



EKOLOGI IKAN

PERSEBARAN DAN KERAGAMAN IKAN



Editor:
M. Fadjar Rahardjo

Bab 15

Fauna Ikan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi, Papua Barat

Emmanuel Manangkalangi, Mudjirahayu, Ridwan Sala,
dan M. Fadjar Rahardjo

15.1 Pendahuluan

Suatu komunitas dicirikan oleh atribut keragaman dan sebaran spesies, termasuk fauna ikan. Keragaman dalam suatu komunitas dapat dinilai melalui entitas taksonomi (keragaman taksonomi) maupun entitas fungsionalitasnya (keragaman fungsional). Keragaman ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan spasial melalui proses yang berbeda-beda. Variasi dalam keragaman taksonomi berkaitan dengan proses skala besar dan faktor-faktor yang mengendalikan kumpulan spesies secara regional, di antaranya persebaran (Hitt & Angermeier 2008), biogeografi (Dagosta & Pinna 2017), dan topografi (Macedo *et al.* 2014). Karakteristik fungsional menggambarkan adaptasi spesies terhadap kondisi lingkungan lokal, yang dapat menyebabkan perubahan besar dalam komposisi fungsional sepanjang gradasi lingkungan (Oliveira *et al.* 2012, Carvalho & Tejerina-Garro 2015, Ribeiro *et al.* 2016).

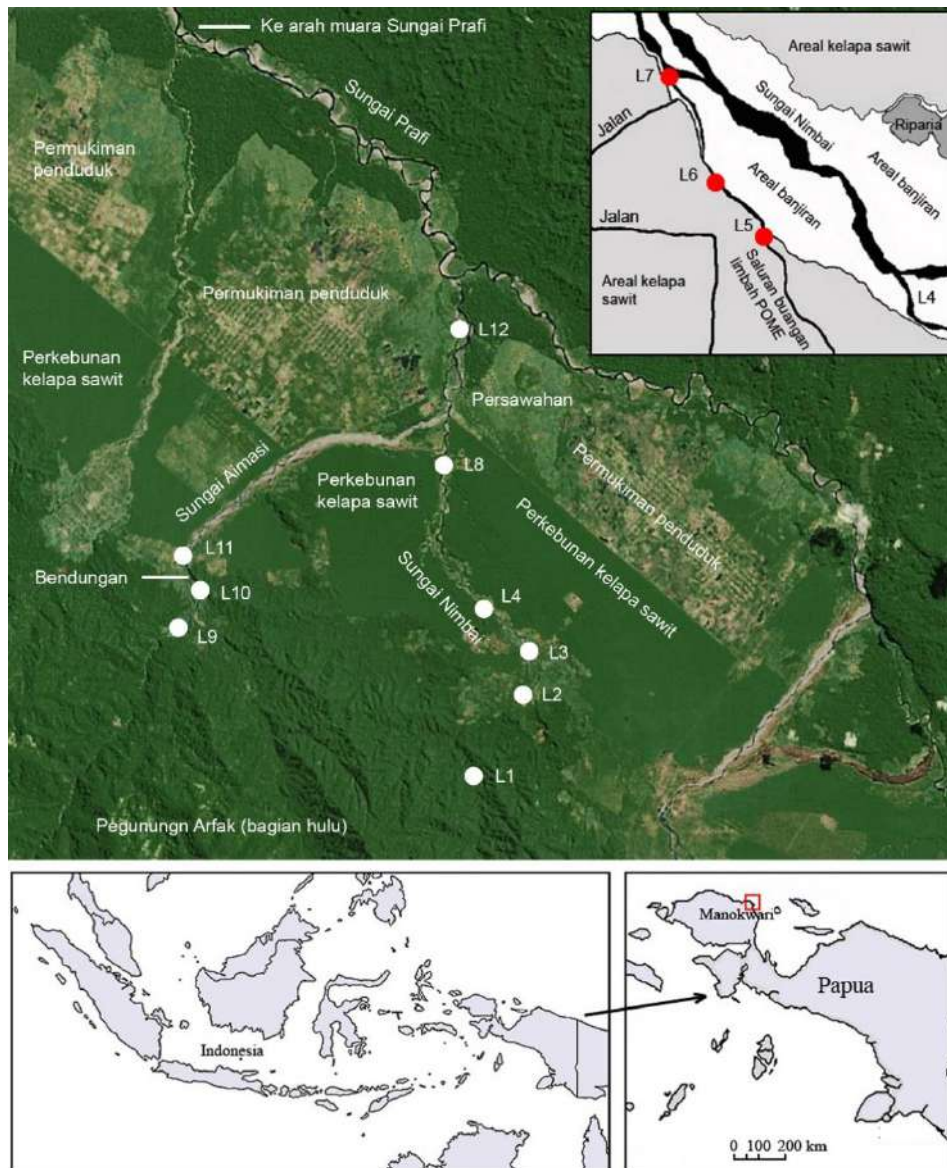
Aliran air dalam suatu sistem sungai saling terkoneksi di antara bagian hulu dan hilir. Walaupun pada kenyataannya, pada suatu sistem sungai juga ditemukan adanya gradasi lingkungan yang disebabkan oleh variasi longitudinal yang berkaitan dengan ketinggian dan kemiringan lokasi. Gradasi lingkungan ini terkait dengan faktor abiotik dan biotik yang mendorong terbentuknya struktur lingkungan dan komunitas (Vannote *et al.* 1980, Johnson *et al.* 1995). Beberapa faktor abiotik di antaranya adalah karakteristik geo-hidrologis sungai (Poff & Allan 1995, Walters *et al.* 2003), tinggi muka air, variabilitas aliran, debit air (Xenopoulos & Lodge 2006, Bradford & Heinonen 2008, Grossman *et al.* 2010), dan heterogenitas habitat (yaitu meso dan mikro) (Teresa & Casatti 2012, Choi *et al.* 2021). Selain itu, pada tingkat tertentu, keanekaragaman fauna ikan juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik, misalnya perubahan habitat dan kehadiran spesies ikan asing yang invasif (Caiola & Sostoa 2005, Woodford *et al.* 2005, Hermoso *et al.* 2011). Beberapa contoh perubahan kondisi habitat di sungai di antaranya penurunan

kondisi tutupan vegetasi di sepanjang sungai yang dapat meningkat suhu air (Lynch *et al.* 1984), masuknya bahan pencemar, misalnya limbah pengolahan minyak kelapa sawit (Edward *et al.* 2016, Hidayat & Mulyono 2019), dan pembangunan bendungan (Oliveira & Bispo 2001, Oliveira *et al.* 2005) yang bisa menyebabkan perubahan pola sebaran keragaman hayati fauna ikan.

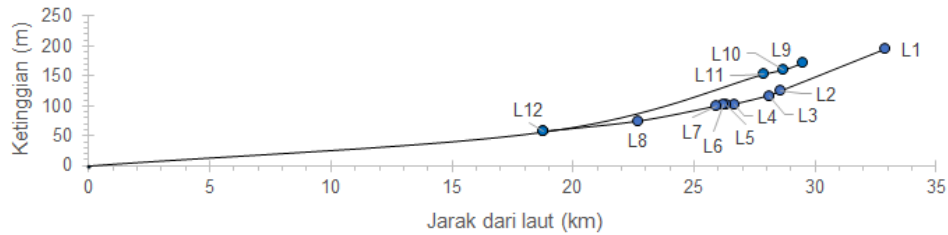
Dalam bab ini diulas mengenai keragaman dan persebaran spesies ikan, khususnya di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi, sistem Sungai Prafi, Papua Barat. Keragaman fauna ikan mencakup aspek taksonomi dan fungsional, sedangkan persebaran ditinjau secara spasial yang meliputi ketinggian lokasi dan tingkat ordo sungai, serta jarak dari laut.

15.2 Karakteristik lingkungan sungai

Sungai Prafi adalah salah satu sistem sungai yang berada di bagian Kepala Burung (Vogelkop), Provinsi Papua Barat (Gambar 15-1). Panjang Sungai Prafi sekitar 80 km dan tersusun dari beberapa sungai. Dua sungai di antaranya adalah Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi. Kedua sungai ini berawal di Pegunungan Arfak sampai di bagian kakinya yang agak landai. Pada dua sungai ini telah didata fauna ikan dan kondisi fisik-kimiawinya pada 12 lokasi. Dua belas lokasi ini terletak di antara ordo 2 dan 4, dengan ketinggian di antara 57-195 meter di atas permukaan laut dan berjarak 18,8-32,9 km dari laut (Gambar 15-2) (dimodifikasi dari Manangkalangi *et al.* 2020). Pada bagian hulu masih ditemukan kondisi vegetasi riparia primer, sedangkan di bagian tengah dan ke arah hilir kondisi vegetasi riparia berupa sekunder dan terbuka yang berupa semak belukar dan padang rumput (Gambar 15-3) (Lefaan *et al.* 2019, Sanda *et al.* 2019). Di sekitar dua sungai ini terdapat areal perkebunan kelapa sawit yang cukup luas dan tempat pengolahan minyak kelapa sawit, serta permukiman penduduk (Gambar 15-1).



Gambar 15-1 Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi beserta lokasi yang memiliki informasi fauna ikan (Manangkalangi *et al.* 2020).



Gambar 15-2 Profil longitudinal Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi dengan lokasi-lokasi yang telah diteliti keragaman fauna ikan, parameter fisik dan kimiawi lingkungannya (data diolah dari Manangkalangi *et al.* 2020).



Gambar 15-3 (A) Lokasi di bagian hulu (L1) dan (B) lokasi di bagian hilir (L12) (Foto: L. Sembel & F.N. Krey 2016)

Parameter fisik dan kimiawi lingkungan perairan Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi ditampilkan pada Tabel 15-1. Ada pengelompokan lokasi berdasarkan kesamaan ciri fisik-kimiawi air di antara bagian hulu dan hilir dua sungai tersebut. Lokasi yang terletak di bagian hulu (Gambar 15-3A) dicirikan oleh konsentrasi oksigen terlarut yang lebih tinggi, kecepatan aliran air yang lebih tinggi, kedalaman air yang lebih dalam, dan pH air yang cenderung basa; sedangkan lokasi di bagian saluran pembuangan limbah *palm oil mill effluent* (POME) dan di bagian hilir

(Gambar 15-3B) dicirikan oleh kekeruhan air yang lebih tinggi, nilai alkalinitas total yang lebih tinggi, konduktivitas yang lebih tinggi, dan suhu air yang lebih tinggi. Kondisi fisik-kimiawi air ini akan berimplikasi terhadap keragaman dan persebaran fauna ikan di dua sungai ini (lihat subbab 15.3).

Tabel 15-1 Parameter fisik dan kimiawi Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi (Manangkalangi *et al.* 2020)

Lokasi	Parameter							
	Suhu (°C)	Kec. aliran (m.detik ⁻¹)	Kedalaman (cm)	Kekeruhan (NTU)	Oksigen terlarut (m.L ⁻¹)	Tot. alkalinitas (mg.L ⁻¹)	pH	Konduktivitas (µs.cm ⁻¹)
L1 ^a	22,6-25,5	0,10-3,30	10,3-91,0	0,05-6,14	7,00-8,40	0,21-0,39	7,82-8,18	0,037-0,148
L2 ^a	24,5-27,7	0,10-2,40	5,0-75,0	0,23-7,19	6,00-7,90	0,22-0,86	6,73-8,16	0,025-0,161
L3 ^a	24,4-28,0	0,00-2,00	10,0-72,0	0,13-4,78	6,10-7,80	0,25-0,80	7,12-8,27	0,140-0,165
L4 ^a	23,6-30,8	0,00-2,40	6,0-69,0	0,17-6,89	5,30-7,50	0,20-0,75	6,07-8,20	0,004-0,150
L5 ^c	26,4-30,3	0,02-0,40	4,0-43,0	0,86-305,00	3,60-6,10	0,14-1,15	5,03-6,13	0,056-0,842
L6 ^c	26,1-29,5	0,10-0,53	8,0-26,0	1,34-149,00	3,90-5,90	0,14-0,95	5,13-6,45	0,047-0,656
L7 ^c	26,0-28,7	0,02-0,60	9,0-53,0	2,13-91,0	4,70-6,50	0,13-1,00	5,55-6,96	0,050-0,565
L8 ^d	24,4-32,6	0,04-1,60	7,0-67,0	0,75-49,29	4,70-7,10	0,18-1,60	6,24-7,80	0,018-0,542
L9 ^b	21,9-28,0	0,10-2,20	10,1-72,0	0,13-8,58	6,40-8,50	0,13-1,20	7,36-8,12	0,057-1,961
L10 ^b	23,1-27,8	0,09-1,67	7,0-80,0	0,77-9,52	5,50-8,30	0,13-0,51	7,60-8,12	0,031-0,115
L11 ^b	24,4-28,4	0,13-1,72	10,0-67,0	1,28-5,24	6,10-8,00	0,18-0,50	7,75-8,21	0,008-0,118
L12 ^d	25,0-30,3	0,04-1,30	10,0-85,0	0,78-271,00	5,20-7,60	0,10-0,60	5,60-7,96	0,010-0,642
Kisaran ¹	22,6-30,8	0,00-3,30	5,0-91,0	0,05-91,00	4,70-8,40	0,10-1,20	5,27-8,21	0,008-1,961

Keterangan: ^a lokasi di bagian hulu Sungai Nimbai, ^b lokasi di bagian hulu Sungai Aimasi, ^c lokasi di saluran pembuangan limbah POME ke Sungai Nimbai, ^d lokasi di bagian hilir kedua sungai.

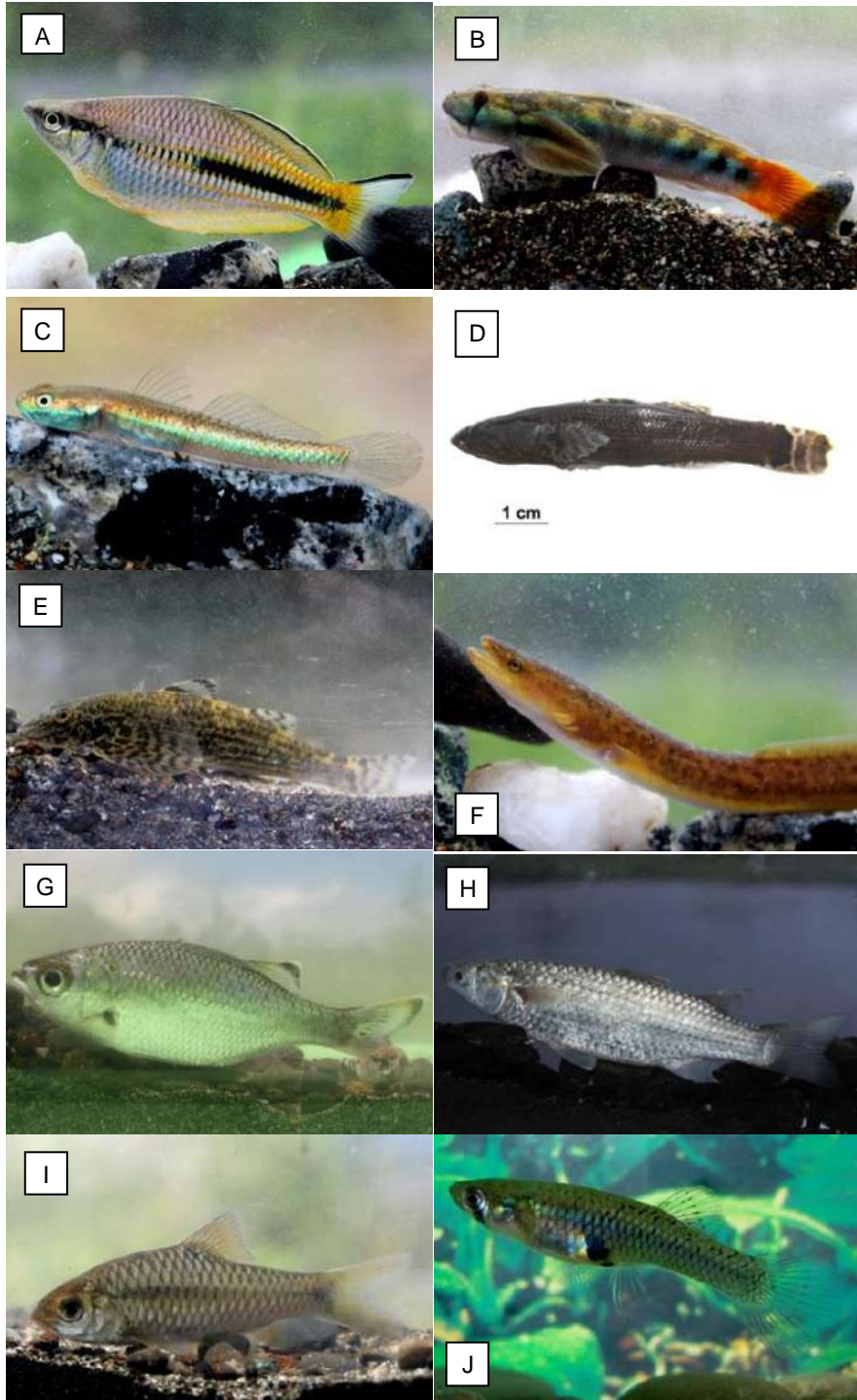
15.3 Keragaman dan persebaran fauna ikan

Secara keseluruhan spesies ikan air tawar yang ditemukan pada dua sungai di sistem sungai Prafi berjumlah 29 spesies yang termasuk dalam 17 famili dan 8 ordo (Tabel 15-2). Diduga masih ada spesies yang belum terungkap di dua sungai yang berada di bagian hulu dari sistem Sungai Prafi ini, di antaranya satu spesies ikan sidat (*Anguilla interioris*) dengan larvanya ditemukan pada Muara Pami yang relatif berdekatan dengan Sungai Prafi (Sugeha *et al.* 2008). Famili Gobiidae dan Eleotridae mendominasi jumlah spesies yang ditemukan, yaitu masing-masing sebanyak enam spesies dan lima spesies. Selain itu juga ditemukan satu anggota famili Melanotaeniidae yang menjadi kekhasan fauna ikan di perairan tawar di Papua. Secara keseluruhan, tiga kelompok ini mendominasi jumlah spesies, yaitu sebesar 41,4%. Seperti halnya di perairan sungai lainnya di wilayah Papua, anggota

dari tiga famili ini mendominasi jumlah spesies dan ditemukan sangat umum. Sebagai contoh, secara kolektif tiga famili ini memiliki jumlah spesies sebesar 58,7% di Sungai Wapoga (Allen & Renyaan 2000) dan 51,7% di Sungai Dabra-Mamberamo (Allen *et al.* 2002).

Salah satu spesies di antaranya, *Melanotaenia arfakensis* adalah ikan endemik (Gambar 15-4A) dengan persebaran yang terbatas pada wilayah timur laut Vogelkop (Kepala Burung) (Allen 1990, Kadarusman *et al.* 2012, Manangkalangi & Pattiasina 2005, Manangkalangi *et al.* 2018). Sebagian besar spesies ikan lainnya (17 spesies) termasuk ikan asli dengan persebaran yang lebih luas yaitu Kepulauan Indo-Australia, Pasifik Barat, dan Indo-Pasifik Barat, misalnya *Sicyopterus cynocephalus*, *Kuhlia marginata*, *Anguilla marmorata* (Gambar 15-4B-H). Sepuluh spesies lainnya adalah ikan asing yang diintroduksi ke perairan tawar Papua untuk tujuan budidaya dan biokontrol larva nyamuk malaria (Allen 1991). Ikan-ikan ini berasal dari Asia, Afrika dan Amerika (Gambar 15-4I-J). Zoogeografi fauna ikan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi ditampilkan pada Gambar 15-5.

Di antara ikan endemik dan ikan asli yang ditemukan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi, umumnya termasuk dalam kelompok diadromus, khususnya amfidromus (Gambar 15-6). Seperti yang telah dilaporkan oleh Keith (2003), Ryan (1991) dan Jenkins *et al.* (2010), fauna ikan air tawar di Kepulauan Indo-Pasifik dicirikan oleh proporsi spesies amfidromus yang lebih tinggi. Kelompok ini akan melakukan migrasi di antara air tawar dan laut. Spesies ikan ini memijah di perairan tawar, dan embrio yang dihasilkan akan hanyut terbawa aliran air sungai menuju ke laut, berkembang menjadi larva dalam periode beberapa minggu sampai beberapa bulan, dan selanjutnya tahap post larva dan yuwana akan melakukan migrasi ke bagian hulu sungai untuk tumbuh dan bereproduksi (Keith 2003, McDowall 1997, 2007, 2009, 2010). Oleh karena itu, penyebaran larva berperan penting dalam distribusi biogeografi ikan amphidromous (McDowall 2004, Keith *et al.* 2011). Sebagian besar ikan air tawar di New Guinea memiliki tahap larva di laut dan oleh karena itu relatif tersebar luas di wilayah yang berdekatan seperti Australia, Filipina, dan Indonesia bagian timur (Allen *et al.* 2002). Salah satu contohnya adalah *S. cynocephalus* yang tersebar luas di wilayah Pasifik bagian barat (Indonesia, Filipina, Papuan New Guinea, Solomon, dan Australia bagian utara) (Keith *et al.* 2015 in Lord *et al.* 2019).



Gambar 15-4 Fauna ikan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi (Foto: E. Manangkalangi & F. N. Krey, 2016). A. *Melanotaenia arfakensis*, B. *Sicyopterus cynocephalus*, C. *Stiphodon semoni*, D. *Bunaka gyrinoides*, E. *Rhyacichthys guilberti*, F. *Anguilla marmorata*, G. *Kuhlia marginata*, H. *Planiliza melinoptera*, I. *Barbodes binoiatus*, J. *Gambusia affinis*.

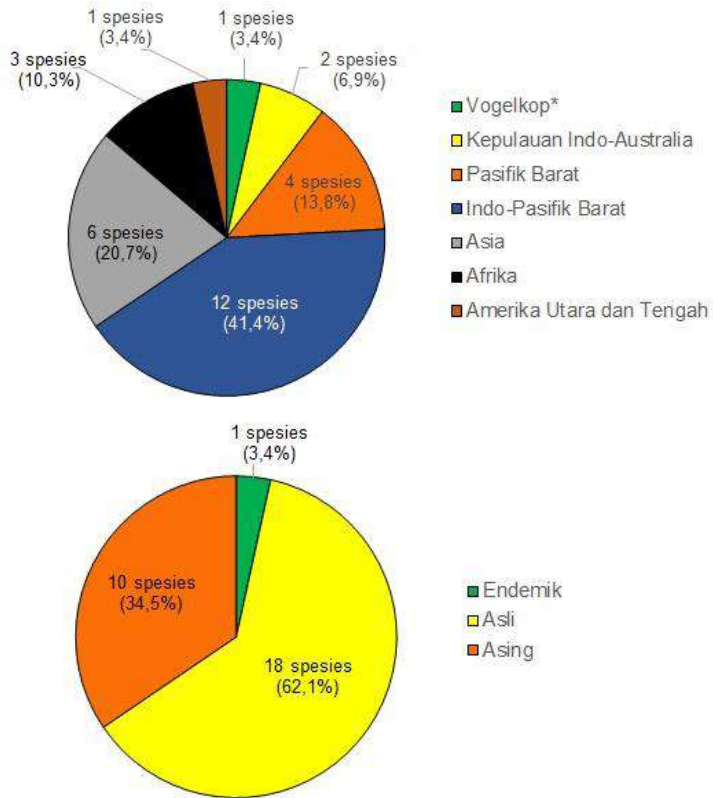
Tabel 15-2 Fauna ikan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi (Manangkalangi *et al.* 2014, 2020)

Ordo	Famili	Spesies
Anguilliformes	Anguillidae	<i>Anguilla marmorata</i> Quoy & Gaimard, 1824 <i>Anguilla megastoma</i> Kaup, 1856
Atheriniformes	Melanotaeniidae	<i>Melanotaenia arfakensis</i> Allen, 1990
Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Barbodes binotatus</i> (Valenciennes, 1842)*
Cyprinodontiformes	Aplocheilidae	<i>Aplocheilus panchax</i> (Hamilton, 1822)*
	Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i> (Baird & Girard, 1853)*
Perciformes	Ambassidae	<i>Ambassis</i> sp.
	Anabantidae	<i>Anabas testudineus</i> (Bloch, 1792)*
	Channidae	<i>Channa striata</i> (Bloch, 1793)*
	Cichlidae	<i>Oreochromis mossambicus</i> (Peters, 1852)* <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)*
	Eleotridae	<i>Belobranchus segura</i> Keith, Hadiaty & Lord, 2012 <i>Bunaka gyrinoides</i> (Bleeker, 1853) <i>Eleotris fusca</i> (Forster, 1801) <i>Hypseleotris</i> sp. <i>Oxyeleotris fimbriata</i> (Weber, 1907)
	Gobiidae	<i>Awaous grammepomus</i> (Bleeker, 1849) <i>Awaous ocellaris</i> (Broussonet, 1782) <i>Glossogobius giuris</i> (Hamilton, 1822) <i>Schismatogobius</i> sp. <i>Sicyopterus cynocephalus</i> (Valenciennes, 1837) <i>Stiphodon semoni</i> Weber, 1895
	Kuhliidae	<i>Kuhlia marginata</i> (Cuvier, 1829)
	Mugilidae	<i>Planiliza melinoptera</i> (Valenciennes, 1836)
	Rhyacichthyidae	<i>Rhyacichthys gilberti</i> Dingerkus & Séret, 1992
Siluriformes	Clariidae	<i>Clarias batrachus</i> (Linnaeus, 1758)* <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822)*
Synbranchiformes	Synbranchidae	<i>Monopterus albus</i> (Zuiew 1793)*
Syngnathiformes	Syngnathidae	<i>Microphis</i> sp.

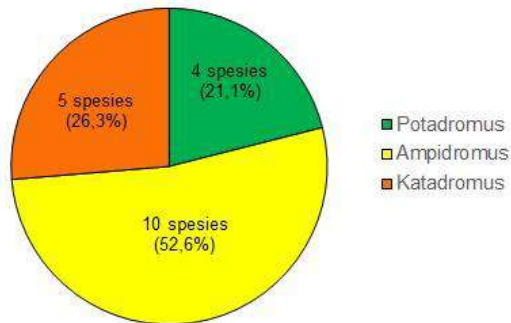
Keterangan: * ikan asing

Di antara ikan endemik dan ikan asli yang ditemukan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi, umumnya termasuk dalam kelompok diadromus, khususnya amfidromus (Gambar 15-6). Seperti yang telah dilaporkan oleh Keith (2003), Ryan (1991), dan Jenkins *et al.* (2010), fauna ikan air tawar di Kepulauan Indo-Pasifik dicirikan oleh proporsi spesies amfidromus yang lebih tinggi. Kelompok ini akan melakukan migrasi di antara air tawar dan laut. Spesies ikan ini memijah di perairan tawar, dan embrio yang dihasilkan akan hanyut terbawa aliran air sungai menuju ke laut, berkembang menjadi larva dalam periode beberapa minggu sampai beberapa bulan, dan selanjutnya tahap post larva dan yuwana akan melakukan migrasi ke bagian hulu sungai untuk tumbuh dan bereproduksi (Keith 2003, McDowall 1997, 2007, 2009, 2010). Karena itu, penyebaran larva berperan penting dalam distribusi biogeografi ikan amfidromous (McDowall 2004, Keith *et al.* 2011). Sebagian besar ikan air tawar di New Guinea memiliki tahap larva di laut sehingga ikan tersebut relatif tersebar luas di wilayah yang berdekatan seperti Australia, Filipina, dan Indonesia bagian timur (Allen *et al.* 2002). Salah satu contohnya adalah *S. cynocephalus* yang tersebar luas

di wilayah Pasifik bagian barat (Indonesia, Filipina, Papuan New Guinea, Solomon, dan Australia bagian utara) (Keith *et al.* 2015 dalam Lord *et al.* 2019).



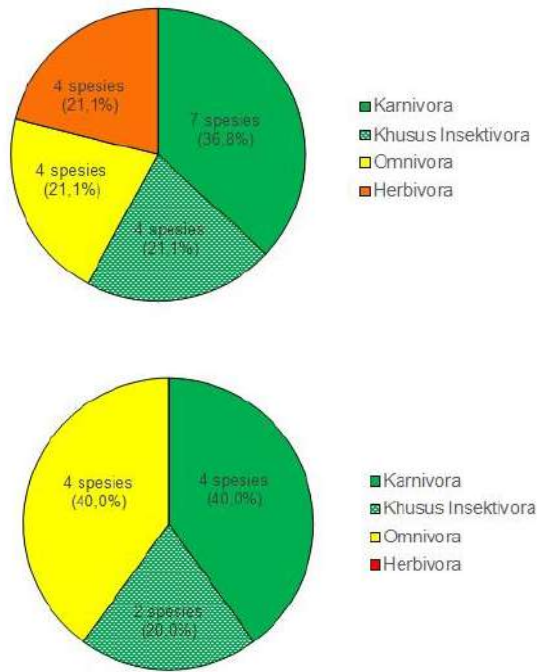
Gambar 15-5 Zoogeografi fauna ikan di Sungai Nimbai (atas) dan Sungai Aimasi (bawah) (diolah dari Manangkalangi *et al.* 2014, 2020)



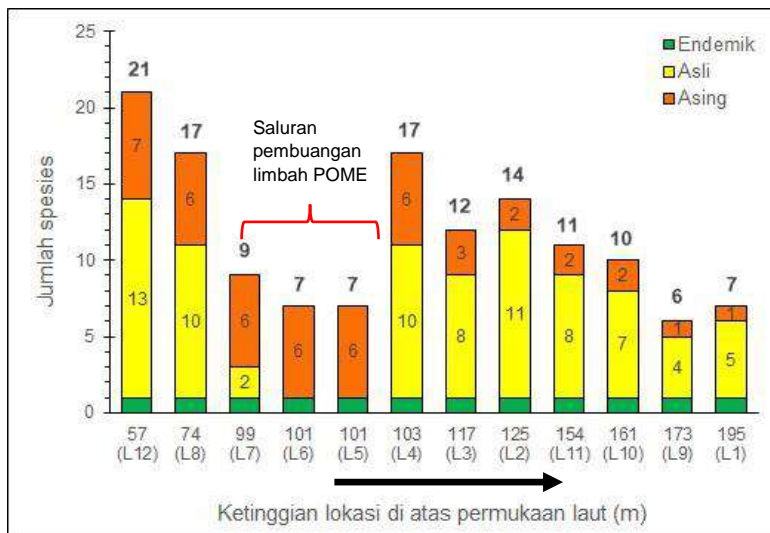
Gambar 15-6 Sejarah hidup yang berkaitan dengan migrasi fauna ikan endemik dan asli di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi (diolah dari Manangkalangi *et al.* 2014, 2020)

Secara fungsional, keragaman fauna ikan dapat dikelompokkan berdasarkan trofiknya. Sebagian besar spesies ikan endemik dan asli di dua sungai ini termasuk dalam kelompok trofik karnivora, yaitu sebesar 57,9% dan termasuk di dalamnya adalah insektivora (21,05%) (Gambar 15-7A). Dominasi kelompok karnivora merupakan ciri khas pada sistem sungai tropis (Allen *et al.* 2002). Kelompok karnivora yang umumnya ditemukan pada sungai-sungai di beberapa pulau Indo-Pasifik adalah *Kuhlia* spp. dan *Anguilla* spp., keduanya memiliki persebaran yang luas di wilayah ini (Keith 2003, Keith *et al.* 2015 in Ebner *et al.* 2021). Khusus untuk insektivora, salah satu contohnya adalah *M. arfakensis* (Manangkalangi *et al.* 2010) yang merupakan ikan endemik di wilayah ini. Makanan kelompok ini terdiri atas invertebrata air dan darat, serta makrovertebrata benthik lainnya. Keberadaan kelompok makanan ini sangat terkait erat dengan kondisi vegetasi riparia yang berada di bagian tepi sungai maupun anak sungai sebagai habitatnya (misalnya Leatemia *et al.* 2016); sedangkan spesies ikan asing yang ditemukan di dua lokasi ini umumnya termasuk kelompok karnivora dan omnivora (Gambar 15-7B). Salah satu spesies dalam kelompok ini adalah *C. striata* yang merupakan pemangsa yang rakus (Allen *et al.* 2000). Dua spesies lainnya adalah insektivora, yaitu *G. affinis* dan *A. panchax* (Manangkalangi *et al.* 2019). Keberadaan spesies ikan asing ini yang berpotensi sebagai pesaing dan pemangsa terhadap ikan endemik dan ikan asli (lihat subbab 15-3).

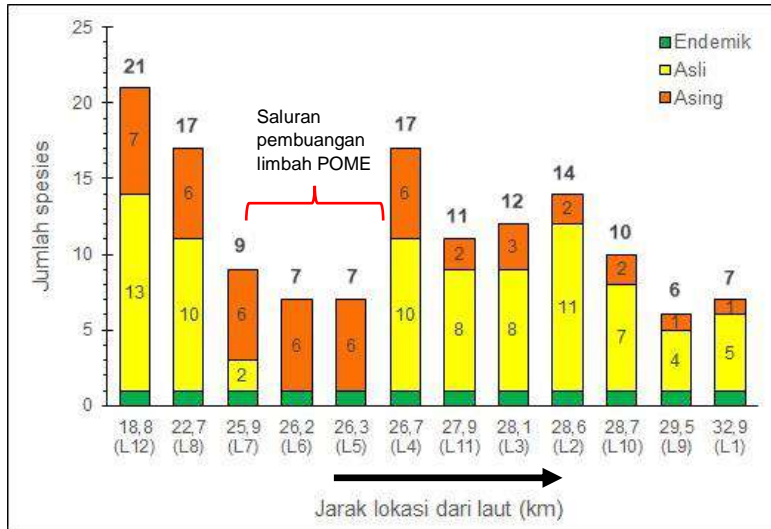
Keragaman dan persebaran fauna ikan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi dipengaruhi oleh ketinggian lokasi (Gambar 15-8) dan jarak lokasi dari laut (Gambar 15-9). Keragaman ikan semakin menurun ke arah hulu sungai. Kondisi penurunan keragaman fauna ikan ke arah hulu juga telah dilaporkan oleh Allen & Renyaan (2000) di Sungai Wapoga-Papua. Hal ini sangat berkaitan dengan kemampuan penetrasi ke arah hulu dari ikan-ikan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi (Tabel 15-3). Beberapa spesies, di antaranya anggota Famili Gobiidae, Eleotridae, Melanotaeniidae, Rhyacichthyidae, Kuhliidae, dan Cyprinidae, mampu menempati lokasi-lokasi di bagian hulu dua sungai ini yang beraliran lebih deras. Bahkan penetrasi ke arah hulu dari beberapa spesies ini bisa lebih jauh lagi, seperti yang dilaporkan oleh Allen & Renyaan (2000) pada *S. semoni* pada ketinggian 170 m dan 125 km dari permukaan laut, serta *Sicyopterus* spp. ditemukan pada lokasi dengan ketinggian 1065 m dengan jarak 260 km dari permukaan laut.



Gambar 15-7 Kelompok trofik fauna (atas) ikan endemik dan asli, serta (bawah) ikan asing di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi (diolah dari Manangkalangi *et al.* 2014, 2020)



Gambar 15-8 Keragaman dan persebaran spesies ikan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi berdasarkan ketinggian lokasi (diolah dari Manangkalangi *et al.* 2020). Angka di atas diagram batang adalah jumlah total spesies.



Gambar 15-9 Keragaman dan persebaran spesies ikan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi berdasarkan jarak lokasi dari laut (diolah dari Manangkalangi *et al.* 2020)

Kemampuan penetrasi ini juga tidak terlepas dari adaptasi bentuk tubuh spesies ikan. Sebagai contoh, beberapa spesies anggota famili Eleotridae dan Rhyacichthyidae (Gambar 15-4D-E, 15-10). Kedua kelompok ini memiliki bentuk tubuh yang picak (pipih dorsoventral) (Keith 2002). Bentuk tubuh yang pipih dorsoventral (picak) sangat berkaitan dengan ikan-ikan benthik yang menempati habitat mikro dengan kondisi air yang mengalir deras (Webb 1984 1988). Bentuk tubuh yang demikian akan mengurangi hambatan dan mengurangi kebutuhan energi untuk mempertahankan posisi pada air yang mengalir cepat (Webb 1984, 1988). Beberapa spesies ikan benthik ini juga menggunakan sirip dada yang berukuran besar untuk menciptakan gaya angkat yang negatif, sehingga mendorongnya menyentuh substrat untuk mencegah terbawa air yang mengalir deras ke arah hilir (Lujan & Conway 2015). Selain bentuk tubuh yang pipih dorsoventral, menurut Lujan & Conway (2015) bentuk tubuh pipih lateral (*compres*) dan bentuk seperti sidat (*anguilliform*) juga mampu beradaptasi pada kondisi aliran air sungai yang cepat (Gambar 15-4A, E-F, H). Bentuk tubuh pipih lateral yang ditemukan pada lokasi di bagian hulu Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi yang memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi di antaranya adalah *M. arfakensis* (Melanotaeniidae), *K. marginata* (Kuhliidae) dan *B. binotatus* (Cyprinidae) (Gambar 15-4A, F, H).

Tabel 15-3 Penetrasi ke arah hulu dari ikan-ikan di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi (diolah Manangkalangi *et al.* 2020)

Spesies	Ketinggian maksimum lokasi (m)	Jarak lokasi dari laut (km)
<i>M. arfakensis</i> , <i>E. fusca</i> , <i>S. cynocephalus</i> , <i>A. grammepomus</i> , <i>K. marginata</i> , <i>R. guilberti</i> , dan <i>B. binotatus</i> *	195	32,9
<i>B. segura</i> , dan <i>S. semoni</i>	173	29,1
<i>A. marmorata</i> , <i>A. ocellaris</i> , dan <i>C. batrachus</i> *	161	28,8
<i>B. gyrinoides</i> , <i>Schismatogobius</i> sp., dan <i>O. niloticus</i> *	154	27,9
<i>A. panchax</i> *	125	28,6
<i>C. melinopterus</i> , <i>G. affinis</i> *, dan <i>M. albus</i> *	103	26,7
<i>Hypseleotris</i> sp., <i>Microphis</i> sp., dan <i>C. striata</i> *	74	22,7
<i>Ambassis</i> sp. dan <i>A. testudineus</i> *	57	18,8

Keterangan: *ikan asing



Gambar 15-10 Bentuk tubuh picak (pipih dorsoventral) pada *R. guilberti* (Foto: E. Manangkalangi, 2016).

Beberapa spesies di antaranya juga dilengkapi dengan organ khusus, misalnya famili Gobiidae (Gambar 15-4B-C, 15-11) memiliki sirip perut yang termodifikasi menjadi satu organ penghisap di badan ventral (*ventral sucker*) yang digunakan untuk menempel pada substrat (Nelson *et al.* 2016). Organ penghisap di bagian

ventral ini, selain digunakan untuk bertahan agar tidak hanyut oleh aliran air, juga adalah komponen yang sangat penting bagi performa spesies yang “memanjat”, sehingga memungkinkannya untuk tetap melekat pada permukaan batuan vertikal, bahkan ketika menghadapi aliran air yang deras (Schoenfuss & Blob 2003, Schoenfuss *et al.* 2011) untuk kembali ke habitat di bagian hulu.



Gambar 15-11 Organ penghisap ventral (tanda panah) yang digunakan *S. semoni* untuk menempel pada substrat vertikal (kaca akuarium) (Foto: E. Manangkalangi 2016).

Persebaran dan keragaman spesies ikan di dua sungai ini menggambarkan kecenderungan berkaitan dengan klasifikasi sistem ordo sungai. Pada lokasi-lokasi yang berada di bagian hulu (ordo yang lebih kecil) memiliki jumlah spesies yang lebih sedikit dibandingkan lokasi yang berada di bagian ke arah hilir (ordo yang lebih tinggi) (Tabel 15-4). Beberapa hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan yang erat di antara ordo sungai dan kekayaan spesies ikan (Paller 1994, Fairchild *et al.* 1998, Manangkalangi 2018). Gabungan dari beberapa anak sungai (ordo yang lebih besar) akan meningkatkan lebar genangan dan volume aliran air sehingga menyediakan habitat mikro yang lebih beragam dibandingkan anak sungai di bagian hulu (ordo yang lebih kecil), dan kondisi ini berimplikasi pada keragaman fauna ikan yang lebih tinggi (Guégan *et al.* 1988, Osborne & Wiley 1992, He *et al.* 2010). Selain habitat mikro yang bervariasi, segmen sungai pada tingkat ordo yang lebih besar (yaitu, di bagian hilir) juga memiliki daerah tangkapan air yang lebih luas. Pada area habitat yang lebih luas umumnya terdapat lebih banyak spesies dibandingkan areal yang sempit (pola hubungan area dan spesies) (Angermeier & Schlosser 1989, Han *et al.* 2008).

Tabel 15-4 Jumlah spesies di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi berdasarkan tingkat ordo (diolah dari Manangkalangi *et al.* 2020)

Tingkat ordo	Lokasi	Jumlah spesies		
		Endemik & Asli	Asing	Total
Ordo 2	L1-L3	9,3 (6-11)	1,7 (1-3)	11 (7-14)
Ordo 3	L4, L8-L11	9,6 (5-15)	2,6 (1-6)	12,2 (6-17)
Ordo 4	L12	14	7	21

Keterangan: rata-rata jumlah spesies dan angka dalam tanda kurung adalah kisaran.

15.4 Konektivitas dan implikasi aktivitas antropogenik terhadap keragaman dan persebaran fauna ikan

Konektivitas habitat merupakan faktor utama dalam membentuk komunitas di sistem sungai (Vannote *et al.* 1980, Cote *et al.* 2009), walaupun pada suatu sistem sungai juga terdapat berbagai penghalang alami, di antaranya air terjun, lereng yang curam, dan gradien ketinggian (Oliveira & Bispo 2001) yang bisa menghambat penyebaran spesies. Oleh karena itu, penghalang sungai berperan penting juga dalam penyebaran dan kelimpahan ikan dan menyebabkan keterbatasan pergerakan ikan, bergantung pada kemampuan masing-masing spesies untuk naik atau turun dari penghalang. Beberapa spesies diadromus telah mengembangkan beberapa adaptasi yang memungkinkannya melewati penghalang alami (McDowall 2010). Sebagai contoh, ikan gobi yang amfidromus, memiliki sirip perut yang menyatu dan membentuk cakram hisap, sehingga memungkinkannya untuk mendaki lereng curam aliran air dan air terjun (Schoenfuss & Blob 2003, Schoenfuss *et al.* 2011); sedangkan, spesies ikan diadromus yang tidak memiliki kemampuan “memanjat”, akan memiliki persebaran yang terbatas pada sungai dengan ketinggian yang lebih rendah (Holmquist *et al.* 1998).

Kondisi aliran sungai pada umumnya telah termodifikasi dan terdegradasi oleh berbagai kegiatan antropogenik (Vörösmarty *et al.* 2010, Grill *et al.* 2019), di antaranya perubahan pola penggunaan lahan, perubahan aliran, pembuangan limbah, dll. Kondisi ini juga terlihat di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi (Gambar 15-1). Sebagai contoh adalah perbedaan kondisi vegetasi riparia pada lokasi di bagian hulu dan lokasi di bagian hilir. Pada bagian hulu masih ditemukan kondisi vegetasi riparia primer, sedangkan di bagian tengah dan ke arah hilir kondisi vegetasi riparia berupa sekunder dan terbuka berupa semak belukar dan padang rumput (Lefaan *et al.* 2019, Sanda *et al.* 2019). Berkaitan dengan trofik, degradasi kondisi riparia akan berimplikasi terhadap penurunan keragaman dan kelimpahan

fauna makrovertebrata (Leatemia *et al.* 2016), termasuk insekta air yang menjadi makanan ikan di sistem sungai ini (Manangkalangi *et al.* 2010, 2019). Juga keberadaan bendungan rendah (*weir*) untuk mengairi areal persawahan di Sungai Aimasi (di antara L10 & L11, Gambar 15-12) juga menjadi penghalang persebaran spesies ikan, dan selanjutnya berpengaruh terhadap keragaman fauna ikan. Kondisi ini sangat berkaitan juga dengan parameter fisik dan kimiawi air sungai, yang berbeda di antara lokasi di bagian hulu dan hilir. Pada lokasi di bagian hulu, terutama ditemukan kelimpahan ikan endemik yang lebih tinggi; sedangkan kelompok ikan asli ditemukan menyebar di semua lokasi, mulai dari bagian hulu sampai hilir; dan kelompok ikan asing terutama ditemukan pada lokasi di bagian saluran pembuangan limbah POME dan di bagian hilir (Manangkalangi *et al.* 2020). Seperti yang telah banyak dilaporkan, bahwa ikan asing cenderung berhasil berkembang pada kondisi aliran yang telah termodifikasi dan kondisi sungai yang telah terdegradasi (misalnya, Meffe 1984, Moyle & Light 1996, Kennard *et al.* 2005, Casatti *et al.* 2009, Gido *et al.* 2013).

Beberapa contoh berikut menggambarkan pengaruh faktor fisik, kimiawi dan biologis terhadap keberadaan fauna ikan endemik dan asli di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi. Salah satu faktor fisik yang membatasi keberadaan ikan endemik di bagian hilir adalah kekeruhan yang lebih tinggi. Pada kondisi dengan tingkat kekeruhan yang lebih tinggi akan menyebabkan menurunnya efektivitas ikan ini dalam mencari makan (Manangkalangi *et al.* 2017). Selain itu, kondisi riparia yang terbuka di lokasi ini akan menyebabkan meningkatkannya suhu air dan menurunnya konsentrasi oksigen terlarut dalam air, sehingga membatasi keberadaan spesies ikan ini (Manangkalangi *et al.* 2014, 2020). Demikian juga keberadaan limbah POME yang dibuang ke sistem Sungai Nimbai akan menyebabkan penurunan nilai pH air dan konsentrasi oksigen terlarut dalam aliran air. Pada lokasi ini, ditemukan keragaman jenis yang lebih rendah dan terutama didominasi oleh kelompok ikan asing yang mampu menoleransi kondisi yang demikian (Gambar 15-8 & 15-9). Selain itu juga adalah faktor biologis, yaitu keberadaan ikan asing yang mendominasi lokasi di bagian hilir akan berimplikasi terhadap persaingan sumber daya makanan, dan bahkan berpotensi sebagai pemangsa terhadap ikan endemik dan asli (Manangkalangi & Kaliele 2011, Manangkalangi *et al.* 2019). Keberadaan ikan asing (terutama yang invasif), bisa menyebabkan penurunan atau bahkan kepunahan lokal populasi ikan asli seperti yang telah dilaporkan di beberapa lokasi lainnya (Caiola & Sostoa 2005, Woodford *et al.* 2005, Hermoso *et al.* 2011). Beberapa kondisi ini akan berimplikasi terhadap penurunan keragaman dan persebaran fauna ikan di sungai.



Gambar 15-12 Kiri, bendungan rendah (*weir*) dan kanan, saluran irigasi untuk mengairi areal persawahan di Sungai Aimasi (Foto: E. Manangkalangi 2017)

15.5 Penutup

Informasi mengenai keragaman dan persebaran fauna ikan pada perairan sungai di Papua masih sangat terbatas. Padahal, ada spesies ikan di wilayah ini yang memiliki daerah persebaran terbatas (endemik). Karena itu, informasi tentang kumpulan fauna ikan di sungai bersama dengan data tentang parameter lingkungannya menjadi sangat penting untuk membantu memahami faktor-faktor yang memengaruhi keragaman dan pola sebarannya, baik pada lokasi yang masih alami maupun yang telah terdampak dari aktivitas antropogenik. Ketersediaan informasi ini memiliki implikasi dalam upaya konservasi fauna ikan, khususnya yang endemik.

Senarai pustaka

- Allen GR. 1990. Les poissons arc-en-ciel (Melanotaeniidae) de la Péninsule de Vogelkop, Irian Jaya, avec description de trois nouvelles espèces. *Revue française d'Aquariologie*. 16(4): 101-112.
- Allen GR. 1991. *Field Guide to the Freshwater Fishes of New Guinea*. Christensen Research Institute, Madang. 268 p.
- Allen GR, Hurtle KG, Renyaan SJ. 2000. *Freshwater Fishes of the Timika Region New Guinea*. PT. Freeport Indonesia, Timika, Indonesia. 175 p.
- Allen GR, Renyaan S. 2000. Fishes of the Wapoga River System, northwestern Irian Jaya, Indonesia. In: Mack AL, Alonso LE (eds.). *A Biological Assessment of the Wapoga River Area of Northwestern Irian Jaya, Indonesia*. RAP Bulletin of Biological Assessment No. 14. Conservation International, Washington DC. p. 47-53.

- Allen GR, Ohee H, Boli P, Bawole R, Warpur M. 2002. Fishes of the Yongsu and Dabra areas, Papua, Indonesia. In: Richards J, Suryadi S (eds.). *A Biodiversity Assessment of Yongsu – Cyclops Mountains and the southern Mamberamo Basin, Papua, Indonesia*. RAP Bulletin of Biological Assessment No. 25. Conservation International, Washington DC. p. 67-72.
- Angermeier PL, Schlosser IJ. 1989. Species–area relationships for stream fishes. *Ecology*, 70: 1450-1462.
- Bradford MJ, Heinonen JS. 2008. Low flows, instream flow needs and fish ecology in small streams. *Canadian Water Resources Journal*. 33(2): 165-180.
- Caiola N, Sostoa A. 2005. Possible reasons for the decline of two native toothcarps in the Iberian Peninsula: evidence of competition with the introduced Eastern mosquitofish. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(4): 358-363.
- Carvalho RA, Tejerina-Garro FL. 2015. Environmental and spatial processes: what controls the functional structure of fish assemblages in tropical rivers and headwater streams? *Ecology of Freshwater Fish*, 24(2): 317-328.
- Casatti L, Ferreira CP, Carvalho FR. 2009. Grass-dominated stream sites exhibit low fish species diversity and dominance by guppies: an assessment of two tropical pasture river basins. *Hydrobiologia*, 632: 273-283.
- Choi J-Y, Kim S-K, Kim J-C, Lee H-J, Kwon H-J, Yun J-H. 2021. Microhabitat characteristics determine fish community structure in a small stream (Yudeung Stream, South Korea). *Proceedings of the National Institute of Ecology of the Republic of Korea*, 2(1): 53-61.
- Cote D, Kehler DG, Bourne C, Wiersma YF. 2009. A new measure of longitudinal connectivity for stream networks. *Landscape Ecology*, 24(1): 101-113.
- Dagosta FCP, Pinna M. 2017. Biogeography of Amazonian fishes: deconstructing river basins as biogeographic units. *Neotropical Ichthyology*, 15(3): e170034.
- Ebner BC, Donaldson JA, Murphy H, Thuesen P, Ford A, Schaffer J, Keith P. 2021. Waterfalls mediate the longitudinal distribution of diadromous predatory fishes structuring communities in tropical, short, steep coastal streams. *Freshwater Biology*, 66(6): 1225-1241.
- Edward JB, Idowu EO, Adewumi AA, Oso JA, Eniola OO. 2016. Impact of palm oil mill effluent on physico-chemical parameters of a Southwestern River, Ekiti State, Nigeria. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 17(1): 374-380.
- Fairchild GW, Horwitz RJ, Nieman DA, Boyer MR, Knorr DF. 1998. Spatial variation and historical change in fish assemblages of the Schuylkill River drainage, southeast Pennsylvania. *American Midland Naturalist*, 139: 282- 295.

- Gido KB, Propst DL, Olden JD, Bestgen KR. 2013. Multidecadal responses of native and introduced fishes to natural and altered flow regimes in the American Southwest. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(4): 554-564.
- Grill G, Lehner B, Thieme M, Geenen B, Tickner D, Antonelli F, Babu S, Borrelli P, Cheng L, Crochetiere H, Macedo HE, Filgueiras R, Goichot M, Higgins J, Hogan Z, Lip B, McClain ME, Meng J, Mulligan M, Nilsson C, Olden JD, Opperman JJ, Petry P, Liermann CR, Sáenz L, Salinas-Rodríguez S, Schelle P, Schmitt RJP, Snider J, Tan F, Tockner K, Valdujo PH, van Soesbergen A, Zarfl C. 2019. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 569(7755): 215-221.
- Grossman GD, Ratajczak Jr RE, Farr MD, Wagner CM, Petty JT. 2010. Why there are fewer fish upstream. *American Fisheries Society Symposium*. 73: 63-81.
- Guégan JF, Lek S, Oberdorff T. 1988. Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity. *Nature*, 391: 382-384.
- Han M, Fukushima M, Fukushima T. 2008. Species richness of exotic and endangered fishes in Japan's reservoirs. *Environmental Biology of Fish*, 83(4): 409-416.
- He Y, Wang J, Lek-Ang S, Lek S. 2010. Predicting assemblages and species richness of endemic fish in the upper Yangtze River. *Science of the Total Environment*, 408: 4211-4220.
- Hermoso V, Clavero M, Blanco-Garrido F, Prenda J. 2011. Invasive species and habitat degradation in Iberian streams: an analysis of their role in freshwater fish diversity loss. *Ecological Applications*, 21(1): 175-188.
- Hidayat MR, Mulyono AS. 2019. Palm oil industry effect on water quality status of Pawan and Jelai Rivers in Ketapang Regency in 2012-2016. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 7(1): 1935-1943.
- Hitt NP, Angermeier PL. 2008. Evidence for fish dispersal from spatial analysis of stream network topology. *Journal of the North American Benthological Society*, 27(2): 304-320.
- Holmquist JG, Schmidt-Gengenbach JM, Yoshioka BB. 1998. High dams and marine-freshwater linkages: Effects on native and introduced fauna in the Caribbean. *Conservation Biology*, 12(3): 621-630.
- Jenkins AP, Jupiter SD, Qauqau I, Atherton J. 2010. The importance of ecosystem-based management for conserving aquatic migratory pathways on tropical high islands: a case study from Fiji. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20(2): 224-238.

- Johnson BL, Richardson WB, Naimo TJ. 1995. Past, present, and future concepts in large river ecology: how rivers function and how human activities influence river process. *Bioscience*, 45(3): 134-141.
- Kadariusman, Hubert N, Hadiaty RK, Sudarto, Paradis E, Pouyaud L. 2012. Cryptic diversity in Indo-Australian rainbowfishes revealed by DNA barcoding: implications for conservation in a biodiversity hotspot candidate, *Plos ONE*. 7(7): e40627.
- Keith P. 2002. Threatened fishes of the world: *Rhyacichthys guilberti* Dingerkus & Seret, 1992 (Rhyacichthyidae). *Environmental Biology of Fishes*, 63(1): 40.
- Keith P. 2003. Biology and ecology of amphidromous Gobiidae in the Indo-Pacific and the Caribbean regions. *Journal of Fish Biology*, 63(4): 831-847.
- Keith P, Lord C, Lorion J, Watanabe S, Tsukamoto K, Couloux A and Dettal A. 2011. Phylogeny and biogeography of Sicydiinae (Teleostei: Gobiidae) inferred from mitochondrial and nuclear genes. *Marine Biology*, 158: 311-326.
- Kennard MJ, Arthington AH, Pusey BJ, Harch BD. 2005. Are alien fish a reliable indicator of river health? *Freshwater Biology*, 50(1): 174-193.
- Leatemia SPO, Wanggai EC, Talakua S. 2016. Kelimpahan dan keanekaragaman makrovertebrata air pada kerapatan vegetasi riparian yang berbeda di Sungai Aimasi Kabupaten Manokwari. *The Journal of Fisheries Development*, 3(1): 25-38.
- Lefaan PT, Peday HFZ, Leatemia SPO, Sembel L, Manangkalangi E. 2019. Struktur vegetasi riparia dan implikasinya terhadap kondisi habitat ikan pelangi arfak, *Melanotaenia arfakensis* di Sungai Nimbai, Manokwari Papua Barat. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 10(1): 38-56.
- Lynch JA, Rishel GB, Corbett ES. 1984. Thermal alteration of streams draining clearcut watersheds: quantification and biological implications. *Hydrobiologia*, 111(3):161-169.
- Lord C, Bellec L, Dettai A, Bonillo C, Keith P. 2019. Does your lip stick? Evolutionary aspects of the mouth morphology of the Indo-Pacific clinging goby of the *Sicyopterus* genus (Teleostei: Gobioidae: Sicydiinae) based on mitogenome phylogeny. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 57(4): 910-925.
- Lujan NK, Conway KW. 2015. Life in the fast lane: A review of rheophily in freshwater fishes. In: Riesch R, Tobler M, Plath M (eds.). *Extremophile Fishes: Ecology, Evolution, and Physiology of Teleosts in Extreme Environments*. Springer International Publishing, Switzerland. pp. 107-136.
- Macedo DR, Hughes RM, Ligeiro R, Ferreira WR, Castro MA, Junqueira NT, Oliveira DR, Firmiano KR, Kaufmann PR, Pompeu PS, Callisto M. 2014. The

relative influence of catchment and site variables on fish and macroinvertebrate richness in cerrado biome streams. *Landscape Ecology*, 29(6): 1001-1016.

Manangkalangi E. 2018. Iktiofauna air tawar pada beberapa sungai di Aifat Timur, Maybrat, Papua Barat. *Vogelkop: Jurnal Biologi*. 1(1): 1-9.

Manangkalangi E, Kaliele MY. 2011. Luas relung, tumpang tindih dan strategi mencari makanan ikan pelangi arfak (*Melanotaenia arfakensis*) dan ikan pemakan nyamuk (*Gambusia affinis*) di Sungai Nimbai, Manokwari. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 7(2): 153-164.

Manangkalangi E, Leatemia SPO, Lefaan PT, Peday HFZ, Sembel L. 2014. Kondisi habitat ikan pelangi arfak, *Melanotaenia arfakensis*, 1990 di Sungai Nimbai, Prafi Manokwari. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 14(1): 21-36.

Manangkalangi E, Pattiasina TF. 2005. Studi pendahuluan aspek reproduksi dan pertumbuhan ikan rainbow (*Melanotaeniidae*) di perairan tawar Distrik Kebar Kabupaten Manokwari. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 1(2): 87-9.

Manangkalangi E, Rahardjo MF, Hadiaty RK, Hariyadi S. 2017. Efektivitas ikan pelangi arfak, *Melanotaenia arfakensis*, Allen 1990 dalam mencari makan pada tingkat kekeruhan air yang berbeda: suatu pendekatan laboratorium. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 17(3): 299-310.

Manangkalangi E, Rahardjo MF, Hadiaty RK, Hariyadi S. 2018. Ikan endemik di Indonesia: *Melanotaenia arfakensis* Allen, 1990. *Warta Iktiologi*, 2(1): 11-17.

Manangkalangi E, Rahardjo MF, Hadiaty RK, Hariyadi S, Simanjuntak CPH. 2019. Trophic ecology of fish community at Nimbai Stream: Competition and predation interaction to Arfak rainbowfish, *Melanotaenia arfakensis* Allen, 1990. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 19(3): 449-462.

Manangkalangi E, Rahardjo MF, Hadiaty RK, Hariyadi S, Simanjuntak CPH. 2020. Distribution and abundance of the arfak rainbowfish, *Melanotaenia arfakensis* Allen, 1990 in Prafi River system, Manokwari, West Papua: due to habitat degradation? *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 404: 012043.

Manangkalangi E, Rahardjo MF, Sjafei DS, Sulistiono. 2010. Preferensi makanan ikan pelangi arfak, *Melanotaenia arfakensis* Allen, 1990 di Sungai Nimbai dan Sungai Aimasi, Manokwari. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 10(2): 123-135.

McDowall RM. 1997. Is there such a thing as amphidromy? *Micronesica*, 30(1): 3-14.

McDowall RM. 2004. Ancestry and amphidromy in island freshwater fish faunas. *Fish and Fisheries*, 5(1): 75-85.

- McDowall RM. 2007. On amphidromy, a distinct form of diadromy in aquatic organisms. *Fish and Fisheries*, 8(1): 1-13.
- McDowall RM. 2009. Early hatch: a strategy for safe downstream larval transport in amphidromous gobies. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 19(1): 1-8.
- McDowall RM. 2010. Why be amphidromous: expatrial dispersal and the place of source and sink population dynamics? *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 20(1): 87-100.
- Meffe GK. 1984. Effects of abiotic disturbance on coexistence of predator-prey fish species. *Ecology*, 65(5): 1525-1534.
- Moyle PB, Light T. 1996. Fish invasions in California: do biotic factors determine success? *Ecology*. 77(6): 1666-1670.
- Nelson JS, Grande TC, Wilson MVH. 2016. *Fishes of the World*. Fifth Edition. John Wiley and Sons, Inc., New Jersey. 707 p.
- Oliveira EF, Minte-Vera CV, Goulart E. 2005. Structure of fish assemblages along spatial gradients in a deep subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay border). *Environmental Biology of Fishes*, 72(3): 283-304.
- Oliveira JM, Segurado P, Santos JM, Teixeira A, Ferreira MT, Cortes RV. 2012. Modelling stream-fish functional traits in reference conditions: regional and local environmental correlates. *PLoS ONE*, 7(9): e45787.
- Oliveira LG, Bispo PC. 2001. Ecologia de comunidades das larvas de Trichoptera Kirby (Insecta) em dois córregos de primeira ordem da Serra dos Pirineus, Pirenópolis, Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 18(4): 1245-1252.
- Osborne LL, Wiley MJ. 1992. Influence of tributary spatial position on the structure of warm water fish assemblages. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(4): 671-681.
- Paller MH. 1994. Relationships between fish assemblage structure and stream order in South Carolina coastal plain streams. *Transactions of the American Fisheries Society*, 123(2): 150-161.
- Poff NL, Allan JD. 1995. Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability. *Ecology*. 76(2): 606-627.
- Ribeiro MD, Teresa FB, Casatti L. 2016. Use of functional traits to assess changes in stream fish assemblages across a habitat gradient. *Neotropical Ichthyology*. 14(1): e140185.
- Ryan PA. 1991. The success of the Gobiidae in tropical Pacific insular streams. *New Zealand Journal of Zoology*, 18(1): 25-30.

- Sanda DT, Peday HFZ, Rumatora A. 2019. Struktur dan komposisi vegetasi riparian pada habitat ikan pelangi arfak (*Melanotaenia arfakensis*, Allen 1990) di Sungai Nimbai dan Aimasi Prafi Manokwari. *Jurnal Kehutanan Papuaasia*, 5(2): 207-223.
- Schoenfuss H L, Blob RW. 2003. Kinematics of waterfall climbing in Hawaiian freshwater fishes (Gobiidae): vertical propulsion at the aquatic-terrestrial interface. *Journal of Zoology*, 261(2): 191-205.
- Schoenfuss HL, Maie T, Kawano SM, Blob RW. 2011. Performance across extreme environments: Comparing waterfall climbing among amphidromous gobioid fishes from Caribbean and Pacific Islands, *Cybium*. 35(4): 361-369.
- Sugeha HY, Suharti SR, Wouthuyzen S, Sumadhiharga K. 2008. Biodiversity, distribution and abundance of the tropical anguillid eels in the Indonesian Waters. *Marine Research of Indonesia*, 33(2): 129-137.
- Teresa FB, Casatti L. 2012. Influence of forest cover and mesohabitat types on functional and taxonomic diversity of fish communities in Neotropical lowland streams. *Ecology of Freshwater Fish*, 21(3): 433-442.
- Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1): 130-137.
- Vörösmarty CJ, McIntyre PB, Gessner MO, Dudgeon D, Prusevich A, Green P, Glidden S, Bunn SE, Sullivan CA, Liermann CR, Davies PM. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467: 555-561.
- Walters DM, Leigh DS, Freeman MC, Freeman BJ, Pringle CM. 2003. Geomorphology and fish assemblages in a Piedmont river basin, U.S.A. *Freshwater Biology*, 48(11): 1950-1970.
- Webb PW. 1984. Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. *American Zoologist*, 24(1): 107-120.
- Webb PW. 1988. 'Steady' swimming kinematics of tiger musky, an esociform accelerator, and rainbow trout, a generalist cruiser. *The Journal of Experimental Biology*, 138(1): 51-69.
- Woodford DJ, Impson ND, Day JA, Bills IR. 2005. The predatory impact of invasive alien smallmouth bass, *Micropterus dolomieu* (Teleostei: Centrarchidae), on indigenous fishes in a Cape Floristic Region mountain stream. *African Journal of Aquatic Science*, 30(2): 167-173.
- Xenopoulos MA, Lodge DM. 2006. Going with the flow: using species–discharge relationships to forecast losses in fish biodiversity. *Ecology*, 87(8): 1907-1914.