

Optimalisasi Manajemen Laboratorium Bioteknologi untuk Konservasi Keanekaragaman Hayati Melalui Analisis Komparatif Praktik Global

(Optimizing Biotechnology Laboratory Management for Biodiversity Conservation Through Comparative Analysis of Global Practices)

Maria Paulina^{*1}, Arif Rahman Azis² dan Mela Faradika³

¹Universitas Bina Insan, Indonesia

²Akademi Komunitas Negeri Rejang Lebong, Indonesia

³UIN Fatmawati Sukarno Bengkulu, Indonesia

*Email Co-Authors: paulinalyanouris@gmail.com

Info Artikel	
10.33369/pelastek.v2i2.40961	
Kata Kunci: Bioteknologi Konservasi, Manajemen Laboratorium, Biobanking, Keanekaragaman Hayati, Praktik Global.	Abstrak Penelitian ini mengkaji pendekatan komprehensif dalam optimalisasi manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi keanekaragaman hayati melalui analisis komparatif praktik global. Studi ini menganalisis praktik manajemen laboratorium dari berbagai negara dengan fokus pada integrasi teknologi, penerapan standar internasional, pemanfaatan biobanking, pengembangan kapasitas sumber daya manusia, dan kolaborasi multi-stakeholder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan laboratorium bioteknologi dalam mendukung upaya konservasi keanekaragaman hayati sangat dipengaruhi oleh implementasi sistem manajemen terintegrasi, adopsi teknologi terkini, pendekatan berbasis data, dan penguatan jaringan kolaborasi internasional. Temuan ini memberikan landasan untuk pengembangan kerangka kerja manajemen laboratorium bioteknologi yang adaptif dan berkelanjutan, yang dapat berkontribusi signifikan pada upaya global dalam pelestarian keanekaragaman hayati dan pembangunan berkelanjutan.
Keywords: Conservation Biotechnology, Laboratory Management, Biobanking, Biodiversity, Global Practices.	Abstract <i>This study examines a comprehensive approach to optimizing biotechnology laboratory management for biodiversity conservation through a comparative analysis of global practices. This study analyzes laboratory management practices from various countries with a focus on technology integration, implementation of international standards, utilization of biobanking, human resource capacity building, and multi-stakeholder collaboration. The results show that the success of biotechnology laboratories in supporting biodiversity conservation efforts is strongly influenced by the implementation of integrated management systems, adoption of the latest technology, data-driven approaches, and strengthening international collaboration networks. These findings provide a foundation for the development of an adaptive and sustainable biotechnology laboratory management framework, which can contribute significantly to global efforts in biodiversity conservation and sustainable development.</i>
Riwayat Artikel: Diterima: 26 Maret 2025 Revisi: 16 April 2025	Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi CC-BY-SA . 

Diterima: 29 Juni 2025

PENDAHULUAN

Konservasi keanekaragaman hayati menghadapi tantangan besar di era Antroposen, ditandai dengan laju kepunahan spesies yang mencapai 1.000 kali lebih cepat dibandingkan laju alamiah (Ceballos et al., 2020). Dalam konteks ini, laboratorium bioteknologi memegang peran vital sebagai pusat riset dan pengembangan metode konservasi modern. Laboratorium seperti Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology (ICBB) berperan dalam penelitian, konservasi, dan pemanfaatan keanekaragaman hayati Indonesia. Namun, efektivitas laboratorium dalam mendukung upaya konservasi seringkali terhambat oleh tantangan manajemen, mulai dari keterbatasan infrastruktur, sumber daya manusia, hingga implementasi standar operasional berkualitas (Pimm et al., 2018).

Indonesia, sebagai negara mega-biodiversitas, menghadapi urgensi untuk mengoptimalkan fungsi laboratorium bioteknologi dalam upaya konservasi. Menurut data LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia), Indonesia memiliki setidaknya 47.000 spesies tumbuhan dan hewan endemik dengan tingkat ancaman kepunahan yang tinggi (Widjaja et al., 2021). Optimalisasi manajemen laboratorium bioteknologi menjadi krusial untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas upaya konservasi melalui aplikasi teknik bioteknologi modern, seperti karakterisasi molekuler, kriopreservasi, kultur in vitro, dan teknologi reproduksi berbantuan (Supple & Shapiro, 2018). Pendekatan global dalam manajemen laboratorium bioteknologi telah mengalami evolusi signifikan, dengan berkembangnya konsep biobanking, manajemen data genomik, dan integrasi teknologi informasi dalam operasional laboratorium (Prendini et al., 2019). Dibandingkan dengan praktik-praktik terbaik global, manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi di Indonesia masih menghadapi berbagai kesenjangan, termasuk keterbatasan dalam standarisasi prosedur, infrastruktur digital, dan kolaborasi antar institusi (Kartikasari et al., 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komparatif praktik manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi keanekaragaman hayati di berbagai negara, mengidentifikasi model-model terbaik yang dapat diadaptasi dalam konteks Indonesia, dan merumuskan kerangka kerja strategis untuk optimalisasi manajemen laboratorium bioteknologi konservasi. Melalui pendekatan analisis komparatif, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan kapasitas laboratorium bioteknologi di Indonesia untuk mendukung upaya konservasi keanekaragaman hayati yang berkelanjutan.

METODE PENULISAN

Artikel ini disusun menggunakan metode review jurnal sistematis dengan pendekatan analisis komparatif terhadap praktik global dalam manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi keanekaragaman hayati. Artikel ilmiah dikumpulkan dari database Scopus, Web of Science, Science Direct, dan Google Scholar dengan rentang waktu publikasi 2015-2023 menggunakan kata kunci: "biotechnology laboratory management", "conservation biotechnology", "biodiversity conservation", "biobanking", dan "global best practices". Dari 178 artikel yang teridentifikasi, 45 artikel terpilih untuk analisis mendalam berdasarkan kriteria inklusi: relevansi dengan topik, kebaruan, dan kualitas metodologi. Data diekstraksi dan dianalisis menggunakan

pendekatan tematik untuk mengidentifikasi pola, kesenjangan, dan praktik terbaik dalam manajemen laboratorium bioteknologi konservasi di berbagai negara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendekatan Terintegrasi dalam Manajemen Laboratorium Bioteknologi untuk Konservasi

Manajemen laboratorium bioteknologi modern untuk konservasi keanekaragaman hayati telah berevolusi menuju pendekatan terintegrasi yang menggabungkan berbagai aspek teknologi, sumber daya manusia, dan standar operasional. McCouch et al. (2020) mengidentifikasi bahwa laboratorium bioteknologi dengan sistem manajemen terintegrasi mampu meningkatkan efisiensi proses konservasi *ex-situ* hingga 67% dibandingkan dengan laboratorium yang menggunakan pendekatan manajemen konvensional. Sistem manajemen terintegrasi ini mencakup integrasi antara manajemen spesimen, data molekuler, dan informasi ekologi yang memungkinkan pendekatan holistik dalam upaya konservasi. Di Amerika Serikat, Smithsonian Conservation Biology Institute telah menerapkan model integrasi ini melalui platform Conservation Commons yang menghubungkan puluhan laboratorium bioteknologi dalam jaringan kolaboratif dengan sistem informasi terpadu (Johnson et al., 2019).

Dalam konteks Asia, Jepang menunjukkan praktik terbaik melalui NARO Genebank yang mengintegrasikan manajemen laboratorium bioteknologi dengan program konservasi keanekaragaman genetik tanaman. Menurut Nishio et al. (2020), pendekatan terintegrasi ini telah berhasil mengkonservasi lebih dari 220.000 aksesori material genetik dengan tingkat keberhasilan regenerasi mencapai 92%. Model integrasi serupa juga dikembangkan oleh National Institute of Biological Resources Korea Selatan yang menggabungkan manajemen laboratorium bioteknologi dengan sistem informasi biodiversitas nasional, menghasilkan efisiensi pengelolaan data yang signifikan dan aksesibilitas yang lebih baik bagi peneliti dan pemangku kepentingan konservasi (Kim et al., 2019).

Implementasi Standar Internasional dalam Manajemen Laboratorium Bioteknologi

Penerapan standar internasional merupakan komponen krusial dalam optimalisasi manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi. Analisis terhadap 28 laboratorium bioteknologi konservasi di 14 negara yang dilakukan oleh Savolainen et al. (2021) menunjukkan bahwa laboratorium yang mengimplementasikan standar ISO/IEC 17025 secara konsisten menghasilkan data molekuler dengan tingkat akurasi dan reliabilitas yang lebih tinggi, yang sangat penting untuk program konservasi berbasis genetik. Di Eropa, European Molecular Biology Laboratory (EMBL) mengembangkan framework standar manajemen laboratorium yang disebut ELIXIR, yang mengintegrasikan standar ISO dengan kebutuhan spesifik penelitian biodiversitas, menghasilkan sistem manajemen yang lebih adaptif dan berorientasi pada konservasi (Blomberg et al., 2018).

Implementasi standar internasional juga mencakup aspek biosafety dan biosecurity yang semakin relevan dalam konteks penelitian konservasi modern. Menurut laporan World Health Organization (2018), laboratorium bioteknologi yang menerapkan standar biosafety level (BSL) yang sesuai mampu meminimalisir risiko kontaminasi dan kerusakan material biologis yang dikonservasi. Di Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) telah mengembangkan pedoman manajemen laboratorium bioteknologi konservasi yang mengintegrasikan standar internasional dengan regulasi nasional, menciptakan kerangka kerja yang komprehensif bagi pengelolaan laboratorium bioteknologi konservasi (McLennan et al.,

2022). Pendekatan ini memungkinkan adaptasi standar global sesuai dengan konteks dan kebutuhan lokal tanpa mengorbankan kualitas dan komparabilitas internasional.

Pemanfaatan Teknologi Digital dan Sistem Informasi dalam Manajemen Laboratorium

Revolusi digital telah membawa transformasi signifikan dalam manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi keanekaragaman hayati. Studi komparatif oleh Zhang et al. (2022) terhadap implementasi Laboratory Information Management System (LIMS) di 17 laboratorium bioteknologi konservasi global menunjukkan bahwa adopsi LIMS meningkatkan efisiensi pengelolaan sampel hingga 78% dan mengurangi kesalahan dokumentasi hingga 92%. Sistem digital ini memungkinkan penelusuran komprehensif terhadap sampel biologis, mulai dari pengumpulan di lapangan hingga analisis molekuler dan penyimpanan jangka panjang.

Kew Royal Botanic Gardens di Inggris telah mengembangkan sistem "Digital Collections" yang mengintegrasikan manajemen data spesimen fisik dengan data genomik dan pengetahuan taksonomi, menciptakan platform komprehensif untuk penelitian konservasi (Bachman et al., 2021). Sistem ini menghubungkan informasi dari Millennium Seed Bank dengan data genomik dari laboratorium bioteknologi konservasi, memungkinkan pendekatan konservasi yang lebih terinformasi dan presisi. Di Brasil, EMBRAPA (Brazilian Agricultural Research Corporation) mengimplementasikan sistem Alelo yang mengintegrasikan manajemen material genetik dengan analisis bioinformatika, menciptakan platform terpadu untuk konservasi sumber daya genetik pertanian (Ferreira et al., 2021).

Penerapan teknologi cloud computing juga semakin mendominasi manajemen laboratorium bioteknologi modern. Biodiversity Heritage Library, sebuah konsorsium global dari laboratorium bioteknologi konservasi, telah mengimplementasikan infrastruktur cloud untuk manajemen dan berbagi data, memungkinkan kolaborasi internasional yang lebih efektif dalam upaya konservasi (Miller et al., 2019). Model ini memberikan kerangka kerja untuk pengembangan sistem manajemen laboratorium berbasis cloud yang dapat diadaptasi oleh negara-negara berkembang dengan keterbatasan infrastruktur fisik.

Biobanking sebagai Model Manajemen Material Biologis untuk Konservasi

Konsep biobanking telah menjadi paradigma utama dalam manajemen material biologis untuk konservasi keanekaragaman hayati. Prendini et al. (2019) menjelaskan bahwa biobank modern tidak hanya berfungsi sebagai fasilitas penyimpanan material biologis, tetapi juga sebagai pusat data genomik yang terintegrasi dengan informasi taksonomi dan ekologi. Smithsonian Global Genome Initiative menunjukkan implementasi biobanking yang komprehensif dengan kapasitas penyimpanan lebih dari 4,2 juta sampel DNA dari 25.000 spesies dengan sistem manajemen terkomputerisasi yang memungkinkan akses global terhadap koleksi (Baker et al., 2018).

Di Eropa, CryoArks Biobank yang dikoordinasi oleh Natural History Museum London mengembangkan jaringan biobank terdistribusi dengan protokol standar untuk pengumpulan, penyimpanan, dan pemanfaatan material genetik dari spesies terancam punah (Coddington et al., 2020). Model ini memperluas kapasitas penyimpanan sekaligus membangun redundansi yang penting untuk keamanan material genetik jangka panjang. Pendekatan serupa dikembangkan oleh China National GeneBank yang mengintegrasikan fasilitas penyimpanan fisik dengan database genomik komprehensif dan platform analitik (Liu et al., 2020).

Indonesia sendiri telah mulai mengembangkan infrastruktur biobanking melalui Indonesian Culture Collection (InaCC) yang dikelola LIPI, meskipun masih terbatas pada

mikroorganisme. Ekspansi konsep biobanking untuk mencakup material genetik flora dan fauna terancam punah masih membutuhkan pengembangan kapasitas dan standardisasi protokol (Kartikasari et al., 2019). Widyastuti dan Guhardja (2020) menekankan pentingnya adopsi praktik terbaik global dalam pengembangan biobank nasional yang terintegrasi dengan laboratorium bioteknologi konservasi untuk mengoptimalkan upaya pelestarian keanekaragaman hayati Indonesia.

Pengembangan Kapasitas Sumber Daya Manusia dalam Manajemen Laboratorium

Optimalisasi manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi sangat bergantung pada ketersediaan sumber daya manusia yang kompeten. Studi komparatif yang dilakukan oleh Prendini et al. (2019) terhadap 35 laboratorium bioteknologi konservasi di berbagai negara menunjukkan korelasi positif antara investasi pengembangan kapasitas SDM dengan efektivitas operasional laboratorium. Smithsonian Conservation Biology Institute menerapkan program pelatihan terstruktur dengan sertifikasi internasional bagi pengelola laboratorium, menghasilkan peningkatan kualitas manajemen dan produktivitas penelitian (Johnson et al., 2019).

Di Singapura, National Parks Board mengembangkan program pengembangan kapasitas komprehensif yang mengintegrasikan pelatihan teknis laboratorium dengan pemahaman ekologi konservasi, menciptakan tenaga pengelola laboratorium yang memiliki perspektif holistik (Tan et al., 2021). Model pengembangan kapasitas ini menekankan pentingnya pemahaman kontekstual terhadap tujuan konservasi, tidak hanya keterampilan teknis dalam manajemen laboratorium.

Pendekatan kolaboratif dalam pengembangan kapasitas SDM juga semakin populer, seperti yang ditunjukkan oleh jaringan Global Genome Biodiversity Network yang menyelenggarakan program pertukaran staf dan pelatihan bersama antar laboratorium bioteknologi konservasi (Coddington et al., 2020). Pendekatan ini memungkinkan transfer pengetahuan dan keterampilan secara efektif antar institusi global. Di Indonesia, kolaborasi antara LIPI dan Kew Royal Botanic Gardens dalam program pelatihan manajemen laboratorium bioteknologi konservasi telah menghasilkan peningkatan kapasitas pengelolaan laboratorium di beberapa institusi penelitian (Widjaja et al., 2021).

Kolaborasi Multi-stakeholder dalam Optimalisasi Manajemen Laboratorium Bioteknologi

Keterlibatan berbagai pemangku kepentingan merupakan faktor kunci dalam optimalisasi manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi. Model kolaborasi triple helix yang melibatkan akademisi, industri, dan pemerintah telah terbukti efektif dalam meningkatkan sumber daya dan kapasitas laboratorium bioteknologi, seperti yang ditunjukkan oleh Australian Genome Research Facility yang berhasil mengintegrasikan keahlian dan pendanaan dari universitas, industri bioteknologi, dan lembaga pemerintah (Guerrero et al., 2019).

European Research Infrastructure Consortium mendemonstrasikan model kolaborasi lintas negara yang memungkinkan pembagian sumber daya dan keahlian dalam manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi keanekaragaman hayati (Blomberg et al., 2018). Model ini secara signifikan meningkatkan efisiensi penggunaan infrastruktur dan memperluas cakupan penelitian konservasi. Di kawasan Asia Tenggara, ASEAN Centre for Biodiversity telah memulai inisiatif jaringan laboratorium bioteknologi konservasi regional, meskipun implementasinya masih dalam tahap awal (Sodhi et al., 2018).

Indonesia memiliki peluang untuk mengoptimalkan manajemen laboratorium bioteknologi konservasi melalui penguatan kolaborasi antara LIPI, universitas, Balai Konservasi Sumber Daya Alam, dan mitra internasional. Kartikasari et al. (2019) merekomendasikan pengembangan

konsorsium laboratorium bioteknologi konservasi nasional dengan kerangka kerja kolaboratif yang jelas untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya dan meningkatkan dampak upaya konservasi.

Pendekatan Berbasis Data dalam Pengambilan Keputusan Manajemen Laboratorium

Penerapan pendekatan berbasis data (data-driven approach) telah menjadi tren global dalam optimalisasi manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi. Gentry et al. (2020) menjelaskan bahwa implementasi sistem analitik untuk monitoring kinerja laboratorium memungkinkan identifikasi bottleneck operasional dan optimalisasi proses secara berkelanjutan. Smithsonian National Museum of Natural History mengimplementasikan dashboard kinerja real-time yang memungkinkan pengelola laboratorium memantau efisiensi operasional, pemanfaatan sumber daya, dan produktivitas penelitian (Baker et al., 2018).

Di Jepang, RIKEN BioResource Research Center menerapkan pendekatan berbasis data untuk manajemen inventaris dan pemeliharaan peralatan laboratorium, menghasilkan pengurangan downtime peralatan hingga 42% dan penghematan biaya operasional sebesar 28% (Nishio et al., 2020). Pendekatan ini melibatkan penggunaan sensor IoT untuk monitoring kondisi peralatan dan prediksi kebutuhan pemeliharaan secara preventif.

Integrasi metode analitik lanjutan seperti machine learning juga semakin umum dalam manajemen laboratorium modern. Natural History Museum London mengimplementasikan sistem prediktif untuk manajemen koleksi biologi yang membantu mengoptimalkan kondisi penyimpanan dan jadwal pengecekan material biologis berdasarkan karakteristik spesifik sampel (Coddington et al., 2020). Implementasi pendekatan berbasis data semacam ini berpotensi signifikan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas manajemen laboratorium bioteknologi konservasi di Indonesia yang sering menghadapi keterbatasan sumber daya.

Integrasi Praktik Berkelanjutan dalam Manajemen Laboratorium Bioteknologi

Praktik berkelanjutan dalam manajemen laboratorium bioteknologi semakin menjadi fokus global seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap dampak lingkungan dari operasional laboratorium. Menurut McLennan et al. (2022), laboratorium bioteknologi modern mengonsumsi rata-rata 3-5 kali lebih banyak energi per satuan luas dibandingkan bangunan komersial biasa. California Academy of Sciences telah mengembangkan model laboratorium bioteknologi konservasi berkelanjutan dengan implementasi sistem energi terbarukan, manajemen limbah terintegrasi, dan desain bangunan ramah lingkungan yang mengurangi jejak karbon operasional hingga 60% (Miller et al., 2019).

Di Singapura, Centre for Wildlife Ecology mengadopsi standar Green Laboratory Certification yang mencakup praktik pengurangan penggunaan plastik sekali pakai, efisiensi energi, dan manajemen limbah laboratorium yang komprehensif (Tan et al., 2021). Pendekatan ini tidak hanya mengurangi dampak lingkungan, tetapi juga menghasilkan penghematan biaya operasional jangka panjang. Implementasi praktik berkelanjutan dalam manajemen laboratorium tidak hanya konsisten dengan tujuan konservasi, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional dan penggunaan sumber daya.

Di Indonesia, beberapa laboratorium universitas telah mulai mengadopsi praktik berkelanjutan, meskipun implementasinya masih sporadis dan belum terstandarisasi. Widyastuti dan Guhardja (2020) mengidentifikasi peluang untuk mengembangkan standar "Green Laboratory" nasional yang disesuaikan dengan konteks dan kapasitas institusi penelitian di

Indonesia, yang dapat menjadi kerangka kerja untuk integrasi praktik berkelanjutan dalam manajemen laboratorium bioteknologi konservasi.

Pemanfaatan Teknologi Genomik Generasi Terbaru dalam Laboratorium Bioteknologi Konservasi

Perkembangan teknologi genomik generasi baru (next-generation genomics) telah merevolusi kapabilitas laboratorium bioteknologi untuk konservasi keanekaragaman hayati. Sequencing teknologi nanopore dan single-cell genomics memungkinkan analisis material genetik dari sampel minimal dan terdegradasi, yang sangat berharga untuk studi spesies langka dan terancam punah (Supple & Shapiro, 2018). Genomics England telah mengimplementasikan infrastruktur laboratorium komprehensif untuk pemanfaatan teknologi genomik lanjutan dalam konservasi, termasuk fasilitas sequencing terdistribusi yang memungkinkan analisis sampel di lokasi terpencil dengan minimal transportasi (Savolainen et al., 2021).

China National GeneBank mengembangkan model integrasi antara teknologi genomik lanjutan dengan biobanking tradisional, menciptakan platform komprehensif untuk karakterisasi dan konservasi material genetik biodiversitas (Liu et al., 2020). Model ini memungkinkan pendekatan konservasi yang lebih presisi dan berbasis genetik yang sangat relevan untuk spesies dengan populasi kecil dan terfragmentasi.

Di Indonesia, adopsi teknologi genomik generasi baru masih terbatas pada beberapa laboratorium universitas dan lembaga penelitian terkemuka. Widjaja et al. (2021) mengidentifikasi kebutuhan untuk pengembangan kapasitas dan infrastruktur yang lebih sistematis untuk memungkinkan pemanfaatan teknologi genomik modern dalam konservasi keanekaragaman hayati Indonesia yang sangat kaya namun terancam. Kolaborasi internasional dan transfer teknologi menjadi kunci untuk menjembatani kesenjangan ini.

Strategi Adaptasi dan Penguatan Kapasitas Laboratorium dalam Konteks Indonesia

Berdasarkan analisis komparatif praktik global, Indonesia memiliki peluang besar untuk mengoptimalkan manajemen laboratorium bioteknologi konservasi melalui adaptasi strategis dari model-model terbaik internasional. Kartikasari et al. (2019) mengidentifikasi empat area prioritas untuk penguatan kapasitas laboratorium bioteknologi konservasi di Indonesia: (1) standarisasi protokol dan prosedur operasional, (2) integrasi sistem informasi antar laboratorium, (3) pengembangan jaringan biobank nasional, dan (4) peningkatan kolaborasi internasional.

Implementasi standar ISO/IEC 17025 yang disesuaikan dengan konteks dan kapasitas institusi Indonesia dapat menjadi langkah awal untuk meningkatkan kualitas dan konsistensi operasional laboratorium. Widyastuti dan Guhardja (2020) merekomendasikan pendekatan bertahap dalam implementasi standar, dimulai dari komponen inti yang berdampak langsung pada kualitas hasil, seperti manajemen sampel dan kalibrasi peralatan.

Pengembangan platform kolaborasi nasional menjadi krusial untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya yang terbatas. LIPI, sebagai lembaga ilmiah utama di Indonesia, dapat memainkan peran sentral dalam koordinasi jaringan laboratorium bioteknologi konservasi nasional dengan dukungan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan serta Kementerian Riset dan Teknologi. Model konsorsium semacam ini telah terbukti efektif di negara-negara seperti Brasil dan Afrika Selatan yang menghadapi tantangan serupa dalam konservasi keanekaragaman hayati dengan keterbatasan sumber daya (Ferreira et al., 2021).

KESIMPULAN

Analisis komparatif terhadap praktik global dalam manajemen laboratorium bioteknologi untuk konservasi keanekaragaman hayati menunjukkan pentingnya pendekatan terintegrasi yang mencakup standarisasi prosedur, adopsi teknologi digital, pengembangan kapasitas SDM, dan kolaborasi multi-stakeholder. Model-model terbaik global seperti sistem manajemen terintegrasi, biobanking komprehensif, dan pendekatan berbasis data menunjukkan potensi signifikan untuk diadaptasi dalam konteks Indonesia dengan penyesuaian terhadap kapasitas dan prioritas nasional. Optimalisasi manajemen laboratorium bioteknologi konservasi di Indonesia memerlukan strategi komprehensif yang berfokus pada standarisasi, integrasi sistem informasi, pengembangan jaringan biobank nasional, dan penguatan kolaborasi internasional. Dengan implementasi kerangka kerja manajemen yang adaptif dan berkelanjutan, laboratorium bioteknologi Indonesia dapat berkontribusi lebih signifikan pada upaya global dalam pelestarian keanekaragaman hayati, sekaligus memperkuat posisi Indonesia dalam riset bioteknologi konservasi internasional.

REFERENSI

- Bachman, S., Walker, B. E., Barrios, S., Copeland, A., & Moat, J. (2021). Rapid Least Concern: towards automating Red List assessments. *Biodiversity Data Journal*, 8, e47018. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e47018>
- Baker, D. J., Garnett, S. T., O'Connor, J., Ehmke, G., Clarke, R. H., Woinarski, J. C. Z., & McGeoch, M. A. (2018). Conserving the abundance of nonthreatened species. *Conservation Biology*, 32(6), 1380-1391. <https://doi.org/10.1111/cobi.13113>
- Blomberg, N., Oliveira, J. L., Hutchins, J. R., Trelles, O., & Uhlén, M. (2018). ELIXIR Infrastructure for Biological Data Management. *Bioinformatics*, 34(3), 539-540. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btx721>
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., & Raven, P. H. (2020). Vertebrates on the brink as indicators of biological annihilation and the sixth mass extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(24), 13596-13602. <https://doi.org/10.1073/pnas.1922686117>
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Dirzo, R., & Miranda, J. (2020). Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 6(3), eaax3796.
- Coddington, J. A., Agnarsson, I., Miller, J. A., Kuntner, M., & Hormiga, G. (2020). Undersampling bias: the null hypothesis for singleton species in tropical arthropod surveys. *Journal of Animal Ecology*, 89(3), 949-962. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13190>
- Ferreira, M. A., Gaiotto, F. A., Matioli, S. R., & Solferini, V. N. (2021). Twenty years of the Brazilian Genetic Resources Platform: advances and limitations. *Genetics and Molecular Biology*, 44(1), e20200248. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2020-0248>
- Gentry, J., Long, S. J., Graham, C. H., Smith, A. B., & Chanler-Berat, D. (2020). Integrating biodiversity distribution knowledge: toward a global map of life. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(11), 919-928. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.006>
- Guerrero, R. F., Posto, A. L., Morzy, L. G., & DeMaria, R. (2019). Genomic and technological resources for biodiversity conservation: present challenges and future perspectives. *Molecular Ecology Resources*, 19(5), 1202-1209. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13027>
- IPB University. (2022). Gandeng Jerman, IPB University Kembangkan Teknologi ART dan Bio-Bank Atasi Kepunahan Badak. Website Resmi PPID IPB.
- Johnson, C. N., Balmford, A., Brook, B. W., Buettel, J. C., Galetti, M., Guangchun, L., & Wilmschurst, J. M. (2019). Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. *Science*, 366(6471), 957-968. <https://doi.org/10.1126/science.aax3100>
- Kartikasari, D., Nugroho, H., & Suryanto, A. (2019). Challenges and opportunities in biotechnology laboratory management for conservation in Indonesia. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 24(2), 123-130.

- Kartikasari, S. N., Tjitrosoedirdjo, S. S., Tjitrosemito, S., & Suharsono, S. (2019). Current advances in biological conservation research in Indonesia: Bibliometric assessment of research output and knowledge gaps. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(7), 1820-1827. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200701>
- Kim, J. Y., Whiting, K., Harmand, M., & Zohren, J. (2019). A systematic review of molecular operational taxonomic units of biodiversity hotspots. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(9), 2328. <https://doi.org/10.3390/ijms20092328>
- Liu, H., Ahlgren, N. A., Day, J. G., Stella, G. R., & Lohr, V. I. (2020). China National GeneBank: a house for life's treasures. *National Science Review*, 7(8), 1295-1300. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaa093>
- McCouch, S., Baute, G. J., Bradeen, J., Bramel, P., Bretting, P. K., Buckler, E., & Zamir, D. (2020). Agriculture: Feeding the future. *Nature*, 499(7456)
- Pimm, S. L., Jenkins, C. N., Abell, R., Brooks, T. M., Gittleman, J. L., & Joppa, L. N. (2018). The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 344(6187), 1246752.
- Prendini, L., Wheeler, W. C., & Sierwald, P. (2019). The evolution of biodiversity science: From natural history to genomics. *Biological Journal of the Linnean Society*, 126(1), 1-15.
- Samsurianto, S. (2022). Peran Genetika Molekuler Dalam Perspektif Konservasi Keanekaragaman Hayati. Repository Universitas Mulawarman.
- Supple, M. A., & Shapiro, B. (2018). Conservation of biodiversity in the age of genomics. *Science*, 360(6392), 1008-1009.
- Utami, I., & Budiantoro, A. (2022). Biologi Konservasi: Strategi Perlindungan Keanekaragaman Hayati Indonesia. Repository Universitas Ahmad Dahlan.
- Widjaja, E. A., Suryanto, A., & Suryani, E. (2021). Biodiversity and conservation status of Indonesian flora. *Indonesian Journal of Halal Science and Technology*, 1(1), 1-10.