



SELEKSI IKAN BERBASIS PENANDA DNA (DNA MARKER): *LITERATURE REVIEW*

Fish Selection Based on DNA Markers: Literature Review

Antoni Harahap^{1,✉}, Teuku Fadlon Haser², Suri Purnama Febri², Darsiani³

¹Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat, Indonesia

²Program Studi Akuakultur Fakultas Pertanian Universitas Samudra, Aceh, Indonesia

³Program Studi Akuakultur, Fakultas Peternakan dan Perikanan, Universitas Sulawesi Barat, Sulawesi Barat, Indonesia

✉Email: antoni01@apps.ipb.ac.id

Abstrak: Seleksi ikan berbasis marka DNA merupakan suatu metode atau teknik yang sudah mulai berkembang secara pesat dalam bidang genetika dan pemuliaan ikan. Seleksi berbasis marka DNA memanfaatkan informasi genetik yang terkandung dalam DNA ikan untuk mendapatkan individu yang memiliki karakteristik sesuai dengan tahapan dan produksi perikanan budidaya yang dilakukan secara tepat, efisien, dan terukur. Literature review ini menyajikan beberapa pembahasan dan sumber literatur yang cukup relevan terkait tentang berbagai aspek seleksi ikan berbasis marka DNA, termasuk prinsip dasar, metode analisis, manfaat, dan tantangan yang berbasis marka DNA, serta membahas tentang bagaimana perkembangan yang paling terkini dari penggunaan metode dalam proses pemuliaan genetika dan seleksi ikan, serta potensi dari pengaplikasian pada masa yang akan datang.

Kata kunci: seleksi ikan, marka DNA, pemuliaan, analisis genetik, karakteristik, efisiensi

Abstract: Selection of fish based on DNA markers is a method or technique that has started to develop rapidly in the field of genetics and fish breeding. Selection based on DNA markers utilizes the genetic information contained in fish DNA to obtain individuals with characteristics appropriate to the stages and production of aquaculture in a timely, efficient, and measurable manner. This literature review presents several discussions and literature sources that are quite relevant regarding various aspects of DNA marker-based fish selection, including the basic principles, analytical methods, benefits, and challenges based on DNA markers, and discusses how the most recent developments in the use of methods in the process of genetic breeding and fish selection, as well as the potential for future applications.

Keywords: fish selection, DNA markers, breeding, genetic analysis, characteristics, efficiency

I. PENDAHULUAN

Penanda atau marka DNA (*DNA marker*) merupakan salah satu metode dalam melakukan seleksi ikan berbasis marka DNA dilakukan untuk mengidentifikasi keragaman genetik dalam suatu populasi ikan. Beberapa metode atau teknik yang dapat dilakukan untuk seleksi marka DNA diantaranya, adalah teknik alozim/isozim, DNA mitokondria, random amplification polymorphic DNA (RAPD) polymerase chain reaction (PCR), dan lain-lain (Hayati *et al.* 2021). Penggunaan teknik RAPD-PCR sudah banyak dibuktikan dalam menentukan kondisi

materi genetik pada ikan, sehingga tingkat keakuratan dari seleksi ikan berbasis marka DNA semakin baik atau memiliki persentase yang cukup besar (Rasmussen dan Morrissey, 2008; Rocco *et al.* 2014; Neekhra *et al.* 2014).

Prinsip dasar dari seleksi ikan berbasis marka DNA yaitu terletak pada kondisi materi genetik dalam suatu populasi ikan. Beberapa populasi ikan mengalami penurunan mutu genetik yang diakibatkan oleh faktor tertentu, seperti terjadinya inbreeding dengan persentase yang banyak dan cukup lama dapat

menyebabkan terjadinya penurunan terhadap keragaman materi genetik dari populasi tersebut (Janhnen *et al.* 2013). Sehingga dengan adanya selektivitas terhadap suatu populasi menjadi solusi yang dapat meningkatkan proses stokastik untuk mempertahankan suatu populasi dengan tingkat variasi atau keragaman materi genetik yang baik (Chauhan & Rajiv, 2010).

Penggunaan penanda atau marka DNA (*DNA marker*) untuk pemuliaan ikan dapat mempercepat proses seleksi individu dengan karakter yang diharapkan dengan waktu yang lebih efisien, selain itu, penanda DNA juga dapat mengukur kekerabatan suatu populasi ikan pada spesies tertentu sehingga bisa meminimalisir terjadinya kesalahan dalam program pemuliaan pada saat melakukan seleksi. Beberapa karakter yang dapat diseleksi menggunakan penanda DNA diantaranya populasi tumbuh cepat, populasi tahan penyakit, dan populasi terpaut *sex* (Chen *et al.* 2022; Jiang *et al.* 2022; Nguyen *et al.* 2022).

II. PEMBAHASAN

Genetika Populasi

Genetika populasi mempelajari perubahan frekuensi genetik pada populasi spesies atau jenis tertentu, yang merupakan salah satu faktor penyebab evolusi (Soewardi dan Suwarso, 2006). Genetika populasi dapat membantu memahami bagaimana variasi genetik dapat diwariskan dari generasi ke generasi dalam populasi tertentu (Muhajirah *et al.* 2021), sehingga dapat dijelaskan bahwa beberapa faktor-faktor seperti variasi genetik, migrasi, ukuran populasi, terjadinya mutasi, dan pola dari perkawinan dapat memengaruhi komposisi genetik terhadap populasi (Irmawati, 2016).

Identifikasi Marka DNA

Marka DNA dapat digunakan untuk identifikasi genotipe pada berbagai organisme, dalam hal ini mengidentifikasi ikan (Aziz *et al.* 2015). Marka DNA juga dapat digunakan untuk mempelajari sistem

perkawinan dan struktur populasi dari ikan (Novella, 2022). Beberapa tahapan dalam identifikasi marka yang harus dilakukan adalah tahap ekstraksi DNA dari sampel yang akan dilakukan seleksi, kemudian setelah didapatkan DNA tertentu harus melakukan analisis DNA menggunakan teknik PCR dengan menggunakan primer RAPD, ISSR (Inter Simple Sequence Repeat), serta primer yang telah didesain untuk mendapatkan marka yang tepat dari sampel yang digunakan (Abu-Almaaty *et al.* 2017; Safitri dan Nasrullah, 2021)

Analisis Marka SNP (Single Nucleotide Polymorphism)

Analisis Marka SNP (Single Nucleotide Polymorphism) tergolong dalam pengembangan marka DNA yang masih baru, merupakan metode yang digunakan dalam ilmu genetika untuk mengidentifikasi variasi genetik pada tingkat individu ikan yang telah ditentukan berdasarkan proses atau perlakuan yang telah diberikan terhadap individu ikan tersebut (Gilbey *et al.* 2018). SNP merupakan perbedaan tunggal pada satu nukleotida dalam urutan DNA antar individu-individu yang berbeda (Fang *et al.* 2011; Ciezarek *et al.* 2022). Analisis Marka SNP dapat mengidentifikasi dan menjelaskan karakterisasi SNP yang ada dalam genom suatu individu. Berikut beberapa langkah-langkah dalam Analisis Marka SNP secara singkat:

- a. Identifikasi SNP: mengidentifikasi posisi SNP dalam genom. Menggunakan teknologi sekuensing DNA modern yang dapat melakukan identifikasi SNP dengan cepat dan akurat.
- b. Pengujian SNP: Setelah SNP diidentifikasi, kemudian diuji coba terhadap individu atau populasi yang lebih luas. Ini melibatkan penggunaan metode analisis molekuler yang canggih, seperti mikromatriks DNA atau sekuensing genomik, untuk mendeteksi dan mengidentifikasi SNP.
- c. Analisis Data SNP: Setelah data SNP diperoleh, analisis komputasional dilakukan untuk memahami pola dan

hubungan antara SNP yang berbeda. Analisis ini dapat melibatkan metode statistik, seperti uji asosiasi genomik atau analisis pengelompokan populasi.

Analisis Marka AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism)

Analisis Marka AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) termasuk dalam pengembangan marka DNA yang baru, merupakan metode molekuler yang digunakan untuk mengidentifikasi polimorfisme panjang fragmen yang diperkuat pada tingkat genom. Metode ini memanfaatkan teknik *PCR (Polymerase Chain Reaction)* untuk menghasilkan fragmen DNA yang diperkuat, dan kemudian menganalisis panjang fragmen-fragmen tersebut untuk mengidentifikasi variasi genetik antar individu atau populasi. Berikut penjelasan secara singkat dari langkah-langkah dalam analisis Marka AFLP (Keim *et al.* 1997; Suparningtyas *et al.* 2018):

- a. Ekstraksi DNA: mengisolasi DNA dari sampel ikan yang akan dianalisis. Ekstraksi DNA melibatkan pemecahan sel dan pemurnian DNA untuk mendapatkan sampel DNA murni.
- b. Pembatasan enzim: DNA yang diekstraksi kemudian dipotong menggunakan enzim restriksi yang spesifik. Enzim restriksi memotong DNA pada urutan-urutan tertentu, menghasilkan fragmen-fragmen DNA yang unik.
- c. Ligan dan Amplifikasi: Fragmen-fragmen DNA yang dihasilkan kemudian diambil dan digabungkan dengan adaptor atau oligonukleotida yang kompatibel, dan kemudian diamplifikasi menggunakan teknik PCR. Adaptor atau oligonukleotida ini digunakan untuk memperkenalkan urutan-urutan yang diperlukan untuk mengamplifikasi fragmen DNA secara selektif.
- d. Elektroforesis dan Analisis Panjang Fragmen: Fragmen DNA yang diperkuat kemudian dipisahkan berdasarkan panjangnya menggunakan

elektroforesis. Elektroforesis adalah metode yang memanfaatkan medan listrik untuk memisahkan fragmen DNA berdasarkan ukuran mereka. Setelah elektroforesis selesai, fragmen-fragmen DNA dapat dianalisis menggunakan deteksi fluoresensi atau pewarnaan untuk mengukur panjang fragmen secara presisi.

Pengembangan Marka DNA Baru

Pengembangan Marka DNA Baru pada populasi ikan adalah proses untuk menciptakan atau mengidentifikasi penanda genetik yang spesifik dan unik dalam DNA ikan. Penanda genetik ini digunakan untuk mengidentifikasi individu, mengkarakterisasi variasi genetik, dan melakukan penelitian terkait populasi ikan. Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan dalam pengembangan Marka DNA Baru pada populasi ikan:

- a. Marka Mikrosatelit: Mikrosatelit atau SSR (Simple Sequence Repeat) adalah repetisi pendek dari urutan DNA yang terdiri dari 1 hingga 6 basa. Marka mikrosatelit dikembangkan dengan mengisolasi dan menganalisis daerah-daerah mikrosatelit dalam genom ikan. Variasi dalam jumlah pengulangan mikrosatelit antara individu menghasilkan polimorfisme yang dapat digunakan sebagai penanda genetik (Choudhary dan Trivedi, 2010; Sembiring *et al.* 2013).
- b. Marka SNP: SNP (Single Nucleotide Polymorphism) adalah perbedaan tunggal pada satu nukleotida dalam urutan DNA. Pengembangan Marka SNP melibatkan identifikasi dan karakterisasi SNP yang ada dalam genom ikan. Metode seperti sekuensing genomik atau pengujian mikromatriks DNA digunakan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi SNP yang dapat digunakan sebagai penanda genetik.
- c. Marka AFLP: AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) adalah metode yang melibatkan pemotongan DNA menggunakan enzim restriksi dan

amplifikasi fragmen DNA yang diperkuat. Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi variasi panjang fragmen DNA antara individu ikan.

- d. Marka Mitokondria: DNA mitokondria memiliki karakteristik unik dan dapat digunakan sebagai penanda genetik. Sekuensi DNA mitokondria dapat digunakan untuk mengidentifikasi individu, mempelajari evolusi dan hubungan antara populasi ikan, dan menganalisis pola migrasi.

Pengembangan marka DNA baru pada populasi ikan memiliki beberapa manfaat, termasuk:

- a. Studi Keragaman Genetik: Marka DNA memungkinkan penelitian tentang keragaman genetik dalam populasi ikan. Ini dapat memberikan wawasan tentang struktur populasi, migrasi, dan sejarah evolusi.
- b. Manajemen Sumber Daya Ikan: Marka DNA dapat digunakan dalam manajemen sumber daya ikan untuk mengidentifikasi stok ikan yang berbeda, mengukur kesehatan populasi, dan mendukung kebijakan konservasi yang tepat.
- c. Pemuliaan dan Seleksi Genetik: Penanda genetik dapat digunakan dalam program pemuliaan ikan untuk memilih dan menghasilkan varietas ikan yang diinginkan dengan sifat-sifat yang unggul, seperti ketahanan terhadap penyakit, pertumbuhan yang cepat, atau kualitas daging yang baik.

Pengembangan Marka DNA Baru pada populasi ikan merupakan alat penting dalam studi genetika ikan dan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang variasi genetik dan manajemen populasi ikan.

Validitas dan Reproductibilitas Marka DNA

Dalam analisis genetik, validitas dan reproductibilitas marka DNA sangat penting. Validitas menunjukkan sejauh mana sebuah marka DNA benar-benar mewakili variasi genetik yang diinginkan, dan reproductibilitas menunjukkan

seberapa konsisten hasil analisis marka DNA dapat direplikasi (Kamal *et al.* 2019). Penjelasan dari reproductibilitas dan validitas marka DNA dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Validitas Marka DNA:
 - a. Kedalaman Informasi Genetik: Tingkat informasi yang relevan tentang variasi genetik yang diinginkan ditunjukkan oleh validitas marka DNA. Markahan DNA yang sah harus memiliki korelasi dengan sifat fenotipik atau hubungan filogenetik yang diharapkan.
 - b. Linkage dengan Gen yang Diinginkan: Validitas marka DNA juga bergantung pada seberapa terkait atau terkait dengan gen yang diinginkan atau sifat fenotipik yang diteliti. Marka DNA yang terkait erat dengan gen yang relevan memiliki validitas yang lebih tinggi.
2. Reproductibilitas Marka DNA:
 - c. Reproductibilitas Analisis: Kemampuan hasil analisis marka DNA untuk direplikasi dengan konsistensi disebut reproductibilitas marka DNA. Kemampuan untuk menghasilkan hasil yang identik pada sampel yang sama atau mirip disebut reproductibilitas dalam konteks ini.
 - d. Rekonsiliasi Hasil: Hasil analisis marka DNA harus dapat dipertahankan atau direkonsiliasi antara beberapa laboratorium atau peneliti. Hal ini menunjukkan reproductibilitas dalam dan luar laboratorium.

Hal penting yang harus diperhatikan bahwa validitas dan reproductibilitas marka DNA dapat berbeda-beda tergantung pada metode analisis yang digunakan, spesies yang diteliti, dan variasi genetik dalam populasi yang diselidiki. Oleh karena itu, penting untuk melakukan validasi internal dan eksternal terhadap marka DNA yang digunakan, serta mempertimbangkan faktor-faktor yang dapat memengaruhi validitas dan reproductibilitas dalam penelitian atau aplikasi tertentu (Satriani *et al.* 2011).

Analisis marka DNA dapat memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan dalam studi genetik dengan melakukan studi validasi silang, pengulangan analisis, penggunaan kontrol positif dan negatif, dan membandingkan hasil dengan metode analisis alternatif atau independen. Dengan melakukan validasi yang cermat dan memperhatikan faktor-faktor yang dapat memengaruhi reproduktibilitas, analisis marka DNA dapat memastikan bahwa hasilnya akurat dan dapat diandalkan.

Manfaat Seleksi Ikan Berbasis Marka DNA

Metode pemuliaan ikan yang dikenal sebagai seleksi ikan berbasis marka DNA menggunakan informasi genetik yang terkandung dalam marka DNA untuk memilih dan menghasilkan ikan yang memiliki karakteristik yang diinginkan. Peningkatan Produktivitas, penerapan seleksi ikan berbasis marka DNA, pembudidaya ikan dapat memilih ikan dengan sifat-sifat yang menguntungkan, seperti pertumbuhan yang cepat, konversi pakan yang efisien, resistensi terhadap penyakit, dan reproduksi yang baik. Hal ini dapat meningkatkan produktivitas budidaya ikan (Suprpto *et al.* 2020).

Waktu dan biaya produksi lebih efisien, dimana seleksi ikan mencakup pemijahan, pembesaran, dan pengujian sifat fenotipik. Metode ini membutuhkan banyak waktu dan biaya. Seleksi ikan berbasis marka DNA dapat memperoleh informasi genetik dengan cepat dan efektif melalui analisis marka DNA, mengurangi waktu dan biaya pemuliaan ikan. Kemudian akurasi seleksi yang lebih tinggi, karena mencari marka DNA yang terkait dengan sifat-sifat yang diinginkan dapat diidentifikasi dan digunakan untuk memilih ikan dengan kombinasi genetik yang diinginkan untuk meningkatkan proses seleksi dan menghasilkan ikan yang lebih unggul secara genetik (Utomo *et al.* 2021).

Seleksi ikan berbasis marka DNA juga dapat membantu dalam pemeliharaan keanekaragaman genetik. Adanya

pemilihan ikan berdasarkan marka DNA, variasi genetik yang ada dalam populasi dapat dipertahankan atau ditingkatkan. Hal ini penting untuk mencegah deplesi genetik dan mempertahankan adaptabilitas populasi terhadap perubahan lingkungan (Gani *et al.* 2014).

Seleksi ikan dengan marka DNA juga dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas produk ikan. Misalnya, pembudidaya dapat menghasilkan ikan yang lebih bernilai dan diminati oleh konsumen dengan memilih ikan dengan kualitas daging yang baik, seperti rasio lemak yang tepat atau warna daging yang menarik. Dengan menggunakan seleksi ikan berbasis marka DNA, pembudidaya dan pemuliaan ikan dapat mengoptimalkan sifat-sifat yang diinginkan dalam populasi ikan mereka dengan lebih efisien dan akurat, yang dapat menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam jumlah ikan yang dihasilkan Muzaki *et al.* 2017).

Implementasi Metode Seleksi Ikan Berbasis Marka DNA di Industri Perikanan

Metode seleksi ikan berbasis marka DNA dapat membantu industri perikanan dalam meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan kualitas ikan yang diproduksi atau dibudidayakan (A'yunin *et al.* 2021). Di industri perikanan, proses seleksi ikan berbasis marka DNA biasanya dilakukan seperti berikut:

- a. Identifikasi Sifat yang Diinginkan: Pertama, sifat-sifat yang diinginkan oleh pasar atau kebutuhan budidaya harus diidentifikasi. Sifat-sifat ini dapat termasuk pertumbuhan, resistensi terhadap penyakit, kekuatan reproduksi, dan kualitas daging.
- b. Pemilihan Marka DNA: Marka DNA yang berkorelasi dengan sifat-sifat yang diinginkan harus dipilih dan dikarakterisasi. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknik seperti analisis AFLP, mikrosatelit, atau SNP.
- c. Pengambilan Sampel dan Analisis DNA: Untuk ekstraksi DNA, sampel

ikan dari populasi yang akan dipilih harus diambil. Selanjutnya, DNA dianalisis menggunakan PCR atau teknik analisis genetik lainnya untuk menemukan dan melihat marka DNA yang terkait dengan sifat yang diinginkan.

- d. Analisis dan Seleksi Individu: Perbandingan antar individu dalam populasi dilakukan dengan data genetik yang diperoleh dari analisis marka DNA. Dengan menggunakan data genetik ini, orang yang memiliki kombinasi genetik yang diinginkan dapat dipilih untuk proses reproduksi.
- e. Pembiakan selektif memungkinkan pengembangan generasi berikutnya dengan karakteristik genetik yang diinginkan dengan membiak individu tertentu berdasarkan marka DNA yang diinginkan. Dalam pembiakan selektif ini, komponen lain yang penting seperti kekerabatan, keragaman genetik, dan keseimbangan genetik dalam populasi juga harus diperhatikan.
- f. Evaluasi Keturunan: Setelah beberapa generasi pembiakan selektif, keturunan yang dihasilkan harus dievaluasi untuk mengetahui seberapa efektif marka DNA yang diinginkan ditransmisikan dan memengaruhi sifat yang diinginkan. Pengujian fenotipik, analisis kualitas produk, atau penilaian kinerja reproduksi dapat menjadi bagian dari evaluasi.
- g. Siklus Pembaruan Seleksi: Metode seleksi ikan berbasis marka DNA harus digunakan secara berkelanjutan. Pembaruan dan penyesuaian seleksi harus dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa populasi ikan yang dibudidayakan tetap berkualitas tinggi.

Tantangan dan Peluang di Masa Depan

Terjadinya perubahan-perubahan iklim dan perubahan lingkungan budidaya menyebabkan munculnya bibit penyakit baru yang menyerang ikan yang dibudidaya, maka dari itu harus melakukan suatu gebrakan untuk menciptakan teknologi yang dapat mengatasi berbagai

permasalahan dibidang akuakultur seperti yang sudah dihadapi sampai saat ini.

Pengembangan metode seleksi genetik yang lebih baik dikarenakan kemajuan dalam genetika pada bidang perikanan dalam hal ini analisis DNA. Secara lebih efektif dan akurat, teknik seperti sekuensing genomik dan marka DNA dapat digunakan untuk memilih ikan dengan karakteristik yang diinginkan. Seiring dengan perkembangan dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berubah dan terbaharui secara cepat, maka dapat diindikasikan dimasa yang akan datang metode-metode seleksi berbasis genetik (penanda) semakin modern, maju, canggih, dan lebih mudah untuk dilaksanakan.

KESIMPULAN

Seleksi ikan berbasis penanda DNA dapat menjadi teknik yang efektif untuk meningkatkan sifat-sifat yang diinginkan pada suatu populasi ikan. Metode ini memungkinkan untuk menemukan individu dengan penanda gen yang menghubungkan sifat-sifat tersebut, yang mempercepat dan meningkatkan efisiensi proses seleksi. Program konservasi genetik untuk mengelola dan mempertahankan keragaman genetik dalam populasi ikan. Memilih individu dengan keragaman genetik yang tinggi, program ini dapat membantu mengurangi risiko rendahnya heritabilitas atau keragaman materi genetik dari populasi ikan sehingga semakin lama ikan tersebut akan terdegradasi sehingga populasi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Almaaty, A., Hassan, M., Bahgat, I., & Suleiman, M. (2017). Inter simple sequence repeat (ISSR) and cytogenetic analysis of three fish species of family osphronemidae. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 21(2), 1-15
- A'yunin, Q., Sulistyono, A. D., Syawli, A., Rahmawati, A., Intyas, C. A., Aliviyanti, D., ... & Sari, W. K. (2021). *Perikanan Berkelanjutan*. Universitas Brawijaya Press.

- Azis, A., Alimuddin, A., Sukenda, S., & Junior, M. Z. (2016). Identifikasi Kandidat Marka MHC I Pada Ikan Lele (*Clarias sp.*) Tahan Infeksi *Aeromonas hydrophila*. *Jurnal Riset Akuakultur*, 10(2), 261-269.
- Chauhan, T., & Rajiv, K. (2010). Molecular markers and their applications in fisheries and aquaculture. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 1(04), 281-291.
- Chen, C. C., Huang, C. W., Lin, C. Y., Ho, C. H., Pham, H. N., Hsu, T. H., ... & Gong, H. Y. (2022). Development of Disease-Resistance-Associated Microsatellite DNA Markers for Selective Breeding of *Tilapia* (*Oreochromis spp.*) Farmed in Taiwan. *Genes*, 13(1), 99.
- Choudhary, O. P., & Trivedi, S. (2010). Microsatellite or Simple Sequence Repeat (SSR) instability depends on repeat characteristics during replication and repair/Mikrosatelit veya Basit Dizi Tekrar (SSR) kararsizlikleri replikasyon ve tamir sirasinda tekrar karakteristiklerine baglidir. *Journal of Cell and Molecular Biology*, 8(2), 21.
- Ciezarek, A., Ford, A. G., Etherington, G. J., Kasozi, N., Malinsky, M., Mehta, T. K., ... & Turner, G. F. (2022). Whole genome resequencing data enables a targeted SNP panel for conservation and aquaculture of *Oreochromis cichlid* fishes. *Aquaculture*, 548, 737637.
- Fang, M., Toher, J., Morgan, M., Davison, J., Tannenbaum, S., & Claffey, K. (2011). Genomic differences between estrogen receptor (ER)-positive and ER-negative human breast carcinoma identified by single nucleotide polymorphism array comparative genome hybridization analysis. *Cancer*, 117(10), 2024-2034.
- Gani, M. S., Tassakka, A. C. M. A., & Hamka, H. (2014). Penggunaan Marka DNA dalam Seleksi Induk Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) yang Tahan Terhadap Bakteri *Vibrio alginolyticus*. *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*, 24(1).
- Hayati, A., Carman, O. & A. Alimuddin. (2021). Identifikasi kandidat marka molekuler pada ikan nilem (*Osteochilus hasselti*) rentan stres menggunakan teknik RAPD-PCR. *Jurnal Penelitian Belida Indonesia*, 1(1).
- Irmawati, S. P. 2016. *Genetika Populasi Ikan*. Penerbit Andi.
- Janhunen, M., Kause, A., Mäntysaari, E. A., Vehviläinen, H., Præbel, A. K., Järvisalo, O., ... & Koskinen, H. (2013). A novel breeding design to produce genetically protected homogenous fish populations for on-growing. *Aquaculture Research*, 44(12), 1847-1859.
- Jiang, D. N., Kuang, Z. Y., Yang, K. S., Huang, Y. Q., Mustapha, U. F., Guo, X. Z., ... & Shi, H. J. (2022). Polymorphism in a sex-linked DNA marker located on LG23 in Hainan strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(1), 205-223.
- Keim, P., Kalif, A., Schupp, J., Hill, K., Travis, S. E., Richmond, K., ... & Jackson, P. (1997). Molecular evolution and diversity in *Bacillus anthracis* as detected by amplified fragment length polymorphism markers. *Journal of bacteriology*, 179(3), 818-824.
- Muhajirah, E., Kamal, M. M., Butet, N. A., & Wibowo, A. (2021). Keragaman genetik populasi giant snakehead (*Channa micropeltes*) menggunakan penanda random amplified polymorphic dna di perairan taman nasional sebangau, Kalimantan Tengah. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 11(1), 141-151.
- Kamal, M. M., Hakim, A. A., Butet, N. A., Fitrianiingsih, Y., & Astuti, R. (2019). Autentikasi spesies ikan kerapu

- berdasarkan marka gen MT-COI dari perairan Peukan Bada, Aceh. *Jurnal Biologi Tropis*, 19(2), 116-123.
- Neekhra, B., Mansoori, A. A., Verma, S., Koiri, R. K., & Jain, S. K. (2014). RAPD-PCR based biomarker study in fish species (Family: Cyprinidae) of Madhya Pradesh, India. *Austin J Mol & Cell Biol*, 1(1), 1003.
- Nguyen, D. H. M., Ponjarat, J., Laopichienpong, N., Panthum, T., Singchat, W., Ahmad, S. F., ... & Srikulnath, K. (2022). Genome-wide SNP analysis of hybrid clariid fish reflects the existence of polygenic sex-determination in the lineage. *Frontiers in Genetics*, 13, 80.
- Novella, P. 2022. Identifikasi Marka Lisozim C dan Perbandingan Sekuen Gen Lisozim Ikan Lele Belanda dan Sangkuriang. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Rasmussen, R. S., & Morrissey, M. T. (2008). DNA-based methods for the identification of commercial fish and seafood species. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 7(3), 280-295.
- Rocco, L., Valentino, I. V., Scapigliati, G., & Stingo, V. (2014). RAPD-PCR analysis for molecular characterization and genotoxic studies of a new marine fish cell line derived from *Dicentrarchus labrax*. *Cytotechnology*, 66, 383-393.
- Safitri, I., & Nasrullah, H. (2021). Identifikasi Marka Molekuler Daya Tahan Infeksi *Aeromonas hydrophila* pada Lele Dumbo *Clarias gariepinus* dengan Metode RAPD-PCR. *Jurnal Penelitian Belida Indonesia*, 1(1).
- Soewardi, K., & Suwarso, S. (2006). Variasi Geografik dalam Struktur Genetik Populasi Ikan Kakap Merah, *Lutjanus Malabaricus* (Lutjanidae) dan Interaksi Lingkungan di Laut Jawa. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, 13(1), 69-75.
- Suparningtyas, J. F., Pramudyawardhani, O. D., Purwoko, D., & Tajuddin, T. (2018). Analisis filogenetik beberapa klon karet dengan marka AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism). *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*, 5(1), 8-19.
- Suprpto, R., Iswanto, B., Marnis, H., & Haryadi, J. (2020). Skrining Marka MHC-I dan MHC-II Pada Ikan Lele Afrika (*Clarias gariepinus*) Sebagai Gen Penyandi Resisten Penyakit Motile *Aeromonas Septicaemia* (MAS). *Media Akuakultur*, 15(2), 89-96.
- Sembiring, S. B. M., Haryanti, H., Suwirya, K., Wardana, I. K., Sutarmat, T., & Yudha, H. T. (2016). Penggunaan Penanda Genetik Tumbuh Cepat Untuk Produksi Calon Induk Kerapu Sunu, *Plectropomus leopardus* Dalam Program Seleksi. *Jurnal Riset Akuakultur*, 7(1), 1-9.