplikasi Genomik Digital dalam Strategi Konservasi Biodiversitas	eDNA metabarcoding, <i>DNA barcoding</i> (BOLD Systems), genomik forensik perdagangan satwa liar, program genomik populasi nasional
3. Aplikasi Genomik Digital pada Konteks Biodiversitas Indonesia	Penerapan <i>DNA barcoding</i> di ekosistem laut, akuakultur, terestrial, serta dimensi kelembagaan

-
- | | |
|--|--|
| 4. Peluang dan Tantangan Implementasi Bioinformatika Konservasi di Indonesia | Momentum kebijakan IBSAP 2025-2045 vs tantangan infrastruktur, SDM, dan fragmentasi data |
|--|--|
-

3.1 Kecerdasan Buatan (AI) dan *Machine Learning* dalam Analisis Genomik dan Konservasi

Hasil sintesis menunjukkan bahwa algoritma *machine learning* dan *Deep learning* mampu memberikan kontribusi nyata pada percepatan dan peningkatan akurasi proses identifikasi spesies. Seperti studi yang dilakukan Martinus et al. (2025) dengan menerapkan model CNN (*Convolutional Neural Network*) untuk mengklasifikasikan tanaman tropis endemik di Indonesia seperti *Uvaria grandiflora*. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa akurasi klasifikasi tergolong tinggi meski hanya menggunakan data visual dalam jumlah tertentu. Temuan ini sejalan dengan efektivitas pendekatan *Deep learning* pada *DNA barcoding* dalam menentukan taksonomi famili tumbuhan secara otomatis, sehingga tidak memerlukan metode identifikasi konvensional yang cenderung rumit dan memakan waktu yang lama (Riza et al., 2023).

AI tidak hanya mampu mengklasifikasikan spesies, tetapi juga memperluas cakupannya pada ranah konservasi prediktif dengan memodelkan hubungan kompleks antara data genomik dan faktor lingkungan. Teng et al., (2025) membuktikan keberhasilan teknologi ini melalui penelitian pada populasi monyet Tibet *pasca-bottleneck effect* dengan menunjukkan hasil integrasi data genomik dan lingkungan berupa prediksi pola adaptasi perubahan iklim. Pendekatan inovatif ini sangat relevan jika diimplementasikan pada spesies endemik Indonesia yang menghadapi tekanan perubahan iklim, seperti primata dan mamalia dataran tinggi di Sumatera dan Papua.

Pemanfaatan *machine learning* juga terbukti andal dalam mengidentifikasi populasi yang rentan terhadap kepunahan secara genetik. Algoritma klasifikasi memungkinkan sinyal inbreeding, penurunan keragaman genetik dan isolasi populasi dideteksi dari data SNP (*single nucleotide polymorphism*) berskala besar secara lebih efisien dibandingkan analisis konvensional (Hohenlohe et al., 2021). Potensi ini sangat tepat jika diterapkan di Indonesia karena banyak spesies yang terisolasi secara geografis akibat fragmentasi habitat di wilayah kepulauan.

3.2 Aplikasi Genomik Digital dalam Strategi Konservasi Biodiversitas

Teknologi eDNA (*environmental DNA*) hadir sebagai salah satu inovasi terkini yang paling transformatif untuk pemantauan biodiversitas non-invasif. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi suatu spesies dilakukan tanpa penangkapan dan observasi langsung, tetapi hanya dengan mengekstrak satu sampel air, tanah atau udara (Deiner et al., 2017).

DNA barcoding menjadi pilar utama dalam metode identifikasi spesies yang cepat dan akurat. Keberadaan infrastruktur global seperti BOLD Systems (*Barcode of Life Data System*) sangat membantu peneliti di berbagai belahan dunia karena menyediakan basis data referensi *barcode* genetik untuk pencocokan spesies (Ratnasingham & Hebert, 2007). Penerapannya di Indonesia juga telah didukung oleh panduan teknis yang spesifik untuk flora dan fauna endemik (Rahayu & Jannah, 2019). Database semacam ini menjadi dasar bagi seluruh aplikasi *barcoding* spesies yang akan dibahas selanjutnya.

Genomik digital juga menjangkau dimensi forensik dengan memperkuat upaya pemberantasan perdagangan satwa liar ilegal melalui teknik *DANN-Based Geographic Assignment*. Pendekatan ini memungkinkan pelacakan asal-usul geografis sampel satwa hasil sitaan melalui perbandingan profil genetik dengan basis data referensi populasi satwa tersebut, sehingga memudahkan aparat penegak hukum dalam mengidentifikasi jalur perdagangan dan

populasi asal. Seperti yang dilakukan Gu et al., (2024) pada analisis Trenggiling Malaya (*Manis javanica*) yang disita di kawasan Asia Tenggara melalui pemanfaatan *Genome-wide markers*. Studi ini berhasil melacak asal usul spesies tersebut hingga ke tingkat pulau spesifik di Kalimantan, Jawa dan Sumatera. Sebuah fenomena yang sebelumnya tidak dapat dicapai hanya dengan penggunaan teknik identifikasi morfologi konvensional. Metode forensik genetika semacam ini telah menjadi standar metodologis dalam ilmu forensik satwa liar global (Ogden & Linacre, 2015). Jika diterapkan di Indonesia akan sangat tepat, mengingat tingginya kasus perdagangan ilegal trenggiling, kukang dan berbagai spesies burung endemik.

Sementara itu, implementasi pendekatan genomik tingkat populasi melalui program nasional menunjukkan bagaimana sumber daya genomik secara sistematis dikelola untuk kegiatan konservasi yang lebih terarah. *Threatened Species Initiative* di Australia berhasil mengintegrasikan data genomik dari ratusan *endangered species* ke dalam satu sistem kebijakan nasional untuk menentukan skala prioritas intervensi konservasi berdasarkan tingkat kerentanan genetiknya (Hogg et al., 2022). Model struktural ini sangat cocok jika diadopsi menjadi rujukan dalam pengembangan repositori genomik nasional Indonesia ke depannya.

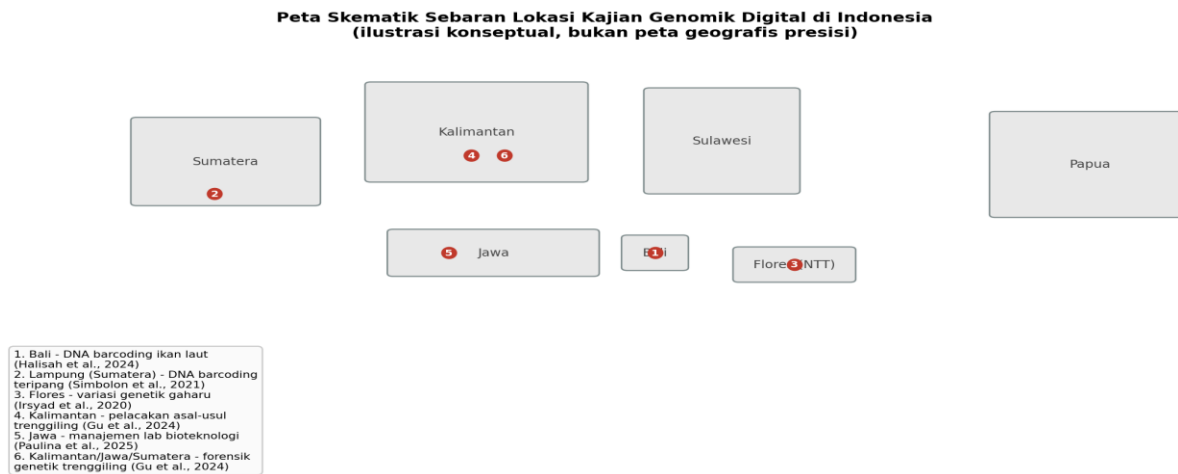
3.3 Aplikasi Genomik Digital pada Konteks Biodiversitas Indonesia

Pemanfaatan *DNA barcoding* di Indonesia kini telah menjangkau berbagai jenis takson. Pada ekosistem laut, penerapan teknik ini mampu mengidentifikasi perbedaan spesies ikan yang secara morfologi sangat mirip di kawasan laut Bali secara akurat berdasarkan perbandingan basis data global (Halisah et al., 2024). Sedangkan pada ranah perdagangan komersial, analisis genetik tersebut berhasil mengungkap praktik eksploitasi hiu bertarget secara spesifik di wilayah perairan Indonesia, yang melibatkan spesies-spesies *endangered* menurut data IUCN, (2025). Data ini sekaligus menyumbang landasan empiris yang kuat untuk dipakai dalam pengoptimalan regulasi sektor perikanan (Sembiring et al., 2015).

Pada ekosistem akuakultur, identifikasi genetik teripang di perairan Lampung membuktikan bahwa *DNA barcoding* mampu menunjang program budidaya berkelanjutan sekaligus konservasi populasi alami secara bersamaan (Simbolon et al., 2021). Seperti pada penelitian oleh Satriani et al., (2024) mengenai analisis sekuensing DNA pada rumput laut *Kappaphycus alvarezii* menyediakan informasi genetik primer yang dibutuhkan dalam pengelolaan varietas budidaya unggulan tingkat nasional.

Pada ekosistem terestrial, *DNA barcoding* mempermudah pendataan spesies lokal yang berada di kawasan terisolasi secara lebih akurat (Syahriani & Hala, 2026). Sejalan dengan temuan Irsyad et al., (2020) mengenai analisis variasi genetik pada pohon gaharu (*Grynops verstegii*) di Flores, yang memetakan tingkat diveristas genetik populasi sebagai dasar penyusun strategi konservasi spesies bernilai ekonomi tinggi yang terancam akibat eksploitasi berlebih. Melalui metode ini pula dapat dikonfirmasi hubungan filogenetik spesies pohon hutan dataran tinggi yang mengalami penurunan populasi seperti *Castanopsis argentea* melalui pendekatan analisis *in silico* yang efisien (Chika & Zahro, 2024).

Pada dimensi kelembagaan, kajian terhadap manajemen laboratorium bioteknologi di Indonesia menegaskan bahwa optimalisasi infrastruktur merupakan prasyarat penting bagi keberlanjutan implementasi teknologi konservasi di masa depan (Paulina et al., 2025). Pemanfaatan kecerdasan buatan dalam mendukung pengambilan kebijakan pada pengelolaan ekosistem tropis di Indonesia mulai dieksplorasi, meskipun penerapannya terhadap sektor perlindungan biodiversitas masih memerlukan pengembangan lebih lanjut (Hamka et al., 2025).



Gambar 1. Peta skematik sebaran lokasi kajian genomik digital pada konteks biodiversitas Indonesia (ilustrasi konseptual)

3.4 Peluang dan Tantangan Implementasi Bioinformatika Konservasi di Indonesia

Peluncuran IBSAP 2025-2045 oleh pemerintah melalui Bappenas & KLHK (2025) memberikan peluang strategis bagi pengembangan bioinformatika konservasi di Indonesia. Kebijakan ini menegaskan komitmen sistematis untuk menyatukan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam pengelolaan keanekaragaman hayati nasional secara sistematis. Langkah regulasi ini selaras dengan pengalaman negara-negara megadiversitas seperti Brasil, yang berhasil membuktikan bahwa investasi pada infrastruktur genomik nasional mampu mendukung kebijakan konservasi sekaligus mendongkrak nilai bioekonomi dari sumber daya genetik domestik secara serentak (Vilaça et al., 2024). Kerangka kerja serupa sangat bernilai untuk diadaptasi guna mengatasi keterbatasan pembangunan riset genomik Indonesia yang saat ini masih berkembang.

Resiko kepunahan genetik suatu spesies kini juga dapat diantisipasi lebih dini memanfaatkan pendekatan genomik konservasi. Kerangka analisis populasi genomik memungkinkan deteksi kerentanan genetik sebelum suatu populasi mencapai titik kritis (Theissinger et al., 2023). Kehadiran teknologi prediktif berpotensi besar mengisi celah dalam perencanaan konservasi di Indonesia yang selama ini belum menerapkannya secara sistematis.

Di balik potensi tersebut, masih ada sejumlah tantangan struktural yang harus dihadapi Indonesia. Salah satunya adalah ketimpangan infrastruktur laboratorium dan kompetensi SDM bioinformatika pada berbagai lembaga riset daerah, karena kebanyakan yang mumpuni hanya terpusat di pulau Jawa (Paulina et al., 2025). Masalah ini diperberat oleh fragmentasi data genomik antar institusi karena belum adanya repositori nasional terintegrasi. Dampaknya adalah pada sulitnya proses sintesis pengetahuan lintas spesies dan lintas wilayah. Di samping itu, implementasi AI dalam manajemen lingkungan tropis di Indonesia masih bersifat eksploratif dan belum banyak diarahkan secara spesifik untuk kepentingan konservasi biodiversitas (Hamka et al., 2025). Kondisi ini menuntut adanya arah kebijakan riset yang lebih tegas dan terarah guna mempercepat pemanfaatan teknologi tersebut.

Kajian terhadap 24 literatur ini membuktikan bahwa kombinasi antara fondasi ilmiah dan momentum kebijakan di Indonesia sudah memadai untuk membangun bioinformatika konservasi secara lebih terstruktur. Namun, keberhasilan penerapannya sangat bergantung pada penguatan

tiga elemen utama secara serempak, yakni pembenahan infrastruktur teknis, peningkatan kualitas sumber daya manusia, serta integrasi kerangka kebijakan kelembagaan yang terpadu.

4 KESIMPULAN

Kajian terhadap 24 literatur menunjukkan bahwa integrasi antara kecerdasan buatan dan genomik digital memberikan kontribusi nyata bagi konservasi biodiversitas Indonesia. Empat trobosan utama, yaitu klasifikasi taksonomi berbasis *Deep learning*, pemantauan eDNA *metabarcoding*, sistem referensi *DNA barcoding*, serta genomik forensik terbukti mampu mempercepat identifikasi spesies, memprediksi adaptasi terhadap faktor lingkungan, dan bahkan menjadi instrumen penting dalam pemantauan dan penegakan hukum konservasi global. Penerapan beberapa teknologi ini di Indonesia telah menjangkau berbagai macam ekosistem dari laut, akuakultur, terestrial hingga kelembagaan yang didukung oleh momentum kebijakan IBSAP 2025-2045. Namun, implementasinya masih dibayangi tantangan struktural berupa kesenjangan infrastruktur dan pemanfaatan AI yang belum terarah. Keberhasilan ke depannya sangat bergantung pada penguatan tiga instrumen yaitu infrastruktur teknis, kapasitas sumber daya manusia, dan kerangka kebijakan yang kuat dan terarah.

Berdasarkan temuan tersebut, pemerintah dan lembaga riset disarankan membangun repositori genomik nasional yang terintegrasi, serta memperkuat infrastruktur dan manajemen pusat penelitian konservasi biodiversitas. Untuk mengatasi kesenjangan kompetensi SDM, disarankan melakukan optimalisasi dalam pembelajaran karena pendekatan edukasi konvensional tidak lagi memadai mengingat luasnya geografis Indonesia. Dengan adanya kemajuan teknologi, platform edukasi digital dan sistem pembelajaran jarak jauh memiliki peran yang sangat strategis dalam menunjang peningkatan kualitas SDM Indonesia. Sistem seperti ini memungkinkan distribusi kurikulum bioinformatika dapat dilakukan secara masif dan inklusif tanpa terkendala jarak kepada siapapun yang tertarik dengan konservasi digital. Transformasi semacam ini tidak hanya mendukung penguatan kompetensi talenta lokal secara merata, tetapi juga menjadi prasyarat penting untuk memastikan keberlanjutan dan kedaulatan tata kelola teknologi konservasi di masa depan. Dengan demikian, pembenahan struktural ini harus berjalan selaras dengan pemerataan akses literasi di seluruh wilayah. Selain itu, penyusunan kerangka regulasi basis data harus sesuai dengan prinsip Protokol Nagoya serta penelitian empiris lanjutan pada spesies endemik yang belum banyak diteliti juga perlu menjadi prioritas agar kekayaan hayati Indonesia dapat dikelola secara berkelanjutan dan berdaulat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kelancaran dan kemudahan dalam penelitian ini, pihak panitia SEMNAS SAINTEK VI yang telah memberikan kesempatan besar untuk penelitian ini dapat dipublikasikan, serta keluarga dan kerabat yang mendukung selama proses penulisan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, C. A., Bushman, B. J., Bandura, A., Braun, V., Clarke, V., Bussey, K., Bandura, A., Carnagey, N. L., Anderson, C. A., Ferguson, C. J., Smith, J. a, Osborn, M., Willig, C., & Stainton-Rogers, W. (2014). Using thematic analysis in psychology *Psychiatric Quarterly*, 0887(1), 37–41.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11752478>
Bappenas, & KLHK. (2025). *Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan (IBSAP) 2025-*

2045 (Vol. 2).

- Chika, S., & Zahro, S. (2024). ASSESMENT OF THE DNA BARCODES CHARACTERISTIC AND EVALUATION OF PHYLOGENETIC RELATIONSHIP OF *Castanopsis argentea* (Blume) A. DC. [Karakterisasi *DNA barcoding* dan Hubungan Kekerabatan *Castanopsis argentea* (Blume) A. DC.]. *Berita Biologi*, 23(3), 421–430. <https://doi.org/10.55981/beritabiologi.2024.5800>
- Deiner, K., Bik, H. M., Mächler, E., Seymour, M., Lacoursière-Roussel, A., Altermatt, F., Creer, S., Bista, I., Lodge, D. M., de Vere, N., Pfrender, M. E., & Bernatchez, L. (2017). Environmental DNA metabarcoding: Transforming how we survey animal and plant communities. *Molecular Ecology*, 26(21), 5872–5895. <https://doi.org/10.1111/mec.14350>
- Gu, T. T., Zhang, H., He, Y. X., Hu, J. Y., & Yu, L. (2024). Approaches to tracing the geographic origin of wildlife trade. *National Science Review*, 11(9). <https://doi.org/10.1093/nsr/nwae286>
- Halisah, K. A. Z., Fitri, A., Irianto, S. N., Aulya, M., Sakti, B., Sanrina, Harmadi, P., Maha, N. S. S., & Chayani, N. K. D. (2024). Identifikasi Spesies Ikan Laut Menggunakan Teknik *DNA barcoding* (Identification of Marine Fish Species Using *DNA barcoding* Techniques). *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi, Juni*, 26(1), 43–51. <https://pusatinformasi.mitrakm.kemdikbud.go.id>
- Hamka, E., Rufaidah, & Sari, N. (2025). Peran Kecerdasan Buatan dalam Pengambilan Keputusan Pengelolaan Lingkungan di Wilayah Tropis. *Trends Research of Environmental Studies*, 1(2), 34–40.
- Hogg, C. J., Ottewell, K., Latch, P., Rossetto, M., Biggs, J., Gilbert, A., Richmond, S., & Belov, K. (2022). Threatened Species Initiative: Empowering conservation action using genomic resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(4), 1–8. <https://doi.org/10.1073/pnas.2115643118>
- Hohenlohe, P. A., Funk, W. C., & Rajora, O. P. (2021). Population genomics for wildlife conservation and management. *Molecular Ecology*, 30(1), 62–82. <https://doi.org/10.1111/mec.15720>
- Irsyad, A. F., Rindyastuti, R., Yulistyarini, T., Darmayanti, A. S., & Daryono, B. S. (2020). Genetic variation of agarwood producing tree (*Gyrinops versteegii*) from Pongkor, Manggarai District, flores Island, Indonesia using ISSR molecular markers. *Biodiversitas*, 21(2), 485–491. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210208>
- IUCN. (2025). *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/>
- Martinus, Ferbangkara, S., Annisa, R., Hidayatullah, V., Pratama, R. W. A., & Makarim, A. R. (2025). Pemodelan AI dengan CNN Untuk Klasifikasi Tanaman *Uvaria Grandiflora* di Hutan Tropis Indonesia. *Jurnal Teknologi Riset Terapan*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.35912/jatra.v3i1.5012>
- Ogden, R., & Linacre, A. (2015). Wildlife forensic science: A review of genetic geographic origin assignment. *Forensic Science International: Genetics*, 18(September 2009), 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2015.02.008>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Bmj*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Paulina, M., Azis, A. R., & Faradika, M. (2025). Optimalisasi Manajemen Laboratorium Bioteknologi untuk Konservasi Keanekaragaman Hayati Melalui Analisis Komparatif Praktik Global. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Sains Dan Teknologi*, 2(2), 47–55.

- <https://doi.org/10.33369/pelastek.v2i2.40961>
- Rahayu, D. A., & Jannah, M. (2019). *Dna Barcode Hewan Dan Tumbuhan Indonesia* (E. D. Nugroho (ed.)). Yayasan Inspirasi Ide Berdaya.
- Ratnasingham, S., & Hebert, P. D. N. (2007). BOLD: The Barcode of Life Data System: Barcoding. *Molecular Ecology Notes*, 7(3), 355–364. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01678.x>
- Riza, L. S., Zain, M. I., Izzuddin, A., Prasetyo, Y., Hidayat, T., & Abu Samah, K. A. F. (2023). Implementation of machine learning in *DNA barcoding* for determining the plant family taxonomy. *Heliyon*, 9(10), e20161. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20161>
- Satriani, G. I., Tri Soelistyowati, D., Alimuddin, Arfah, H., & Effendi, I. (2024). Identification of *Kappaphycus alvarezii* seaweed based on phylogenetic and carrageenan conten. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 23(1), 1–11. <https://doi.org/10.19027/jai.23.1.1-11>
- Sembiring, A., Pertiwi, N. P. D., Mahardini, A., Wulandari, R., Kurniasih, E. M., Kuncoro, A. W., Cahyani, N. K. D., Anggoro, A. W., Ulfa, M., Madduppa, H., Carpenter, K. E., Barber, P. H., & Mahardika, G. N. (2015). *DNA barcoding* reveals targeted fisheries for endangered sharks in Indonesia. *Fisheries Research*, 164, 130–134. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.11.003>
- Setiawan, A. (2022). Keanekaragaman Hayati Indonesia: Masalah dan Upaya Konservasinya. *Indonesian Journal of Conservation*, 11(4), 23. <https://doi.org/10.15294/ijc.v11i1.34532>
- Simbolon, A. R., Masteria, Y. P., & Wirawati, I. (2021). IDENTIFIKASI SPESIES MENGGUNAKAN DNA BARCODING DALAM MENUNJANG BUDIDAYA DAN KONSERVASI TERIPANG DI PERAIRAN LAMPUNG. *Jurnal Riset Akuakultur*, 16(1), 31–37.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basic of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory* (4TH Editio). Sage Publications, Inc.
- Syahriani, & Hala, Y. (2026). *DNA barcoding* sebagai Inovasi Bioteknologi untuk Identifikasi dan Konservasi Tanaman Lokal: Suatu Tinjauan Sistematis. *Jurnal Biology Science & Education 2026 SYAHRIANI*, 15(1). <https://jurnal.iainambon.ac.id/index.php/BS>
- Teng, Y., Li, W., Wang, X., Zhang, R., Shen, Y., Wu, R., Liu, J., Zhang, M., Roos, C., Li, J., Li, J., Qi, J., & Li, M. (2025). Integrating population genomics and environmental data to predict adaptation to climate change in post-bottleneck Tibetan macaques. *Science Advances*, 11(28), 1–16. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adw0562>
- Theissinger, K., Fernandes, C., Formenti, G., Bista, I., Berg, P. R., Bleidorn, C., Bombarely, A., Crottini, A., Gallo, G. R., Godoy, J. A., Jentoft, S., Malukiewicz, J., Mouton, A., Oomen, R. A., Paez, S., Palsbøll, P. J., Pampoulie, C., Ruiz-López, M. J., Secomandi, S., ... Zammit, G. (2023). How genomics can help biodiversity conservation. *Trends in Genetics*, 39(7), 545–559. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2023.01.005>
- Vilaça, S. T., Vidal, A. F., Pavan, A. C. D. O., Silva, B. M., Carvalho, C. S., Povill, C., Luna-Lucena, D., Nunes, G. L., Figueiró, H. V., Mendes, I. S., Bittencourt, J. A. P., Côrtes, L. G., Costa Canesin, L. E., Oliveira, R. R. M., Damasceno, R. P., Vasconcelos, S., Barreto, S. B., Tavares, V., Oliveira, G., ... Aleixo, A. (2024). Leveraging genomes to support conservation and bioeconomy policies in a megadiverse country. *Cell Genomics*, 4(11), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.xgen.2024.100678>