

KOOPTASI *Gambusia* spp. TERHADAP *Aplocheilichthys panchax* DI HABITAT ASLINYA: MINI-REVIEW

THE COOPTATION OF *Gambusia* spp. TO *Aplocheilichthys panchax* AT ITS NATIVE HABITAT: MINI-REVIEW

Diah Mustikasari¹, Nunik Ekawandani¹, Tami Rahma Lestari¹, Andri Kurniawan^{2,*}

¹Program Studi Biologi, Universitas Wanita Internasional, Bandung, Indonesia

²Program Studi Biologi, Universitas Bangka Belitung, Indonesia

*email penulis korespondensi: andri_pangkal@yahoo.co.id

Abstrak

Aplocheilichthys panchax (Hamilton, 1822), salah satu spesies ikan yang tersebar luas di berbagai perairan dan ditemukan sebagai spesies endemik di wilayah Oriental. Namun, keberadaan *A. panchax* di habitat aslinya berpotensi terancam oleh keberadaan spesies invasif, yaitu *Gambusia* spp. Mini-review ini bertujuan untuk mengelaborasi informasi terkait potensi invasi *Gambusia* spp. terhadap habitat dan sumber daya yang dimiliki *A. panchax* sehingga dapat menyebabkan kepunahan *A. panchax* sebagai *endemic species*, *native species*, atau *indigenous species* di lingkungan aslinya. Hasil mini-review menunjukkan kemampuan hidup dan adaptasi dari *Gambusia* spp. sebagai spesies invasif atau spesies alien menjadi kekuatan baginya untuk mengkooptasi sumber daya di suatu habitat perairan. Hal ini terlihat pada kemampuan *Gambusia* spp. dalam beradaptasi melalui sistem pencernaan, pernafasan dan osmoregulasi, serta reproduksi yang sama atau bahkan lebih baik dibandingkan *A. panchax*. Kemampuan ini dapat membahayakan eksistensi ikan lokal (*indigenous species*), asli (*native species*), atau endemik (*endemic species*) yang memiliki sifat seperti *Gambusia* spp., salah satunya adalah *A. panchax*. Spesies *A. panchax* yang selama ini keberadaannya belum mendapatkan perhatian yang dibuktikan dengan status konservasi *Least Concern* (LC), perlu mendapatkan perhatian lebih di habitat aslinya. Status konservasi tersebut seharusnya perlu direview ulang dikarenakan adanya potensi keterancaman dari ikan invasif seperti *Gambusia* spp. serta potensi kerusakan ekosistem dan habitatnya. Proses domestikasi perlu dilakukan untuk meningkatkan produksi dan produktivitas *A. panchax* sehingga dapat meningkatkan populasi dan mendukung upaya konservasi.

Kata Kunci: Adaptasi, *A. panchax*, *Gambusia* spp., Invasi, Predasi

Abstract

Aplocheilichthys panchax (Hamilton, 1822), one of the fish species widely distributed in various waters and found as an endemic species in the Oriental region. However, the existence of *A. panchax* at its native habitat is potentially threatened by the presence of invasive species, namely *Gambusia* spp. This mini-review aimed to elaborate on information related to the potential invasion of *Gambusia* spp. at the *A. panchax*'s habitat and resources, which can lead to the extinction of *A. panchax* as an endemic species, native species, or indigenous species at its native environment. The results of the mini-review showed the ability of *Gambusia* spp. as an invasive species or alien species to adapt and occupy resources in a aquatic habitat. This was evident in the ability of *Gambusia* spp. to adapt through its digestive, respiratory, and osmoregulatory systems, as well as its reproductive abilities, which were equal to or even better than those of *A. panchax*. This ability could threaten the existence of local species (*indigenous species*), native species, or endemic species that have characteristics similar to those of *Gambusia* spp., one of which is *A. panchax*. The species *A. panchax*, whose existence has not received attention, as evidenced by its conservation status of *Least Concern* (LC), needs more attention at its native habitat. This conservation status should be reviewed again due to the potential threat from invasive fish such as *Gambusia* spp. and the potential destruction for its ecosystem and habitat. Domestication processes need to be carried out to increase the production and productivity of *A. panchax*, thereby increasing its population and supporting conservation efforts.

Keywords: Adaptation, *A. panchax*, *Gambusia* spp., Invasion, Predation

PENDAHULUAN

Genus *Aplocheilus* berasal dari Famili Aplocheilidae dan Ordo Cyprinodontiformes. Genus ini tersebar secara luas di berbagai perairan dan endemik di wilayah Oriental dan menjadi spesies asli di wilayah Andaman, Pakistan, India, Bangladesh, Sri Lanka, Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Namun, spesies *Aplocheilus panchax* yang ditemukan di Filipina dan Timor Leste merupakan spesies introduksi (Pulungan, 2009; Vasil'eva *et al.*, 2013; Dekar *et al.*, 2018; Froese & Pauly, 2021).

Aplocheilus panchax (Hamilton, 1822) memiliki nama global, yaitu *panchax minnow* (Gupta & Banerjee, 2013) atau *blue panchax* (Beck *et al.*, 2017). Ikan ini umumnya dikenal di Indonesia dengan nama lokal ikan kepala timah dan di beberapa daerah menamainya sisik melik, susu melik, sisik malik, bale ulu timah, wader peto, pantau atau nama lainnya.

Ikan ini di habitat aslinya bersifat *surface feeder*. Karakteristiknya sebagai *carnivorous fish*, *larvivorous*, atau *insectivorous fish* (Mustikasari *et al.*, 2023) menjadikannya sebagai salah satu spesies pengendali larva (*biocontrol*) nyamuk (Chandra *et al.*, 2008; Manna *et al.*, 2011). Namun, keberadaan *A. panchax* di habitat aslinya dapat dikatakan terancam akibat kooptasi dari kompetitornya, yaitu *Gambusia* spp.

Gambusia spp. yang dikenal sebagai *plague minnow* dan *mosquitofish* adalah ikan yang berasal dari timur Amerika Utara dan tenggara Amerika Serikat (Pyke 2005, 2008; Mischke *et al.*, 2013). Kemampuan *Gambusia* spp. sebagai predator jentik nyamuk dimanfaatkan oleh manusia untuk mengendalikan penyakit infeksius melalui vektor nyamuk. Introduksi spesies ini ke berbagai wilayah di dunia menjadikan *Gambusia* spp. sebagai spesies invasif yang paling banyak tersebar di dunia. Hal ini mengancam spesies ikan lokal pada habitat yang sama dengannya (Matthews & Marsh-Matthews, 2011; Jourdan *et al.*, 2021; Dina *et al.*, 2022; Xiang *et al.*, 2023). Ikan ini umumnya dikenal di Indonesia dengan nama lokal ikan cere dan di beberapa daerah menamainya merak, blentet, got, cethul, jembling, cempli, gendot, atau nama lainnya.

Mini review ini bertujuan memberikan informasi terkait potensi *Gambusia* spp. untuk mengkooptasi *A. panchax* di habitat aslinya yang menghasilkan ancaman bagi eksistensi dan status konservasi ikan endemik maupun ikan asli.

TELAAH SINGKAT

Aplocheilus panchax (Hamilton, 1822)

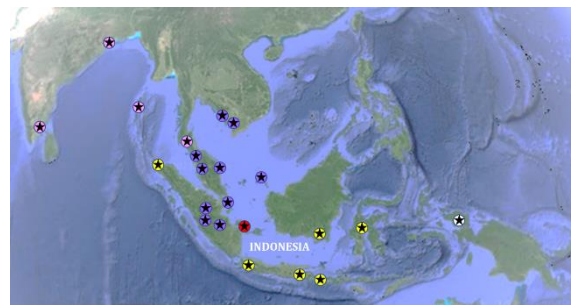
Aplocheilus panchax merupakan spesies dari Genus *Aplocheilus*. Genus ini dikelompokkan ke

dalam Famili Aplocheilidae, Subordo Aplocheiloidei, Ordo Cyprinodontiformes, dan Kelas Actinopterygii (Parenti & Hartel, 2011; Zhang, 2011; Sedlacek *et al.*, 2014; Furness *et al.*, 2015).

Kelompok Cyprinodontiformes memiliki sifat *live bearer*, yaitu telur terbuahi melalui fertilisasi internal dan disimpan di dalam tubuh yang kemudian dilahirkan dalam bentuk anakan ikan atau dikenal juga sebagai *ovoviviparous* (Maulana *et al.*, 2020; Iskandar *et al.*, 2021).

Aplocheiloid killifishes atau *live bearer* memiliki tubuh berukuran kecil, hidup di berbagai perairan, dan memiliki kemampuan adaptasi yang baik sehingga dijadikan sebagai model bioindikator di suatu ekosistem (Pohl *et al.*, 2015; Braganca *et al.*, 2018).

Mustikasari *et al.* (2023) merangkum berbagai penelitian yang menjelaskan bahwa *A. panchax* merupakan spesies endemik di wilayah Oriental dan menjadi spesies asli (*native species*) di Andaman, Pakistan, India, Bangladesh, Sri Lanka, Vietnam, Kamboja, Thailand, Singapura, Malaysia, dan Indonesia. Akan tetapi, spesies *A. panchax* yang ditemukan di Filipina dan Timor Leste dianggap sebagai spesies introduksi. Peta distribusi spesies *A. panchax* ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta distribusi *A. panchax* pada perairan global (redrawn dari Beck *et al.*, 2017; Katwate *et al.*, 2018; Lutfi *et al.*, 2019; Mustikasari *et al.*, 2022).

Genus *Aplocheilus* yang ditemukan di beberapa negara antara lain *A. panchax*, *A. lineatus*, *A. dayi*, *A. werneri*, *A. parvus*, *A. blockii*, dan *A. kirchmayeri*. Spesies-spesies ini ditemukan di Indonesia (Pulungan, 2009; Dekar *et al.*, 2018), Malaysia (Ng *et al.*, 2018), Singapura (Magtoon & Termvidchakorn, 2009; Yeo & Lim, 2010), India (Karunarathna *et al.*, 2010; Dutta *et al.*, 2013; Jyoti & Dutta, 2014; Rao *et al.*, 2014; Jayaneththi, 2015; Sudhan *et al.*, 2017), Bangladesh (Jewel *et al.*, 2018), dan Nepal (Kumar *et al.*, 2011).

A. panchax memiliki morfologi yang unik, yaitu satu bintik putih keperakan pada bagian atas kepala. Bentuk tubuh *A. panchax* menyerupai panah (*sagittiform*) dengan sirip kaudal (caudal) membundar (*rounded*) ataupun meruncing (*rhomboid*) (Mustikasari *et al.*, 2023). Visualisasi populasi *A. panchax* ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Populasi *A. panchax* (dokumentasi pribadi).

***Gambusia* spp.**

Genus *Gambusia* dikelompokkan ke dalam Famili Poeciliidae, Subfamili Poeciliinae, Infrafamili atau Tribus Gambusini, Subordo Cyprinodontoidae, Ordo Cyprinodontiformes, Subklass Actinopterygii, dan Kelas Osteichthyes (Garrett & Edwards, 2003; Qoraqulovich *et al.*, 2022).

Ukuran ikan ini relatif kecil sekitar 10-50 mm atau dapat mencapai sekitar 60 mm. Tubuh berwarna perak atau agak hijau serta memiliki bercak abu-abu dan hitam yang tersebar di tubuhnya. Sirip dorsal berjumlah satu mendekati batang ekor serta sebuah sirip ekor yang besar dan bulat (Pyke, 2005). Visualisasi populasi *Gambusia* spp. ditampilkan pada Gambar 3.

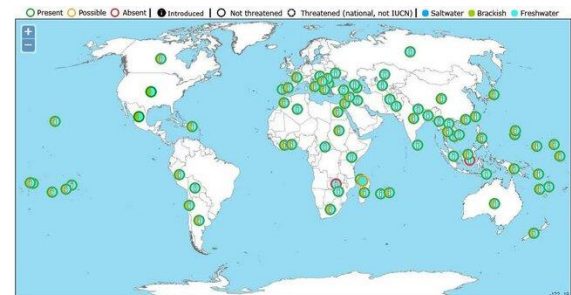


Gambar 3. Populasi *Gambusia* spp. (dokumentasi pribadi).

Gambusia spp. dikenal sebagai *plague minnow* dan *mosquitofish*. Genus ini berasal dari timur Amerika Utara dan tenggara Amerika Serikat (Pyke 2005, 2008; Mischke *et al.*, 2013). Pyke (2005) menjelaskan bahwa *Gambusia* dalam bahasa Latin berarti "tidak ada apa-apa" atau "frustrasi" sehingga ikan ini awalnya dianggap sebagai suatu individu yang "tidak penting" dan "tidak berharga".

Namun sejak *Gambusia* spp. diperkenalkan dan diintroduksi sebagai ikan pengendali larva nyamuk pada awal abad 20 (Yan *et al.*, 2009), maka spesies ini telah menjadi sesuatu yang "penting dan berharga". Spesies ini telah menjadi spesies invasif atau spesies alien yang dapat

membuat "frustrasi" akibat keberadaannya yang mengancam eksistensi ikan lokal di habitat aslinya. *Gambusia* spp. telah menyebar ke seluruh dunia sebagaimana ditampilkan Srean (2015) (Gambar 4).

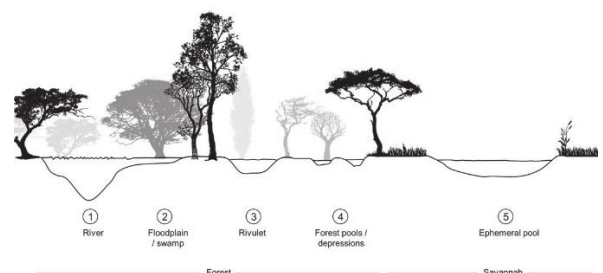


Gambar 4. Distribusi geografis dari *Gambusia affinis* berdasarkan GBIF (2013) (Srean, 2015).

Habitat Genus Aplocheilus dan Gambusia

Ikan dari Genus *Aplocheilus* dan *Gambusia* merupakan bagian dari kelompok *killifish*, yaitu ikan-ikan kecil dari Ordo Cyprinodontiformes yang bersifat dimorfik seksual. Kelompok ini mampu beradaptasi pada perairan yang bersifat musiman. Ikan ini mampu toleransi dan bertahan untuk hidup, kematangan gonad, serta perkembangan reproduksi dari telur, embrio, hingga tumbuh dewasa pada kondisi perairan ekstrem (Furness, 2015).

Kelompok ikan *killifish* umumnya dapat hidup di perairan mengalir (lotik) seperti sungai, delta, dan estuaria serta perairan tergenang (lentik) seperti danau, kolam, dan rawa atau lahan basah (Prowse *et al.*, 2006). Kelompok ikan ini juga dapat beradaptasi di perairan semi lentik seperti danau yang dipengaruhi kondisi banjir, kolam penampungan, atau reservoir (Esguicero & Arcifa, 2010) yang disebut sebagai perairan ephemeral (Turko & Wright, 2015). Perairan ephemeral dapat terbentuk selama musim hujan dan surut pada musim kemarau. Perairan ini juga berupa genangan air yang tidak berhubungan langsung dengan badan air permanennya (Gambar 5) (Furness, 2015).



Gambar 5. Tipe habitat ikan *killifishes* (Furness, 2015).

A. panchax maupun *Gambusia* spp. ditemukan di berbagai perairan, antara lain di tepian sungai, aliran sungai dengan arus lemah,

danau, aliran irigasi, persawahan, hingga perairan payau. Lebih spesifik, *Gambusia* spp. bahkan ditemukan di saluran atau kanal aliran drainase dan saluran pembuangan yang terdapat di sekitar lingkungan rumah tinggal. Hasil observasi menunjukkan bahwa *A. panchax* hidup di perairan yang berarus lemah, tenang, atau tidak berarus dan cenderung berlindung di bebatuan, serasah, akar tanaman, atau bahan lainnya yang terdapat di perairan untuk melindungi dirinya. Sedangkan *Gambusia* spp. dapat menempati perairan yang tidak berarus, berarus lemah, sedang, hingga cukup deras. Kemampuan hidup di berbagai kondisi perairan ini dapat menyebabkan *Gambusia* spp. memiliki daerah distribusi yang luas. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa ikan dari Famili Aplocheilidae dan Poeciliidae mampu hidup pada rentang kualitas perairan yang luas (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik perairan ikan Famili Aplocheilidae dan Famili Poeciliidae

Parameter Perairan	Nilai	
	a)Famili Aplocheilidae	b)Famili Poeciliidae
Temperature (°C)	19-32	12.41-31.4
pH	3.81-9,23	6.8-8.75
DO (mg.L ⁻¹)	0,02-14,4	2.68-8.4
COD (mg.L ⁻¹)	6.21-299	-
BOD (mg.L ⁻¹)	0,01-338	-
Kesadahan total (mg.L ⁻¹)	33-356	-
Alkalinitas (mg.L ⁻¹)	18-360	-
Konduktivitas (mhos.cm ⁻¹)	19.03-2900	-
Turbiditas (NTU)	14-32	4.4-18.6
TDS (mg.L ⁻¹)	135-1451,6	-

^a(Prasad, 2009; Raja *et al.*, 2015; Karuppaiah & Ramesh, 2016; Kurniawan *et al.*, 2023; Mustikasari, 2023; Mustikasari *et al.*, 2020); ^b(Piazza & La Peyre, 2010; Akhurst *et al.*, 2012; Chalabia *et al.*, 2022).

KOOPTASI *Gambusia* spp. PADA *A. panchax* DI HABITAT ASLINYA

Kooptasi dapat didefinisikan sebagai proses yang dilakukan oleh satu atau kelompok individu untuk mengambil alih suatu wilayah atau sumber daya dari individu pemilik aslinya atau individu yang lebih kecil dan lemah. Uraian tentang kemampuan *Gambusia* spp. mengkooptasi *A. panchax* dimaksudkan untuk mendeskripsikan kekuatan *Gambusia* spp. sebagai organisme invasif untuk mengambil alih sumber daya dan wilayah dari kekuasaan *A. panchax* di habitat aslinya. Gambar 2 dan Gambar 3 memberi gambaran bahwa populasi *Gambusia* spp. lebih banyak dibandingkan *A. panchax* sehingga *Gambusia* spp. berpotensi besar mengkooptasi habitat dan keberadaan *A. panchax*. Kemampuan kooptasi ini ditinjau dari kemampuan adaptasi *Gambusia* spp. di habitat asli *A. panchax* yang menyebabkan *Gambusia* spp. memenangkan kompetisi pada hubungan ekologi tersebut. Kooptasi tersebut didukung oleh kemampuan

adaptasi suatu individu terhadap kondisi internal maupun eksternalnya, antara lain adaptasi sistem pencernaan, sistem pernafasan dan osmoregulasi, serta sistem reproduksi.

A. Adaptasi sistem pencernaan

Adaptasi sistem pencernaan berkaitan dengan kebiasaan makan (*food habit*). Salah satu pakan alami *Gambusia* spp. dan *A. panchax* adalah jentik nyamuk (Lukas *et al.*, 2021; Putri *et al.*, 2022; Tyagnes-Hanindia *et al.*, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa kedua jenis ini bersifat *larvivorous* (Sangeetha *et al.*, 2021; Mustikasari *et al.*, 2023). *Gambusia* spp. juga memakan serangga sebagaimana juga dilakukan *A. panchax* sehingga keduanya juga bersifat *insectivorous* (Chalabia *et al.*, 2022; Mustikasari *et al.*, 2023).

Afikasi predasi *A. panchax* memang lebih baik dibandingkan dengan *Gambusia affinis*, *Danio malabaricus*, dan *Poecilia reticulata* (Sangeetha *et al.*, 2021). Namun, kesamaan jenis pakan alami tersebut menyebabkan *Gambusia* spp. dapat menjadi kompetitor bagi *A. panchax* dalam perebutan mangsa alamnya. Hal yang lebih membahayakan bagi *A. panchax* adalah kemampuan *Gambusia* spp. sebagai omnivora, meskipun kecenderungannya sebagai predator. *Gambusia* spp. dapat mengkonsumsi berbagai jenis pakan di alam seperti invertebrata, alga, ikan, telur ikan dan amfibi, serta ikan atau amfibi pada fase larva. *Gambusia* spp. bahkan dapat mengubah pola makanannya tergantung keberadaan pakan di habitatnya (Singh & Gupta, 2010; Chalabia *et al.*, 2022). Kemampuan *Gambusia* spp. memakan plankton dikenal dengan istilah *planktivorous* (Akhurst *et al.*, 2012). Kemampuan *Gambusia* spp. untuk mengkonsumsi telur atau larva ikan berpotensi dikategorikan sebagai *piscivorous* (Langerhans *et al.*, 2004). Dengan demikian, potensi *Gambusia* spp. sebagai *piscivorous* dapat mengancam larva dari *A. panchax* di habitat yang sama. Kondisi ini mengakibatkan larva *A. panchax* dapat menurun jumlahnya di perairan sehingga berkorelasi pada sedikitnya populasi *A. panchax* dewasa (Gambar 2) dibandingkan dengan populasi *Gambusia* spp. (Gambar 3).

B. Adaptasi sistem pernafasan dan osmoregulasi

Adaptasi sistem pernafasan dan osmoregulasi adalah salah satu kunci penting bagi ikan untuk beradaptasi di lingkungannya. Adaptasi ini berkaitan dengan aliran keluar masuknya ion-ion tubuh dan lingkungan yang dapat menentukan keseimbangan tekanan cairan dalam tubuh ikan terhadap lingkungannya.

Kurniawan & Mustikasari (2021) telah menjelaskan bahwa ikan memiliki mekanisme transpor ion yang berfungsi untuk membantu menyeimbangkan kondisi homeostatis tubuhnya

terhadap kondisi lingkungannya. Mekanisme ini dilakukan dengan mengatur keseimbangan pH intraseluler dan ekstraseluler antara tubuh dan lingkungan. Claiborne *et al.* (2002) menjelaskan bahwa ikan melakukan strategi paralel buffering dan ekskresi di dalam beradaptasi terhadap perubahan pH selulernya.

Menurut Hwang *et al.* (2011), ikan mengatur stabilitas pH selulernya melalui pengaturan keseimbangan ion-ion seperti H^+ dan HCO_3^- . Pengaturan keseimbangan ion dilakukan melalui transfer branchial atau transfer gas. Piiper (1998) menjelaskan bahwa transfer gas terjadi pada insang yang mengalami aliran gas melalui ventilasi, transfer air-darah, dan aliran darah yang dicirikan oleh konduktansi. Konduktansi ventilasi dan perfusi merupakan hasil dari laju aliran dan kelarutan efektif. Konduktansi difusi transfer air-darah (kapasitas difusi) bergantung pada sifat difusi dari jaringan air-darah dan air interlamelar.

Homeostatis menyebabkan terjadinya pertukaran ion di dalam sel dengan tujuan untuk mencegah terjadinya pengasaman cairan atau plasma sel maupun kehilangan ion Na^+ tubuhnya. Jaringan insang memiliki struktur folikel yang mengandung sel klorida, sel mitochondrion-rich (MR), atau ionosit. Sel-sel tersebut mengandung Na^+ -K-ATPase, Na^+ / H^+ exchanger tipe 3 (NHE3), kotransporter Na^+ - HCO_3^- tipe 1, dan aquaporin-3. Kandungan seluler tersebut berperan dalam menjaga stabilitas dan keseimbangan kondisi pH seluler terhadap dengan lingkungannya (Hirata *et al.*, 2003; Hwang *et al.*, 2011; Daurte *et al.*, 2013). Oleh karena itu, insang menjadi salah satu organ yang sangat penting dalam proses homeostatis seluler ikan (Evans *et al.*, 2005).

Kemampuan adaptasi ikan di dalam kondisi ekstrem juga didukung oleh mekanisme biokimiawi. Aspek biokimia melibatkan protein Metallothionein (MTs). MTs adalah kelompok protein yang mengandung banyak asam amino sistein yang juga berperan dalam pengikatan logam berat. Logam berat berikatan dengan MTs sehingga konsentrasi logam berat di dalam tubuh tetap seimbang (homeostatis) dan detoksifikasi logam berat yang berbahaya bagi selnya (Sabolic *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014). Lindique *et al.* (2010) dan Ruttkay-Nedecky *et al.* (2013) menjelaskan bahwa MTs berperan dalam mengikat radikal bebas yang menyebabkan reactive oxygen species-ROS dan reactive nitrogen species-RNS seluler.

Kemampuan ikan-ikan ekstremofil seperti *Gambusia* spp. dan *A. panchax* dalam beradaptasi terhadap lingkungan ekstremnya didukung oleh adaptasi pernafasan dan osmoregulasinya. Hal ini menjadi faktor pendukung bagi *Gambusia* spp. dapat bertahan di lingkungan ekstrem yang juga menjadi habitat *A. panchax*. Dengan demikian,

sifat ini secara tidak langsung mendukung eksistensi *Gambusia* spp. sebagai kompetitor bagi *A. panchax* di habitat aslinya. Lebih jauh, kompetisi ini dapat menimbulkan dampak negatif bagi eksistensi *A. panchax* di habitatnya.

C. Adaptasi sistem reproduksi

Ikan *killifish* mampu bertahan pada kondisi ekstrem. Hal ini disebabkan oleh dua hal, yaitu kemampuan embrio dan individunya untuk beradaptasi dan bertahan hidup (*survive*) pada kondisi lingkungan ekstrem tersebut (Kurniawan & Mustikasari, 2021).

Genus *Gambusia* dan Genus *Aplocheilus* mampu melakukan perlambatan (penghentian) perkembangan embrionya di suatu lingkungan yang tidak ideal bagi perkembangannya. Fase penghambatan ini disebut fase diapause. Kedua genus ini mengalami fase diapause, meskipun fase embrionik tidak memiliki fase diapause II (Furness, 2015; Riesch *et al.*, 2015).

Fase diapause dilakukan oleh kelompok *killifishes* untuk meminimalkan konsumsi dan metabolisme aerobik dari embrio. Aktivitas ini menyebabkan aktivitas biologis, konsumsi oksigen, serta siklus sel berlangsung lambat (Podrabsky & Hand, 2015) sehingga embrio ikan dapat mengalami fase dormansi. Kondisi ini mengakibatkan, telur ikan dapat bertahan pada kondisi lingkungan yang tidak ideal dan kemudian akan menetas ketika kondisi perairan sudah ideal bagi penetasannya. Furness (2015) menjelaskan ikan *killifish* mampu menghasilkan telur yang kuat dan tahan pada kondisi kering, terkubur di dalam tanah dalam waktu yang lama. Ketika kondisi perairan telah cocok bagi perkembangan embrio, maka telur tersebut akan menetas menjadi individu baru.

Telur ikan yang bertahan pada kondisi ekstrem disebabkan keberadaan selaput pada permukaan telur (*chorion*) yang menebal. Hal ini menyebabkan telur dapat bertahan pada kondisi minim air saat kemarau sehingga embriogenesis dapat terhambat atau terhenti sementara dalam waktu harian, bulanan, hingga tahunan. Kondisi ini mengakibatkan terjadi penundaan penetasan telur (*delayed hatching*) (Dominguez-Castanedo *et al.*, 2013; Berois *et al.*, 2014; Dolfi *et al.*, 2014; Furness, 2015; Furness *et al.*, 2018).

Kesamaan kemampuan diapause dari kedua genus menyebabkan *Gambusia* spp. dapat eksis dan beradaptasi pada kondisi lingkungan yang sama dengan *A. panchax*. Namun, *Gambusia* spp. berpotensi berkembang biak dengan cepat. *Gambusia* betina dapat dewasa dalam waktu hanya 18 hari dan kemudian dapat memiliki lima atau lebih kelompok telur menetas dalam 4-5 minggu sepanjang satu musim. Betina *Gambusia* spp. melahirkan anak dengan kelangsungan hidup (*survival rate*) lebih tinggi. Hal ini

menyebabkan ukuran populasi *Gambusia* spp. di suatu habitat dapat meningkat dengan sangat cepat (Pyke, 2008). Kondisi ini juga terkonfirmasi dari hasil observasi yang menunjukkan di musim kemarau, keberadaan dan populasi *Gambusia* spp. lebih banyak dibandingkan *A. panchax*. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa kemampuan bertahan hidup, beradaptasi, dan bereproduksi *Gambusia* spp. lebih baik dibandingkan *A. panchax*. Populasi *Gambusia* spp. bertambah banyak ketika musim hujan, meskipun populasi *A. panchax* juga meningkat dibandingkan saat musim kemarau.

Kemampuan ini dapat menjadi ancaman bagi eksistensi *A. panchax* di habitatnya karena potensi reproduksi *A. panchax* yang lebih sedikit dan lambat dibandingkan dengan *Gambusia* spp. Kemampuan produksi *A. panchax* yang rendah dapat menyebabkan populasinya lebih sedikit dibandingkan *Gambusia* spp. (Gambar 2 dan Gambar 3).

PEMBAHASAN

Konservasi didefinisikan secara umum sebagai upaya untuk mempertahankan atau memulihkan keanekaragaman hayati dan lingkungan. Konservasi bertujuan untuk menjaga keseimbangan ekologi dan kelangsungan hidup lingkungan dalam jangka panjang, termasuk organisme di dalamnya pada tingkat genetik, spesies, hingga ekosistem (Swingland, 2001).

Lebih spesifik, konservasi dapat ditujukan pada upaya untuk menjaga eksistensi dan kelangsungan hidup spesies endemik dan spesies asli di suatu habitat dari ancaman kepunahan akibat kerusakan habitat maupun kooptasi atau invasi dari *alien species* (*invasive alien species*).

Spesies endemik (*endemic species*) adalah organisme yang teridentifikasi berada di suatu negara atau wilayah tertentu dan tidak ditemukan di negara atau wilayah lainnya (Kraus *et al.*, 2023). Spesies asli (*native species*) atau *indigenous species* adalah spesies yang hidup di suatu wilayah, pada waktu tertentu, dan menyebar ke lokasi tersebut dengan caranya sendiri, terjadi secara alami (natural), atau tanpa campur tangan manusia (Berthon *et al.*, 2021). Spesies asli merupakan spesies awal yang mendiami suatu perairan, akan tetapi spesies tersebut juga dapat hidup di perairan lain dalam wilayah terbatas (Syafei & Sudinno, 2018).

Spesies asing (*alien species*) atau *non-indigenous species* adalah organisme berasal dari luar wilayah endemik atau asli yang keberadaannya di suatu wilayah disebabkan oleh keterlibatan manusia secara sengaja atau tidak sengaja untuk diperkenalkan di suatu wilayah dengan tujuan tertentu ataupun tanpa tujuan. Spesies asing ini dapat menginvasi dan

keberadaannya dapat melimpah sehingga dikenal juga dengan istilah *invasive alien species* (IAS). Beberapa istilah lainnya yang digunakan untuk menggambarkan spesies invasif adalah *aliens*, *naturalized species*, *non-indigenous*, *invaders*, *colonizers*, *pests*, *weeds*, *immigrants*, *neophytes*, *transformers*, *exotics*, *introduced species*, dan bahkan disebut juga sebagai *bioterrorists* (Wijesundara, 2010).

Keberadaan spesies asing di suatu wilayah endemik dapat terjadi melalui beberapa cara, yaitu program yang dilakukan untuk tujuan tertentu seperti penanggulangan wabah penyakit (contoh: introduksi *Gambusia* spp. untuk penanggulangan jentik nyamuk), peningkatan produksi perikanan, khususnya sektor budidaya (contoh: ikan nila, patin, dan sebagainya), dibawa oleh para penghobi ikan hias dan ikan konsumsi, atau berada di suatu perairan dengan sengaja atau tidak sengaja secara alami maupun aktivitas antropogenik (Syafei & Sudinno, 2018). Dengan demikian, sifat spesies asing dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu mengganggu dan tidak mengganggu terhadap populasi spesies endemik dan spesies asli di suatu lingkungan introduksi spesies asing.

Kondisi yang dikhawatirkan dari ancaman invasi spesies asing adalah kepunahan spesies endemik atau spesies asli. Menurut Isik, (2011), spesies endemik atau spesies asli lebih rentan punah dibandingkan spesies invasif. Beberapa penyebab kerentanan spesies endemik atau spesies asli antara lain (1) wilayah sebaran geografis yang sempit dan tunggal, (2) hanya terdapat satu atau beberapa populasi, (3) ukuran populasi kecil dan sedikit variabilitas genetik, (4) eksploitasi berlebihan oleh manusia, (5) ukuran populasi menurun, (6) potensi reproduksi rendah, (7) kebutuhan relung ekologi khusus, dan (8) pertumbuhan yang membutuhkan lingkungan stabil dan relatif konstan.

Status konservasi *A. panchax* berdasarkan IUCN *Red List of Threatened Species* sejauh ini masih dianggap sebagai organisme yang sedikit mendapatkan perhatian, tidak dikhawatirkan kepunahannya, atau *Least Concern* (LC) (Kurniawan *et al.*, 2023). Namun demikian, keberadaan ikan invasif seperti *Gambusia* spp. atau spesies lainnya yang memiliki karakteristik habitat dan pakan alami yang sama berpotensi mengancam keberadaan *A. panchax* di habitat aslinya. Kemampuan beradaptasi dan predasi yang dimiliki *Gambusia* spp. menjadi faktor yang sangat mendukung terjadinya ancaman serta proses kooptasi wilayah dan sumber daya yang dimiliki dan dibutuhkan *A. panchax* untuk hidup di habitat aslinya. Kehadiran *Gambusia* spp. telah merugikan *A. panchax* terkait predasi serta kompetisi terhadap relung dan makanan alami di habitat aslinya.

Oleh karena *Gambusia* spp. telah menyebar di berbagai perairan di dunia, maka keberadaan *Gambusia* spp. sulit dikendalikan. Bahkan, ikan ini telah menyatu sebagai bagian tidak terpisahkan dari ekosistem di perairan tersebut. Keberadaan *Gambusia* spp. memang dapat berpotensi mengambil alih atau kooptasi habitat *A. panchax*. Namun demikian, keberadaan *Gambusia* spp. yang telah menyatu dan menyebar di perairan endemik tetap dapat diambil kemanfaatannya bagi suatu ekosistem.

Kemampuan bertahan hidup, beradaptasi, dan reproduksi yang tinggi dari *Gambusia* spp. dapat dimanfaatkan untuk membantu meningkatkan ketersediaan bahan organik di suatu perairan, terutama di perairan ekstrem yang memiliki kesuburan perairan rendah. Peran utamanya sebagai predator jentik nyamuk juga dapat dioptimalkan, khususnya di daerah yang rawan berbagai penyakit melalui vektor nyamuk seperti malaria, demam berdarah, dan filariasis.

Berkenaan dengan eksistensi *A. panchax* sebagai ikan endemik atau ikan asli, maka upaya domestikasi sangat perlu dilakukan untuk meningkatkan produktivitasnya. Upaya budidaya atau akuakultur diperlukan untuk meningkatkan populasi agar terhindar dari kepunahan populasi di habitat aslinya. Penelitian yang relevan sangat penting dilakukan untuk mendukung upaya domestikasi dan konservasi spesies *A. panchax*.

KESIMPULAN

Kemampuan hidup dan adaptasi dari *Gambusia* spp. sebagai spesies invasif atau spesies alien menjadi kekuatan baginya untuk mengkooptasi sumber daya di suatu habitat perairan. Hal ini terlihat pada kemampuan *Gambusia* spp. dalam beradaptasi melalui sistem pencernaan, pernafasan dan osmoregulasi, serta reproduksi yang sama atau bahkan lebih baik dibandingkan *A. panchax*. Kemampuan ini dapat membahayakan eksistensi ikan lokal (*indigenous species*), asli (*native species*), atau endemik (*endemic species*) yang memiliki sifat seperti *Gambusia* spp., salah satunya adalah *A. panchax*. Spesies *A. panchax* yang selama ini keberadaannya belum mendapatkan perhatian yang dibuktikan dengan status konservasi *Least Concern* (LC), perlu mendapatkan perhatian lebih di habitat aslinya. Status konservasi tersebut seharusnya perlu direview ulang dikarenakan adanya potensi keterancaman dari ikan invasif seperti *Gambusia* spp. serta potensi kerusakan ekosistem dan habitatnya. Proses domestikasi perlu dilakukan untuk meningkatkan produksi dan produktivitas *A. panchax* sehingga dapat meningkatkan populasi dan mendukung upaya konservasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhurst DJ, Jones GB, Clark M, Reichelt-Brushett A. 2012. Effects of carp, *Gambusia*, and Australian bass on water quality in a subtropical freshwater reservoir. *Lake and Reservoir Management* 28(3): 212-223
- Beck SV, Carvalho GR, Barlow A, Ruber L, Tan HH, Nugroho E, Wowor D, Nor SAM, Herder F, Muchlisin ZA, De Bruyn M. 2017. Plio-pleistocene phylogeography of the Southeast Asian blue panchax killifish, *Aplocheilichthys panchax*. *PLoS One* 12(7): e0179557
- Berois N, Arezo MJ, De Sa RO. 2014. The Neotropical Genus *Austrolebias*: An emerging model of annual killifishes. *Cell & Developmental Biology* 3(2): 1000136
- Berthon K, Thomas F, Bekessy S. 2021. The role of 'nativeness' in urban greening to support animal biodiversity. *Landscape and Urban Planning* 205: 103959
- Braganca PHN, Amorim PF, Costa WJEM. 2018. Pantanodontidae (Teleostei, Cyprinodontiformes), the sister group to all other cyprinodontoid killifishes as inferred by molecular data. *Zoosystematics and Evolution* 94(1): 137-145
- Chalabia CD, Zohra KF, Saida B, Fayrouz S, Boucena MA. 2022. Eco-biological study of the mosquitofish *Gambusia affinis* from Oubeira lake. *Journal of Aquaculture and Fish Health* 11(2): 201-209
- Chandra G, Bhattacharjee I, Chatterjee SN, Ghosh A. 2008. Mosquito control by larvivorous fish. *Indian Journal of Medical Research* 127(1): 13-27
- Claiborne JB, Edwards SL, Morrison-Shetlar AI. 2002. Acid-base regulation in fishes: cellular and molecular mechanisms. *Journal of Experimental Zoology* 293(3): 302-319
- Dekar M, Sarong MA, Batubara AS, Muchlisin ZA. 2018. Ichthyofauna of Aceh River, Aceh Province, Indonesia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 216(1): 012024
- Dina R, Wahyudewantoro G, Larashati S, Aisyah S, Lukman, Sulastri, Imroatushshoolikhah, Sauri S. 2022. Distributional mapping and impacts of invasive alien fish in Indonesia: an alert to inland waters sustainability. *Sains Malaysiana* 51(8): 2377-2401
- Dolfi L, Ripa R, Cellerino A. 2014. Transition to annual life history coincides with reduction in cell cycle speed during early cleavage in three independent clades of annual killifish. *EvoDevo* 5(32): 1-9
- Dominguez-Castanedo O, Mosqueda-Cabrera MA, Valdesalici S. 2013. First observations of annualism in *Millerichthys robustus* (Cyprinodontiformes: Rivulidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters* 24(1): 15-20
- Duarte RM, Ferreira MS, Wood CM, Val AL. 2013. Effect of low pH exposure on Na⁺ regulation in two cichlid fish species of the Amazon. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 166(3): 441-448

- Dutta AL, Chakraborty D, Dey SK, Manna AK, Manna PK. 2013. Ornamental fishes of coastal West Bengal, India-Prospects of conservation and involvement of local fishermen. *Natural Resources* 4(2): 155-162
- Evans DH, Piermarini PM, Choe KP. 2005. The multifunctional fish gill: Dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological Reviews* 85(1): 97-177
- Froese R, Pauly D. 2021. *Aplocheilus panchax* (Hamilton, 1822). Diakses [Maret 2025] di <https://fishbase.mnhn.fr/summary/SpeciesSummary.php?ID=4756&AT=Jhingra>
- Furness AI, Reznick DN, Springer MS, Meredith RW. 2015. Convergent evolution of alternative developmental trajectories associated with diapause in African and South American killifish. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 282(1802): 20142189
- Furness AI, Reznick DN, Tatarenkov A, Avise JC. 2018. The evolution of diapause in *Rivulus* (Laimosemion). *Zoological Journal of the Linnean Society* 2018(20): 1-18
- Furness AI. 2015. The evolution of an annual life cycle in killifish: adaptation to ephemeral aquatic environments through embryonic diapause. *Biological Reviews* 91(3): 796-812
- Garrett GP, Edwards RJ. 2003. New species of *Gambusia* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) from Del Rio, Texas. *Copeia* 2003(4): 783-788
- Gupta S, Banerjee S. 2013. Comparative assessment of mosquito biocontrol efficiency between guppy (*Poecilia reticulata*) and panchax minnow (*Aplocheilus panchax*). *Bioscience Discovery* 4(1): 89-95
- Hirata T, Kaneko T, Ono T, Nakazato T, Furukawa N, Hasegawa S, Wakabayashi S, Shigekawa M, Chang M, Romero MF, Hirose S. 2003. Mechanism of acid adaptation of a fish living in a pH 3.5 lake. *American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 284(5): R1199-R1212
- Hwang PP, Lee TH, Lin LY. 2011. Ion regulation in fish gills: Recent progress in the cellular and molecular mechanisms. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 301(1): R28-R47
- Işik K. 2011. Rare and endemic species: why are they prone to extinction?. *Turkish Journal of Botany* 35(4): 411-417.
- Iskandar A, Rafiuddin MA, Sudrajat AO. 2021. Improvement of livebearer fish reproductive performance using Oocyte Developer (OODEV). In *E3S Web of Conferences* (Vol. 322, p. 02001). EDP Sciences
- Jafari A, Enayati A, Jafari F, Haghi FM, Hosseini-Vasoukolaei N, Sadeghnezhad R, Azarnoosh M, Fazeli-Dinan M. 2019. A narrative review of the control of mosquitoes by larvivorous fish in Iran and the world. *Iranian Journal of Health Sciences* 7(2): 49-60
- Jayaneththi HB. 2015. Vertebrate fauna of Morankanda-Mukalana secondary forest patch in Sri Lanka: a checklist reported from 2004-2008 survey. *Ruhuna Journal of Science* 6(1): 21-41
- Jewel MAS, Haque MA, Khatun R, Rahman MS. 2018. A comparative study of fish assemblage and diversity indices in two different aquatic habitats in Bangladesh: Lakhandaha Wetland and Atari River. *Jordan Journal of Biological Sciences* 11(4): 427-434
- Jourdan J, Riesch R, Cunze S. 2021. Off to new shores: Climate niche expansion in invasive mosquitofish (*Gambusia* spp.). *Ecology and Evolution* 11(24): 18369-18400
- Jyoti S, Dutta A. 2014. Ornamental fishes in Rowmari Floodplain Wetland, Darrang District, Assam. *Science* 2(1): 11-24
- Karunarathna DMS, Amarasinghe AA, Gabadage D, Bahir M, Harding L. 2010. Current status of faunal diversity in Bellawila-Attidiya Sanctuary, Colombo District-Sri Lanka. *Taprobanica Nature Conservation Society: The Journal of Asian Biodiversity* 2(1): 48-63
- Katwate U, Kumkar P, Britz R, Raghavan R, Dahanukar N. 2018. The identity of *Aplocheilus andamanicus* (Kohler, 1906) (Teleostei: Cyprinodontiformes), an endemic killifish from the Andaman Island, with notes on *Odontopsis armata* van Hasselt. *Zootaxa* 4382(1): 159-174
- Kraus D, Enns A, Hebb A, Murphy S, Drake DAR, Bennett B. 2023. Prioritizing nationally endemic species for conservation. *Conservation Science and Practice* 5(1): e12845
- Kumar P, Barma SK, Subba BR. 2011. A checklist of fishes of eastern Terai of Nepal. *Nepalese Journal of Biosciences* 2011(1): 63-65
- Kurniawan A, Mustikasari D, Kurniawan A, Muntoro, Setiadi J, Kholishah NA. 2023. The life of *Aplocheilus panchax* in abandoned post-tin mining waters: A review. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation* 16(5): 2881-2890
- Kurniawan A, Mustikasari D. 2021. Review tentang kemampuan ikan ekstremofil untuk hidup di perairan asam dan terkontaminasi logam berat pascapenambangan timah. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 19(3): 541-554
- Langerhans RB, Layman CA, Shokrollahi AM, DeWitt TJ. 2004. Predator-driven phenotypic diversification in *Gambusia affinis*. *Evolution* 58(10): 2305-2318
- Lindeque JZ, Levanets O, Louw R, Van Der Westhuizen FH. 2010. The involvement of metallothioneins in mitochondrial function and disease. *Current Protein and Peptide Science* 11(4): 292-309
- Liu Y, Wu H, Kou L, Liu X, Zhang J, Guo Y, Ma E. 2014. Two metallothionein genes in *Oxya chinensis*: Molecular characteristics, expression patterns and roles in heavy metal stress. *PloS One* 9(11): e112759
- Lukas JL, Adrianto H, Darmanto AG. 2021. Kemampuan predasi ikan kepala timah *Aplocheilus panchax* jantan dan betina terhadap larva nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal Kesehatan Andalas* 9(4): 387-391

- Lutfi HA, Manaf M, Lapadi I, Dailami M. 2019. Genetic identification of *Aplocheilus panchax* from the waters of West Papua using molecular approach for preventing the spread of malaria. *Indian Journal of Public Health* 10(10): 1349-1353
- Magtoon W, Termvidchakorn A. 2009. A revised taxonomic account of ricefish *Oryzias* (Belontiiformes; Adrianichthyidae), in Thailand, Indonesia and Japan. *Tropical Natural History* 9(1): 35-68
- Manna B, Aditya G, Banerjee S. 2011. Habitat heterogeneity and prey selection of *Aplocheilus panchax*: an indigenous larvivorous fish. *Journal of Vector Borne Diseases* 48(3): 144-149
- Matthews WJ, Marsh-Matthews EDIE. 2011. An invasive fish species within its native range: community effects and population dynamics of *Gambusia affinis* in the central United States. *Freshwater Biology* 56(12): 2609-2619
- Maulana F, Zairin Jr M, Alimuddin A, Abadi M, Fitrih AN. 2020. Coral platy fish *Xiphophorus maculatus* hormonal induction to improve mass spawning efficiency. *Jurnal Akuakultur Indonesia* 19(2): 181-189
- Mischke CC, Griffin MJ, Greenway TE, Wise D. 2013. Effects of mosquitofish, *Gambusia affinis*, on channel catfish, *Ictalurus punctatus*, production ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 44(2): 288-292
- Murillo DP, Mendiola RJL, Luna BS. 2004. Culture of *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae) in tropical water bodies, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical* 52(4): 951-958
- Mustikasari D, Kurniawan A, Aznur BS. 2023. Komunikasi singkat: Kebiasaan makan ikan kepala timah (*Aplocheilus panchax*, Hamilton 1822) di perairan ekstrem asam pascatambang timah terabaikan. *Journal of Aquatropica Asia* 8(1): 13-16
- Mustikasari D, Nuryanto A, Suryaningsih S. 2020. The presence of blue panchax (*Aplocheilus panchax*) in the waters, contaminated by heavy metals, of the abandoned tin mining pits of different age. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation* 13(5): 2538-2550
- Mustikasari D, Nuryanto A, Suryaningsih S. 2022. Phylogeography of *Aplocheilus panchax* in Indonesia, with special focus on the Bangka Island population. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 23(4): 2035-2046
- Mustikasari D. 2023. Genetika populasi ikan kepala timah, *Aplocheilus panchax* (Hamilton, 1822) di perairan tertutup danau pascatambang timah di Pulau Bangka. Doctoral Thesis. Universitas Jenderal Soedirman
- Ng CKC, Ooi PAC, Wong WL, Khoo G. 2018. Ichthyofauna checklist (Chordata: Actinopterygii) for indicating water quality in Kampar River catchment, Malaysia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 19(6): 2252-2274
- Parenti LR, Hartel KE. 2011. Osteology identifies *Fundulus capensis* Garman, 1895 as a killifish in the family Fundulidae (Atherinomorpha: Cyprinodontiformes). *Copeia* 2011(2): 242-250
- Piazza BP, La Peyre MK. 2010. Using *Gambusia affinis* growth and condition to assess estuarine habitat quality: A comparison of indices. *Marine Ecology Progress Series* 412: 231-245
- Piiper J. 1998. Branchial gas transfer models. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 119(1): 125-130
- Podrabsky JE, Hand SC. 2015. Physiological strategies during animal diapause: lessons from brine shrimp and annual killifish. *Journal of Experimental Biology* 218(12): 1897-1906
- Pohl M, Milvertz FC, Meyer A, Vences M. 2015. Multigene phylogeny of Cyprinodontiform fishes suggests continental radiations and a rogue taxon position of *Pantanodon*. *Vertebrate Zoology* 65(1): 37-44
- Pulungan CP. 2009. Fauna ikan dari Sungai Tenayan, anak Sungai Siak, dan rawa di sekitarnya, Riau. *Berkala Perikanan Terubuk* 37(2): 78-90
- Putri AM, Setiadi D, Oktari V, Kurniawan A. 2022. Potensi ikan kepala timah (*Aplocheilus panchax* Hamilton, 1822) sebagai agen biokontrol jentik nyamuk di Pulau Bangka. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan* 13(2): 98-104
- Pyke GH. 2005. A review of the biology of *Gambusia affinis* and *G. holbrooki*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 15: 339-365
- Pyke GH. 2008. Plague minnow or mosquito fish? A review of the biology and impacts of introduced *Gambusia* species. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 39(1): 171-191
- Qoraqulovich AQ, Shavkatovna MA, Turayevich UM. 2022. Morphometric characteristics of *Gambusia holbrooki* and *Gambusia affinis* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) distributed on the plains of the Chirchik River, Uzbekistan. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries* 26(1): 341-350
- Rao JCS, Raju CS, Simhachalam G. 2014. Biodiversity and conservation status of fishes of River Sarada, Visakhapatnam District, Andhra Pradesh, India. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences* 2(2): 1-8
- Riesch R, Tobler M, Plath M. 2015. Extremophile fishes: ecology, evolution, and physiology of teleosts in extreme environments. Springer. New York
- Ruttkey-Nedecky B, Nejdil L, Gumulec J, Zitka O, Masarik M, Eckschlager T, Stiborova M, Adam V, Kizek R. 2013. The role of metallothionein in oxidative stress. *International Journal of Molecular Sciences* 14(3): 6044-6066
- Sangeetha S, Devahita AA, Arathilal, Aiswarya T, Parvin MS, Smitha MS, Anulal P, Afra A, Arun S, Asifa DKP. 2021. Comparative efficiency of larvivorous fishes against *Culex* mosquitoes: implications for biological control. *International Journal of Mosquito Research* 8(3): 16-21

- Sedlacek O, Baciakova B, Kratochvil K. 2014. Evolution of body colouration in killifishes (Cyprinodontiformes: Aplocheilidae, Nothobranchiidae, Rivulidae): is male ornamentation constrained by intersexual genetic correlation?. *Zoologischer Anzeiger* 253(3): 207-215
- Singh N, Gupta PK. 2010. Food and feeding habits of an introduced mosquitofish, *Gambusia holbrooki* (Girard) (Poeciliidae) in a subtropical lake, Lake Nainital, India. *Asian Fisheries Science* 23(3): 355-366
- Srean P. 2015. Understanding the ecological success of two worldwide fish invaders (*Gambusia holbrooki* and *Gambusia affinis*). Doctoral Thesis. Universitat de Girona. Spanyol
- Sudhan C, Kingston DS, Jawahar P, Aanand S. 2017. Updated checklist of fish species in Pechiparai reservoir, Kanyakumari district, Tamil Nadu. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5(4): 171-178
- Swingland IR. 2001. Biodiversity, definition of. *Encyclopedia of Biodiversity* 1: 377-391
- Syafei LS, Sudinno D. 2018. Ikan asing invasif, tantangan keberlanjutan biodiversitas perairan. *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan* 12(3): 149-165
- Tyagnes-Hanindia D, Sumanto D, Sayono S. 2023. Predatory efficiency of larvivorous fish against mosquito larvae in different water temperature levels: Implication in control measure of dengue vector. *Journal of Arthropod-Borne Diseases* 17(2): 120-127
- Vasil'eva ED, Medvedev DA, Chi TTL, Prazdnikov DV, Pavlov DS, Nga NT, Vasil'ev VP. 2013. Species structure of the ichthyofauna of the inland waters of Phu Quoc Island, Gulf of Thailand, Vietnam. *Journal of Ichthyology* 53(6): 380-396
- Wang WC, Mao H, Ma DD, Yang WX. 2014. Characteristics, functions, and applications of metallothionein in aquatic vertebrates. *Frontiers in Marine Science* 1(34): 1-12
- Wijesundara S. 2010. Defining invasive alien species. In: *Invasive Alien Species in Sri Lanka Strengthening Capacity to Control Their Introduction and Spread* (Eds: Marambe, B., Silva, P., Wijesundara, S. and Atapattu, N.), pp 1-6. Biodiversity Secretariat of the Ministry of Environment, Sri Lanka
- Xiang T, Dong X, Shi L, Grenouillet G. 2023 Species range shifts of notorious invasive fish species in China under global changes: Insights and implications for management. *Journal of Environmental Management* 347: 119197
- Yan YZ, Chen YF, Tao J. 2009. Ecological invasion of *Gambusia affinis*: A review. *Chinese Journal of Ecology* 28(5), 950-958
- Yeo DCJ, Lim KKP. 2010. *Aplocheilichthys lineatus*, a non-native killifish (Actinopterygii: Cyprinodontiformes: Aplocheilidae) in Singapore. *Nature in Singapore* 2010(3): 327-332
- Zhang Z. 2011. Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (Addenda 2013). *Zootaxa* 3148: 7-12