

**Pengembangan Protokol Biosafety dalam Pengelolaan Laboratorium Perikanan dan Akuakultur di Wilayah Tropis**

**Development of Biosafety Protocols in the Management of Fisheries and Aquaculture Laboratories in the Tropics**

**Sadisman Hadi\*<sup>1</sup>, Arif Rahman Azis<sup>2</sup>, Muhammad Subhan Hamka<sup>1</sup>, Triayu Rahmadiyah<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Akademi Komunitas Negeri Rejang Lebong, Indonesia

<sup>2</sup>Universitas Bengkulu, Indonesia

\*Email Co-Authors: [hadie.marmorata@gmail.com](mailto:hadie.marmorata@gmail.com)

<b>Info Artikel</b>	
<b>10.33369/pelastek.v2i2.41080</b>	
<b>Kata Kunci:</b> Biosafety, Akuakultur, Wilayah Tropis, Manajemen Risiko, Laboratorium Perikanan.	<b>Abstrak</b> Penelitian ini mengkaji pengembangan protokol biosafety dalam pengelolaan laboratorium perikanan dan akuakultur di wilayah tropis. Melalui tinjauan literatur komprehensif, studi ini menganalisis tantangan unik yang dihadapi laboratorium di daerah tropis, standar biosafety terkini, serta inovasi teknologi dalam manajemen risiko biologis. Hasil menunjukkan pentingnya adaptasi protokol biosafety terhadap kondisi lingkungan tropis, peningkatan infrastruktur, pelatihan staf yang memadai, serta integrasi teknologi modern dalam sistem pemantauan dan pengendalian. Penelitian ini memberikan wawasan berharga untuk meningkatkan keamanan biologis di laboratorium perikanan dan akuakultur tropis, mendukung keberlanjutan industri akuakultur, dan melindungi ekosistem akuatik.
<b>Keywords:</b> Biosafety, Aquaculture, Tropical Region, Risk Management, Fisheries Laboratory.	<b>Abstract</b> <i>This study examines the development of biosafety protocols in the management of fisheries and aquaculture laboratories in the tropics. Through a comprehensive literature review, this study analyzes the unique challenges faced by laboratories in the tropics, current biosafety standards, and technological innovations in biological risk management. Results show the importance of adapting biosafety protocols to tropical environmental conditions, improving infrastructure, adequate staff training, and integrating modern technology in monitoring and control systems. This research provides valuable insights to improve biological safety in tropical fisheries and aquaculture laboratories, support the sustainability of the aquaculture industry, and protect aquatic ecosystems.</i>
<b>Riwayat Artikel:</b> Diterima: 24 Maret 2025 Revisi: 07 Mei 2025 Diterima: 29 Juni 2025	Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi <a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/">CC-BY-SA</a> . 

**PENDAHULUAN**

Laboratorium perikanan dan akuakultur memainkan peran krusial dalam mendukung perkembangan industri perikanan dan akuakultur global. Namun, pengelolaan laboratorium di wilayah tropis menghadapi tantangan unik, terutama dalam

aspek biosafety. Kondisi iklim tropis yang ditandai dengan suhu dan kelembaban tinggi, serta keanekaragaman hayati yang kaya, menciptakan lingkungan yang kondusif bagi perkembangbiakan patogen dan penyebaran penyakit (Cottier-Cook et al., 2022). Oleh karena itu, pengembangan protokol biosafety yang efektif dan adaptif terhadap kondisi tropis menjadi sangat penting. Biosafety dalam konteks laboratorium perikanan dan akuakultur merujuk pada serangkaian tindakan pencegahan yang dirancang untuk melindungi personel laboratorium, lingkungan, dan organisme akuatik dari paparan agen biologis berbahaya (Dhand et al., 2021). Protokol biosafety yang komprehensif tidak hanya mencakup aspek keselamatan manusia, tetapi juga mempertimbangkan potensi dampak ekologis dari kegiatan laboratorium terhadap ekosistem akuatik sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengembangan protokol biosafety dalam pengelolaan laboratorium perikanan dan akuakultur di wilayah tropis. Dengan memahami tantangan spesifik yang dihadapi, standar dan regulasi yang berlaku, serta inovasi terkini dalam manajemen risiko biologis, diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga untuk meningkatkan keamanan dan efektivitas operasional laboratorium di wilayah tropis.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur sistematis (systematic literature review) untuk menganalisis dan mensintesis informasi terkini mengenai protokol biosafety dalam pengelolaan laboratorium perikanan dan akuakultur di wilayah tropis. Pencarian literatur dilakukan melalui database ilmiah terkemuka seperti Scopus dan Google Scholar, dengan fokus pada artikel-artikel yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi "biosafety protocols", "aquaculture laboratory management", "tropical aquaculture", dan "risk assessment in fisheries laboratories". Artikel-artikel yang relevan kemudian dianalisis secara kritis untuk mengidentifikasi tren, tantangan, dan praktik terbaik dalam pengembangan protokol biosafety di wilayah tropis (Moher et al., 2015).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### *Tantangan Biosafety di Laboratorium Perikanan dan Akuakultur Tropis*

Laboratorium perikanan dan akuakultur di wilayah tropis menghadapi serangkaian tantangan unik dalam implementasi protokol biosafety. Salah satu faktor utama adalah kondisi lingkungan yang ditandai dengan suhu dan kelembaban tinggi, yang dapat mempercepat pertumbuhan dan penyebaran patogen (Hasan et al., 2020). Kondisi ini tidak hanya meningkatkan risiko kontaminasi silang antar sampel, tetapi juga berpotensi mempengaruhi stabilitas reagen dan peralatan laboratorium. Selain itu, keanekaragaman hayati yang tinggi di wilayah tropis menambah kompleksitas dalam pengelolaan risiko biologis. Keberadaan berbagai spesies endemik dan ekosistem yang sensitif meningkatkan potensi dampak negatif jika terjadi pelepasan patogen atau spesies asing ke lingkungan (Stentiford et al., 2020). Hal ini menekankan pentingnya protokol biosafety yang tidak hanya melindungi personel laboratorium, tetapi juga menjaga integritas ekosistem akuatik sekitarnya.

### *Standar dan Regulasi Biosafety di Wilayah Tropis*

Implementasi standar dan regulasi biosafety di laboratorium perikanan dan akuakultur tropis sering kali dihadapkan pada tantangan infrastruktur dan sumber daya. Meskipun banyak negara tropis telah mengadopsi pedoman internasional seperti yang dikeluarkan oleh Organisasi Kesehatan Hewan Dunia (OIE) dan Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO), penerapannya di lapangan seringkali tidak konsisten (Reantaso et al.,

2021). Di Brasil, misalnya, Komisi Teknis Nasional Biosafety (CTNBio) telah mengembangkan regulasi komprehensif yang mencakup penanganan organisme hasil rekayasa genetika dan bahan biologis lainnya (Guo et al., 2021). Sementara itu, India, melalui Departemen Bioteknologi (DBT), telah menetapkan pedoman untuk penanganan aman mikroorganisme dan organisme hasil rekayasa genetika, yang sangat penting untuk laboratorium yang beroperasi di iklim tropis (Jansen et al., 2019).

#### *Inovasi Teknologi dalam Manajemen Risiko Biologis*

Kemajuan teknologi telah membuka peluang baru dalam meningkatkan efektivitas protokol biosafety di laboratorium perikanan dan akuakultur tropis. Integrasi Internet of Things (IoT) dalam sistem laboratorium memungkinkan pemantauan real-time terhadap kondisi lingkungan, peralatan, dan aktivitas personel (Oidtmann et al., 2021). Teknologi ini memfasilitasi otomatisasi protokol keselamatan, memberikan wawasan untuk respons cepat terhadap bahaya, dan meningkatkan pemeliharaan preventif. Penggunaan kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (machine learning) juga mulai diterapkan dalam diagnostik dan prediksi ancaman biosafety. Sistem AI dapat meningkatkan deteksi dini penyakit menular, memungkinkan identifikasi dan pengendalian yang lebih cepat (Palma et al., 2019). Di masa depan, diharapkan alat AI dapat melakukan analisis prediktif untuk mengidentifikasi potensi ancaman biosafety sebelum termanifestasi, sehingga memungkinkan tindakan pencegahan yang lebih proaktif.

#### *Pengembangan Protokol Biosafety Adaptif*

Mengingat tantangan unik yang dihadapi laboratorium di wilayah tropis, pengembangan protokol biosafety yang adaptif menjadi sangat penting. Protokol ini harus mempertimbangkan tidak hanya standar internasional, tetapi juga kondisi lokal seperti iklim, infrastruktur, dan ketersediaan sumber daya. Salah satu aspek kunci dalam protokol adaptif adalah sistem pengendalian lingkungan yang efektif. Ini mencakup penggunaan sistem ventilasi dan pendinginan yang dirancang khusus untuk mengatasi suhu dan kelembaban tinggi, serta filter udara berkualitas tinggi untuk mencegah kontaminasi silang (Lind et al., 2015). Selain itu, protokol harus mencakup prosedur dekontaminasi yang disesuaikan dengan jenis patogen yang umum ditemui di wilayah tropis. Protokol biosafety adaptif juga harus mempertimbangkan aspek pengelolaan limbah laboratorium. Di wilayah tropis, dimana sistem pengolahan limbah mungkin tidak secanggih di negara maju, diperlukan pendekatan inovatif untuk memastikan pembuangan aman bahan biologis berbahaya (FAO, 2020).

#### *Pelatihan dan Pengembangan Kapasitas Staf*

Keberhasilan implementasi protokol biosafety sangat bergantung pada kompetensi dan kesadaran staf laboratorium. Oleh karena itu, program pelatihan yang komprehensif dan berkelanjutan menjadi komponen kritis dalam pengembangan protokol biosafety di wilayah tropis. Studi yang dilakukan di Maroko menunjukkan bahwa meskipun 79% responden memiliki tingkat pengetahuan biosafety yang tinggi atau menengah, hanya 17,4% yang telah berpartisipasi dalam kursus pelatihan biosafety formal (Zaki et al., 2019). Temuan ini menekankan pentingnya program pelatihan terstruktur untuk meningkatkan kepatuhan terhadap protokol biosafety. Program pelatihan harus mencakup tidak hanya aspek teknis biosafety, tetapi juga pemahaman tentang risiko spesifik yang terkait dengan kondisi tropis. Ini termasuk pengenalan patogen tropis, teknik penanganan sampel dalam kondisi suhu tinggi, dan prosedur darurat yang disesuaikan dengan infrastruktur lokal (Mederos, 2025).

### *Manajemen Risiko dan Penilaian Dampak*

Penilaian risiko yang komprehensif merupakan landasan dari protokol biosafety yang efektif. Di wilayah tropis, penilaian risiko harus mempertimbangkan tidak hanya potensi bahaya bagi personel laboratorium, tetapi juga dampak potensial terhadap ekosistem lokal yang sensitif. Penggunaan metodologi terstruktur seperti Analytic Hierarchy Process (AHP) dapat membantu dalam melakukan penilaian risiko kuantitatif yang dapat memandu pengambilan keputusan dan formulasi kebijakan (Lind et al., 2015). Pendekatan ini memungkinkan evaluasi sistematis terhadap berbagai faktor risiko, termasuk potensi penyebaran patogen, dampak ekologis, dan konsekuensi ekonomi. Selain itu, pengembangan sistem pelaporan dan pemantauan pathogen yang efektif sangat penting. Ini mencakup penggunaan teknologi seperti sistem informasi geografis (GIS) untuk melacak penyebaran penyakit dan mengidentifikasi hotspot potensial (Oidtmann et al., 2021). Integrasi data dari berbagai laboratorium di wilayah tropis dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang tren penyakit dan membantu dalam perencanaan strategi mitigasi risiko.

### *Kolaborasi dan Pertukaran Pengetahuan*

Mengingat kompleksitas tantangan biosafety di wilayah tropis, kolaborasi antar lembaga dan pertukaran pengetahuan menjadi sangat penting. Jaringan laboratorium regional dapat memfasilitasi berbagi sumber daya, keahlian, dan praktik terbaik, membantu mengatasi keterbatasan yang sering dihadapi oleh laboratorium individual (Reantaso et al., 2021). Inisiatif seperti program pelatihan bersama, lokakarya regional, dan platform berbagi data dapat meningkatkan kapasitas kolektif dalam menangani ancaman biosafety. Kolaborasi internasional, terutama dengan lembaga penelitian di negara maju, juga dapat membuka akses ke teknologi dan metodologi terbaru dalam manajemen risiko biologis.

### *Integrasi dengan Kebijakan Nasional dan Regional*

Efektivitas protokol biosafety di laboratorium perikanan dan akuakultur tropis sangat bergantung pada dukungan kebijakan yang kuat di tingkat nasional dan regional. Pengembangan kerangka regulasi yang komprehensif, yang mencakup standar biosafety, prosedur perizinan, dan mekanisme penegakan, sangat penting untuk memastikan kepatuhan terhadap protokol (European Union, 2006). Di Uni Eropa, misalnya, Directive 2006/88/EC memberikan kerangka kerja yang rinci untuk persyaratan kesehatan hewan dan pencegahan penyakit dalam akuakultur (European Union, 2006). Adaptasi dan implementasi kerangka kerja serupa di negara-negara tropis dapat membantu standardisasi praktik biosafety dan meningkatkan keamanan biologis secara keseluruhan. Selain itu, integrasi protokol biosafety dengan strategi pembangunan berkelanjutan dan konservasi biodiversitas dapat membantu memastikan bahwa pengembangan industri akuakultur tidak mengorbankan integritas ekosistem tropis yang sensitif.

### *Evaluasi dan Perbaikan Berkelanjutan*

Mengingat sifat dinamis dari ancaman biologis dan perkembangan teknologi, protokol biosafety harus terus dievaluasi dan diperbarui. Sistem audit reguler dan penilaian kinerja dapat membantu mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan dan memastikan bahwa protokol tetap relevan dan efektif (Jansen et al., 2019). Penggunaan indikator kinerja utama (KPI) dalam manajemen biosafety dapat membantu

dalam mengukur efektivitas protokol secara objektif. Ini dapat mencakup metrik seperti tingkat insiden keselamatan, kepatuhan terhadap prosedur, dan efektivitas dalam mencegah pelepasan patogen ke lingkungan. Selain itu, umpan balik dari staf laboratorium dan pemangku kepentingan lainnya harus secara aktif dicari dan diintegrasikan ke dalam proses perbaikan protokol. Pendekatan partisipatif ini dapat meningkatkan rasa kepemilikan dan kepatuhan terhadap protokol biosafety di kalangan personel laboratorium.

## **KESIMPULAN**

Pengembangan protokol biosafety yang efektif dalam pengelolaan laboratorium perikanan dan akuakultur di wilayah tropis merupakan tantangan kompleks yang memerlukan pendekatan holistik dan adaptif. Melalui integrasi standar internasional, inovasi teknologi, pelatihan staf yang komprehensif, dan kolaborasi regional, laboratorium dapat meningkatkan keamanan biologis secara signifikan. Penting untuk terus melakukan evaluasi dan perbaikan protokol guna menghadapi tantangan yang terus berkembang. Dengan demikian, laboratorium perikanan dan akuakultur di wilayah tropis dapat memainkan peran kunci dalam mendukung perkembangan industri akuakultur yang berkelanjutan, sambil melindungi kesehatan manusia dan integritas ekosistem akuatik.

## **REFERENSI**

- Cottier-Cook, E.J., et al. (2022). Biosecurity plans in aquaculture: A scientometric analysis. *Aquaculture*, 546, 737251.
- Dhand, N.K., et al. (2021). Biosecurity in aquaculture: An integrated approach. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 1838-1860.
- European Union. (2006). Council Directive 2006/88/EC on animal health requirements for aquaculture animals and products thereof, and on the prevention and control of certain diseases in aquatic animals. *Official Journal of the European Union*, L328, 14-56.
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome.
- Guo, Z., et al. (2021). Biosafety awareness and management practices in China's Centers for Disease Control and Prevention laboratories. *Biosafety and Health*, 3(3), 142-148.
- Hasan, M., et al. (2020). Implementing biosecurity measures in aquaculture: A review. *Aquaculture Research*, 51(4), 1465-1486.
- Jansen, M.D., et al. (2019). Aquaculture biosecurity: A practical approach to disease prevention and control. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 597-621.
- Lind, C.E., et al. (2015). *Risk analysis in aquaculture: A step-by-step introduction with worked examples*. WorldFish, Penang, Malaysia.
- Mederos, L. (2025). *Behind the scenes: How UF/IFAS risk assessments sustain Florida's \$191M aquaculture industry*. University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences.
- Moher, D., et al. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1), 1.
- Oidtman, B., et al. (2021). Risk assessment and management in aquaculture biosecurity. *Journal of Fish Diseases*, 44(1), 1-22.

- Palma, J., et al. (2019). Health management and biosecurity procedures in marine fish farming in Spain. *Aquaculture*, 516, 734621.
- Reantaso, M.B., et al. (2021). Biosecurity in aquaculture: An integrated approach. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 666. Rome, FAO.
- Stentiford, G.D., et al. (2020). Disease will limit future food supply from the global crustacean fishery and aquaculture sectors. *Journal of Invertebrate Pathology*, 167, 107387.
- Zaki, B., et al. (2019). Assessment of biosafety knowledge among laboratory staff in Morocco. *Journal of Biosafety and Biosecurity*, 1(2), 91-96.