

SKRIPSI

KOMPOSISI ALEL SPESIFIK IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*.) DI DANAU TOBA BERDASARKAN SNP MARKER

SPECIFIC ALLEL COMPOSITION OF NILE TILAPIA (Oreochromis niloticus.) IN LAKE TOBA BASED ON SNP MARKER



M. Hardi Darmawan
05051282126058

**PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
JURUSAN PERIKANAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

SUMMARY

M. HARDI DARMAWAN. Specific Allel Composition of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*.) in Toba Lake Based on SNP Marker (Supervised by **MARINI WIJAYANTI**).

There are three common commercial tilapia species *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus*, and *O. aureus*. These species have the opportunity for hybridization. Hybridization between tilapia species is widespread, one of which is red tilapia, is a crossbreed of four different species of the genus *Oreochromis*, namely *O. mossambicus*, *O. niloticus*, *O. hornorum*, and *O. aureus*. The purposes of this study were determine the morphological, morphometric, and meristic characteristics of farm Nile tilapia and wild Nile tilapia in Toba Lake, to analyze of species or strain composition of nile tilapia using KASP assay PCR, and to determine the physical and chemical characteristics of Nile tilapia habitat. This research was conducted in November 2024- February 2025. Fish and water samples were taken from Toba Lake. The SNP marker stages included DNA extraction, electrophoresis, and SNP marker diagnostics. The analysis results showed the species composition of farm and wild samples, indicated a difference in diagnostic homozygotes. Individuals from the farm population were consisted mainly of *O. niloticus* species with a diagnostic allele frequency of 0.64, with contributions from non-*O. niloticus* with an alternative allele frequency of 0.36. Meanwhile the wild population in Toba Lake showed that five individuals were heterozygous with a diagnostic allele frequency value of 0.5 and an alternative allele frequency of 0.5. The water quality parameters of the two locations included temperature of 25-26°C. pH 7.5-8.5. Dissolved Oxygen 5.01-9.50 mg L⁻¹. TDS 0.45-0.57 mg L⁻¹. alkalinity 50-60 mg L⁻¹. ammonia 0.45-0.57 mg L⁻¹. transparency 0.89-1.9 m.

Keywords: Nile tilapia, SNP marker, Toba Lake.

RINGKASAN

M. HARDI DARMAWAN. Komposisi Alel Spesifik Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*.) di Danau Toba Berdasarkan SNP Marker (Dibimbing oleh **MARINI WIJAYANTI**).

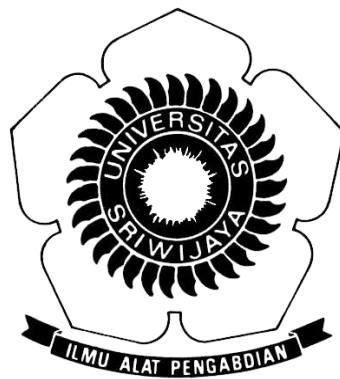
Tiga jenis ikan tilapia yang umum dibudidayakan secara komersial yaitu *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* dan *O. aureus*. Ketiganya berpeluang untuk terjadinya hibridisasi. Hibridisasi antar spesies ikan nila sangat umum terjadi, salah satunya adalah ikan nila merah yang merupakan hasil persilangan dari empat spesies yang berbeda dari genus *Oreochromis*, yaitu *O. mossambicus*, *O. niloticus*, *O. hornorum*, dan *O. aureus*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik morfologi, morfometrik dan meristik yang ada pada ikan nila yang dibudidayakan dan tertangkap di Danau Toba, menganalisis komposisi dari spesies dan atau strain ikan nila yang diperoleh dari KASP assay PCR serta mengetahui karakteristik fisika kimia habitat ikan nila. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2024-Februari 2025. Sampel ikan dan sampel air diambil dari Danau Toba. Tahapan SNP marker meliputi ekstraksi DNA, elektroforesis, dan diagnostik SNP marker. Komposisi spesies dari sampel budidaya dan alam dari dua lokasi yang berbeda menunjukkan perbedaan homozigot diagnostik. Individu dari populasi budidaya sebagian besar terdiri dari spesies *O. niloticus* dengan frekuensi alel diagnostik 0,64 dengan kontribusi dari non *O. niloticus* dengan frekuensi alel alternatif 0,36 sedangkan populasi dari alam di Danau Toba menunjukkan bahwa lima individu adalah heterozigot dengan nilai frekuensi alel diagnostik 0,5 dan frekuensi alel alternatif 0,5. Nilai kualitas air Danau Toba meliputi suhu yang berkisaran antara 25-26,5 °C, nilai pH 7,5-8,5, DO 5,01-9,50 mg L⁻¹, amonia 0,45-0,57 mg L⁻¹, alkalinitas 50-60 mg L⁻¹, dan TDS 0,07-0,08 mg L⁻¹, kecerahan 0,89-1,9 m.

Kata kunci: Danau Toba, ikan nila, SNP marker.

SKRIPSI

KOMPOSISI SPESIES IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*.) DI DANAU TOBA BERDASARKAN SNP MARKER

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Perikanan
Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya



M. Hardi Darmawan
05051282126058

**PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
JURUSAN PERIKANAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

KOMPOSISI SPESIES IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*.) DI DANAU TOBA BERDASARKAN SNP MARKER

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Perikanan
Pada Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya

Oleh :

M. Hardi Darmawan
05051282126058

Indralaya, Agustus 2025
Pembimbing Penelitian



Dr. Marini Wijayanti. S.Pi., M.Si
NIP. 197609102001122003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. A. Muslim, M.Agr.
NIP. 196412291990011001

Skripsi dengan judul “Komposisi Alel Spesifik Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*.) di Danau Toba Berdasarkan SNP Marker” oleh M. Hardi Darmawan telah dipertahankan dihadapan komisi penguji Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya pada tanggal 28 Juli 2025 dan telah diperbaiki sesuai saran dan masukan tim penguji.

Komisis Penguji

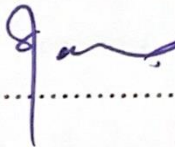
1. Dr. Marini Wijayanti. S.Pi.,M.Si
NIP. 197609102001122003

Ketua

(.....)

2. Dr. Dade Jubaedah. S.Pi.,M. Si
NIP. 197707212001122001

Anggota

(.....)

Indralaya, Agustus 2025

Ketua Jurusan Perikanan



Dr. Ferdinand Hukama Taqwa, S.Pi., M.Si
NIP. 197602082001121003

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Hardi Darmawan

NIM : 05051282126058

Judul : Komposisi Spesies Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*.) di Danau Toba
Berdasarkan SNP Marker

Menyatakan bahwa semua data dan informasi yang dimuat di dalam skripsi ini merupakan hasil tulisan saya sendiri dibawah supervisi pembimbing, kecuali yang disebutkan dengan jelas sumbernya. Apabila dikemudian hari ditemukan adanya unsur plagiasi dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar dari Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak mendapat paksaan dari pihak manapun.



Indralaya, Agustus 2025



(M. Hardi Darmawan)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 3 Agustus 2003 di RS Charitas Palembang, Sumatera Selatan. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Nopiden dan Ibu Tri Kelana Masita.

Penulis memulai pendidikan dasar di SD Muhammadiyah 6 Palembang pada tahun 2009 dan menerima ijazah pada tahun 2015. Kemudian melanjutkan pendidikan pada tahun 2015 di sekolah menengah pertama SMP Negeri 13 Palembang dengan menerima ijazah pada tahun 2018. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan menengah atas pada tahun 2018 di SMA Negeri 2 Palembang Jurusan IPA dengan menerima ijazah pada tahun 2021. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi Budidaya Perairan, Jurusan Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya melalui jalur SBMPTN pada tahun 2021. Hingga saat ini penulis sedang menjalankan tugas akhir untuk mendapatkan Gelar Sarjana perikanan di Universitas Sriwijaya. Penulis juga tergabung dalam beberapa organisasi salah satunya Himpunan Mahasiswa Akuakultur Universitas Sriwijaya, penulis berperan aktif sebagai anggota dinas PPSDM pada tahun 2022 hingga tahun 2023. Pada tahun 2023 penulis dipercayai sebagai asisten dosen dalam praktikum mata kuliah Biodiversitas dan Konservasi Perikanan Rawa dan Ekologi Rawa

Bulan Desember 2023-Januari 2024 penulis melaksanakan kegiatan magang di Instalasi Riset Plasma Nutfah Perikanan Air Tawar, Cijeruk, Bogor Jawa Barat dengan judul Teknik Pembenihan Ikan Dewa (*Tor soro*) secara alami. dengan dosen pembimbing bapak Danang Yonarta, S.ST.Pi., M.P. Pada bulan Juni – Juli 2024 penulis melaksanakan kegiatan praktek lapangan yang merupakan bagian dari Pelaksanaan Pengabdian Masyarakat No.0040.069/UN9/SB3.LP2M.PM/2024 yang berjudul “Efektifitas sistem bioflok dengan sumber karbon yang berbeda terhadap performa pertumbuhan Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*.) dengan dosen pembimbing ibu Dr. Marini Wijayanti, S.Pi., M.Si.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi berjudul "Komposisi Alel Spesifik Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*.) di Danau Toba Berdasarkan SNP Marker." Penelitian ini dibiayai oleh DRTPKM Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi melalui Kontrak Nomor 090/E5/PG.02.00.PL/2024 Tahun Anggaran 2024 Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

- 1 Kedua orang tua beserta keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan terhadap penulis.
- 2 Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Muslim, M.Agr selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.
- 3 Bapak Dr. Ferdinand Hukama Taqwa, S.Pi., M.Si selaku Koordinator Program Studi Budidaya Perairan Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.
- 4 Ibu Dr. Marini Wijayanti, S.Pi., M.Si selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga laporan skripsi ini terselesaikan dengan baik.
- 5 Ibu Mirna Fitriani, S.Pi., M.Si., Ph.D selaku pembimbing akademik.
- 6 Bapak Alm. Mochamad Syaifudin, S.Pi., M.Si., Ph.D yang sudah membimbing penulis dalam pengerjaan proyek dan memberikan arahan sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi dengan baik.
- 7 Analis Laboratorium Biomolekuler Ruang Lingkup Terpadu Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya beserta rekan tim DNA *barcoding* yang telah membantu penelitian penulis.
- 8 Semua teman-teman penelitian Angkatan 2021 yang telah membantu.

Penulis berharap agar skripsi ini dapat menjadi acuan bagi yang membutuhkannya.

Indralaya, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan dan Kegunaan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Klasifikasi dan morfologi ikan nila (<i>Oreochromis sp.</i>)	5
2.2. Karakteristik Danau Toba	6
2.3. Hibridisasi.....	7
2.4. DNA marker-SNP	7
2.5. Genotiping berdasarkan KASP PCR (<i>Kompetitive Allele Spesifik PCR</i>).....	8
BAB 3. PELAKSANAAN PENELITIAN	9
3.1. Tempat dan Waktu	9
3.2. Bahan dan Metoda	9
3.3. Analisis Data.....	16
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1. Analisis Karakteristik Morfologi dan Meristik	17
4.2. Konsentrasi dan Kemurnian DNA Kuantitatif.....	19
4.3. Komposisi Alel Spesifik	21
4.4. Kualitas Air	24
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	27
5.1. Kesimpulan	27
5.2. Saran.....	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Spesies nila: <i>Oreochromis niloticus</i> , <i>O.mosaambicus</i> , <i>O.aureus</i>	5
Gambar 3.1. Peta lokasi pengambilan sampel.....	11
Gambar 4.1. Hasil Data Analisis Melalui <i>Quantica</i> [®] <i>Real Time PCR Thermal</i>	22

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Diagnostik marker SNP ikan nila.....	13
Tabel 3.2. Formula reagenensia KASP genotyping mix.....	14
Tabel 4.1. Morfometrik dan meristik nila alam Danau Toba.....	17
Tabel 4.2. Konsentrasi dan kemurnian DNA kuantitatif.....	19
Tabel 4.3. Hasil frekuensi alel Ikan Tilapia	22
Tabel 4.4. Hasil pengukuran kualitas air	24

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Prosedur Ekstraksi DNA dengan Metode GeneAid	34
Lampiran 2. Gambar Ikan Nila Hasil Budidaya dan Alam	35
Lampiran 3. Hasil Visualisasi DNA Genom Ikan Nila.....	37
Lampiran 4. Pengukuran Konsentrasi dan Kemurnian DNA.....	38
Lampiran 5. Hasil Komposisi Alel Spesifik.....	39
Lampiran 6. Perhitungan Komposisi Alel Spesifik	40
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	41

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ikan tilapia (*Oreochromis* spp.) merupakan salah satu jenis ikan air tawar yang banyak dibudidayakan secara komersial (Tomasoa *et al.*, 2019). Tiga spesies tilapia yang umum dibudidayakan adalah *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus*, dan *O. aureus* (Dailami *et al.*, 2021). Kualitas genetik ikan tilapia dapat mengalami penurunan, terlihat dari pertumbuhan lambat dan matang kelamin dini (Ponzoni *et al.*, 2011). Penyebab utamanya berkaitan dengan praktek pembenihan yang tidak terkontrol secara genetik, seperti *inbreeding* dan seleksi yang tidak tepat (Satriani *et al.*, 2011). Pada program seleksi famili generasi F5 di BBP BAT Sukabumi, *inbreeding* dan penggunaan induk yang terbatas menyebabkan keragaman genetik menurun, kematian ikan meningkat, pertumbuhan melambat, dan FCR memburuk. Hal ini terjadi akibat proses rekonstruksi populasi yang tidak terencana serta perilaku tilapia yang cepat matang dan sering memijah (Satriani, 2011). Program pemuliaan dapat meningkatkan kualitas genetik ikan, melalui perbaikan karakter atau sifat yang dapat diwariskan pada turunannya (Hulata, 2001). Kegiatan perikanan di Danau Toba yang dilakukan masyarakat terutama penangkapan dan budidaya dengan sistem Keramba Jaring Apung (KJA). Jenis tilapia yang tertangkap di Danau Toba terdiri dari mujair (*O. mossambicus*), nila (*O. niloticus*) dan nila biru (*O. aureus*) (Sinambela *et al.*, 2021).

Keanekaragaman hayati adalah keseluruhan gen, spesies dan ekosistem yang terdapat di dalam suatu wilayah (Leksono, 2010). Keanekaragaman spesies ikan menggambarkan seluruh cakupan adaptasi ekologi, serta menggambarkan evolusi spesies terhadap lingkungan tertentu (Nuralam *et al.*, 2023). Indeks keanekaragaman jenis ikan di Danau Toba Pulau Samosir tergolong kategori rendah, sedangkan indeks dominansinya tergolong dalam kategori tinggi (Qomaria, 2023). Rendahnya keanekaragaman yang disertai dengan dominansi tinggi menunjukkan struktur komunitas ikan yang sangat tidak seimbang dan kemungkinan besar dikendalikan oleh satu spesies yang mendominasi, sehingga

dapat dipahami bahwa keanekaragaman ikan dapat berbeda antara satu lokasi dengan lokasi lainnya di Danau Toba (Qomaria, 2023). Penurunan keanekaragaman genetik ikan air tawar dapat disebabkan beberapa faktor seperti *invasive* spesies (Wargasmita, 2005), hibridisasi (Firmat *et al.*, 2013), degradasi habitat dan pencemaran lingkungan (Arini *et al.*, 2018). Penurunan kualitas lingkungan dan parasit juga turut memengaruhi keanekaragaman genetik (Arini *et al.*, 2018). Data genetik dapat memberikan kontribusi penting dalam pemahaman konektivitas populasi, strategi konservasi dan pengelolaan, termasuk di dalamnya penentuan daerah konservasi (Ferguson *et al.*, 2010).

Ikan tilapia banyak mengalami proses persilangan, diantaranya ikan nila dan mujair, menghasilkan benih ikan nila yang unggul dengan varietas yang beragam (Aulia *et al.*, 2023). Jenis ikan nila hibrid salah satunya adalah nila srikandi yaitu ikan hibrida toleran salinitas tinggi (10-30 ppt) yang diperoleh dengan mengawinkan antara induk ikan nila nirwana betina dengan nila biru jantan (Hadie, 2013). Dengan beragamnya variasi strain ikan nila, diperlukan proses untuk menentukan variasi strain terhadap ikan nila secara presisi. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah menggunakan DNA marker dari inti yaitu SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) (Rasal *et al.*, 2024).

SNP merupakan salah satu penanda DNA inti yang digunakan dalam proses penentuan genotipe pada sampel terstruktur melalui *high throughput sequencing* yang mampu mengisolasi secara cepat dan dalam jumlah yang sangat besar (Wenne, 2023). Susunan SNP merupakan *microarray* DNA yang dirancang dengan *probe* sebagai *lokus* SNP, sehingga memungkinkan untuk identifikasi alel tertentu pada sampel DNA. Metode SNP lebih efisien, biaya terjangkau dan hasil optimasinya menghasilkan hasil yang akurat (LaFramboise, 2009). SNP digunakan untuk mempelajari keragaman genetik pada populasi hewan akuatik, baik yang liar maupun yang dibudidayakan (Wenne, 2023).

Kompetitive Allel Spesifik PCR (KASP) adalah salah satu teknik yang paling banyak digunakan untuk *genotipe* SNP karena akurat dan memberikan fleksibilitas tinggi dalam hak desain pengujian (Suo *et al.*, 2020). KASP menggunakan dua primer *forward* spesifik alel dan satu primer *reverse* untuk memperkuat urutan DNA target melalui reaksi PCR (*Polymerase Chain Reaction*)

(Semagn *et al.*, 2014). PCR (KASP), digunakan untuk mengidentifikasi amplifikasi spesifik alel untuk satu SNP biallelik. Syaifudin *et al.* (2019) telah mendapatkan marker SNP yang diperoleh melalui *double digest restriction-site associated DNA* (ddRADseq) untuk ikan nila (*Oni3057*) dan telah dimanfaatkan oleh Bertie *et al.*, (2020) untuk mengetahui komposisi spesies pada ikan *Molobicus*. Maka dari itu penggunaan marker (*Oni3057*) dapat dilakukan untuk menentukan komposisi alel spesifik pada ikan nila yang dibudidayakan dan tertangkap di Danau Toba Sumatra Utara.

1.2. Perumusan Masalah

Keanekaragaman jenis ikan nila di Danau Toba merupakan salah satu yang terbanyak di dunia, berdasarkan data Badan Pusat Statistik pada tahun 2017 hingga tahun 2020 Danau Toba menjadi wilayah produksi budidaya ikan nila yang memberikan kontribusi untuk ekspor ikan nila di Indonesia sebesar 91,66% (Badan Pusat Statistik, 2020). Karena beragamnya jenis ikan nila di Danau Toba memberikan peluang untuk terjadinya hibridisasi liar antar ikan nila yang ada di Danau Toba, sehingga perlunya melakukan analisis komposisi spesies. Salah satu upaya untuk mengetahui komposisi spesies bisa menggunakan SNP. SNP digunakan sebagai penanda DNA inti yang digunakan dalam proses variasi genetik pada sampel terstruktur melalui *high throughput sequencing* yang mampu mengisolasi secara cepat dan akurat (Wenne, 2023)..

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui :

1. Karakteristik morfologi, morfometrik dan meristik yang ada pada ikan nila yang dibudidayakan dan tertangkap di Danau Toba.
2. Menganalisis komposisi dari spesies atau strain ikan nila yang dibudidayakan dan tertangkap di Danau Toba menggunakan SNP marker yang diperoleh dari KASP assay PCR.
3. Mengetahui karakteristik fisika kimia habitat ikan nila yang dibudidayakan dan tertangkap di Danau Toba.

1.3.1. Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini untuk menjadi sumber informasi dan diharapkan dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan budidaya ikan di Danau Toba, Sumatera Utara

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Hack, M.E., El-Saadony, M.T., Nader, M.M., Salem, H.M., El-Tahan, A. M., Soliman, S.M. and Khafaga, A.F., 2022. Effect of environmental factors on growth performance of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology*, 66(11), 2183-2194.
- Abdel-Tawwab, M., Hagra, A.E., Elbaghdady, H.A.M. and Monie, M.N., 2015. Effects of dissolved oxygen and fish size on nile tilapia, (*Oreochromis niloticus*): growth performance, whole-body composition, and innate immunity. *Aquaculture International*, 23(15), 1261-1274.
- Adriany, T.D., Bakry, A.A. dan Bungalim, I.M., 2020. Perbandingan metode isolasi DNA terhadap nilai kemurnian DNA untuk pengujian *White Spot Syndrom Virus* (WSSV) pada lobster bambu (*Panulirus versicolor*). *Jurnal Universitas Hasanudin*, 7(6), 239-246.
- Arini, P.D., Muhammad, F., Baskoro, K. dan Fahris, N., 2018. Pengaruh pemberian hidrogen peroksida (H_2O_2) dalam pengendalian ektoparasit, dan kelangsungan hidup benih ikan nila salin (*Oreochromis niloticus*) di Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau Jepara. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 1(20), 59-65.
- Aulia, D., Putra, A., Hadiwinata, B. dan Aini, S., 2023. Analisis perbandingan sekam padi sebagai substitusi es dalam penyimpanan ikan. *Journal Perikanan*, 13(2), 417-426.
- Badan Standardisasi Nasional, 2009. Produksi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) kelas pembesaran. SNI 7550:2009. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Baihaqi, R.H., Haeruddin, H. and Prakoso, K., 2024. Analisis hubungan kualitas air tambak terhadap laju pertumbuhan ikan nila salin (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Pasir Laut*, 8(2), 63-70.
- Bertie, K.L., Taslim, K., Bekaert, M., Wehner, S., Syaifudin, M., Taggart, B.J., Verdal, D.H., Rosario, W., Muyalde, N., Benzie, H.A.J., Mcandrew, J.B. and Penman, J.D., 2020. Species composition in the molobicus hybrid tilapia strain. *Aquaculture*, 526(2), 1-32.
- Bintoro, A. dan Abidin, M., 2013. Pengukuran total alkalinitas di perairan estuari sungai Indragiri Provinsi Riau. *BTL Sumber Daya dan Penangkapan*, 12(1), 11-14.
- Bolnick, D.I. and Doebeli, M., 2003. Sexual selection, genetic polymorphism, and speciation. *Journal of Evolutionary Biology*, 16(5), 913-923.

- Chen, C., Ding, Y., Jing, Z., Lu, C., Zhang, L., Chen, Z. and Zhu, C., 2021. DNA barcoding of yellow croakers (*Larimichthys* spp.) and morphologically similar fish species for authentication. *Food Control*, 127(4), 90-98.
- Ciezarek, A., Ford, A.G.P., Etherington, G.J., Kasozi, N., Malinsky, M., Mehta, T.K., Penso-Dolfín, L., Ngatunga, B.P., Shechonge, A., Tamatamah, R., Haerty, W., Di-Palma, F. and Genner, M.J., 2022. Whole genome resequencing data enables a targeted SNP panel for conservation and aquaculture of *Oreochromis cichlid* fishes. *Aquaculture*, 548, 1-11.
- Dailami, M., Rahmawati, A., Saleky, D. and Toha, A. H. A., 2021. *Ikan Nila*. Jakarta: Brainy Bee.
- Díaz-Ferguson, E.R., Haney, J., Wares. and Silliman, B., 2010. Population genetics of a trochid gastropod broadens picture of caribbean sea connectivity. *PLoS ONE*, 5(9), 1-8.
- Effendie, M.I., 2003. *Biologi Perikanan*. Yogyakarta: Yayasan Pustaka Nusantara.
- Eknath, A. E., Tayamen, M. M., Palada-de Vera, M. S., Danting, J. C., Reyes, R. A., Dionisio, E. E., Capili, J. B., Bolivar, H. L., Abella, T. A., Circa, A. V., Bentsen, H. B., Gjerde, B., Gjerdem, T., & Pullin, R. S. V., 1993. Genetic improvement of farmed tilapias: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments. *Aquaculture*, 111(1-4), 171-188.
- Fietri, W.A., Rasak, A. dan Ahda, Y., 2021. Analisis filogenetik ikan tuna (*Thunnus* sp.) di Perairan Maluku Utara menggunakan COI (Cytocrome Oxydase I). *BIOMA: Jurnal Biologi Makassar*, 6(2), 31-39.
- Firmat, C., Alibert, P., Losseau, M., Baroiller, J.F. and Schlieuwen, U.K., 2013. Successive invasion-mediated interspecific hybridizations and population structure in the endangered cichlid *Oreochromis mossambicus*. *PLOS One*, 8(5).
- Hadie, L. E., Dewi, R. S. P. S. dan Hadie, W., 2013. Efektivitas strain ikan nila srikandi (*Oreochromis niloticus*) dalam perbenihan skala massal. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 13(1), 13-23.
- Hulata, G., 2001. Genetic manipulation in aquaculture: a review of stock improvement classical and modern technologies. *Journal Genetics*, 111(1), 155-173.

- Hutajulu, C. P. and Harahap, R. H., 2023. The Impact of Floating Craft Cultivation on the Ecosystem of Lake Toba. *Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 2(1), 8-15.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), 2016. Pelepasan Ikan Nila Anjani (*Oreochromis niloticus*). Jakarta: Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Kementerian Pariwisata dan Ekonomi Kreatif (KEMENPAREKRAF), 2021. Kementerian Pariwisata dan Ekonomi Kreatif, Badan Pariwisata dan Ekonomi Kreatif Republik Indonesia.
- Khallaf, E. A., Alne-Na-ei, A. A., El-Messady, F. A. and Hanafy, E. 2021. Effect of temperature rise on growth performance, feed intake, feed conversion ratio and sex ratio of the Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 25(3), 45-56.
- Komalasari, K., 2009. *Pengaruh perbandingan volume darah dan lisis buffer serta kecepatan sentrifugasi terhadap kualitas produk DNA pada sapi Fresian Holstein (FH)*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Kordi, M.G.H., 2010. *Budidaya Ikan Nila di Kolam Terpal*. Yogyakarta: Lily Publisher. [available at: <https://bit.ly/3JR2HAY>] [Accessed 02 September 2024].
- Kottelat, M., Whitten, A.J., Kartikasari, S.N. and Wirjoatmodjo, S., 1993. *Freshwater Fishes of Western Indonesia and Sulawesi*. Indonesia: Periplus Editions (HK) Ltd.
- Kusuma, A.B., 2022. Optimalisasi ekstraksi DNA dan PCR untuk identifikasi molekuler pada 4 jenis karang lunak berbeda. *Jurnal Enggano*, 7(2), 175-182.
- Kwikiriza, G., Abaho, I., Tibihika, P. D., Izaara, A. A., Atukwatse, F., Omara, T., Nattabi, J. K., Kasozi, N., Curto, M., Melcher, A. and Meimberg, H., 2025. Genetic diversity and population differentiation of farmed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus linnaeus*, 1758) to advance selective breeding in Uganda. *Diversity*, 17(2), 1-20.
- LaFramboise, T., 2009. Single nucleotide polymorphism arrays: a decade of biological, computational and technological advances. *Nucleic acids research*, 37(13), 4181-4193.
- Leksono, A. S., 2010. *Keanekaragaman hayati*. Universitas Brawijaya Press. [available at: <https://books.google.co.id/>] [Accessed 14 Agustus 2025].

- McAndrew, B.J., 1993. Genetics and breeding of tilapias. *Journal of Fish Biology*, 43(2), 157-173.
- Moustafa, E. M., Shukry, M., Mohamed, M., Zayed., Foad, A., Farrag., Wesam, E., El-Aziz, A. dan Amira, A., 2024. Impact of Sel-Plex dietary supplementation on growth performance, physiological response, oxidative status, and immunity-linked gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings challenged with *Aeromonas hydrophila*. *Open Veterinary Journal*, 14(1), 70-89.
- Naim, S., 2010. *74 years of tilapia culture and development in Indonesia*. Thesis. University of Arizona.
- Neil, M.O., McPartlin, J., Arthur, K., Riedel, S. and McMillan, N.D., 2011. Comparison of the TLDA with the nanodrop and the reference qubit system. *Journal of Physics: Conference Series*, 307(1), 6.
- Nuralam, M. M., Hernawati, D. dan Agustian, D., 2023. Keanekaragaman dan potensi jenis ikan hasil tangkapan nelayan di tempat pelelangan ikan (TPI) Pamayangsari Kabupaten Tasikmalaya. *Jurnal Biologi*, 5(2), 154-162.
- Oyarzun, R., Arumí, J., Salgado, L. and Mariño, M., 2007. Sensitivity analysis and field testing of the RISK-N model in the Central Valley of Chile. *Agricultural Water Management*, 87(3), 251–260.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2021. Peraturan Pemerintah No. 22 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Pharmawati, M., 2009. Optimalisasi ekstraksi DNA dan PCR-RAPD pada *Grevillea* spp. (*Proteaceae*). *Jurnal Biologi*, 13(1), 12-16.
- Ponzoni, R. W., Nguyen, N. H., Khaw, H. L., Hamzah, A., Bakar, K. R. A., and Yee, H. Y. 2011. Genetic improvement of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with special reference to the work conducted by the WorldFish Center with the GIFT strain. *Reviews in Aquaculture*, 3(1), 27-41.
- Pratama, Y., Sinaga, A. M., Sianturi, R. A., dan Situmorang, V., 2021. Literasi Media Digital pada Komunitas Pariwisata di Kawasan Danau Toba. *Jurnal Master Pariwisata (JUMPA)*, 8(1), 245-258.

- Qomaria, R., 2023. Species diversity of freshwater fish in Lake Toba using shanon wiener. *Formosa Journal of Applied Sciences (FJAS)*, 2(7), 1475-1482.
- Rasal, D.K., Kumar, V.P., Asgolkar, P., Shinde, S., Dhere, S., Sriyapagouder, P., Sorwane, A., Brahmane, M., Jitendra, K., Goswami, M. and Nagpure, N., 2024. Single-Nucleotide Polymorphisme (SNP) array: an array of hope for genetic improvement of aquatic spesies and fishries management. *Journal Blue Bioteknologi*. 1(3), 1-15.
- Saanin, H., 1984. *Taksonomi dan Kunci Identifikasi Ikan*. Jakarta: Bina Cipta.
- Sambrook, J. dan Russell, D.W., 1989. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*. 2nd Ed. New York: Cold-Spring Harbor Laboratory.
- Satriani, G. I., Soelistyowati, D. T., Hardianto, D. dan Aliah, R. S. 2011. Variabilitas genetik generasi kelima ikan nila *Oreochromis niloticus* menggunakan penanda DNA mikrosatelit. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 10(2), 124-130.
- Satriani, G. I., 2011. *Keragaman genotipe dan fenotipe ikan nila (Oreochromis niloticus) generasi kelima hasil seleksi*. Disertasi. Institut Pertanian Bogor.
- Semagn, K., Babu, R., Hearne, S. and Olsen, M., 2014. Single nucleotide polymorphism genotyping using Kompetitive Allele Specific PCR (KASP): overview of the technology and its application in crop improvement. *Molecular breeding*, 33(1), 1-14.
- Shalloof, K.A.S., El-Far, A.M. and Aly, W., 2020. Feeding habits and trophic levels of cichlid species in tropical reservoir, Lake Nasser, Egypt. *Journal Egyptian of Aquatic Research*, 46(2), 159-165.
- Sinambela, M. dan Malau, N.V., 2021. *Keanekaragaman Ikan di Danau Toba*. In: Tobing, P.U.A., ed. *Inovasi Pembelajaran, Penelitian dan Pengabdian Biologi Berbasis Digital dalam Revolusi Industri 4.0 di Era New Normal Pandemi Covid-19*, Universitas Negeri Medan, 27 Oktober 2021. Medan: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Negeri Medan. 185-194.
- Sodsuk, P. and McAndrew, B.J., 1991. Molecular systematics of three tilapia genera *Tilapia*, *Sarotherodon* and *Oreochromis* using allozyme data. *Journal Fish Biological*, 39, 301–308.
- Sukamto, S., Random, S. dan Kosasih, E., 2017. Kebiasaan makan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Waduk Jatiluhur. *Jurnal Buletin Teknik Rekayasa Sumber Daya dan Penangkapan*, 1(1), 5-7.

- Suo, W., Shi, X., Xu, S., Li, X. and Lin, Y., 2020. Towards low cost, multiplex clinical genotyping: 4 fluorescent Kompetitive Allele-Specific PCR and its application on pharmacogenetics. *PLoS One*, 15(3), 1-8
- Syaifudin, M., Jubaedah, D., Muslim, M. dan Daryani, A., 2017. DNA authentication of Asian redbellied catfish *Hemibagrus nemurus* from Musi and Penukal River, South Sumatera Indonesia. *Genetics of Aquatic Organisms*, 1(2), 43-48.
- Syaifudin, M., Jubaedah, D., Yonarta, D. dan Hastuti, Z., 2019. DNA barcoding of snakeskin gourami *Trichogaster pectoralis* and blue gourami *Trichogaster trichopterus* based on Cytochrome C Oxidase Subunit I (COI) gene. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 348(1), 1-6.
- Tave, D., 1993. *Genetics for Fish Hatchery Managers*. New York: Springer-Verlag.
- Tomasoa, A. M. dan Azhari, D., 2019. Pemanfaatan tepung biji pepaya (*Carica papaya*) terhadap respons pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal MIPA*, 8(3), 160-163.
- Tobing, N. S. dan Harahap, R. H., 2024. Dampak Adanya Pertumbuhan Eceng Gondok dalam Skala Besar Terhadap Ekosistem di Kawasan Danau Toba. *Jurnal Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik*, 5(2), 225-234.
- Trewavas, E., 1983. *Tilapiine Fishes of the Genera Sarotherodon, Oreochromis and Danakilia*. Cromwell Road, London: British Museum Natural History.
- Triani, N., 2020. Isolasi DNA tanaman jeruk dengan menggunakan metode CTAB (*Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide*). *G-Tech. Jurnal Teknologi Terapan*, 3(2), 221-226.
- Van Berst, N.E.M., Crooijmans, R.P.M.A., Groenen, M.A.M., Dibbits, B.W. and Komen, B.W., 2012. SNP marker detection and genotyping in tilapia. *Molecular Ecology Resources*. 12(5), 932-941.
- Wargasmita, S., 2005. Ancaman invasi ikan asing terhadap keanekaragaman ikan asli. *Iktiologi Indonesia*, 5(1), 5-10.
- Wenne, R., 2023. Single Nucleotide Polymorphism Markers with Applications in Conservation and Exploitation of Aquatic Natural Populations. *Animals*, 13, 1089.
- Xia, J.H., Bai, Z., Meng, Z., Zhang, Y., Wang, L., Liu, F., Jing, W., Yi Wan, Z., Li, J., Lin, H. and Hua Yue, G., 2015. Signature of selection in tilapia revealed by whole genome resequencing. *Scientific Reports*. 5(15), 1-10.