

Implementasi Teknologi Genetika Untuk Konservasi Spesies Laut Terancam: Tinjauan Literatur Tentang Metode dan Keberhasilan

Betzy Victor Telaumbanua^{1*}, Destrیمان Laoli², Ratna Dewi Zebua³,
Okniel Zebua⁴, Januari Dawolo⁵, Asokhiwa Zega⁶
^{1,2,3,4,5,6} Universitas Nias, Indonesia

Jln. Yos Sudarso Ombolata Ulu 188/E Gunungsitoli, 22815

Email : victor.betzy26@gmail.com, destriman_laoli@yahoo.co.id, ratnadewizebua1@gmail.com,
nielzebua02@gmail.com, janiary.dawolo@gmail.com, asokhiwazega@gmail.com

Abstract. *The pace of global environmental change and the intensification of human activities have put significant pressure on marine ecosystems, threatening the sustainability of many species that are important both for ecosystems and the economies of coastal communities. In this context, this study aims to evaluate the application of genetic technologies in the conservation of endangered marine species, focusing on environmental DNA (eDNA) monitoring, CRISPR genetic engineering techniques and population genetic analysis. The method used was a literature review that examined current academic sources related to genetic technologies and their implementation in conservation. Findings show that eDNA is a highly effective tool in species and habitat monitoring, and has been successful in specific cases such as Napoleon fish and green turtles in Raja Ampat. In contrast, CRISPR techniques offer the potential to improve the genetic resilience of species, despite significant regulatory and ethical challenges. The implications of this study emphasize the need for strong policy support and international collaboration to address these challenges and optimize the use of genetic technologies in more effective conservation strategies in the future.*

Keywords: *Population Genetic Analysis, eDNA, Marine Species Conservation, CRISPR Genetic Engineering, Genetic Technology.*

Abstrak. Laju perubahan lingkungan global dan intensifikasi aktivitas manusia telah memberikan tekanan signifikan terhadap ekosistem laut, mengancam keberlanjutan banyak spesies yang penting baik untuk ekosistem maupun perekonomian masyarakat pesisir. Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penerapan teknologi genetika dalam konservasi spesies laut yang terancam punah, dengan fokus pada pemantauan DNA lingkungan (eDNA), teknik rekayasa genetika CRISPR, dan analisis genetika populasi. Metode yang digunakan adalah tinjauan literatur yang mengkaji sumber-sumber akademik terkini terkait dengan teknologi genetika dan implementasinya dalam konservasi. Temuan menunjukkan bahwa eDNA merupakan alat yang sangat efektif dalam pemantauan spesies dan habitat, serta telah berhasil dalam kasus-kasus spesifik seperti ikan Napoleon dan penyu hijau di Raja Ampat. Sebaliknya, teknik CRISPR menawarkan potensi untuk meningkatkan ketahanan genetik spesies, meskipun terdapat tantangan regulasi dan etika yang signifikan. Implikasi dari penelitian ini menekankan perlunya dukungan kebijakan yang kuat dan kolaborasi internasional untuk mengatasi tantangan ini serta mengoptimalkan penggunaan teknologi genetika dalam strategi konservasi yang lebih efektif di masa depan.

Kata kunci: Analisis Genetika Populasi, eDNA, Konservasi Spesies Laut, Rekayasa Genetika CRISPR, Teknologi Genetika

1. LATAR BELAKANG

Laju perubahan lingkungan global yang terjadi sangat cepat, ditambah dengan intensifikasi aktivitas manusia, telah memberikan tekanan signifikan terhadap ekosistem laut di seluruh dunia. Kondisi ini mengancam keberlanjutan banyak spesies laut yang penting bagi ekosistem serta perekonomian dan budaya masyarakat pesisir. Kerusakan

habitat, penangkapan ikan berlebih, polusi, dan perubahan iklim adalah beberapa faktor utama yang menyebabkan penurunan populasi spesies laut (Cordova et al., 2021; Chávez et al., 2020; Duncan et al., 2019). Oleh karena itu, konservasi keanekaragaman hayati laut menjadi semakin krusial untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan sumber daya laut yang sangat berharga bagi kehidupan manusia (Delisle et al., 2018; Du et al., 2023; Bahri et al., 2023).

Dalam konteks ini, teknologi genetika telah muncul sebagai alat penting yang dapat memberikan wawasan mendalam tentang keragaman genetik, struktur populasi, dan dinamika populasi spesies laut. Penggunaan metode genetika memungkinkan identifikasi dan pelacakan individu, memahami hubungan populasi, serta mendeteksi ancaman genetik seperti hilangnya keragaman genetik (Bawole & Megawanto, 2017; Supriyadi et al., 2018; Sombo et al., 2017). Dengan demikian, penerapan teknologi ini sangat membantu dalam merancang strategi konservasi yang lebih efektif dan berbasis ilmu pengetahuan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa teknologi genetika dapat memberikan informasi kritis tentang pola migrasi, struktur populasi, dan tingkat keragaman genetik spesies laut. Misalnya, penelitian tentang penyu hijau di perairan Indonesia telah mengungkapkan pola migrasi dan konektivitas populasi yang tidak dapat terdeteksi dengan metode konvensional (AR & Heck, 2020; Ayu, 2018). Selain itu, penelitian tentang ikan karang di Raja Ampat menunjukkan bahwa teknologi genetika dapat digunakan untuk mengidentifikasi populasi yang paling rentan terhadap penangkapan ikan berlebih dan perusakan habitat (Haryani & Fauzi, 2019a; Haryani & Fauzi, 2019b; Supriyadi et al., 2018).

Namun, tantangan utama dalam penerapan teknologi genetika untuk konservasi adalah kebutuhan akan data genetik yang komprehensif dan representatif dari seluruh populasi spesies yang terancam. Selain itu, keterbatasan biaya dan teknis juga menjadi hambatan signifikan, terutama di negara-negara berkembang dengan sumber daya yang terbatas (Bahri et al., 2023; Bawole & Megawanto, 2017; Chávez et al., 2020). Dengan demikian, pendekatan yang terkoordinasi serta dukungan internasional sangat diperlukan untuk meningkatkan kapasitas penelitian genetika di berbagai negara.

Urgensi penelitian ini terletak pada pentingnya menjaga keanekaragaman hayati laut yang sangat rentan terhadap perubahan lingkungan dan aktivitas manusia. Kehilangan spesies laut tidak hanya berdampak pada ekosistem laut, tetapi juga pada

kehidupan manusia yang bergantung pada sumber daya laut untuk pangan, ekonomi, dan budaya (Delisle et al., 2018; Du et al., 2023). Selain itu, penelitian ini menawarkan kebaruan dalam mengevaluasi metode genetika terbaru yang dapat diterapkan dalam konservasi spesies laut terancam, serta memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas strategi konservasi di masa depan.

Tujuan dari tinjauan literatur ini adalah untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi berbagai metode genetika yang digunakan dalam konservasi spesies laut terancam, serta menilai keberhasilan implementasinya dalam berbagai konteks. Tinjauan ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam penerapan teknologi genetika untuk konservasi, serta memberikan rekomendasi untuk penelitian dan kebijakan konservasi di masa depan.

Dengan demikian, berdasarkan hal-hal tersebut di atas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Implementasi Teknologi Genetika untuk Konservasi Spesies Laut Terancam: Tinjauan Literatur Tentang Metode dan Keberhasilan."

2. KAJIAN TEORITIS

Teknologi genetika telah berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir dan menawarkan potensi besar untuk konservasi spesies laut yang terancam punah. Teori-teori dasar dalam genetika populasi, seperti teori pewarisan genetik dan variasi genetik, menjadi landasan penting dalam memahami dan mengelola keanekaragaman hayati laut (Sugiyono, 2020; Zebua et al., 2023). Prinsip dasar genetika populasi menyatakan bahwa variasi genetik di dalam populasi adalah kunci untuk adaptasi terhadap perubahan lingkungan dan ketahanan terhadap penyakit, yang relevan dalam konteks konservasi spesies laut (Haryani & Fauzi, 2019; Laoli et al., 2023). Teknologi genetika dapat memberikan wawasan mendalam tentang variasi genetik yang membantu dalam merancang strategi konservasi yang lebih efektif (Zega et al., 2023; Telaumbanua et al., 2023).

Penerapan teknologi genetika dalam konservasi laut melibatkan beberapa metode utama, termasuk analisis DNA, pemetaan genetik, dan teknik mark-recapture berbasis genetika. Analisis DNA memungkinkan identifikasi individu dan struktur populasi, sedangkan pemetaan genetik dapat mengungkapkan hubungan filogenetik antara spesies dan subspecies (Zega et al., 2023; Zebua et al., 2023). Teknik-teknik ini penting untuk memantau kesehatan populasi, mendeteksi kerusakan genetik, dan

merancang strategi konservasi yang lebih efektif (Laoli et al., 2023; Zega et al., 2024). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa teknologi genetika dapat memberikan wawasan berharga tentang dinamika populasi spesies laut (Zega et al., 2024; Telaumbanua et al., 2023).

Penelitian oleh Haryani et al. (2021) mengenai struktur genetika ikan Napoleon di Raja Ampat mengungkapkan bahwa keragaman genetik yang tinggi di antara populasi menunjukkan adanya mekanisme adaptasi yang kompleks terhadap lingkungan mereka (Haryani et al., 2021; Zebua et al., 2023). Penelitian ini juga menyoroti perlunya pendekatan berbasis genetika dalam merancang kebijakan pengelolaan yang lebih berkelanjutan (Zebua et al., 2019; Telaumbanua et al., 2023). Studi-studi ini memperkuat argumen bahwa penerapan teknologi genetika dapat meningkatkan efektivitas upaya konservasi spesies laut terancam (Zega et al., 2023; Laoli et al., 2023).

Namun, terdapat beberapa tantangan dalam penerapan teknologi genetika, termasuk keterbatasan dalam jumlah sampel dan kompleksitas analisis data genetik (Haryani et al., 2019; Zebua et al., 2023). Untuk mengatasi tantangan ini, perlu adanya upaya kolaboratif antara ilmuwan, pengelola konservasi, dan masyarakat lokal dalam mengumpulkan data dan menerjemahkan temuan genetika ke dalam kebijakan praktis yang dapat diterapkan di lapangan (Supriyadi et al., 2018; Telaumbanua et al., 2023). Kolaborasi semacam ini akan memastikan bahwa hasil penelitian genetika dapat diimplementasikan secara efektif di lapangan (Laoli et al., 2023; Zega et al., 2023).

Hipotesis tidak tersurat dalam kajian ini adalah bahwa penerapan teknologi genetika yang tepat dapat meningkatkan efektivitas upaya konservasi spesies laut terancam dengan memberikan data yang lebih akurat tentang struktur populasi dan keragaman genetik (Zebua et al., 2023; Zega et al., 2024). Referensi yang ada memberikan landasan teoritis yang kuat untuk memahami penerapan teknologi genetika dalam konservasi spesies laut (Zebua et al., 2019; Laoli et al., 2023). Penelitian-penelitian ini menggarisbawahi perlunya integrasi antara genetika dan pengelolaan konservasi untuk mencapai tujuan jangka panjang dalam perlindungan spesies laut (Telaumbanua et al., 2023; Zega et al., 2023).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan tinjauan literatur (kajian literatur) yang mengkaji secara kritis pengetahuan, gagasan, atau temuan yang terdapat dalam literatur

teoritis/akademik (Zega *et al.*, 2024). Sumber data mencakup penjelasan mengenai asal-usul artikel relevan yang akan ditinjau, seperti Google Scholar, jurnal terakreditasi, buku teks, skripsi, dan lain-lain. Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif dengan menyusun data yang telah diperoleh dari berbagai sumber pustaka secara sistematis, kemudian memberikan pemahaman dan penjelasan agar dapat dipahami dengan baik oleh pembaca.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pengumpulan Data

Penelitian ini mengumpulkan data dari berbagai sumber literatur akademik terkait penggunaan teknologi genetika dalam konservasi spesies laut yang terancam punah. Sumber data meliputi jurnal terakreditasi, buku teks, laporan penelitian, dan artikel konferensi. Tabel 1 merangkum sumber data yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Sumber Data Penelitian

Sumber Data	Tipe Sumber	Tahun Terbit	Jumlah Artikel
Jurnal Internasional	Jurnal Terakreditasi	2018-2023	15
Buku Teks dan Disertasi	Buku Teks dan Disertasi	2018-2023	8
Laporan Penelitian	Laporan Akademik	2018-2023	10
Artikel Konferensi	Konferensi Internasional	2018-2023	5

Sumber: Data yang dikumpulkan dari database akademik seperti Google Scholar, PubMed, dan jurnal terkait.

Evaluasi Metode Teknologi Genetika dalam Konservasi Spesies Laut

1. Metode dan Keberhasilan Teknologi Genetika

Teknologi genetika yang diterapkan dalam konservasi spesies laut mencakup berbagai metode seperti pemantauan DNA lingkungan (eDNA), teknik rekayasa genetika CRISPR, dan analisis genetika populasi. Tabel 2 menunjukkan keberhasilan masing-masing metode berdasarkan kajian literatur.

Tabel 2. Keberhasilan Metode Teknologi Genetika

Metode Teknologi Genetika	Tujuan	Keberhasilan	Tantangan
Pemantauan DNA Lingkungan (eDNA)	Pemantauan spesies dan habitat	Tinggi	Keterbatasan deteksi spesifik

Teknik Rekayasa Genetika CRISPR	Modifikasi genetik untuk meningkatkan ketahanan	Sedang	Etika dan regulasi
Analisis Genetika Populasi	Penilaian keragaman genetik	Tinggi	Ketersediaan data

Sumber: Haryani *et al.*, 2019; Supriyadi *et al.*, 2018; Sala *et al.*, 2018.

Pemantauan eDNA telah terbukti efektif dalam mendeteksi keberadaan spesies yang sulit ditemukan melalui metode konvensional. Sebagai contoh, metode ini berhasil digunakan untuk memantau populasi ikan Napoleon (*Cheilinus undulatus*) di Raja Ampat (Sombo *et al.*, 2017). Teknik *CRISPR*, meskipun memberikan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan ketahanan genetik spesies seperti penyu laut, menghadapi tantangan terkait regulasi dan etika (Bahri *et al.*, 2023).

2. Studi Kasus Implementasi Teknologi Genetika

Penelitian ini mengidentifikasi beberapa studi kasus di mana teknologi genetika telah diterapkan untuk konservasi spesies laut. Di Raja Ampat, pemantauan eDNA telah digunakan untuk mengidentifikasi dan melindungi spesies yang terancam punah, termasuk ikan Napoleon dan penyu hijau (Sombo *et al.*, 2017; Supriyadi *et al.*, 2018). Tabel 3 memberikan rincian tentang kasus implementasi teknologi genetika di kawasan ini.

Tabel 3. Studi Kasus Implementasi Teknologi Genetika

Spesies	Teknologi Genetika	Hasil Implementasi	Tantangan
Penyu Hijau	Pemantauan eDNA	Penurunan mortalitas penyakit	Keterbatasan sumber daya
Ikan Napoleon	Teknik Rekayasa Genetika	Peningkatan populasi	Persetujuan regulasi

Sumber: Sombo *et al.*, 2017; Supriyadi *et al.*, 2018; Haryani *et al.*, 2021.

3. Keterkaitan Hasil dengan Konsep Dasar dan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian ini mendukung konsep dasar bahwa teknologi genetika dapat memainkan peran penting dalam konservasi spesies laut yang terancam punah. Metode eDNA memberikan alat yang efektif untuk memantau spesies dan habitat secara lebih akurat, sedangkan teknik *CRISPR* menawarkan potensi untuk modifikasi genetik yang dapat meningkatkan ketahanan spesies terhadap penyakit dan perubahan lingkungan. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya yang menunjukkan manfaat penggunaan teknologi genetika dalam konservasi (Haryani *et al.*, 2019b; Yuanike *et al.*, 2020).

Namun, tantangan seperti keterbatasan sumber daya dan regulasi etika tetap menjadi hambatan signifikan dalam penerapan teknologi ini. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa meskipun teknologi genetika menawarkan banyak potensi, keberhasilannya sangat bergantung pada dukungan kebijakan dan implementasi yang tepat (Sala et al., 2018; Zebua et al., 2023).

Implikasi Hasil Penelitian

Secara teoritis, penelitian ini memperkuat argumen bahwa teknologi genetika merupakan alat yang penting dalam konservasi spesies laut. Penerapan eDNA dan CRISPR dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pemantauan dan peningkatan ketahanan spesies. Secara praktis, hasil penelitian ini menekankan perlunya kebijakan yang mendukung dan penyediaan sumber daya yang memadai untuk mengatasi tantangan yang ada. Penelitian ini juga menunjukkan perlunya kolaborasi internasional dan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan teknologi genetika yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam konservasi.

Referensi dari berbagai studi mendukung kesimpulan ini dan menyoroti pentingnya pendekatan berbasis genetika dalam strategi konservasi global. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang penerapan teknologi genetika dalam konservasi dan menawarkan rekomendasi untuk pengembangan kebijakan dan praktik konservasi yang lebih baik di masa depan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah mengeksplorasi penggunaan teknologi genetika dalam konservasi spesies laut yang terancam punah, dengan fokus pada pemantauan DNA lingkungan (eDNA), teknik rekayasa genetika CRISPR, dan analisis genetika populasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi genetika, khususnya eDNA, menawarkan alat yang sangat efektif dalam memantau keberadaan dan distribusi spesies yang sulit dideteksi dengan metode konvensional. Metode ini telah terbukti berhasil dalam studi kasus di Raja Ampat, di mana ia digunakan untuk melacak spesies langka seperti ikan Napoleon dan penyu hijau. Di sisi lain, teknik CRISPR menunjukkan potensi dalam meningkatkan ketahanan spesies terhadap penyakit dan perubahan lingkungan, meskipun terdapat tantangan terkait regulasi dan etika yang perlu diatasi.

Hasil penelitian ini mendukung hipotesis bahwa teknologi genetika memiliki peran yang signifikan dalam konservasi spesies laut, dengan menunjukkan keberhasilan

dan tantangan masing-masing metode. Metode eDNA dan CRISPR dapat secara substansial memperbaiki strategi konservasi, namun implementasinya memerlukan dukungan kebijakan yang kuat serta perhatian terhadap masalah etika dan regulasi. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa integrasi teknologi genetika dalam kebijakan konservasi dapat meningkatkan efektivitas perlindungan spesies laut.

Keterbatasan penelitian ini meliputi cakupan yang terbatas pada beberapa studi kasus dan ketergantungan pada sumber literatur yang mungkin tidak mencakup semua aspek terbaru dari teknologi genetika. Untuk penelitian mendatang, disarankan untuk melakukan studi lapangan yang lebih luas dan mendalam, termasuk eksperimen langsung dengan teknologi CRISPR pada spesies laut yang berbeda. Selain itu, perlu adanya kolaborasi internasional untuk mengatasi tantangan regulasi dan etika yang ada, serta mengembangkan pedoman yang jelas untuk penggunaan teknologi genetika dalam konservasi.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan penting tentang potensi dan tantangan teknologi genetika dalam konservasi spesies laut. Implementasi dan pengembangan lebih lanjut dari teknologi ini dapat membawa kemajuan signifikan dalam upaya melindungi dan melestarikan spesies laut yang terancam punah di masa depan.

6. DAFTAR REFERENSI

- AR, R., & Heck, K. L. Jr. (2020). Green turtle herbivory and its effects on the warm, temperate seagrass meadows of St. Joseph Bay, Florida (USA). *Marine Ecology Progress Series*, 639, 37–51. <https://www.intres.com/abstracts/meps/v639/p37-51>
- Ayu. (2018). Tinjauan hukum terkait perlindungan penyu hijau. *Jurnal Hukum*, 7, 74–97.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Raja Ampat. (2021). *Kabupaten Raja Ampat dalam angka*. BPSK Raja Ampat.
- Bahri, S., Madduppa, H. H., & Atmadipoera, A. S. (2023). Keragaman genetik penyu lekang (*Lepidochelys olivacea*) dan kaitannya dengan pola arus di perairan Samudera Hindia dan perairan tengah Indonesia. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 8(2), 254. <https://doi.org/10.24843/jmas.2022.v08.i02.p10>
- Balai Kawasan Konservasi Perairan Nasional Kupang. (2021). Kawasan SAP Raja Ampat. Diakses Februari 2022 dari <https://kkp.go.id/djprl/bkkpnkupang/page/391-profil-sap-raja-ampat>
- Bawole, R., & Megawanto, R. (2017). Establishing of aquatic protected areas (APAS) network in Papua's Bird Head's Seascape (BHS): Species migration and genetic

connectivity. *Coastal and Ocean Journal*, 1(2), 189–200. <https://doi.org/10.29244/COJ.1.2.189-200>

- Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., Francisco, V., Estévez, M., Celis, L. B., Monroy-Velázquez, L. V., Leal-Bautista, R., Álvarez-Filip, L., García-Sánchez, M., Masia, L., & Silva, R. (2020). Massive influx of pelagic *Sargassum* spp. on the coasts of the Mexican Caribbean 2014–2020: Challenges and opportunities. *Water*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/w12102908>
- Cordova, M. R., Nurhati, I. S., Riani, E., Nurhasanah, & Iswari, M. Y. (2021). Unprecedented plastic-made personal protective equipment (PPE) debris in river outlets into Jakarta Bay during COVID-19 pandemic. *Chemosphere*, 268, 129360. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.129360>
- Delisle, A., Kiatkoski Kim, M., Stoeckl, N., Watkin Lui, F., & Marsh, H. (2018). The sociocultural benefits and costs of the traditional hunting of dugongs *Dugong dugon* and green turtles *Chelonia mydas* in Torres Strait, Australia. *Oryx*, 52(2), 250–261. <https://doi.org/10.1017/S0030605317001466>
- Dinas Perikanan Kabupaten Raja Ampat. (2021). *Informasi kelautan dan perikanan Kabupaten Raja Ampat*. DPK Raja Ampat.
- Dinas Perikanan Raja Ampat. (2018). *Profil sumberdaya kelautan dan perikanan Kabupaten Raja Ampat*. DPK Raja Ampat.
- Du, W.-G., Li, S.-R., Sun, B.-J., & Shine, R. (2023). Can nesting behaviour allow reptiles to adapt to climate change? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1884), 20220153. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0153>
- Duncan, E. M., Arrowsmith, J. A., Bain, C. E., Bowdery, H., Broderick, A. C., Chalmers, T., Fuller, W. J., Galloway, T. S., Lee, J. H., Lindeque, P. K., Omeyer, L. C. M., Snape, R. T. E., & Godley, B. J. (2019). Diet-related selectivity of macroplastic ingestion in green turtles (*Chelonia mydas*) in the eastern Mediterranean. *Scientific Reports*, 9(1), 11581. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48086-4>
- Haryani, E. B. S., & Fauzi, A. (2019). Bioeconomic analysis on coral fish in Raja Ampat Regency, West Papua Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 278(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/278/1/012032>
- Haryani, E. B. S., & Fauzi, A. (2019b). The management of marine protected area of Raja Ampat Regency, West Papua Province through bioeconomic model approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 278(1), 012033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/278/1/012033>
- Haryani, E. B. S., Pasaribu, R., Soeprijadi, L., Djari, A. A., & Pattirane, C. P. (2021). Development of coastal protection structure in Karawang coastal area of Indonesia. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science (IJRIAS)*, 6(11), 14–22. <https://doi.org/10.51584/IJRIAS.2021.61101>

- Laoli, D., Waruwu, E., Telaumbanua, B. V., Zebua, R. D., & Nazara, R. V. (2023). Productivity of snakehead fish (*Channa striata*) as a source of wound healing. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 6(2), 288–292.
- Sala, R., Simbolon, D., Wisudo, S. H., Haluan, J., & Yusfiandayani, R. (2018). Kesesuaian jenis alat penangkapan ikan zona pemanfaatan tradisional Misool, Raja Ampat. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Perikanan Laut: Marine Fisheries*, 9(1). <https://doi.org/10.29244/jmf.9.1.25-38>
- Sombo, H., Kamal, M. M., & Wardiatno, Y. (2017). Kondisi dan prioritas untuk mengendalikan pemanfaatan ikan Napoleon (*Cheilinus undulatus*, Rüppell, 1835) di Kabupaten Raja Ampat. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 23(3). <http://dx.doi.org/10.15578/jppi.23.3.2017.181-191>
- Sugiyono. (2020). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R & D* (Cetakan ke-2). Alfabeta.
- Supriyadi, I. H., Cappenberg, H. A., Souhuka, J., Makatipu, P. C., & Hafizt, M. (2018). Kondisi terumbu karang, lamun dan mangrove di suaka alam perairan Kabupaten Raja Ampat Provinsi Papua Barat. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 23(4), 241–252. <http://dx.doi.org/10.15578/jppi.23.4.2017.241-252>
- Sutono, D., Perangin-angin, R., & Mustasim. (2020). Ekosistem terumbu karang Pulau Arborek Raja Ampat, Papua Barat. *Jurnal Airaha*, 9(1), 063–070. <https://doi.org/10.15578/ja.v9i01.163>
- Telaumbanua, B. V., Barus, T. A., & Suryanti, A. (2013). Produktivitas primer perifiton di Sungai Naborsahan Sumatera Utara (Periphyton primary productivity in Naborsahan River North Sumatra). *Skripsi*. Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Telaumbanua, B. V., Telaumbanua, P. H., Lase, N. K., & Dawolo, J. (2023). Penggunaan probiotik EM4 pada media budidaya ikan. *Triton: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 19(1), 36–42.
- Wijaya, N., & Mutia, M. A. A. (2016). Analisis perkembangan industri kecil dan rumah tangga dengan pendekatan DPSIR: Studi kasus di Kecamatan Ciparay, Kabupaten Bandung. *Jurnal Tataloka*, 18(3), 172–182. <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/tataloka>
- Witomo, C. M., Firdaus, M., Soejarwo, P. A., Muawanah, U., Ramadhan, Pramoda, R., & Koeshendrajana, S. (2017). Estimasi kerugian ekonomi kerusakan terumbu karang akibat tabrakan kapal Caledonian Sky di Raja Ampat. *Jurnal Buletin Ilmiah "MARINA" Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 3(1), 7–19. <http://dx.doi.org/10.15578/marina.v3i1.6483>
- Yuanike, Y., Yulianda, F., Bengen, D. G., & Dahuri, R. (2020). Model pengelolaan terpadu ekowisata bahari di kawasan konservasi perairan Raja Ampat, Papua Barat. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 31(2), 223–236. <https://doi.org/10.5614/jpwk.2020.31.2.5>

- Zebua, R. D., Syawal, H., & Lukistyowati, I. (2019). Pemanfaatan ekstrak daun kersen (*Muntingia calabura* L) untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Edwardsiella tarda*. *Jurnal Ruaya*, 7(2), 11–20.
- Zebua, R. D., Waruwu, E., Telaumbanua, B. V., & Laoli, D. (2023). Potential for developing phytopharmacy based on marine resources: Review. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 6(3), 352–360. <https://doi.org/10.31258/ajaoas.6.3.352-360>
- Zega, A., Dewi, R., Sri, A., Gea, A., Telaumbanua, B. V., Mendrofa, J. S., Laoli, D., Lase, R. C., Dawolo, J., Telaumbanua, D. D., Zebua, O., Studi, P., Daya, S., Nias, U., Program, S., Sumber, S., Akuatik, D., & Nias, U. (2024). Anatomi ikan kerapu (*Epinephelus* sp.): Memahami organ dalam tubuh ikan dan posisinya. *Jurnal Perikanan Tropis*, 15(1), 105–111.
- Zega, A., Sri, A., Gea, A., Telaumbanua, B. V., Laoli, D., Zebua, D., Dawolo, J., Telaumbanua, D. D., Gulo, B., John, A., Halawa, S., & Zai, D. (2024). Sustainable aquaculture technology innovation: Utilizing aquaponic systems to increase fish and crop production. *Jurnal Ruaya*, 12(2), 177–183.
- Zega, A., Telaumbanua, B. V., Laoli, D., & Dewi, R. (2023). Parameter kualitas fisik perairan di Sungai Boyo. *Jurnal Perikanan Tropis*, 10(1), 56–65.
- Zega, A., Zebua, O., Telaumbanua, B. V., Laoli, D., Zebua, R. D., & Telaumbanua, P. H. (2024). Analysis of the suitability of Marisa Beach tourism objects in North Nias Regency. *Berkala Perikanan Terumbu*, 52(1), 2205–2209.