



Sam Wouthuyzen
Achmad Mustofa
Augy Syahailatua



Kehidupan Awal Ikan Sidat Tropis Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kehidupan Awal Ikan Sidat Tropis Indonesia



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2024 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini dibawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Sam Wouthuyzen
Achmad Mustofa
Augy Syahailatua

Kehidupan Awal Ikan Sidat Tropis Indonesia



Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2024 Sam Wouthuyzen, Achmad Mustofa, & Augy Syahailatua

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Kehidupan Awal Ikan Sidat Tropis Indonesia/Sam Wouthuyzen, Achmad Mustofa, & Augy Syahailatua–Jakarta: Penerbit BRIN, 2024.

xxviii + 169 hlm.; 14,8 × 21 cm.

ISBN 978-602-6303-36-3 (*e-book*)

- | | |
|-----------------------|---------------|
| 1. Ikan Air Tawar | 2. Ikan Sidat |
| 3. Perairan Indonesia | 4. Pemijahan |

597.4

Editor akuisisi : Prapti Sasiwi
Copy editor : Sarah Fairuz
Proofreader : Siti Mutiara Fitry & Meita Safitri
Penata isi : Rina Kamila
Desainer sampul : Rina Kamila

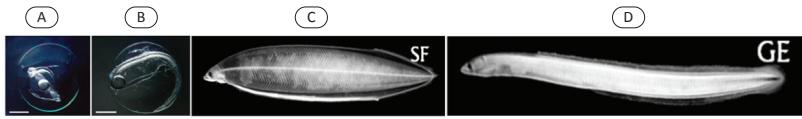
Edisi Pertama : November 2024

Diterbitkan oleh:



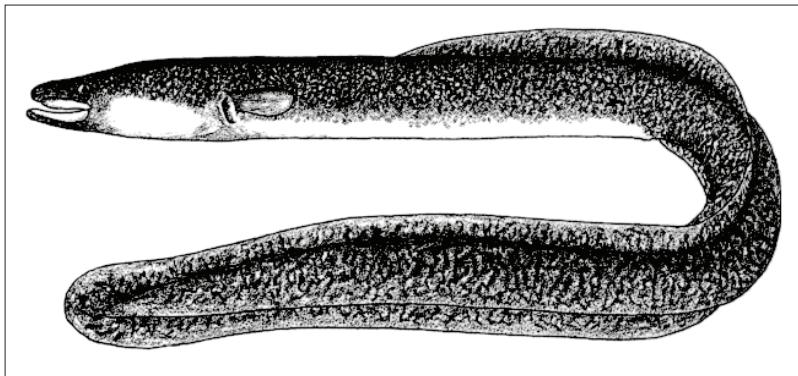
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repotori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No. 8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
WhatsApp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id
 Penerbit BRIN
 @Penerbit_BRIN
 @penerbit.brin

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: A dan B, Tsukamoto dkk. (2011) & C dan D, Sam Wouthuyzen dkk.

Telur ikan Sidat *Anguilla japonica* dan leptocephali (A dan B); glass eel dan *Anguilla* spp. (C dan D)



Sumber: Rainboth (1996)

Anguilla marmorata

*Bagi seekor Sidat,
hidup adalah suatu perjalanan panjang...
Perjalanan dari tempat pemijahan di lautan luas
terbuka, ke muara, sungai, danau, dan kembali lagi.
Perjalanan dimulai dan diakhiri di daerah pemijahan,
namun untuk jangka waktu lama.....
Tidak seorang pun tahu, di mana lokasi
pemijahan itu.*

(Mari Kuroki & Katsumi Tsukamoto, 2012)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

Daftar Gambar.....	.xi
Daftar Tabel.....	xv
Pengantar Penerbit.....	xvii
Kata Pengantar Kepala Organisasi RisetKebumian dan Maritim, BRIN	xix
Kata Pengantar Kepala Pusat Riset Oseanografi, BRIN.....	xxi
Kata Pengantar Pakar Ikan Sidat Indonesia.....	xxiii
Kata Pengantar Direktur Program Kelautan dan Perikanan Yayasan WWF Indonesia.....	xxv
Prakata	xxvii
<i>Forward Freshwater And Marine Eel Leptocephali Experts</i>	xxxi
Dedikasi dan Ucapan Terima Kasih Khusus.....	xxxv
Bab 1 Prolog: Ikan Sidat Makhluk Misterius.....	1
A. Sekilas Tentang Ikan Sidat.....	1
B. Susunan Buku.....	2

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Bab 2	Karakteristik Biologi Ikan Sidat	5
	A. Keanekaragaman Jenis Ikan Sidat dan Sebarannya.....	5
	B. Siklus Hidup Ikan Sidat.....	13
	C. Mengapa ikan Sidat memiliki daya tarik tinggi?	15
Bab 3	Leptocephali Ikan Sidat Tropis di Indonesia.....	19
	A. Sejarah Riset Leptocephali Ikan Sidat	19
	B. Koleksi Leptocephali: Peralatan, Lokasi, dan Waktu.....	24
	C. Koleksi Leptocephali Ikan Sidat di Perairan Indonesia Bagian Timur.....	29
	D. Koleksi Leptocephali Ikan Sidat di Perairan Indonesia Bagian Barat.....	40
	E. Lokasi Pemijahan, Umur, Waktu Menetas, dan Musim Pemijahan Ikan Sidat Tropis di Perairan Indonesia.....	44
	F. Pertumbuhan dan Migrasi Leptocephali Kembali ke Perairan Tawar	51
	G. Metamorfosis leptocephali ikan Sidat	54
	H. Tinjauan tentang Glass eel/elver	60
Bab 4	Ikan-Ikan Lain yang Memiliki Fase Leptocephalus di Perairan Indonesia.....	87
	A. Sebaran leptocephali Belut laut	87
	B. Kelimpahan leptocephali Belut Laut	92
Bab 5	Implikasi Pengelolaan Ikan Sidat Tropis di Indonesia.....	97
	A. Status Ikan Sidat di Perairan Empat Musim (Temperate) dan Tropis	97
	B. Pentingnya pengelolaan ikan Sidat tropis	102
Bab 6	Epilog: Dari Keingintahuan Hingga Pengelolaan	107
Daftar Lampiran 1	113
Daftar Lampiran 2	119

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Daftar Singkatan.....	123
Glosarium.....	129
Daftar Pustaka	137
Tentang Penulis	153
Indeks	159

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(a) Pohon filogenetik molukuler kelompok ikan Sidat berdasarkan hasil analisis Aoyama et al. (2001); (b) Hipotesa sebaran ikan Sidat melalui koridor Laut Tethys kuno terkait dengan pohon filogenetik Gambar 2.1a.....	7
Gambar 2.2	Pohon filogenetik molukuler kelompok ikan Sidat berdasarkan hasil analisis Minegishi et al. (2005).	8
Gambar 2.3	Pohon Filogenik 7 Spesies Ikan Sidat Tropis Perairan Indonesia	9
Gambar 2.4	Distribusi ikan Sidat dunia dan 4 hipotesa kemungkinan rute sebaran nenek moyang ikan Sidat ke Samudera Atlantik.	10
Gambar 2.5	Sebaran tujuh spesies ikan Sidat tropis Indonesia yang memperlihatkan bahwa <i>A. marmorata</i> sebagai spesies kosmopolitan dan <i>A. borneensis</i> sangat lokal atau endemik.	11
Gambar 2.6	Siklus Hidup Ikan Sidat yang Bersifat Katadromus	14
Gambar 3.1	Peta stasiun sampling leptocephali ikan Sidat di perairan Indonesia selama ekspedisi keliling dunia (<i>The Danish Round the World Expedition</i>) tahun 1928–1930.....	21

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 3.2	Lokasi sampling leptocephali ikan Sidat Jepang, <i>Anguilla japonica</i>	22
Gambar 3.3	Telur Ikan Sidat Hasil Pemijahan Alami	23
Gambar 3.4	Kapal Riset yang digunakan untuk sampling/koleksi leptocephali ikan Sidat.....	25
Gambar 3.5	Jaring IKMT dan CTD sebagai alat utama sampling larva ikan Sidat.....	25
Gambar 3.6	Aktifitas Sampling Leptocephali di Atas Kapal Riset, K/R Baruna Jaya VII.....	27
Gambar 3.7	a. Rute R/V Hakuho Maru Tahun 2000; b. K/R BJ VII Tahun 2001–2003.....	28
Gambar 3.8	Rute R/V Hakuho Maru di Samudera Hindia Tahun 2006 (Tokyo–Mauritius) dan Tahun 2010 (Mauritius–Teluk Tomini–Tokyo)	29
Gambar 3.9	Peta lokasi sampling leptocephali pada pelayaran Melinium R/V Hakuho Maru (Brisbane–Cebu) tahun 2000 yang melintasi perairan Indonesia.	30
Gambar 3.10	Peta lokasi sampling leptocephali pada pelayaran R/V BJ VII 2001 (Kiri) dan 2002 (Kanan).....	32
Gambar 3.12	Leptocephali berbagai ikan Sidat tropis dengan berbagai ukuran yang terkoleksi pada pelayaran R/V BJ VII tahun 2001 (panel kiri) dan 2002 (panel kanan).	33
Gambar 3.11	Dua kelas ukururan Leptocephali <i>A. celebesensis</i> di Teluk Tomini pada sampling tahun 2001.....	33
Gambar 3.13	Peta dan Lokasi Sampling Leptocephali di Laut Sulawesi dan Teluk Tomini Tahun 2010	35
Gambar 3.14	Tangkapan Ikan Sidat Dewasa <i>A. celebesensis</i> di Mulut Sungai Poso Tahun 2001–2002.....	37
Gambar 3.15	Pola Curah Hujan Rata-Rata (mm/hari) Tahun 2001–2002 di Sekitar Teluk Tomini.....	38
Gambar 3.16	(Atas) Curah Hujan Musiman di Sekitar Danau dan Mulut Sungai Poso, Teluk Tomini Tahun 2001 (panel atas), dan 2002 (panel bawah) (Lihat Gambar 3.15).....	38

Gambar 3.17 Transportasi leptocephali, metamorfosis leptocephali dan <i>glass eel A. marmorata</i> dan <i>A. bicolor pacifica</i> oleh Sistem arus dari Pasifik Selatan ke Laut Sulawesi, Selat Makassar dan Teluk Tomini.....	39
Gambar 3.18 Peta dan Stasiun Sampling Leptocephali di Sepanjang Pantai Barat Sumatra (Samudra Hindia)	40
Gambar 3.19 (Kiri) Foto Leptocephali <i>A. bicolor bicolor</i> yang terkoleksi selama pelayaran R/V BJ VII tahun 2003 dan (Kanan) sebaran frekuensi panjangnya.....	41
Gambar 3.20 Tiga Pelayaran Sampling Leptocephali Ikan Sidat di Pantai Barat Sumatra dan Samudra Hindia.....	42
Gambar 3.21 Perbandingan Sebaran Frekuensi Panjang Leptocephali ikan Sidat <i>A. bicolor bicolor</i>	43
Gambar 3.22 Plot leptocephali <i>A. bicolor bicolor</i> yang terkoleksi selama <i>expedition around the world</i> 1929 hasil analisa Jespersen (1942) berdasarkan ukuran (A), dan fase pertumbuhannya (B).	44
Gambar 3.23 Gambar otolith dan lingkaran harian yang digunakan untuk menduga umur leptocephali.	48
Gambar 3.24 Waktu menetas/musim pemijahan berbagai spesies ikan Sidat tropis di perairan Indonesia berdasarkan perhitungan mundur pembacaan lingkaran harian otolith leptocephali pada Tabel 3.3.....	48
Gambar 3.25 Peta Lokasi Pemijahan Potensial Ikan Sidat Tropis Indonesia	50
Gambar 3.26 6 Profil persen berat Ca, Sr, dan Ratio Sr/Ca dari titik pusat otolith hingga ke bagian terluar otolith.	56
Gambar 3.27 Konseptual model yang menunjukkan perubahan lebar dan ratio Sr/Ca pada otolith leptocephali ikan Sidat (<i>Anguilla spp</i>) selama fase metamorfosis.	57
Gambar 3.28 Sebaran konsentrasi Sorontium <i>glass eel</i> pada otolith ikan sidat pada berbagai fase.....	58
Gambar 3.29 Ikan Sidat pada fase <i>glass eel</i>	61
Gambar 3.30 Pola pigmentasi ujung ekor beberapa spesies ikan Sidat tropis pada fase elver yang dapat digunakan sebagai kunci identifikasi.....	62

Gambar 3.31	Salah satu kunci sederhana lainnya untuk mengidentifikasi jenis <i>glass eel/elver</i>	63
Gambar 3.32	Pengukuran ruas tulang punggung <i>glass eel/elver</i> ikan Sidat dari berbagai perairan dunia (a) yang digunakan sebagai kunci identifikasi (b)	64
Gambar 3.33	Ukuran morfometrik <i>glass eel/elver</i> (A), dan kunci identifikasi 3 spesies <i>glass eel/elver</i> menggunakan data Ratio ADL%/TL (B).	66
Gambar 3.34	Kunci identifikasi 4 spesies <i>glass eel/elver</i> di perairan barat daya Samudera Hindia berdasarkan nilai ratio ADL%/TL	67
Gambar 3.35	A. Sebaran global <i>A. Marmorata</i> ; B. Lima populasinya di Samudra Pasifik dan Hindia	76
Gambar 4.1	Berbagai jenis, bentuk, dan ukuran leptocephali Belut laut ordo Anguilliformes dan jenis ikan ordo Elopiformes.	88
Gambar 4.2	Berbagai tipe habitat leptocephali ikan Sidat dan Belut laut, di perairan pesisir dangkal, landas dan lereng benua serta meso- dan bathi-pelagik di laut lepas dan dalam.....	89
Gambar 4.3	Belut Dewasa yang Memiliki Habitat di Perairan Dangkal Indonesia	91
Gambar 4.4	Koleksi Sebagian Kecil Leptocepli Belut Laut pada Pelayaran K/R Baruna Jaya VII Tahun 2001	93
Gambar 4.5	Perbandingan kelimpahan leptocephali terkoleksi di wilayah Indo-Pasifik (A) dan Samudra Atlantik (B).....	96
Gambar 5.1	Klasifikasi Tingkat Kepunahan Ikan Sidat Berdasarkan Daftar Merah IUCN	99
Gambar 5.2	Peta Status Tingkat Kepunahan Ikan Sidat Tropis Indonesia Berdasarkan Daftar Merah IUCN	100

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jumlah Spesimen Leptocephali Ikan Sidat tropis yang Terkoleksi dari Berbagai Pelayaran di Perairan Indonesia.....	45
Tabel 3.2 Keanekaragaman jenis, jumlah spesimen, dan ukuran panjang berbagai leptocephalus ikan Sidat hasil sampling dari berbagai pelayaran di perairan Indonesia	46
Tabel 3.3 Kisaran panjang total, jumlah otolith, dan umur berbagai jenis dan fase pertumbuhan leptocephali ikan Sidat hasil koleksi berbagai pelayaran R/V Hakuhō Maru dan R/K Baruna Jaya di perairan Indonesia.....	49
Tabel 3.4 Ukuran maximum dan laju pertumbuhan serta lokasi pemijahan dan perkiraan jarak migrasi leptocephali kembali ke habitat perairan tawar dari berbagai spesies ikan Sidat	52
Tabel 3.5 Umur dan Durasi metamorfosis serta umur saat rekrutmen rata-rata ± standar deviasi dan dugaan bulan pemijahan berbagai jenis leptocephali ikan Sidat dan dari berbagai lokasi.	59

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 3.6	Kajian <i>glass eel/elver</i> tropis dari berbagai perairan estuari Indonesia mencakup tujuan, waktu sampling, spesies dan ukurannya, serta sumber dan metode identifikasi.	68
Tabel 3.7	Data statistik hasil tangkapan (kg) dan nilai transaksinya (Rp) untuk <i>glass eel</i> stadia 1, stadia 2, dan stadia elver di Kabupaten Sukabumi tahun 2014.....	79
Tabel 3.8	Data hasil tangkapan bulanan individu <i>glass eel/elver</i> di beberapa sungai di Kabupaten Sukabumi pada tahun 2019.....	80
Tabel 4.1	Ordo dan Famili Ikan Sidat dan belut laut yang memiliki larva berbentuk leptocephali mendiami berbagai habitat perairan laut berdasarkan Gambar 4.1.....	89
Tabel 4.2	Contoh keanekaragaman dan kelimpahan leptocephali ikan Sidat dan belut laut yang terkoleksi selama pelayaran K/R BJ VII tahun 2001 dari berbagai perairan Indonesia.	93
Tabel 4.3	Keanekaragaman (spesies) dan kelimpahan leptocephali ikan Sidat dan belut laut serta rasionya dari berbagai pelayaran ilmiah (HK: R/V Hakuho Maru; BJ VII: K/R Baruna Jaya VII).....	95
Tabel 5.1	Status tingkat kepunahan berbagai jenis ikan Sidat yang dinilai oleh sub kelompok pakar Sidat IUCN tahun 2013.....	100

PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, Penerbit BRIN mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas Penerbit BRIN untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Ikan Sidat hidup pada habitat perairan tawar (*Freshwater eel*) yang bersifat kataadromus, yaitu ikan Sidat dewasa hidup di perairan tawar (sungai, danau, perairan umum lainnya), bermigrasi jauh ke perairan laut lepas (oseanik) yang dalam untuk memijah. Pembahasan yang disajikan mengenai ikan Sidat tropis yang terdapat di perairan Indonesia, dengan penekanan khusus yang mendalam pada kehidupan awal ikan ini, yakni pada fase larva atau leptocephalus. Pembahasan dimulai dari keanekaragaman ikan Sidat, ikan Sidat tropis Indonesia. Ada empat fase kehidupan ikan Sidat, yaitu fase leptocephalus (larva), *glass eel/elver*, *yellow eel*, dan *silver eel*.

Buku *Kehidupan Awal Ikan Sidat Tropis Indonesia* hadir untuk mengenalkan, menginformasikan, dan memberikan wawasan masya-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

rakat mengenai kehidupan ikan sidat di perairan Indonesia. Buku ini dapat menjadi bahan bacaan menarik yang memperluas ilmu pengetahuan kita dan dapat menjadi bahan rujukan pembaca umum maupun pembaca khusus yang berkecimpung di bidang biologi laut, terlebih *ichthiology*.

Kami berharap hadirnya buku ini dapat menjadi referensi bacaan untuk menambah wawasan dan pengetahuan bagi seluruh pembaca. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

KATA PENGANTAR

KEPALA ORGANISASI RISET KEBUMIAN DAN MARITIM, BRIN

Seraya memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa dan atas nama Organisasi Riset Kebumian dan Maritim, BRIN, merupakan suatu kehormatan bagi saya untuk memberikan kata pengantar buku yang ditulis oleh Prof. Sam Wouthuyzen, Achmad Mustofa, dan Prof. Augy Syahailatua yang berjudul *Kehidupan awal ikan sidat tropis Indonesia*. Seperti kata pepatah: Buku merupakan jendela ilmu pengetahuan.

Salah satu peran peneliti BRIN adalah menyebarluaskan dan memberikan edukasi hasil penelitian bagi khalayak sehingga bisa memberikan pencerahan sekaligus mendorong agar bisa memberdayakan masyarakat melalui pemanfaatan ilmu yang disebarluaskan. Saya juga sangat senang bahwa penulisan buku ini bekerja sama dengan WWF Indonesia, yang telah dikenal sebagai LSM lingkungan yang sangat peduli dengan kehidupan flora dan fauna Indonesia.

Ikan sidat dikenal sebagai ikan dengan nilai komoditas yang sangat tinggi dan memiliki pasar dunia yang terus meningkat sehingga bisa mengancam keberadaannya. Buku ini secara spesifik membahas

fase larva dari berbagai keanekaragaman hayati ikan sidat di Indonesia dan mempelajari tempat-tempat pemijahan ikan sidat di Indonesia berdasarkan hasil ekspedisi yang dilakukan dengan kapal riset. Penulis juga telah berkolaborasi dengan peneliti kelas dunia seperti Prof. Dr. Katsumi Tsukamoto, Prof. Dr. Jun Aoyama, dan Dr. Michael J. Miller dari AORI, The University of Tokyo, Jepang.

Saya sangat merekomendasikan buku ini karena enak dibaca dan perlu. Sangat penting bagi mereka yang ingin tahu lebih banyak ikan sidat tropis. Sebagai penutup saya ingin mengucapkan selamat kepada tim penulis yang telah bekerja keras menyusun buku ini. Semoga Tuhan YME memberkahi upaya ini.

Jakarta, Mei 2023

Prof. Dr. Ocky Karna Radjasa

Buku ini tidak diperjualbelikan.

KATA PENGANTAR

KEPALA PUSAT

RISET OSEANOGRAFI, BRIN

Indonesia dikenal sebagai negara dengan keanekaragaman hayati laut yang terbesar di dunia. Interaksi antara sejarah geologi yang panjang, geomorfologi yang kompleks, dan kondisi lingkungan yang unik memungkinkan beragam organisme hidup dan berevolusi di perairan Indonesia. Namun demikian, tidak seperti pengetahuan kita tentang kehidupan di darat, kita masih sangat belum memahami sepenuhnya tentang apa yang ada di lautan Indonesia.

Padahal, lautan menyimpan potensi dan manfaat yang besar untuk kehidupan manusia, salah satunya adalah sebagai sumber pangan utama kita. Pada saat yang sama, aktivitas eksploitasi yang berlebihan dan merusak serta perubahan lingkungan yang cepat menjadikan laut kita sangat tertekan. Laut berada pada kondisi yang sangat rentan mengalami penurunan fungsi ekosistemnya sehingga tidak mampu memberikan manfaatnya kepada manusia secara lestari.

Pengetahuan utuh mengenai sumber daya laut dan bagaimana pengelolaannya agar lestari menjadi relevan untuk dikuasai. Informasi dan pengetahuan ilmiah yang utuh menjadi kunci dalam penyusunan strategi pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya perikanan yang

tepat. Informasi terkini mengenai berbagai aspek menjadi penting dan dibutuhkan oleh *management authority* secara khusus, dan umumnya oleh masyarakat luas.

Ikan Sidat adalah satu komoditas perikanan Indonesia yang bernilai ekonomis tinggi dengan tingkat permintaan pasar yang semakin naik setiap tahun, karena nilai ekonominya yang tinggi, biota ini rentan terhadap eksplorasi berlebihan, yang dapat mengancam kelestarian ikan ini. Untuk menjaga kelestarian populasi ikan ini, diperlukan strategi pemanfaatan dan pengelolaan yang tepat. Hal tersebut diharapkan pemanfaatan ekonomis dapat berjalan secara berkelanjutan, tanpa mengorbankan kelestarian spesies tersebut.

Buku ini merangkum pengetahuan tentang ikan Sidat perairan Indonesia, dengan penekanan khusus pada kehidupan awal ikan ini, yakni pada fase leptocephali/larva. Informasi ilmiah mengenai fase leptocephali sangat penting karena berbagai alasan. Salah satunya adalah karena pemanfaatan dan penangkapan ikan ini secara komersial dilakukan ketika masih berukuran benih.

Kepada penulis, saya sampaikan terima kasih dan apresiasi yang tinggi atas kerja keras dan ketekunannya dalam menyusun buku ini. Penulis buku ini adalah pakar dengan pengalaman riset terkait larva ikan, termasuk ikan Sidat selama puluhan tahun sehingga akumulasi pengetahuan yang diperoleh sudah selayaknya dibukukan. Saya berharap semoga buku ini bermanfaat sebagai rujukan mengenai ikan sidat, dan turut memberikan sumbangsih bagi upaya pemanfaatan dan pelestarian ikan Sidat di Indonesia.

Jakarta, Mei 2023

Dr. Udhi Eko Hernawan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

KATA PENGANTAR

PAKAR IKAN SIDAT INDONESIA

Potensi ikan Sidat di perairan Indonesia sangat besar, merupakan sumber daya ikan yang belum dimanfaatkan secara optimal walaupun beberapa lokasi, misalnya DAS Poso Sulawesi Tengah dan DAS Cimandiri Sukabumi Jawa Barat sudah sangat intensif, sehingga sudah memerlukan langkah-langkah konservasi. Informasi tentang reproduksi ikan Sidat sangat diperlukan karena sampai dengan saat ini belum ada teknologi yang sempurna dapat melakukan pemijahan buatan sehingga informasi tentang awal kehidupan ikan sidat yang posisinya di perairan laut seperti pada tulisan di buku ini sangat penting.

Sebagai tindak lanjut dari kelestarian ikan Sidat di Indonesia perlu direncanakan adanya kajian tentang keamanan lokasi-lokasi tempat pemijahan ikan sidat seperti pada tulisan buku ini, karena bila tidak diperhatikan atau dilindungi maka awal kehidupan ikan sidat tersebut di perairan laut lepas tidak akan terjadi, dan ikan Sidat di perairan darat/tawarpun akan berkurang dan hilang.

Buku ini melengkapi gambaran dari siklus hidup ikan Sidat pada bagian awal kehidupannya di perairan laut sehingga menjadi dasar

Buku ini tidak diperjualbelikan.

langkah-langkah pengelolaan tidak hanya memperhatian ikan Sidat di air tawar yang bisa dimanfaatkan langsung sebagai produksi, tapi juga memperhatikan awal adanya ikan sidat di perairan laut.

Penghargaan yang setinggi-tingginya untuk tim peneliti ikan Sidat Indonesia yang sampai saat ini masih tekun menggali potensi ikan Sidat, khususnya tim penulis buku ini karena penelitian tentang reproduksi ikan Sidat tidaklah mudah, memerlukan waktu yang lama, peralatan yang tidak sedikit khususnya kapal riset, biaya yang besar, dan tentu saja kerjasama penelitian.

Tulisan buku ini sangat berharga bagi peneliti dan pengelola kebijakan sumber daya ikan Sidat sebagai dasar pengelolaan sumber daya ikan Sidat di Indonesia agar dapat bermanfaat secara berkelanjutan. Sekali lagi penghargaan yang setinggi-tingginya untuk penulis buku ini.

Jakarta, Mei 2023

Prof. Dr. Krismono MS (Alm.)

Pusat Riset Konservasi Sumber Daya Laut
dan Perairan Darat, BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

KATA PENGANTAR

DIREKTUR PROGRAM

KELAUTAN DAN PERIKANAN

YAYASAN WWF INDONESIA

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh
Salam Sejahtera, Salam Kebajikan, Namo Budaya,
Om Santhi Santhi Om.

Puja dan puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan berkat, rahmat dan karunia-Nya kepada kita sekalian sehingga penulisan buku "Kehidupan Awal Ikan Sidat Tropis di Indonesia" ini dapat terselesaikan dengan baik.

Buku ini disusun atas kolaborasi Pusat Riset Oseanografi (PRO) BRIN dengan Yayasan WWF Indonesia dengan dukungan dari berbagai pihak diantaranya adalah WWF Jepang dan para peneliti Sidat Indonesia. Diharapkan buku ini dapat memperkaya literatur tentang perikanan Sidat terutama ikan Sidat tropis yang ada di perairan Indonesia. Tujuan utama penulisan buku ini adalah sebagai tambahan referensi pengelolaan perikanan Sidat di Indonesia agar tetap berkelanjutan dan berkontribusi kepada pengetahuan, khususnya tentang fase kehidupan awal ikan Sidat tropis di Indonesia yang selama ini masih menimbulkan banyak pertanyaan, yaitu dimanaakah sebenarnya ikan Sidat memijah di perairan Indonesia?

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Penyusunan buku ini merupakan hasil rangkuman dari berbagai kajian ilmiah tentang ikan Sidat fase leptocephalus/larva di perairan Indonesia yang dipimpin oleh Profesor Sam Wouthuyzen bekerja sama dengan peneliti dari Jepang dan peneliti Indonesia lainnya selama periode panjang antara tahun 2000 hingga 2021. Rangkuman kajian tersebut kemudian diwujudkan dalam buku ini dengan format tulisan ilmiah populer agar bisa mencapai beragam dan banyak pembaca.

Akhir kata, saya mengucapkan selamat atas diterbitkannya buku ini dan senantiasa berharap semoga penelitian-penelitian tentang ikan Sidat tropis di Indonesia selalu berkembang sehingga dapat mendukung pengelolaan perikanan Sidat yang semakin baik dan berkelanjutan kedepannya.

Yayasan WWF Indonesia secara khusus mengucapkan terima kasih kepada para penulis atas dedikasi dan pengabdian dalam dunia penelitian ikan Sidat di Indonesia, khususnya pada fase leptocephalus. Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Jakarta, Mei 2023

Dr. Imam Musthofa Zainudin

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA

Tulisan ini awalnya dibuat atas permintaan WWF Indonesia dalam rangka pengembangan literatur tentang ikan Sidat dengan penekanan pada aspek reproduksi, yaitu aspek pemijahan ikan Sidat, dimanaakah ikan ini memijah? Judul awal tulisan ini adalah "Lokasi Potensial Pemijahan Ikan Sidat Tropis Indonesia". Namun, tulisan ini tampaknya kurang bisa mencapai pembaca secara luas, mungkin keberadaannya hanya terbatas di rak buku WWF Indonesia sehingga kami penulis berinisiatif dan berupaya agar tulisan ini dapat diakses dan dibaca dengan mudah oleh beragam pembaca pada umumnya, dan khususnya peneliti yang berkecimpung di bidang biologi laut/iktiologi, khususnya ikan Sidat. Oleh karena itu, agar tujuan tersebut tercapai, penulis menerbitkan tulisan ini dalam bentuk buku ilmiah populer melalui penerbit BRIN dengan sedikit merubah judul, yakni "Kehidupan awal ikan Sidat Tropis Indonesia".

Ikan Sidat merupakan jenis ikan yang memiliki keunikan tersendiri dibandingkan ikan lainnya. Ikan Sidat hidup pada habitat perairan tawar sehingga biasa disebut sebagai *Freshwater eel* yang bersifat katadromus, yaitu ikan Sidat dewasa hidup di perairan tawar (sungai, danau, perairan umum lainnya), bermigrasi jauh ke perairan

laut lepas (oseanik) yang dalam untuk memijah. Hal ini berkebalikan dengan ikan Salmon yang bersifat anadromus, yaitu hidup di laut lepas, bermigrasi ke hulu sungai untuk memijah. Wujud buku ini merupakan kombinasi antara studi kepustakaan (*desk work*) dan hasil analisa data dan informasi langsung yang dikumpulkan penulis ketika mengikuti berbagai pelayaran berkaitan dengan koleksi larva ikan Sidat (*eel cruise*).

Buku ini membahas tentang ikan Sidat tropis yang terdapat di perairan Indonesia, dengan penekanan khusus yang mendalam pada kehidupan awal ikan ini, yakni pada fase larva atau leptocephalus. Pembahasan dimulai dari keanekaragaman ikan Sidat, ikan Sidat tropis Indonesia; Ada empat fase kehidupan ikan Sidat, yaitu fase leptocephalus (larva), *glass eel/elver*, *yellow eel* dan *silver eel*. Fase leptocephalus penting bagi ikan Sidat yang berawal dari pemijahannya di tengah laut lepas (oseanik) untuk bertelur dan kemudian menetas menjadi leptocephalus (larva) yang terbawa arus, lalu bermetamorfosis menjadi *post larva*, bermigrasi ke perairan estuari dan kembali ke perairan tawar sebagai *glass eel/elver*. Fase ikan Sidat berikutnya setelah memasuki perairan tawar (*yellow* dan *silver eel*) berada di luar lingkup dari buku ini sehingga tidak dibahas.

Selanjutnya, pembahasan meliputi sampling larva atau leptocephali ikan Sidat di perairan Indonesia dimulai melalui serangkaian pelayaran pengumpulan leptocephali ikan Sidat (*eel cruise*) menggunakan kapal riset untuk mengetahui keanekaragaman jenis ikan Sidat tropis dan sekaligus mencari tahu perairan Indonesia mana saja yang merupakan lokasi potensial ikan Sidat memijah. Disamping ikan Sidat, buku ini juga sedikit menyenggung jenis ikan lainnya yang memiliki fase leptocephali pada kehidupan awal mereka, yaitu Belut laut (*marine eels*) yang jumlah jenisnya jauh lebih banyak daripada ikan Sidat.

Ikan Sidat memiliki nilai ekonomis tinggi yang menyebabkan permitaan dunia terhadap ikan ini terus meningkat. Hal ini menyebabkan stoknya terancaman akibat eksplorasi berlebih. Oleh karena itu, spesies seperti ikan Sidat Eropa (*Anguilla anguilla*) telah masuk

daftar merah Lampiran II Konvensi Perdagangan Internasional untuk Spesies Fauna dan Flora Liar yang “Terancam Punah” (CITES) oleh IUCN tahun 2009. Dua spesies lainnya, ikan Sidat Amerika (*A. rostrata*) dan Jepang (*A. japonica*) juga telah terdaftar sebagai terancam punah. Degradasi habitat dan perubahan iklim global juga akan sangat berpengaruh terhadap stok ikan ini, terutama pada fase leptocephalus. Jadi, pada buku ini, konservasi/pengelolaan ikan Sidat tropis Indonesia turut disinggung.

Buku ini dapat terwujud berkat kerja sama erat antara AORI (*Atmospheric and Ocean research Institute*), *The University of Tokyo*, terutama Prof. Dr. Katsumi Tsukamoto, Prof. Dr. Jun Aoyama, Dr. Michael J. Miller, beserta seluruh anggota peneliti di Lab. Prof Tsukamoto. Beliau juga sering mengundang kami untuk ikut serta pelayaran kapal riset (R/V) Hakuho Maru, termasuk menghadiri berbagai pertemuan ilmiah Internasional. Beliau turut membantu dan memfasilitasi pelayaran Kapal Riset (K/R) Baruna Jaya VII dan mentransfer banyak sekali ilmu pengetahuan tentang sampling Iktio-plankton ikan Sidat fase leptocephalus. Tanpa kerjasama erat dengan AORI tidak mungkin data dan informasi tentang keanekaragaman dan kelimpahan leptocephali ikan Sidat perairan Indonesia dapat terhimpun. Terhadap dukungan Prof Tsukamoto, kami sampaikan penghargaan dan terima kasih yang tidak terhingga.

Dukungan kuat kami peroleh juga dari Prof. Dr. Ir. Kurnaen Sumadhiharta M.Sc (Almarhum), Kepala Pusat Penelitian Oseanografi (P2O)-LIPI saat itu yang sangat antusias terhadap penelitian larva ikan sidat. Bantuan juga kami terima dari Nahkoda dan seluruh awak K/R Baruna Jaya VII, peneliti dan teknisi yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu yang dengan penuh semangat terlibat selama sampling leptocephali ikan ini. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis sampaikan rasa terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya. Sebagian besar data dan informasi yang diperoleh dari pelayaran penelitian tersebut menjadi wujud buku ini. Versi awal naskah ini didanai oleh WWF-Indonesia. Hal ini membuat kami bersemangat untuk menambah dan melengkapi data dan informasi lainnya serta

mewujudkannya dalam bentuk buku. Kepada WWF Indonesia, kami sampaikan penghargaan dan terima kasih.

Semoga buku ini dapat menjadi bahan bacaan menarik yang memperluas cakrawala ilmu pengetahuan kita, dan dapat menjadi bahan rujukan bagi pembaca, baik sebagai pembaca umum, maupun pembaca khusus yang berkecimpung di bidang biologi laut, terlebih *ichthiology*, bahwa ada dunia misterius di laut yang belum diketahui banyak orang, yakni kehidupan awal ikan Sidat tropis Indonesia. Selamat membaca.

Februari, 2024

Tim Penulis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

FORWARD

FRESHWATER AND MARINE EEL

LEPTOCEPHALI EXPERTS

*After Johannes Schmidt of Denmark discovered that the American and European freshwater eels of the genus *Anguilla* migrate thousands of kilometers to spawn far offshore in the Sargasso Sea, the amazing life cycle of anguillid eels has been of interest to scientists and the general public worldwide. Schmidt later traveled through the world's oceans during the Carlsberg Round the World Expedition in 1928-1930 while conducting net sampling for eel larvae (referred to as leptocephali) in the Indo-Pacific, including areas in the Pacific, Indonesian Seas, and the Indian Ocean. What they likely realized early in the voyage, however, is that many factors may influence when and where the greater number of anguillid species spawn in the Indo-Pacific compared to the two anguillid species of the North Atlantic region. As a result, the Danish expedition mostly only collected large anguillid leptocephali, which due to their long larval lives of at least 3 months and usually much longer, do not indicate where they were spawned. They succeeded in collecting many small anguillid leptocephali off West Sumatra though, which represented the first discovery of an Indo-Pacific freshwater eel spawning area. Where the other 15 or more anguillid eels spawn would remain a mystery for more than half a century after the Danish expedition passed through*

the Indonesian Seas where the highest concentration of species is now known to occur.

Early research cruises by Japanese scientists experienced the same difficulty in trying to find the spawning area of the Japanese eel, until in 1991, Prof. Katsumi Tsukamoto of Japan led a large-scale expedition that discovered the spawning area. That species was found to spawn the westward-flowing North Equatorial Current. In 1995, Prof. Tsukamoto led a sampling survey into the western South Pacific and used genetic identification of the collected larvae for the first time. Spawning by two species of Australia-New Zealand eels was indicated to occur in the westward flowing South Equatorial Current.

The next stage of the search for other anguillid spawning areas then began when Prof. Tsukamoto started a long-term collaboration with Dr. Sam Wouthuyzen and his colleagues in Indonesia to search for the spawning areas of the freshwater eels of Indonesia. Starting at the beginning of the new millennium, cruises were conducted on both Indonesian and Japanese research vessels for 10 years. The Indonesian Seas consist of a mixture of deep-water basins and many large and small islands, with no single current flowing in one direction to transport leptocephali to where each species lives. Because of that, the previously discovered spawning areas did not provide clues to where freshwater eels might spawn in the Indonesian Seas. The collections of small leptocephali during collaborative cruises between Indonesia and Japan revealed the next important discovery in anguillid eel research: some anguillid species do not make long spawning migrations. In fact, some species may only swim a few tens or less than 100 km offshore to spawn, even if another species leaving the same river may migrate much farther offshore like the Japanese eel or Atlantic eel.

Although that discovery was a milestone in eel research the collections of leptocephali using a standardized method of two net tows per station, only at night, resulted in some of the largest collections of mostly marine eel leptocephali in the history of the world on the Indonesian research vessel (K/R) Baruna Jaya VII. Those intensive collections of leptocephali also revealed that the Indonesian Seas seem

to obviously have the greatest biodiversity of marine eels in the world. Most of the marine leptocephali cannot yet be morphologically identified into individual species that are matched with known juvenile or adult eel species, but separations into species types of leptocephali seem to indicate far more species of marine eels of many different families live in the diverse coastal and coral reef habitats of the Indonesian Seas than anywhere else on earth.

This book makes this amazing story of discoveries about freshwater and marine eels available to the people of Indonesia about how international collaboration between scientists with a deep interest in new discoveries was able to advance the world's understanding of all kinds of eels.

Tokyo, May 2023

Prof. Dr. Katsumi Tsukamoto,

Prof Dr. Jun Aoyama,

Dr. Michael J. Miller

The Tokyo University

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DEDIKASI DAN UCAPAN TERIMA KASIH KHUSUS

Buku ini dapat terwujud karena rasa ketertarikan dan keingintahuan (kuriositas) kami terhadap ikan Sidat, khususnya fase awal kehidupannya atau fase leptocephali/larva di perairan Indonesia dengan mengoleksi leptocephali dari Laut Banda menggunakan jaring sampling tidak baku (*non-standard*) yang kami buat sendiri dan menunjukkan hasil koleksi ke Prof. Katsumi Tsukamoto. Beliau sangat tertarik terhadap sampel tersebut yang kemudian mengundang kami untuk berpartisipasi pada pelayaran milenium R/V Hakuho Maru tahun 2000 dari Brisbane ke Cebu yang melalui perairan Indonesia, yakni di sebelah utara Papua dan Laut Sulawesi. Pada pelayaran ini, secara tidak langsung Prof. Tsukamoto mengajari kami cara mengoleksi, mengawetkan sampel, dan menganalisa leptocephali sebagian di atas kapal dan analisa lebih lanjut di laboratorium.

Sebaliknya, kami berturut-turut mengundang Prof. Tsukamoto dan timnya untuk mengikuti pelayaran ilmiah kapal Riset (K/R) Baruna Jaya (BJ) VII (milik Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia/P2O-LIPI) untuk mengoleksi leptocephali pada pelayaran keliling Pulau Sulawesi dari Laut Jawa, Laut Flores, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Teluk Tomin dan kembali ke Jakarta

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pada tahun 2001 dan 2002, dan pelayaran di perairan Padang dan Kepulauan Mentawai, Samudra Hindia tahun 2003.

Namun, saat itu K/R BJ VII tidak memiliki alat untuk koleksi leptocephali. Oleh karena itu, sebelum pelayaran perdana tahun 2001, Prof. Tsukamoto melengkapi K/R BJ VII dengan dua set jaring IKMT (*Isaac Kidd Midwater Trawl*) baru dan alat sampling lainnya sehingga kami dapat mengoleksi leptocephali ikan Sidat serta produk sampingan berupa belut laut (*marine eels*) yang keanekaragaman jenis dan kelimpahan jauh lebih tinggi daripada leptocephali ikan sidat.

Setelah sukses dengan tiga pelayaran K/R Baruna Jaya VII, Prof. Tsukamoto masih tetap mengajak kami untuk mengikuti pelayaran R/V Hakuho Maru dari Tokyo menuju perairan Sumatra Barat (perairan Aceh - Kepulauan Mentawai - Padang) dan melintasi Samudera Hindia ke Mauritius tahun 2006. Pada tahun 2010 kami sekali lagi berada di R/V Hakuho Maru atas undangan Prof. Tsukamoto untuk mengoleksi leptocephali ikan Sidat di Teluk Tomini dan Laut Sulawesi.

Selain kerjasama antara Prof. Tsukamoto (mewakili Ocean Research Institute (ORI), the University of Tokyo) dan kami (dari P2O-LIPI), Prof. Tsukamoto juga mendukung kami dalam mengolah dan menganalisis data yang dikoleksi selama pelayaran ilmiah melalui program pertukaran ilmuwan, termasuk menghadiri berbagai macam kegiatan ilmiah seperti seminar/workshop/simposium internasional terkait ikan Sidat. Hasil kerjasama penelitian ini, setidaknya telah menghasilkan 25 karya tulis ilmiah (KTI) yang kami tulis bersama dan diterbitkan di berbagai jurnal ilmiah bereputasi tinggi antara tahun 2000–2023, yang judul-judulnya tercantum dalam daftar lampiran 1 pada buku ini.

Atas dukungan besar yang kami terima, buku ini kami persembahkan khusus kepada Prof. Tsukamoto dan kedua ilmuwan lainnya yang sangat antusias mendukung proyek kerja sama Jepang - Indonesia tentang keanekaragaman hayati leptocephali ikan Sidat, yakni Prof. Jun Aoyama dan Dr. Michael J. Miller. Ketiga ilmuwan luar biasa ini dengan sangat rendah hati telah mengajari kami membuka sedikit tabir misteri tentang leptocephali ikan Sidat dan belut laut tropis di perairan Indonesia.

Dari pihak Indonesia, kami juga mendapat dukungan kuat dari Kepala P2O-LIPI, Prof. Ono Kurnaen Sumadhiharta Ph.D. (almarhum) yang sangat antusias terhadap koleksi leptocephali di perairan Indonesia sehingga kerja sama penelitian jangka panjang (sekitar lebih dari 20 tahun) tentang sejarah awal kehidupan ikan Sidat tropis antara Prof. Tsukamo (*ORI, the University of Tokyo*), dan kami (P2O-LIPI) dapat terjalin sangat erat. Oleh karena itu, buku ini juga kami persembahkan khusus kepada Prof. Ono K. Sumadhiharta.

Kami pada kesempatan ini juga menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada Kapten kapal K/R BJ VII (Yesayas Polnaya, almarhum), seluruh peneliti dan teknisi yang telah berpartisipasi pada pelayaran K/R BJ VII dari tahun 2001 hingga 2003, yang namanya tidak dapat kami sebutkan satu per satu. Terima kasih khusus kepada rekan sepelayaran yang telah lebih dahulu meninggalkan kami, almarhum Agustinus Nanlohy, Karel Takandengan, Robert Dacosta, Johanis Ratuperisa, Fasmi Ahmad, dan Johan Picasouw. Kami juga mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Dr. Mari Kuroki dan Dr. Miller (ORI) atas izin menggunakan gambar mereka pada buku ini. Dr Miller juga memeriksa buku ini dengan sangat teliti, terutama pada penulisan nama ilmiah spesies/genus ikan Sidat dan belut laut, termasuk keterangan Gambar, Tabel, dan kepustakaan yang dikutip, meskipun buku ini ditulis dalam bahasa Indonesia.

Tidak kalah penting, pada versi awal penulisan artikel ini, kami juga didukung oleh Yayasan WWF-Indonesia yang memberikan motivasi kuat kepada kami untuk mewujudkan buku ini sebagai buku sains populer. Untuk itu kami juga mengucapkan terima kasih.

May 2023

Tim Penulis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB 1

PROLOG: IKAN SIDAT MAKHLUK MISTERIUS

A. Sekilas Tentang Ikan Sidat

Bericara tentang ikan Sidat akan memunculkan pertanyaan, mahluk apa sebenarnya Sidat itu? Ditinjau dari bentuknya, ikan Sidat mirip seperti ular, tapi ikan ini tidak tergolong dalam dunia reptil, melainkan terkласifikasi ke dalam dunia ikan (Teleostei: *Anguillidae*), karena ikan Sidat hidup di air, bernafas dengan insang, memiliki sisik dan sirip, serta kemampuan beradaptasi terhadap perbedaan suhu dan salinitas laut (Kuroki & Tsukamoto, 2012). Sidat merupakan ikan unik, hidup pada habitat perairan tawar sehingga biasa disebut sebagai “*Frehwater eel*” dan bersifat katadromus, yaitu ikan Sidat dewasa hidup di perairan tawar, bermigrasi untuk memijah jauh ke perairan laut lepas dan larva (*leptocephali*) yang nantinya bermetamorfosis menjadi juvenil (*glass eel*) kembali lagi ke perairan tawar (Tsukamoto et al., 2002; Arai & Kadir, 2017; Arai & Chino, 2019). Hal ini berkebalikan dengan ikan Salmon yang bersifat anadromus, yaitu hidup di laut lepas, bermigrasi ke hulu sungai untuk memijah (Kuroki & Tsukamoto, 2012).

Bagi seekor ikan Sidat, kehidupan merupakan perjalanan panjang. Suatu perjalanan jauh dari daerah pemijahan di tengah laut lepas yang

dalam, dan kembali lagi menuju ke perairan estuari, sungai, danau, perairan umum lainnya. Perjalanan hidup yang dimulai dan berakhir di daerah pemijahan. Namun, awal kisah perjalanan tersebut (lokasi pemijahan) untuk waktu lama tidak banyak diketahui orang (Kuroki & Tsukamoto, 2012). Hal ini membuat heran Aristoteles, seorang pemikir Yunani kuno. Dalam pencarian ilmu yang mendalam, beliau mencoba mencari tahu bagaimana caranya sidat bereproduksi, namun beliau tidak pernah menemukan ikan Sidat dewasa yang membawa telur (matang gonad), atau larva yang baru saja menetas dari telur. Oleh karena itu, dalam tulisannya yang terkenal “Sejarah Hewan (*History of animal*)” Beliau menulis bahwa ikan Sidat berasal dari apa yang disebut ‘perut bumi’ yang tumbuh secara spontan di lumpur. Memang, Ikan ini telah diselimuti misteri sejak awal pemikiran manusia (Kuroki & Tsukamoto, 2012).

Karena kemisteriusannya ini, terutama tentang pola reproduksi ikan Sidat, WWF Indonesia meminta kami untuk membuat suatu naskah yang terkait dengan hal tersebut, yakni dimanakah sebenarnya ikan Sidat tropis Indonesia memijah? dengan judul “Lokasi Potensial Pemijahan Ikan Sidat Tropis Indonesia”. Namun, tulisan ini tampaknya tidak dapat mencapai pembaca secara luas sehingga kami penulis berinisiatif dan berupaya untuk menulis ulang dan menerbitkannya dalam bentuk buku ilmiah populer agar tulisan ini dapat diakses dan dibaca dengan mudah oleh beragam pembaca dengan sedikit merubah judul naskah di atas menjadi “Kehidupan awal (*early life history*) Ikan Sidat Tropis Indonesia”. Jadi buku ini bertujuan mengungkapkan salah satu misteri yang berkaitan aspek biologi ikan ini, yaitu aspek reproduksi dengan penekanan khusus pada aspek kehidupan awal (*early life history*), yaitu fase leptocephalus.

B. Susunan Buku

Buku ini disusun berdasarkan kombinasi antara hasil analisa data dan informasi langsung yang diperoleh dari berbagai pelayaran dalam

rangka pengumpulan data leptocephali ikan sidat (*eel cruise*) yang penulis sendiri lakukan atau data primer, serta studi kepustakaan (*desk wor/review*) atau data sekunder. Buku ini terdiri dari 6 bab yang disusun sebagai berikut: Bab 1 bercerita tentang latar belakang dan tujuan serta kegunaan buku ini dibuat berikut susunan buku ini. Bab 2 membahas karakteristik biologi ikan Sidat dengan topik bahasan tentang keanekaragaman jenis ikan Sidat di dunia dan di perairan Indonesia berikut siklus hidupnya, Bab 3 membahas tentang koleksi larva/leptocephali ikan Sidat tropis di perairan Indonesia guna menentukan lokasi pemijahannya.

Pada Bab ini, ada beberapa sub-bab yang meliputi deskripsi singkat tentang sejarah kajian leptocephali ikan Sidat di dunia; Peralatan dan teknik sampling, serta waktu dan lokasi sampling; Koleksi leptocephali ikan Sidat dari perairan Indonesia bagian tengah dan timur yang dipengaruhi oleh massa air Samudera Pasifik, dan Indonesia bagian barat yang dipengaruhi oleh massa air Samudera Hindia; Lokasi pemijahan, umur, waktu menetas, dan musim pemijahan ikan Sidat tropis di Perairan Indonesia; serta pertumbuhan dan migrasi balik Leptocephali ikan Sidat ke perairan tawar.

Bab 4 membahas sepintas tentang keanekaragaman jenis ikan-ikan lain, yakni Belut laut (*marine eel*) yang memiliki fase leptocephalus yang ikut terkoleksi selama sampling dilakukan dengan jumlah spesies dan spesimen yang jauh lebih banyak dari leptocephali ikan Sidat. Bab 5 membahas tentang implikasi pengelolaan ikan Sidat tropis Indonesia yang mencakup ancaman yang dihadapi ikan Sidat dari aspek eksploitasi yang berlebih, aspek lingkungan dan pengaruh perubahan iklim global serta berbagai kombinasinya dan aspek konservasi. Bab 6 adalah penutup, meliputi kesimpulan serta diskusi terhadap hal-hal yang dapat dikembangkan agar ikan sidat tropis dapat dikelola secara berkelanjutan. Buku ini diakhiri dengan daftar pustaka yang diacu, daftar singkatan dan glosarium, indeks, dan biografi dari setiap penulis.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB 2

KARAKTERISTIK BIOLOGI IKAN SIDAT

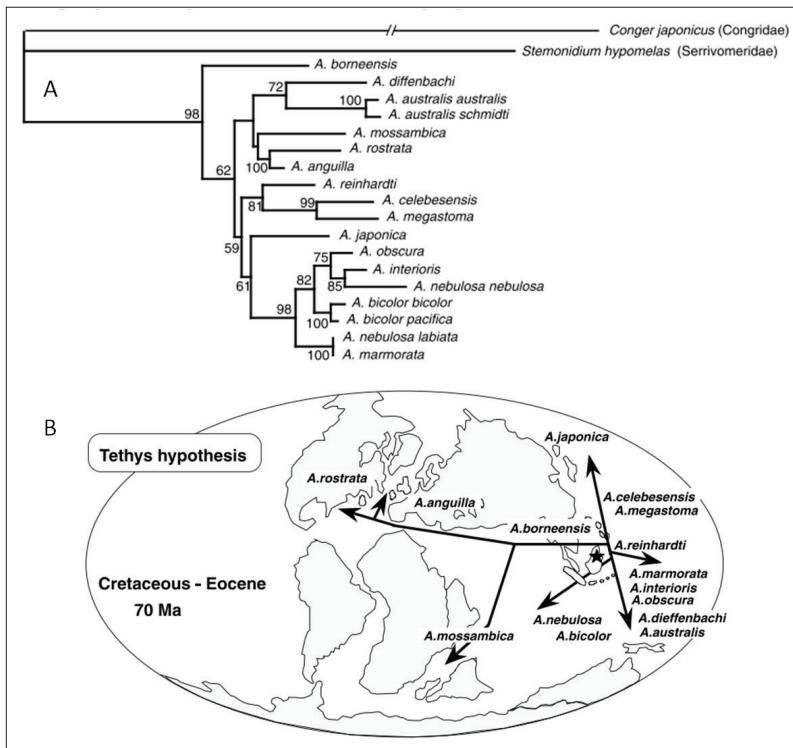
A. Keanekaragaman Jenis Ikan Sidat dan Sebarannya

Berdasarkan taksonomi, Ikan Sidat terkласifikasi sebagai berikut; Genus: Anguilla; Famili: Anguillidae; Ordo: Anguilliformes; Kelas: Actinopterygii; Filum: Chordata. Keanekaragaman jenis ikan Sidat di dunia seluruhnya berjumlah 19 spesies dan sub-spesies. Enam jenis mendiami perairan empat musim (*temperate*), yakni: *Anguilla japonica*, *A. anguilla*, *A. rostrata*, *A. australis australis*, *A. australis schmidtii*, dan *A. dieffenbachii*, dan 13 jenis di perairan tropika, dimana 7 jenis diantaranya ada di perairan Indonesia, yaitu: *A. marmorata*, *A. borneensis*, *A. celebesensis*, *A. interioris*, *A. bicolor bicolor*, *A. bicolor pacifica*, dan *A. nebulosa nebulosa*, sedangkan 6 jenis lainnya di luar perairan Indonesia, yaitu: *A. nebulosa labiata*, *A. megastoma*, *A. obscura*, *A. mossambica*, dan *A. reinhardtii* (Ege, 1939; Watanabe, 2003, Arai & Kadir, 2017) dan 1 spesies baru (*new species*), *A. luzonensis* yang hanya ditemukan di daerah sangat terbatas (endemik), yaitu di ujung Pulau Luzon, Filipina utara (Watanabe et al., 2009; Minegishi et al., 2009; Kuroki et al., 2012; Shinoda et al., 2015).

Tujuh spesies dan sub-spesies ikan Sidat yang terdapat di wilayah Pasifik Barat dan di perairan Indonesia menjadikan perairan hangat Indonesia sebagai pusat sebaran global ikan Sidat tropis (Tsukamoto & Aoyama, 1998; Kuroki & Tsukamoto, 2012).

Selain sebagai pusat sebaran global ikan Sidat tropis, Tsukamoto dan Aoyama (1998) memperkirakan kemungkinan bahwa ikan Sidat *A. celebesensis* yang mendiami perairan di sekitar Pulau Sulawesi (Celebes) utara merupakan nenek moyang (*ancestral*) famili Anguillidae. Belakangan, hasil penelitian filogenetik molekuler genus *Anguilla* (18 spesies) yang dilakukan Aoyama et al. (2001) menghasilkan pemikiran bahwa ikan Sidat tropis jenis *Anguilla borneensis* yang merupakan jenis endemik di wilayah Timur Pulau Kalimantan (Borneo) adalah spesies yang paling dasar pada pohon filogenetik atau dengan kata lain *A. borneensis* bisa disebut sebagai asal-muasal/nenek moyang (*the most ancestral species*) dari genus *Anguilla* (Gambar 2.1a). Pada Gambar 2.1a, Aoyama et al. (2001) membandingkan pohon filogenetik yang dibuatnya terhadap dua famili Belut laut (*marine eel*), yaitu famili Congridae dan Serrivomeridae sebagai kelompok ikan yang berada di luar famili ikan Sidat (Anguillidae). Hasil menunjukkan bahwa kedua famili Belut laut itu terbukti dengan sangat jelas berbeda dan berada di luar pohon filogenetik famili ikan Sidat.

Dari hasil kajian pohon filogenetik ikan Sidat dunia (Aoyama et al., 2001) tersebut timbul sebuah hipotesa, *Tethys hypotheses*, yaitu hipotesa bahwa ikan Sidat *A. borneensis* yang pertama berevolusi di Perairan Kalimantan Timur sekitar 100 juta tahun lalu menyebar ke seluruh planet ini (Tsukamoto & Aoyama, 1998; Kuroki & Tsukamoto, 2012). Ikan sidat tersebut berpencar keluar daerah tropis untuk menjajah wilayah beriklim sedang. Mereka yang bergerak ke arah barat memasuki Samudera Atlantik melalui koridor Laut Tethys kuno sebelum Terusan Suez terbentuk pada zaman Cretaceous-Eocene sekitar 70 juta tahun lalu/Ma (Gambar 2.1b), dimana ikan ini menjadi ikan Sidat Eropa (*A. anguilla*) dan Sidat Amerika (*A. rostrata*) yang sama-sama memijah di Laut Sargasso (Tsukamoto et al., 2002; Kuroki & Tsukamoto, 2012).

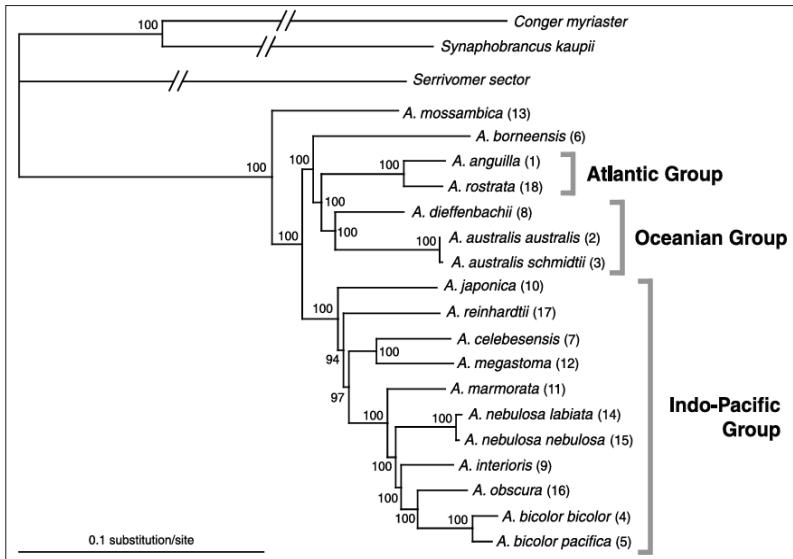


Keterangan: Pohon filogenetik kelompok ikan Sidat (Family Anguillidae) hasil analisa mitochondrial 16S rRNA and cytochrom gen b (Aoyama, et al. 2001) dan 2 famili Belut laut (Famili Serrivomeridae dan Congridae) yang digunakan sebagai pembanding untuk menunjukkan bahwa kelompok Belut laut berada di luar kelompok ikan Sidat (Anguillidae).

Sumber: Aoyama & Tsukamoto (1997); Tsukamoto et al. (2002)

Gambar 2.1 (a) Pohon filogenetik molukuler kelompok ikan Sidat berdasarkan hasil analisis Aoyama et al. (2001); (b) Hipotesa sebaran ikan Sidat melalui koridor Laut Tethys kuno terkait dengan pohon filogenetik Gambar 2.1a.

Namun, dengan berkembang pesatnya ilmu pengetahuan, khususnya metode analisis di bidang biologi molekuler (analisa DNA) terkait ikan Sidat maka penelitian Aoyama et al. (2001) yang analisis molekulernya menggunakan mitochondrial 16S rRNA dan cytochrom



Keterangan: Pohon filogenetik kelompok ikan Sidat (Genus *Anguilla*) hasil analisa menggunakan *the whole mtDNA genome*, dan 3 spesies Belut laut *Conger myriaster*, *Synaphobrancus kaupii* dan *Serrivomer sector* yang digunakan sebagai pembanding untuk menunjukkan bahwa kelompok Belut laut berada di luar kelompok ikan Sidat.

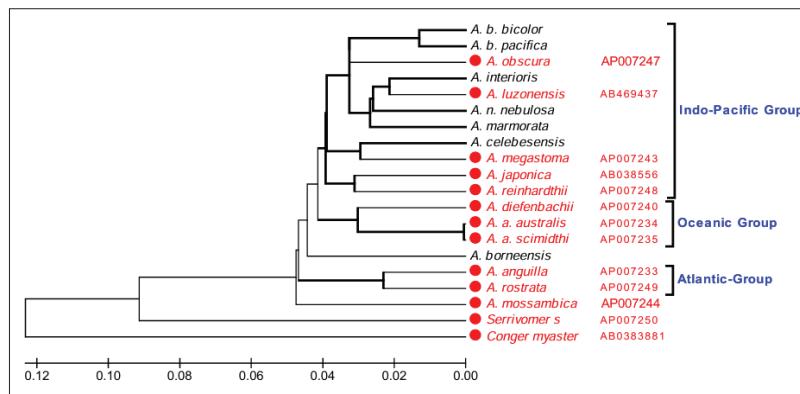
Sumber: Minegishi et al. (2005)

Gambar 2.2 Pohon filogenetik molukuler kelompok ikan Sidat berdasarkan hasil analisis Minegishi et al. (2005).

gen b sehingga mengungkapkan bahwa ikan sidat *A. borneensis* adalah spesies yang paling dasar pada pohon filogenetik atau dengan kata lain bisa disebut sebagai asal-muasal/nenek moyang (*the most ancestral species*) ikan genus *Anguilla* (Gambar 2.1a) mendapat sanggahan dari peneliti lain. Minegeshi et al. (2005) menganalisis kembali 18 spesies ikan sidat yang dikoleksi dari berbagai lokasi di dunia (minus 1 endemik spesies dari Filipina utara/Pulau Luzon, *A. Luzonensis*) pada tahun 2005 menggunakan analisis seluruh genom mtDNA (*the whole mtDNA genome*), yang lebih dapat diandalkan daripada rangkaian (*sequences*) yang lebih sedikit digunakan oleh Aoyama et

al. (2001). Hasil analisis pohon filogenetik yang dibangun berdasarkan seluruh rangkaian genom mitokondria dari 18 spesies ikan genus *Anguilla* mengungkapkan bahwa *A. mosambica* kemungkinan besar merupakan spesies paling dasar (*basal species*) dari ikan sidat (*Anguillid eel*) dan membentuk 3 kelompok geografis besar (*clade*), yakni *clade* Atlantik, Oseania, dan Indo-Pasifik, kecuali *A. borneensis* seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2.

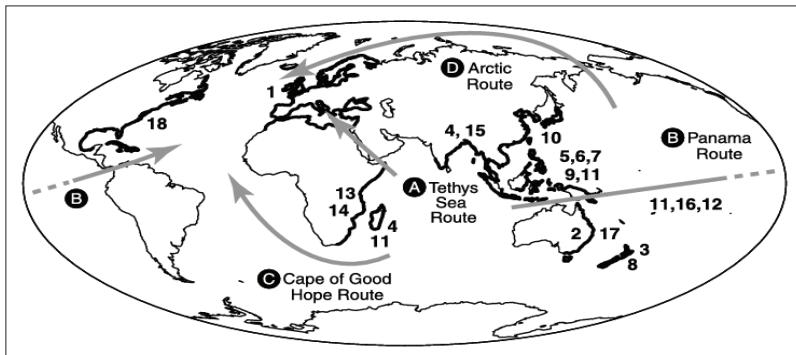
Sementara itu, hasil analisis genetika ikan Sidat tropis di perairan Indonesia yang dilakukan Fahmi (2015a) memakai metode semi-multiplek PCR mampu mengidentifikasi 7 spesies dan sub-spesies ikan Sidat tropis perairan Indonesia hanya dengan menggunakan satu step PCR. Hubungan filogenetik dan keragaman genetik kemudian dibangun dan dihitung berdasarkan rangkaian (*sequences*) DNA mitokondria sitokrom b dari 7 spesies dan sub-spesies tersebut di atas ditampilkan pada pohon filogenetik Gambar 2.3. Gambar ini



Keterangan: Pohon filogenetik hasil analisis menggunakan metode Semi-multiplek PCR yang mampu mengidentifikasi 7 spesies dan sub-spesies ikan Sidat tropis perairan Indonesia (nama spesies ikan Sidat tercetak warna hitam berdasarkan analisis cytochrome b gene sequence), sedangkan spesies lainnya yang tercetak warna merah adalah hasil analisis sequence dari bank gen (GenBank).

Sumber: Fahmi (2015a)

Gambar 2.3 Pohon Filogenik 7 Spesies Ikan Sidat Tropis Perairan Indonesia



Keterangan: Sebaran ikan sidat dunia (garis hitam tebal) yang di tandai dengan angka:

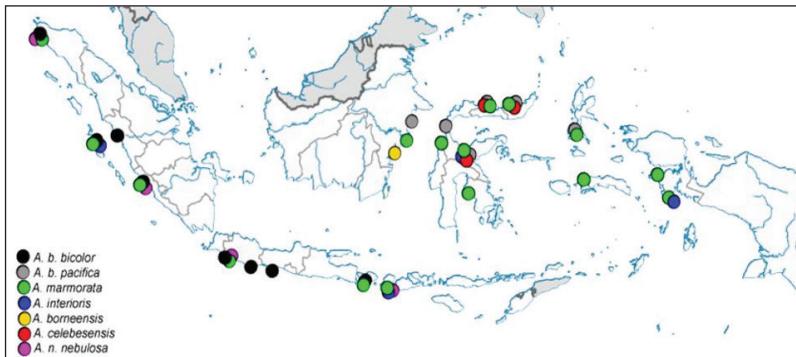
- 1) *Anguilla Anguilla*, 2) *A. australis australis*, 3) *A. australis schmidti*,
- 4) *A. bicolor bicolor*, 5) *A. bicolor pacifica*, 6) *A. borneensis*, 7) *A. celebesensis*,
- 8) *A. dieffenbachia*, 9) *A. interioris*, 10) *A. japonica*, 11) *A. marmorata*,
- 12) *A. megastoma*, 13) *A. mossambica*, 14) *A. nebulosa labiatea*, 15) *A. nebulosa nebulosa*,
- 16) *A. obscura*, 17) *A. reinhardtii*, 18) *A. rostrata*, serta 4 hipotesa kemungkinan rute sebaran nenek moyang ikan Sidat ke Samudera Atlantik (panah abu-abu).

Sumber: Minegishi et al. (2005)

Gambar 2.4 Distribusi ikan Sidat dunia dan 4 hipotesa kemungkinan rute sebaran nenek moyang ikan Sidat ke Samudera Atlantik.

menunjukkan bahwa *A. borneensis* kemungkinan besar sebagai spesies dasar (*basal species*) ikan Sidat tropis perairan Indonesia sama seperti hasil analisis Aoyama et al. (2001).

Pada Gambar 2.4 ditampilkan distribusi geografis genus *Anguilla* (garis tebal) dengan masing-masing spesies yang ditandai angka, dan beberapa hipotesa kemungkinan rute penyebaran nenek moyang ikan Sidat ke Samudera Atlantik (panah abu-abu). Selain Rute Laut Tethys kuno (Rute A, Gambar 2.4) yang merupakan wilayah sebaran asal (*origin area*) ikan sidat *A. borneensis* (no. 6) dari wilayah perairan Indonesia pada masa kini, seperti dihipotesakan oleh Aoyama et al. (2001) dan Tsukamoto et al. (2002) yang memasuki Samudra Atlantik dan menjadi ikan Sidat Clade Atlantik (*A. anguila* (no.1) dan *A. rostrata* (no. 18), lihat Gambar 2.2) masih ada 3 hipotesa rute lainnya. Hipotesa rute tersebut adalah: Rute Selat Panama (B), Rute Tanjung



Sumber: Fahmi (2015a)

Gambar 2.5 Sebaran tujuh spesies ikan Sidat tropis Indonesia yang memperlihatkan bahwa *A. marmorata* sebagai spesies kosmopolitan dan *A. borneensis* sangat lokal atau endemik.

harapan (C), dan Rute laut Artic (D). Dari Gambar 2.4 terlihat bahwa *A. marmorata* (no. 11) adalah satu-satunya spesies yang memiliki sebaran sangat luas (*cosmopolitan*) dari Samudera Hindia bagian barat hingga seluruh kepulauan Indonesia (lihat pula sebarannya di perairan Indonesia pada Gambar 2.5) dan perairan Jepang bagian selatan serta di seluruh pulau-pulau di Samudra Pasifik Selatan bagian timur (Minegishi et al., 2005).

Hasil analisis Minegishi (2005) menggunakan seluruh genom mtDNA dengan rangkaian (*sequence*) DNA yang lebih panjang terhadap 18 spesies ikan Sidat mampu menghasilkan pohon filogenetik yang lebih kuat dan dapat diandalkan (Gambar 2.2). Disamping itu, dapat pula menjelaskan hubungan antara spesies yang berkerabat dekat pada tingkat genus, seperti yang ditunjukkan dari hasil kajian Minegishi et al. (2009) lainnya. Oleh karena itu, berdasarkan divergensi mtDNA, kemungkinan terdapat struktur hierarki yang jelas dalam pasangan genus *Anguilla*, seperti pasangan sub-spesies *A. australis* (*A. australis australis* dan *A. australis schmiditii*) pasangan sub-spesies *A. nebulosa* (*A. nebulosa labiata* dan *A. nebulosa nebulosa*) yang memiliki perbedaan genus yang paling kecil, kemudian disusul

pasangan subspesies *A. bicolor* (*A. bicolor bicolor* dan *A. bicolor pasifica*), pasangan *A. anguilla* dan *A. rostrata*, pasangan *A. luzonensis* dan *A. interioris*, serta *A. celebesensis* dan *A. megastoma* yang secara berurutan saling berpasangan (Minegishi et al., 2009; Gambar 2.2, namun pada Gambar ini *A. luzonensis* belum masuk pada kajiannya). Hasil analisis Minegishi et al. (2009) ini mirip pula dengan hasil analisis yang ditunjukkan oleh Fahmi (2015a) termasuk kekerabatan antara *A. japonica* yang berpasangan dengan *A. reinhardtii*, kecuali pasangan dari sub-spesies *A. nebulosa nebulosa* dan *A. nebulosa labiata*, karena sub-spesies terakhir tidak masuk/tidak terikut serta dalam analisisnya (lihat Gambar 2.4).

Lebih lanjut, hasil analisis rangkaian DNA lebih lengkap Minegishi et al. (2005) menunjukkan pula bahwa proses evolusi dari genus ikan Sidat tidak sederhana sehingga dia tidak mendukung hipotesa sebelumnya bahwa rute penyebaran ikan Sidat ke Samudra Atlantik berdasarkan distribusi geografis spesies (hipotesa rute Laut Tethys Kuno Gambar 2.1/2.4 dan rute lainnya Gambar 2.4), namun tampaknya dihasilkan dari kejadian sebaran yang beragam dan keberagaman arah atau kepunahan spesies di masa lampau. Oleh karena itu, baik asal muasal lokasi dan proses sebaran dan spesiasi yang rinci dari genus *Anguilla* (Aoyama & Tsukamoto, 1997; Tsukamoto et al., 2002) perlu ditinjau ulang.

Minegishi et al. (2005) di akhir kajiannya menyimpulkan bahwa pohon filogenetik yang kuat genus *Anguilla* dari hasil analisisnya tidak bisa sepenuhnya memberikan informasi yang jelas tentang jalur penyebaran, serta waktu pemisahan spesies-spesies ikan Sidat. Namun menurutnya, baru-baru ini ada beberapa penelitian yang menggunakan data urutan DNA inti dan mtDNA dari fosil ikan Sidat untuk memperjelas sejarah evolusi genus *Anguilla*. Pendekatan genetika yang baru menggunakan fosil dan informasi ekologi lebih dapat diandalkan dan sangat penting untuk mempertimbangkan kembali proses historis penyebaran dan spesiasi berbagai spesies ikan Sidat.

B. Siklus Hidup Ikan Sidat

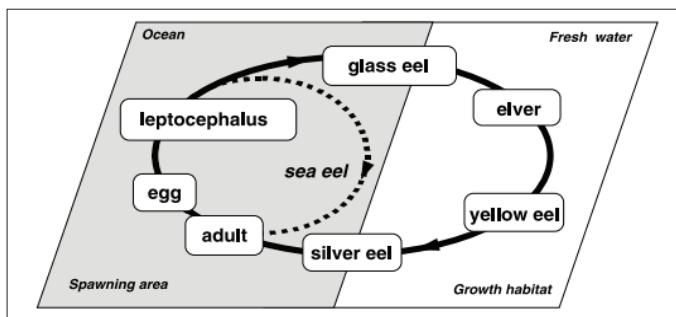
Ada lima fase dalam siklus kehidupan ikan Sidat yang jarang diketahui orang, yakni: telur, leptocephalus/larva, *glass eel/elver*, *yellow eel*, dan *silver eel* (Gambar 2.6) (Arai & Kadir, 2017). Pada fase larva, larva-larva ikan Sidat disebut leptocephali (bentuk jamak dari kata leptocephalus) yang dalam bahasa Yunani berarti “kepala kecil dan ramping/langsing”, karena memiliki bentuk kepala yang kecil dan langsing dibandingkan dengan tubuhnya yang memanjang dan gepeng, berbentuk seperti daun, transparan dengan bahan semacam gelatin pada lapisan tipis jaringan ototnya (Miller et al., 2002).

Pada fase ini, leptocephali hanyut terbawa arus laut/samudera pada landas benua (*continental shelf*) yang membawa mereka ke suatu perjalanan jauh (puluhan bahkan ribuan km) dari lokasi pemijahan ke habitat perairan tawar, dan juga dalam periode waktu yang lama (4–6 bulan) seperti pada kasus ikan Sidat Jepang, *Anguilla japonica*. Fase larva yang panjang hingga mencapai ukuran tertentu merupakan karakter khas ikan Sidat (Aoyama et al., 2003). Fakta penting lainnya adalah bahwa tingkat pertumbuhan leptocephali ikan Sidat lebih cepat dari kebanyakan larva ikan lainnya. Hal ini disebabkan kemampuan mereka yang cepat mengonsumsi kuning telur yang diterima dari induknya seminggu setelah menetas hingga mencapai ukuran 6 milimeter (fase preleptocephali) yang kemudian mereka dapat mencari makanannya sendiri (Kuroki & Tsukamoto, 2012). Setelah mencapai ukuran 50–60 mm, leptocephali bermetamorfosis menjadi *glass eel* kemudian keluar dari sistem arus laut/samudera, karena sudah mampu berenang sendiri. *Glass eel* lalu bermigrasi ke perairan estuari dan ke hulu sungai, namun sebelum itu, mereka harus mengaklimatisasi dirinya terhadap perairan payau dan perairan tawar (Kuroki & Tsukamoto, 2012).

Sebagai catatan tambahan, seluruh larva ikan yang masuk dalam ordo Anguilliformes termasuk ikan Sidat/*freshwater eel* (famili Anguilidae) dan Belut laut/*marine eel* (famili Chlopsidae, Congridae, Cyematidae, Derichthyidae, Monognathidae, Moringuidae, Muraenidae, Muraenesocidae, Nemichthyidae, Nettastomatidae,

Ophichthidae, Saccopharingidae, dan Serrivomeridae) memiliki larva berbentuk leptocephali. Beberapa ordo ikan lainnya yang memiliki fase leptocephali, antara lain Albuliformes, Elopiformes, dan Nocanthiformes (Kuroki & Tsukamoto, 2012).

Glass eel di hulu sungai berubah menjadi *elver* yang berumur sekitar 4–8 bulan dan berukuran sama atau sedikit lebih besar dan berpigmen. Dalam perjalanan bermigrasi ke hulu sungai (*upstream migration*), *elver* berubah fase menjadi *yellow eel* yang hidup di habitat air tawar, seperti sungai dan danau. Saat memasuki kematangan gonad awal (*early maturing stage*), ikan Sidat lalu berubah fase menjadi *silver eel*, dan seiring tingkat kematangan gonadnya bertambah. *Silver eel* mulai bermigrasi ke hilir, dan siap untuk kembali bermigrasi ke laut, ke lokasi tempat mereka bertelur dan mati setelah selesai memijah. Ikan Sidat fase *silver eel* sebelum bermigrasi ke lokasi pemijahan mereka juga terlebih dahulu harus beradaptasi terhadap kehidupan laut (Arai & Kadir, 2017). Pemahaman terhadap satu siklus kehidupan ikan Sidat (Gambar 2.6) hingga kini masih sangat kurang. Oleh karena sifatnya yang unik dan misterius tersebut, ikan Sidat telah menarik perhatian banyak ahli biologi untuk menelitiinya (Aoyama et al., 2002; Arai, 2014).



Sumber: Tsukamoto et al. (2002)

Gambar 2.6 Siklus Hidup Ikan Sidat yang Bersifat Katadromus

Sebagaimana telah diketahui bahwa tujuan ikan Sidat dewasa (*silver eel*) bermigrasi ke laut untuk melakukan pemijahan. Telur ikan yang kemudian menetas menjadi larva/*leptocephalus* yang selanjutnya bermetamorfosis menjadi *glass eel* dan kembali bermigrasi ke perairan payau (estuari). Namun, dalam siklus tersebut timbul pertanyaan mendasar, yakni dimanakah ikan Sidat memijah/bertelur? bagaimanakah cara mengetahuinya? dan bagaimana perkembangan larva ikan Sidat? Pertanyaan-pertanyaan tersebut merupakan suatu misteri besar yang harus dijawab melalui riset dan berbagai pengkajian (Aoyama, 2009; Arai, 2014; Aoyama et al., 2018; Gollock & Walke, 2018), khususnya terhadap ikan Sidat tropis di perairan Indonesia. Oleh karena itu, buku ini ditulis untuk mengungkapkan lokasi potensial pemijahan berbagai jenis ikan Sidat tropis Indonesia dari berbagai hasil analisis/pengkajian disamping penelusuran dari berbagai sumber acuan. Siklus hidup ikan Sidat pada fase *elver*, *yellow eel*, dan *silver eel* yang berada pada habitat perairan tawar berada di luar ruang lingkup buku ini sehingga tidak dibahas.

C. Mengapa ikan Sidat memiliki daya tarik tinggi?

Ikan Sidat (*freshwater eel*, famili Anguillidae) memiliki daya tarik tinggi karena menjadi makanan populer di banyak negara di dunia sehingga nilai ekonomisnya menjadi sangat tinggi. Ikan sidat Jepang, *Anguilla japonica* adalah ikan yang harganya mahal di Jepang, dan terus meningkat dari tahun ke tahun. Menurut FAO, harga ikan sidat pada fase *glass eel* (fase metamorfosis dari fase *leptocephali*; lihat Bab 3, Subbab G dan H) yang ditangkap di alam liar untuk dibesarkan di peternakan adalah USD 10.000 (FAO, 2005–2023). Harga pasar *glass eel* pada bulan Januari 2018 meningkat menjadi USD 7 per individu atau USD 35.000/kg, sedangkan ikan Sidat ukuran pasar memiliki harga premium di tingkat peternakan sekitar USD 50–70/kg (Bai et al., 2012). Tingginya permintaan ikan Sidat Jepang, baik di Jepang atau negara lain menyebabkan harga *glass eel* tinggi. Namun, tangkapan *glass eel* di Jepang telah menurun lebih dari 75% sejak tahun 1980, karena eksplorasi berlebih akibat tingginya permintaan yang membuat

harga *glass eel* meroket, di samping berkurang/hilangnya habitat *glass eel* ikan Sidat (Kuroki & Tsukamoto, 2012).

Negara Jepang merupakan konsumen ikan Sidat tertinggi di dunia yang mengkonsumsi 70% ikan Sidat global. Ikan Sidat panggang yang dalam bahasa Jepang disebut *unagi no kabayaki* merupakan salah satu hidangan tradisional populer di Jepang yang telah dinikmati selama berabad-abad (Kuroki & Tsukamoto, 2012; Sceaphierde, 2020). Negara Asia Timur pengkonsumsi ikan ini adalah Korea, Cina, Hongkong, Taiwan, dan Vietnam dengan beragam cara masak. Berbeda dengan Jepang, ikan Sidat asap merupakan makan lezat yang sangat disukai di negara-negara Eropa, seperti Jerman, Polandia, Denmark, Swedia, terutama Belanda.

Sebagaimana telah diuraikan di atas bahwa ikan sidat memiliki nilai ekonomis tinggi terutama di pasaran dunia (global). Belakangan ini, Indonesia telah menjadi salah satu negara penghasil *glass eel* ikan Sidat, khususnya dari spesies *A. bicolor bicolor* yang biasanya ditangkap dari alam di sungai-sungai di Selatan Jawa Barat yang kemudian dibudidayakan di keramba jaring apung (KJA). Selain *glass eel*, Ikan Sidat dewasa di pasaran lokal memiliki harga jual tinggi berkisar Rp160.000–Rp245.000/kilo dengan jumlah ikan sekitar 3–4 ekor. Indonesia kini mulai dikenal sebagai produsen ikan Sidat terbesar ke dua di dunia. Ekspor ikan Sidat Indonesia mencapai lebih dari 10.000 ton pada tahun 2021 dengan permintaan terbesar berasal dari Jepang, disamping negara di Asia Timur, seperti Cina, Hongkong, Korea dan Asean, bahkan Belanda. Walaupun ikan Sidat telah menjadi primadona ekspor Indonesia, namun menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) Indonesia mulai menampakkan kecenderungan penurunan populasi ikan Sidat akibat kelebihan tangkap (ExportHub, 2022).

Hal yang menarik lainnya dari ikan Sidat adalah memiliki nutrisinya tinggi sehingga ikan ini memiliki beragam manfaat yang sangat baik untuk menjaga kesehatan tubuh. Ada banyak hal baik dari mengonsumsi ikan sidat, antara lain.

- 1) Dapat menurunkan kadar lemak jahat (kolesterol jahat).
- 2) Dapat menyehatkan jantung dan memperpanjang umur, karena kandungan Omega 3 pada ikan Sidat bisa menyehatkan sistem kerja kardiovaskuler sehingga tubuh kita terhindar dari bahaya penyakit jantung, disamping melawan bermacam penyakit sehingga tubuh menjadi lebih sehat dan panjang umur.
- 3) Dapat menjaga kesehatan mata, karena kandungan vitamin A ikan Sidat sangat tinggi, $2.400 \mu\text{g}/100 \text{ gram}$ daging ikan sehingga melancarkan pembuluh darah di mata dan membuat mata jadi sehat.
- 4) Dapat meningkatkan kecerdasan, ikan Sidat dengan kandungan tinggi DHA (*Decosa Hexaenoic Acid*) dan EPA (*Eicosa Pentaenoic Acid*) akan membantu perkembangan dan kesehatan otak manusia, terutama pada masa pertumbuhan anak-anak, sedangkan pada orang dewasa, DHA dan EPA meningkatkan daya ingat.
- 5) Bagi kebanyakan orang Jepang, makan ikan Sidat telah lama dikenal sebagai cara mencegah kelelahan di musim panas, dan karena nutrisinya yang sangat baik, ikan Sidat menjadi simbol nutrisi yang menjaga kesehatan tubuh manusia sejak zaman dahulu (ExportHub, 2022; Kuroki & Tsukamoto, 2012).

Meskipun ada banyak hal baik yang telah diuraikan di atas, sebaliknya, pada darah ikan Sidat terdapat racun *Ichtyotoxin*, sejenis *proteinaceous neurotoxin* yang dapat menyebabkan diare, muntah-muntah, gejala keracunan, dan bahkan fatal jika terkonsumsi dalam jumlah besar. Darah ikan Sidat dapat menyebabkan peradangan jika terkena mata dan kulit, lendirnya mengandung racun *proteinaceous*, namun tidak stabil jika kena panas dan tidak menjadi masalah jika dimasak. Hal ini berbeda dengan racun pada darah sehingga ikan ini sangat jarang dimakan sebagai Sasimi (Kuroki & Tshukamoto, 2012).

Berikut daftar nutrisi penting ikan sidat dalam 100 gram porsi daging yang dapat dimakan (*edible portion*), antara lain protein (17.1 g), lemak (19.3 g), karbohidrat (0.3 g), natrium (74 mg), kalium (130

mg), calcium (130 mg), magnesium (20 mg), fosfor (260 mg), besi (0.5 mg), seng (1,4 mg), vitamin A (2400 µg), vitamin D (18 µg), vitamin E (7.3 µg), vitamin B1 (0.13 µg), dan Vitamin B2 (0.48 µg). Jadi, ikan Sidat dapat dikatakan sebagai mahluk yang mengandung racun dan juga obat (Kuroki & Tsukamoto, 2012).

BAB 3

LEPTOCEPHALI IKAN SIDAT TROPIS DI INDONESIA

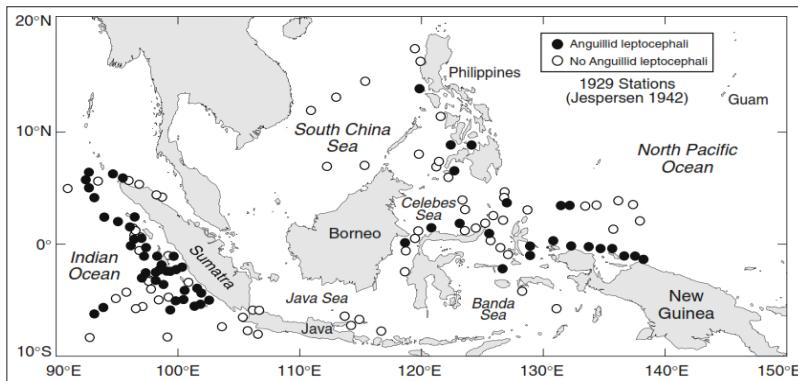
A. Sejarah Riset Leptocephali Ikan Sidat

Riset ilmiah (*scientific research*) tentang area pemijahan ikan Sidat diawali dari Eropa, setelah mengoleksi leptocephali ikan ini di sekitar Pulau Faeroe tahun 1904. Berdasarkan koleksi tersebut, Johannes Schmidt (1877–1933) seorang ahli biologi laut berkebangsaan Denmark berfikir bahwa ikan Sidat sebenarnya memijah di Samudera Atlantik bukan di Mediteranian, sebagaimana yang dihipotesakan oleh banyak peneliti. Schmidt kemudian membuktikannya melalui ekspedisi pelayaran ilmiah menggunakan 4 kapal riset. Schmidt juga meminta bantuan kapal-kapal niaga yang berlayar dari Amerika Utara ke Eropa untuk mengoleksi leptocephali (Kuroki & Tsumamoto, 2012). Hasil pelayaran menyeberangi Samudera Atlantik, Schimdt menemukan hal menarik, yaitu ditemukanya formasi lingkaran konsentrik dari sebaran leptocephali Eropa (*A. Anguilla*) berukuran sama besar yang kemudian sebaran ukurannya semakin mengecil ke arah titik tengah lingkaran tersebut yang terletak di Laut Sargasso, selatan Bermuda. Leptocephali dari ikan Sidat Amerika (*A. rostrata*) yang habitatnya di sisi timur benua Amerika menunjukkan pola sebaran leptocephali yang mirip dengan *A. Anguilla*, yakni sebaran leptocephali berukuran

kecil juga terletak di pusat lingkaran konsentrik yang juga terletak di Laut Sargasso, meskipun sedikit ke arah barat. Oleh karena itu, bisa dikatakan bahwa kedua jenis ikan Sidat (Sidat Eropa dan Amerika) tersebut memanfaatkan area terbatas di Laut Sargasso sebagai lokasi pemijahan (Kuroki & Tsumamoto, 2012). Leptocephali kembali terbawa arus hanyut ke arah suatu wilayah di benua yang berbeda untuk perekutan dan penyebaran individu baru secara luas di habitat perairan air tawar di Eropa untuk *A. anguilla* dan di Amerika utara untuk *A. rostrata* (Tsukamoto et al., 2002).

Setelah lokasi pemijahan (*spawning area*) ikan sidat di Atlantik, yakni *A. anguilla* dan *A. rostrata* di Laut Sargasso ditemukan, Schmidt melakukan ekspedisi pelayaran keliling dunia (*The Danish Round the World Expedition*) tahun 1928–1930 untuk mencari wilayah lain dari lokasi pemijahan ikan sidat. Ekspedisi ini memasuki perairan Indonesia pada tahun 1929 dan mengoleksi banyak leptocephali (Gambar 3.1). Hasil ekspedisi ini diterbitkan oleh 2 penerus Schmidt, yakni Vilhelm Ege (1887–1962), dan Poul Jespersen (1892–1951) (Kuroki & Tsukamoto, 2012). Mereka menghasilkan karya tulis ilmiah tentang taksonomi ikan Sidat dan sebaran leptocephalinya (Ege, 1939; Jespersen, 1942).

Penemuan lokasi pemijahan ikan sidat Atlantik, *A. anguilla* dan *A. rostrata* juga memicu keinginan untuk mengetahui lokasi pemijahan ikan ini di Samudra Pasifik, yakni ikan Sidat Jepang, *A. japonica*. Oleh karena itu, *Ocean Research Institute* (ORI), *the University of Tokyo* yang kemudian berubah nama *Atmosphere and Ocean Research Institute* (AORI) tahun 1973 memulai melakukan penelitian lokasi pemijahan ikan sidat di Samudera Pasifik menggunakan Kapal Hakuho Maru (Kuroki & Tsukamoto, 2012). Selanjutnya, Kuroki & Tsukamoto (2012) mengulas perjalanan panjang dari upaya mencari lokasi pemijahan ikan sidat *A. japonica* yang diawali dari pelayaran R/V Hakuho Maru tahun 1973 dengan hasil terkoleksinya 52 spesimen leptocephali berukuran 50 mm di sebelah timur perairan Taiwan. Pelayaran tahun 1986 mengoleksi 21 spesimen leptocephali *A. japonica* yang berukuran 40 mm di sisi timur Pulau Luzon, Filipina. Selanjutnya 2 pelayaran



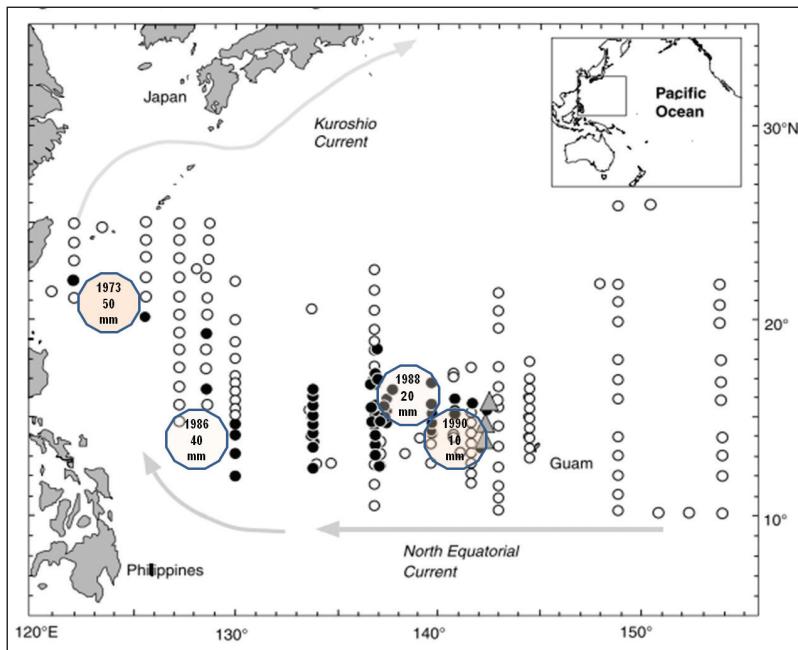
Keterangan: Lingkaran hitam menunjukkan stasiun tertangkapnya leptocephali, sedangkan lingkaran putih leptocephali ikan Sidat tidak tertangkap.

Sumber: Wouthuizen et al. (2009) yang diadopsi dari Jespersen (1942)

Gambar 3.1 Peta stasiun sampling leptocephali ikan Sidat di perairan Indonesia selama ekspedisi keliling dunia (*The Danish Round the World Expedition*) tahun 1928–1930.

tahun 1988 dan 1990 berturut-turut mengoleksi sebanyak 7 dan 21 spesimen *A. japonica* berukuran lebih kecil lagi, yakni 20–30 mm ke arah lebih timur Pulau Luzon. Pelayaran R/V Hakuhomaru tahun 1991, akhirnya mengoleksi sebanyak 1000 spesimen leptocephali *A. japonica* berukuran kecil (10 mm) di sebelah barat kepulauan Mariana sehingga dapat diasumsikan bahwa lokasi ini telah mendekati lokasi pemijahan ikan Sidat Jepang, *A. japonica*.

Tsukamoto et al. (2002) memplotkan posisi/koordinat seluruh stasiun sampling leptocephali dari pelayaran tahun 1973 hingga 1991 dan beberapa pelayaran lainnya di tahun 1995 dan 1998. Plot tersebut menghasilkan sebuah peta (Gambar 3.2) yang menyimpulkan beberapa hal menarik tentang lokasi pemijahan ikan Sidat Jepang, *A. japonica*, antara lain: (1) Sebaran leptocephali terkonsentrasi di sekitar 15° LU (Lintang Utara) di batas paling utara dari sistem arus khatulistiwa utara yang bergerak ke arah barat. (2) Ukuran leptocephali semakin lebih kecil ke arah timur mendekat punggung gunung bawah laut Mariana (*Mariana Ridge*) bagian barat hingga garis 142°BT (Bujur



Keterangan: Lingkaran biru besar menunjukkan tahun dan ukuran leptocephali, lingkaran kecil hitam adalah posisi stasiun dimana leptocephali terkoleksi, lingkaran kecil putih/kosong leptocephali tidak tertangkap. Segitiga abu-abu adalah 3 gunung laut di Mariana Ridge yang dihipotesakan sebagai lokasi pemijahan.

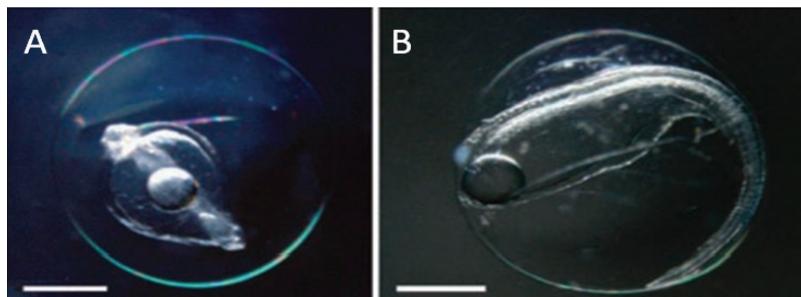
Sumber: Diadopsi dan dimodifikasi dari Tsukamoto et al. (2002) dan Kuroki & Tskumoto (2012).

Gambar 3.2 Lokasi sampling leptocephali ikan Sidat Jepang, *Anguilla japonica*.

Timur) yang merupakan batas leptocephali masih tertangkap. Pada lokasi tersebut terdapat 3 gunung bawah laut (Pathfinder, Arakane, dan Suruga) yang dihipotesakan sebagai lokasi pemijahan *A. japonica* karena lewat dari garis 142°BT tidak ada leptocephali *A. japonica* yang terkoleksi (Gambar 3.2).

Analisa otolith dari leptocephali berukuran kecil di sekitar lokasi pemijahan mengungkapkan bahwa sidat memijah secara berbarengan di awal musim panas pada fase bulan baru selama beberapa bulan (hipotesa bulan baru/*new moon hypothesis*). Pola berkumpulnya ikan

Sidat dalam ruang dan waktu memfasilitasi sinkronisasi fisiologis dari kedua jenis kelamin sidat untuk meningkatkan keberhasilan reproduksi (Tsukamoto et al., 2002; Tsukamoto et al., 2011). Penelitian lokasi pemijahan ikan sidat jepang *A. japonica* tidak berhenti sampai ditemukannya 1000 leptocephali berukuran 10 mm. Pada bulan Juni 2005 fase bulan baru dilakukan lagi sampling di sekitar punggung bukit dari 3 gunung bawah laut (Suruga, Arakane, dan Pathfinder) di Mariana Ridge barat yang mengoleksi sebanyak 130 preleptocephali (fase awal larva) yang berukuran 5 mm yang baru saja menetas beberapa hari. Hasil perhitungan umur dan pola arus dapat diketahui bahwa *A. japonica* menetas di sekitar gunung bawah laut, Suruga. Penemuan lokasi pemijahan sidat yang tepat ini (*pinpoint*) adalah penemuan pertama di dunia yang menghabiskan waktu 14 tahun dari penemuan 1000 leptocephali berukuran 10 mm tahun 1991 di lokasi yang tidak terlalu jauh (Kuroki & Tsukamoto, 2012). Pelayaran lainnya menggunakan berbagai kapal penelitian masih terus dilakukan, dimana pada tanggal 22 Mei 2009, 2 hari sebelum bulan baru terkoleksi 31 telur sidat yang telah dibuahi (*fertilized egg*) di bagian selatan dari rangkaian 3 gunung bawah laut di sebelah barat Mariana Ridge. Setelah dilakukan analisa DNA, positif telur tersebut adalah telur Sidat, *A. japonica* (Gambar 3.3). Sampel telur ini adalah



Keterangan: a. Fase embrionik awal-pertengahan; b. Fase embrionik akhir sebelum telur menetas. Garis putih menunjukkan skala 0,5 mm.

Sumber: Tsukamoto et al. (2011)

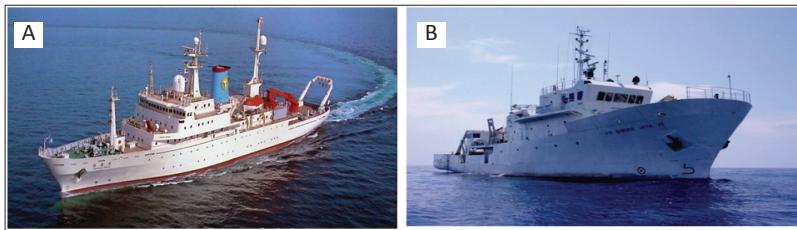
Gambar 3.3 Telur Ikan Sidat Hasil Pemijahan Alami

sampel pertama kali manusia pernah melihat telur sidat dari alam. Hasil penemuan ini membuktikan kebenaran dari hipotesa bahwa sidat memijah di sekitar gunung bawah laut (*Seamount hypothesis*) dan pada fase bulan baru (*New moon hypothesis*) (Kuroki & Tsukamoto, 2012).

B. Koleksi Leptocephali: Peralatan, Lokasi, dan Waktu

Ikan Sidat merupakan ikan yang bersifat katadromus sehingga kajian tentang lokasi pemijahan ikan Sidat harus lebih difokuskan pada fase awal kehidupannya (*early life history*), yakni fase larva/leptocephalus yang berada di lingkungan laut lepas dan dalam. Oleh karena itu, ikan Sidat pada fase ini datanya harus dikoleksi menggunakan kapal riset sebagai anjungan (*platform*) untuk bekerja (Gambar 3.4). Disamping itu, diperlukan pula perlengkapan penunjang, seperti winch, alat navigasi (peta dan GPS), alat pemeruman/ echosounder, dan lainnya. Alat utama untuk koleksi leptocephali adalah jaring plankton berukuran besar berikut bingkainya, yaitu *Issacs kidd Midwater Trawl* (IKMT) (Gambar 3.5). Pembukaan mulut jaring IKMT adalah 8,7 m², panjang jaring 12 m, dan ukuran mata jaring 0,75 mm di bagian depan dan 0,50 mm di bagian tengah hingga ujung jaring (Miller et al., 2002; Aoyama et al., 2018). Pada bagian mulut jaring dipasang flow meter untuk menghitung volume air tersaring selama IKMT ditarik dan kelimpahan larva ikan Sidat yang masuk jaring IKMT. IKMT ditarik pada perairan dengan kedalaman >1000 m. Selain IKMT, dibutuhkan CTD (*Conductivity Temperature Depth*) (Gambar 3.5) untuk mengukur parameter lingkungan habitat dari leptocephalus, yaitu suhu, salinitas, turbiditas, konsentrasi klorofil-a, pH, Oksigen terlarut (DO), dan sensor lainnya yang dapat dipasang di CTD. Pada setiap pelayaran koleksi larva Sidat baik R/V Hakuho Maru atau K/R Baruna Jaya VII, net IKMT selalu dipakai agar metode sampling sama.

Koleksi leptocephali ikan Sidat dilakukan saat menjelang hari mulai gelap (sekitar pukul 19:00), pada Pukul 21:00, tengah malam Pukul 00:00, dan Pukul 03:00 pagi. Hal ini dilakukan mengikuti



Keterangan: A. Kapal Riset (R/V) Hakuho Maru, Jepang; B. K/R Baruna Jaya VII, Indonesia sebagai sarana survei pada berbagai pelayaran ilmiah yang berkaitan dengan lokasi pemijahan ikan Sidat.

Foto: A. Prof. Tsukamoto (2001); B. Wouthuyzen (2001).

Gambar 3.4 Kapal Riset yang digunakan untuk sampling/koleksi leptocephali ikan Sidat



Foto: Dokumentasi Wouthuyzen (2001) selama ikut pelayaran K/R Baruna Jaya VII 2001.

Gambar 3.5 Jaring IKMT dan CTD sebagai alat utama sampling larva ikan Sidat.

pola migrasi diurnal dari zooplankton yang mulai bergerak naik ke permukaan pada saat hari mulai gelap, lalu tersebar di permukaan laut di atas lapisan termoklin (0–120 meter) dan kembali bergerak ke perairan dalam menjelang pagi.

Pada saat sampling, jaring IKMT diturunkan hingga kedalaman 200 meter dengan kawat baja (*wire*) terulur 3 kali kedalaman (600 m). Jaring lalu ditarik dengan 2 cara: (1) Secara diagonal (*oblique tow*) selama 60 menit hingga IKMT naik ke permukaan, dan (2) secara berjenjang (*step tow*), yaitu IKMT diturunkan hingga kedalaman

200 m lalu ditarik sekitar 10 menit, kemudian IKMT dinaikan ke kedalaman 150 m dan ditarik secara horizontal selama 10 menit, IKMT dinaikkan lagi ke kedalaman 120, 90, 60, dan 30 meter dan ditarik horizontal selama 10 menit pada setiap kedalaman tersebut. Pada kedalaman terakhir (30 m), IKMT dinaikkan ke permukaan. Total waktu dibutuhkan sekitar 60–90 menit. Kedalaman IKMT diestimasi dengan mengukur sudut kawat (*wire*) dan kawat yang terulur (Miller et al., 2006). Kecepatan kapal ketika IKMT ditarik sekitar 3 knot. Sebelum IKMT diturunkan dan setelah dinaikkan, suhu, salinitas, kecerahan, pH dan DO laut, pH, DO diukur memakai CTD hingga kedalaman 500 m.

Sampling larva sidat adalah pekerjaan berat yang membutuhkan sedikitnya 8–10 orang. Gambar 3.6 menunjukkan kesibukan aktivitas sampling leptocephali ikan Sidat di atas kapal. Setelah jaring dinaikan ke dek kapal, satu orang harus membaca jumlah angka putaran pada flow meter untuk menentukan berapa banyak volume air tersaring yang akan dipakai menghitung kelimpahan leptocephali, zooplankton dan larva biota laut lainnya. Berapa orang lain mengeluarkan isi jaring dan menempatkannya pada ember besar yang berisi air laut dan diberi batu es agar suhu air di ember menjadi rendah mendekati suhu laut di kedalaman leptocephali tertangkap. Jaring lalu disemprot kencang menggunakan selang air agar seluruh sampel yang menempel pada jaring dapat terkumpul di *bucket (cod end)* yang terpasang di ujung jaring dan berfungsi penampung seluruh sampel. Setelah seluruh sampel dikeluarkan, sampel disimpan di ember besar lalu dibawa ke laboratorium di kapal untuk segera disortir. Penyortiran dilakukan terhadap semua leptocephali ikan Sidat dan Belut laut serta sisanya adalah berupa zooplankton dan larva biota laut lainnya.

Setelah seluruh sampel IKMT tersortir, leptocephali ikan Sidat dan Belut laut diukur morfometriknya, seperti Panjang total (TL), Panjang Pre-dorsal (PDL) panjang Pre-anal (PAL) hingga ketelitian 0.1 mm, jumlah tulang punggung dan ukuran morfometrik lainnya. Pengukuran ini tidak bisa menentukan spesies ikan Sidat karena



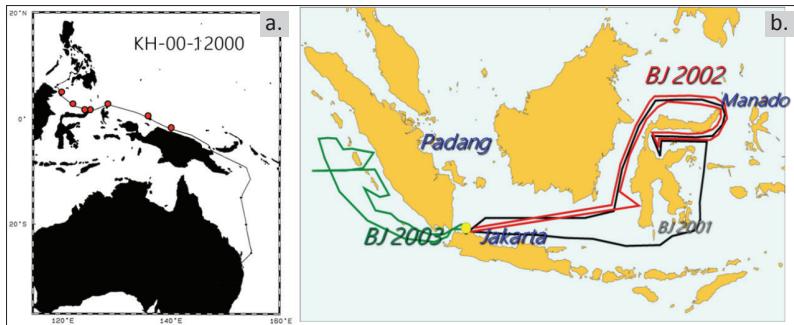
Keterangan: Urutan sampling leptocephali ikan sidat yang terdiri atas: Pelepasan jaring IKMT; Pengukuran data oseanografi menggunakan CTD; menaikkan jaring IKMT ke atas dek; mengeluarkan isinya; sorting dan identifikasi awal leptocephali serta preservasi sampel.

Foto: Dokumentasi Wouthuyzen (2001) selama pelayaran K/R Baruna Jaya VII 2001

Gambar 3.6 Aktifitas Sampling Leptocephali di Atas Kapal Riset, K/R Baruna Jaya VII

banyak ukuran morfometrik yang saling tumpang tindih (*overlap*) (Aoyama et al., 2003; Sugeha et al., 2008) sehingga leptocephali ikan Sidat diawetkan dalam etanol 95% untuk selanjutnya dianalisa di lab AORI, *The University of Tokyo* secara genetika menggunakan sebagian gen dari mitochondrial 16S ribosomal RNA. Hasil analisa genetika leptocephali tersebut dibandingkan terhadap rujukan dari bank gen ikan Sidat yang terdapat di perairan dunia (Aoyama et al., 2003). Untuk leptocephali Belut laut, seluruh sampel diklasifikasikan berdasarkan famili dan diawetkan pada formalin-air laut 10 % (Miller, et al., 2006), juga zooplankton lainnya yang merupakan porsi terbanyak dari seluruh sampel IKMT.

Kajian ikan Sidat tropis Indonesia fase kehidupan awal sudah dilakukan cukup panjang diawali dari pelayaran Milenum R/V Hakuho

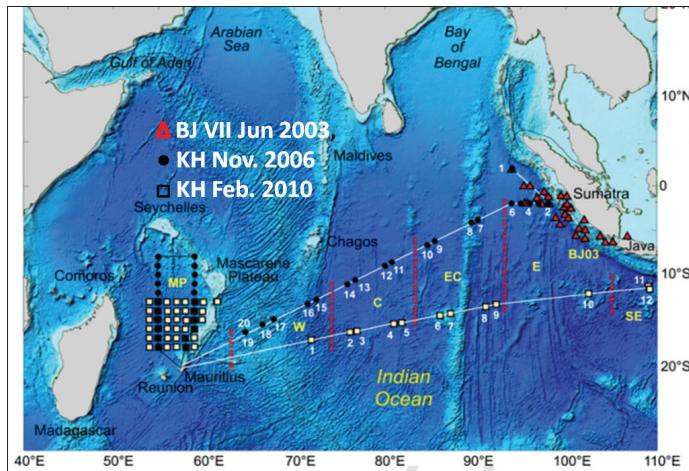


Sumber: Wouhuyzen (2020)

Gambar 3.7 a. Rute R/V Hakuho Maru Tahun 2000; b. K/R BJ VII Tahun 2001–2003

Maru (tahun 2000) dari Brisbane, Australia ke Cebu, Filipina melalui perairan Indonesia di utara Papua, Laut Halmahera dan Sulawesi. Pelayaran berikutnya dilakukan selama 3 tahun berturut-turut menggunakan K/R Baruna Jaya (BJ) VII (Gambar 3.4), yakni pelayaran pertama, Mei 2001 dari Jakarta–Laut Jawa–Selat Makassar–Laut Sulawesi– Teluk Tomini– Laut Maluku–Laut Flores–Laut Jawa kembali ke Jakarta. Pelayaran kedua, September 2002 mengikuti rute (*cruise track*) yang sama dengan 2001, tetapi pada perjalanan pulang tidak melalui jalur Laut Maluku, melainkan kembali Ke laut Sulawesi, Selat Makassar, Laut Jawa, dan kembali ke Jakarta. Pelayaran ketiga, Juni 2003 dengan rute Jakarta–Padang, sedangkan sampling dilakukan di Samudera Hindia (Gambar 3.7). AORI bekerja sama P2O-LIPI tahun 2006 melakukan pelayaran Tokyo–Padang–Mauritius dan sampling leptocephalus di sekitar perairan Padang lalu menyebrangi Samudra Hindia ke Mauritius, sedangkan tahun 2010 dilakukan lagi pelayaran yang berkebalikan, Tokyo–Pelayaran Milenium (Gambar 3.8).

Seluruh rancangan pelayaran ini tidak direncanakan secara acak (random), tetapi didasarkan atas pelayaran jauh sebelumnya, yakni pelayaran *Carlsberg Expedition Around the World* yang dilakukan Schmidt tahun 1928–1930 untuk mempelajari leptocephali ikan Sidat tropis, termasuk perairan Indonesia (Gambar 3.1). Hasil pelayaran



Sumber: Miller et al. (2019)

Gambar 3.8 Rute R/V Hakuho Maru di Samudera Hindia Tahun 2006 (Tokyo–Mauritius) dan Tahun 2010 (Mauritius–Teluk Tomini–Tokyo)

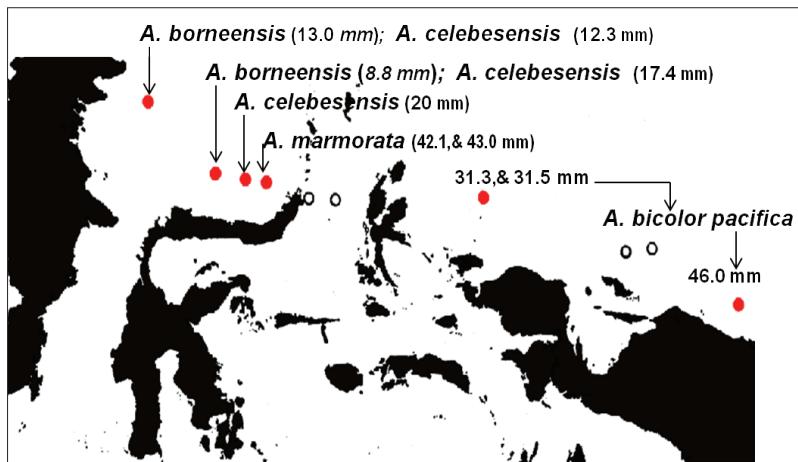
tersebut baru ditulis Jespersen tahun 1942 dalam bukunya “*Indo-Pacific leptocephalids genus Anguilla: Systematics and biological studies*” (Jespersen, 1942; Kuroki & Tsukamoto, 2012).

C. Koleksi Leptocephali Ikan Sidat di Perairan Indonesia Bagian Timur

Pemijahan ikan Sidat merupakan ujung setiap putaran lingkaran (*loop*) migrasi yang berperan sebagai titik awal dan akhir dari siklus kehidupan ikan Sidat, dan merupakan bagian paling misterius. Oleh karena itu, banyak upaya pengungkapannya berfokus pada survei lokasi dimana ikan ini memijah, namun hingga kini, lokasi pemijahan yang telah diketahui hanya terbatas pada 3 spesies Sidat yang hidup di wilayah empat musim (*temperate*), yakni di Samudera Atlantik untuk Sidat eropa, *A. Anguilla*; Sidat Amerika, *A. Rostrata*; dan di Samudera Pasifik untuk Sidat Jepang *A. japonica* (Tsukamoto et al., 2002). Jenis ikan Sidat di perairan empat musim lainnya belum diketahui, termasuk ikan Sidat tropis, terutama yang ada di perairan

Indonesia. Berikut ini dibahas lokasi pemijahan ikan Sidat di perairan Indonesia bagian tengah dan timur dan di bagian barat.

Awal pengungkapan lokasi pemijahan Sidat tropis di perairan Indonesia bagian tengah-timur bermula dari pelayaran milenium R/V Hakuho Maru tahun 2000 (KH-00-01 2000) dengan rute pelayaran (*cruise track*) dari Brisbane, Australia ke Cebu, Philippines yang melintasi perairan Indonesia (Gambar 3.7). Ada 10 spesimen leptocephali ikan Sidat tropis terkoleksi, yakni 4 spesies ikan Sidat, terdiri 2 spesimen *A. borneensis*, 3 spesimen *A. celebesensis*, 2 spesimen *A. Marmorata*, dan 3 spesimen *A. bicolor pacifica* seperti telihat pada Gambar 3.9. Leptocephali yang terkoleksi berukuran kecil, kecuali 3 spesimen *A. bicolor pacifica* (dengan kisaran ukuran 31,3–46 mm), dan 2 spesimen *A. marmorata* (42.1–43.0 mm), sedangkan *A. borneensis* merupakan jenis yang kisaran ukurannya terkecil (8.8–13.0 mm), disusul *A. celebensis* (12.3–20.0 mm) (Miller et al., 2011). Seluruh



Keterangan: Lingkaran merah menunjukkan lokasi positif leptocephali tertangkap berikut ukuran dan jumlahnya, sedangkan lingkaran Putih lokasi negatif (leptocephali tidak tertangkap)

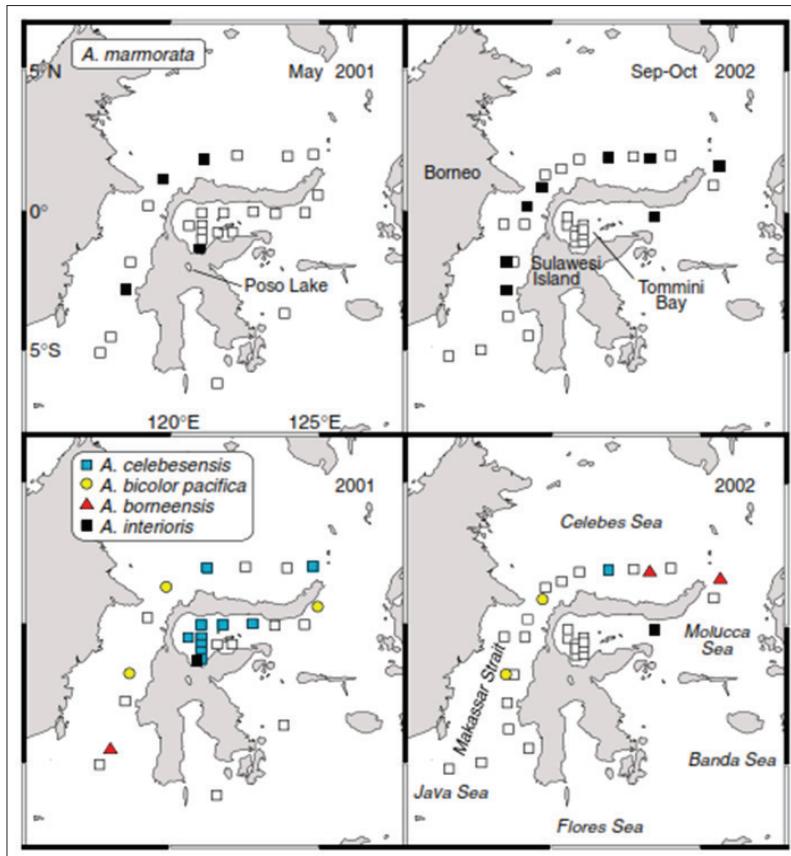
Sumber: Miller et al. (2011)

Gambar 3.9 Peta lokasi sampling leptocephali pada pelayaran Melinium R/V Hakuho Maru (Brisbane–Cebu) tahun 2000 yang melintasi perairan Indonesia.

identifikasi spesies leptocephali dianalisis menggunakan teknik genetika (Aoyama et al., 2003). Setelah pelayaran R/V Hakuho Maru tahun 2000, 2 pelayaran K/R Baruna Jaya VII mengelilingi Pulau Sulawesi (Gambar 3.7) dilakukan untuk mengungkapkan sebaran keaneka-ragaman jenis leptocephali ikan Sidat tropis yang bertujuan mengetahui lokasi pemijahannya selama pelayaran (BJ-01-1) Mei 2001, dan (BJ-02-4) September–Oktober 2002 (Gambar 3.10).

Pelayaran K/R Baruna Jaya VII tahun 2001 dengan 25 lokasi sampling mengoleksi 5 spesies leptocephali ikan Sidat yang terdiri atas 53 spesimen, yaitu 4 spesimen *A. bicolor pacifica* dengan kisaran panjang total 39–46 mm, 1 spesimen *A. borneensis* (35 mm), 38 spesimen *A. celebesensis* (13–48 mm), 1 spesimen *A. interioris* (49 mm), dan 9 spesimen *A. marmorata* (34–51 mm), termasuk 1 *glass eel* yang tertangkap di Teluk Tomini (Wouthuyzen et al., 2009). Seluruh leptocephali tersebut terkoleksi dari perairan Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Maluku, dan Teluk Tomini (Gambar 3.10) (Wouthuyzen et al., 2005). Hal menarik pada pelayaran ini adalah bahwa leptocephali *A. celebesensis* sangat mendominasi Teluk Tomini dengan 38 leptocephali dari 53 spesimen yang terkoleksi, dimana terlihat jelas ada 2 kelas ukuran yang mengindikasikan adanya 2 kelas umur yang masuk ke dalam populasi baru (rekrutmen) di Teluk ini (Gambar 3.11).

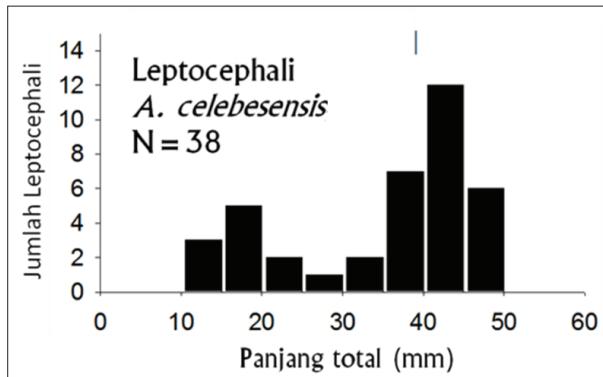
Pelayaran K/R Baruna Jaya VII 2002 dengan 34 lokasi sampling mengoleksi 28 spesimen leptocephali dari 5 spesies, yakni *A. bicolor pacifica* (4 spesimen, 45–50 mm), *A. borneensis* (2 spesimen, 42–49 mm), *A. celebesensis* (1 spesimen, 41 mm), *A. interioris* (1 spesimen, 36 mm) dan *A. marmorata* (20 spesimen, 33–49 mm) termasuk 1 spesimen *glass eel A. marmorata* yang tertangkap di Laut Sulawesi. Berbeda dari pelayaran 2001, seluruh spesimen pelayaran 2002 hanya mewakili perairan Selat Makasar, Laut Sulawesi dan Laut Maluku dengan spesimen terkoleksi masing-masing 16, 5, dan 7 leptocephali, sedangkan di Teluk Tomini leptocephali sama sekali tidak terkoleksi (0 spesimen), walaupun usaha dan metode sampling sama seperti pelayaran sebelumnya. Hal ini menandakan tidak ada pemijahan pada bulan sebelumnya ketika sampling dilakukan (Wouthuyzen et al.,



Keterangan: Kotak berwarna menunjukkan lokasi tertangkapnya leptocephali ikan Sidat, sedangkan kotak putih leptocephali tidak tertangkap. Panel kiri dan kanan atas menunjukkan tertangkapnya *A. marmorata* termasuk 1 ekor glass eel di Teluk Tomini (2001) dan satu di Laut Sulawesi (2002). Panel kiri dan kanan bawah menunjukkan tertangkapnya *A. celebesensis*, *A. bicolor pacifica*, *A. borneensis*, dan *A. interioris*, dimana spesies tersebut ada yang berukuran kecil <20 mm pada pelayaran tahun 2001 dan 2002.

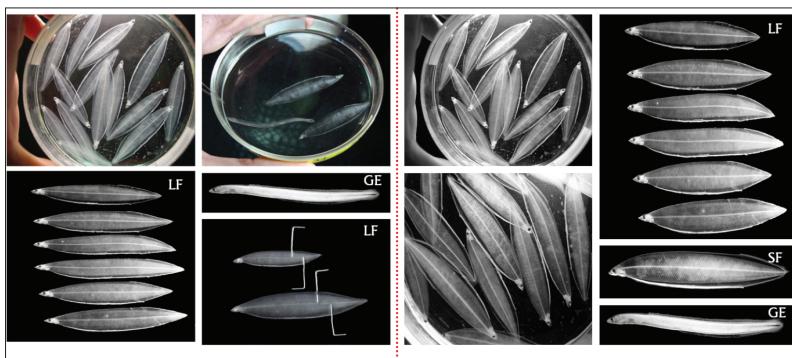
Sumber: Wouthuyzen et al. (2009)

Gambar 3.10 Peta lokasi sampling leptocephali pada pelayaran R/V BJ VII 2001 (Kiri) dan 2002 (Kanan).



Sumber: Hasil analisis Wouthuyzen (2002) berdasarkan data terkumpul selama sampling

Gambar 3.11 Dua kelas ukururan Leptocephali *A. celebesensis* di Teluk Tomini pada sampling tahun 2001.



Keterangan: LF: Long Fin leptocephali (kemungkinan jenis: *A. borneensis*, *A. celebesensis*, *A. interioris*, dan *A. marmorata*); SF: Short Fin, (kemungkinan jenis *A. bicolor pacifica*, *A. bicolor bicolor*). GE: glass eel, leptocephali yang telah bermetamorfosis. Identifikasi akurat leprocephali menggunakan analisis genetika.

Foto: Dokumentasi Wouthuyzen (2002) selama mengikuti pelayaran K/R Baruna Jaya VII 2001–2002.

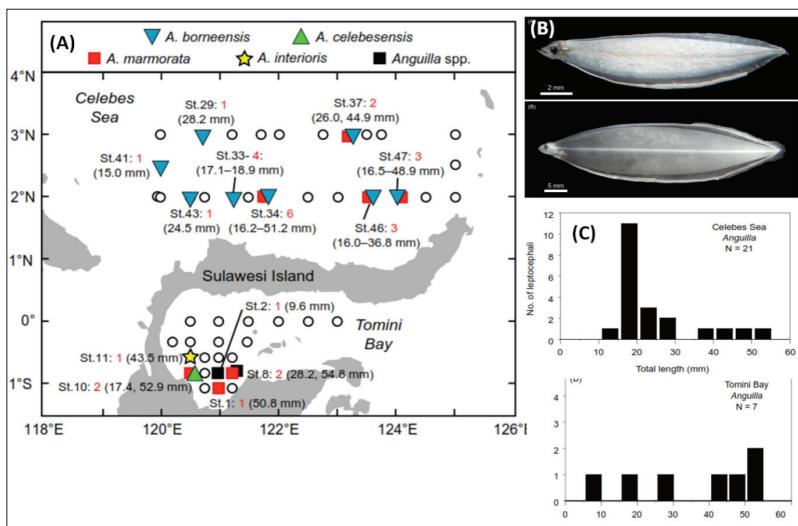
Gambar 3.12 Leptocephali berbagai ikan Sidat tropis dengan berbagai ukuran yang terkoleksi pada pelayaran R/V BJ VII tahun 2001 (panel kiri) dan 2002 (panel kanan).

2009). Gambar 3.12 menunjukkan leptocephali Sidat yang terkoleksi dari pelayaran 2001 dan 2002.

Pelayaran R/V Hakuho Maru kembali melakukan sampling leptocephali di 48 lokasi bulan Maret tahun 2010 di Laut Sulawesi dan Teluk Tomini. Total sejumlah 28 spesimen leptocephali terkoleksi dari 13 stasiun, namun sebaran jumlah leptocephali yang terkoleksi lebih melimpah di Laut Sulawesi ($N=21$ dengan kisaran panjang total (TL) 16,0–52,1 mm) daripada di Teluk Tomini ($N=7$; TL: 9,6–54,8 mm). Sebanyak 21 spesimen leptocephali yang terkoleksi terdiri dari 2 spesies, yaitu 10 spesimen *A. borneensis* (TL: 14,0–28,2 mm) dan 4 spesimen *A. marmorata* berukuran besar (TL: 36,8–48,9 mm) yang mewakili Laut Sulawesi, sedangkan 7 spesimen sisanya terkoleksi di Teluk Tomini yang mewakili 3 spesies, yakni 1 spesimen *A. celebesensis* (17,4 mm), 3 spesimen *A. interioris* (9,6–43,5 mm), dan 3 spesimen *A. marmorata* (50,8–54,8 mm) (Aoyama et al., 2018). Gambar 3.13 menampilkan peta, posisi lokasi sampling berikut jumlah leptocephali yang tertangkap, dan foto spesies leptocephali yang terkoleksi serta sebaran ukurannya.

Hasil pelayaran sampling leptocephali Sidat di sekitar perairan Sulawesi utara (Laut Sulawesi, Laut Maluku, dan Teluk Tomini) selama tahun 2000–2002 dan 2010 menegaskan bahwa perairan ini memiliki keanekaragaman leptocephali sidat yang tinggi dengan terkoleksinya 5 jenis sidat, yaitu *A. Borneensis*, *A. celebesensis*, *A. interioris*, *A. bicolor pacifica*, dan *A. marmorata*. Lebih lanjut, terkoleksinya leptocephali berukuran kecil dari *A. borneensis* di Laut Sulawesi pada pelayaran R/V Hakuho Maru Februari 2000, dan yang berukuran lebih besar pada pelayaran K/R BJ VII Mei 2001 dan September–Oktober 2002, serta terkoleksinya lebih banyak lagi leptocephali *A. borneensis* pada pelayaran R/V Hakuho Maru 2010 (Gambar 3.13) menunjukkan dengan jelas bahwa Laut Sulawesi adalah daerah pemijahan ikan Sidat tropis *A. borneensis* potensial perairan Indonesia, meskipun *A. borneensis* terkoleksi pula di selatan Selat Makassar (Gambar 3.10).

Pada pelayaran 2001, sejumlah 38 leptocephali *A. celebesensis* terkoleksi dari Teluk Tomini dengan 2 kelas ukuran (Gambar 3.11).



Keterangan: Lingkaran kosong menandakan leptocephali tidak terkoleksi di Laut Sulawesi dan di Teluk Tomini. Angka pada panel A masing-masing menunjukkan Stasiun: jumlah leptocephali terkoleksi dan kisaran ukuran panjang. Panel B atas dan bawah serta panel C menunjukkan 21 dan 7 spesimen leptocephali *A. borneensis* dan *A. marmorata* yang masing-masing terkoleksi di Laut Sulawesi dan Teluk Tomini serta sebaran ukuran panjangnya.

Sumber: Aoyama et al. (2018)

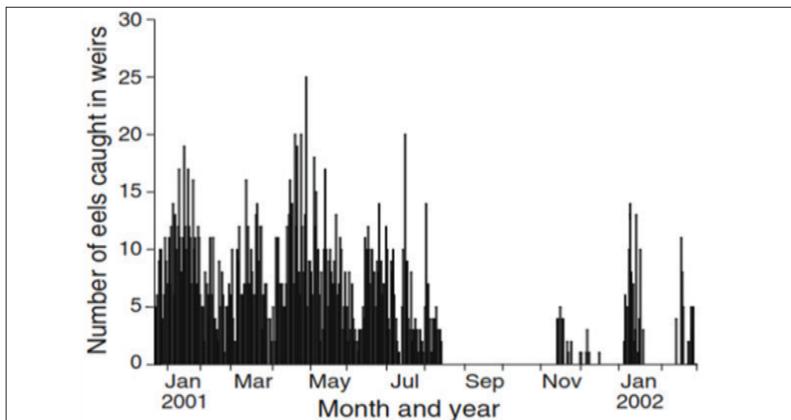
Gambar 3.13 Peta dan Lokasi Sampling Leptocephali di Laut Sulawesi dan Teluk Tomini Tahun 2010

Ukuran terkecil (13,0 mm) ditemukan di bagian selatan Teluk Tomini. Walaupun tidak sebanyak leptocephali pada pelayaran 2001, Satu spesimen berukuran kecil *A. celebesensis* (17,4 mm) dan *A. interioris* (9,6 mm) terkoleksi lagi pada pelayaran 2010 di Teluk Tomini bagian selatan. Spesimen tersebut terjaring ketika IKMT ditarik di dekat gunung bawah laut di bagian selatan Teluk Tomini yang lokasinya disebut Pasir Putih. Namun, pada pelayaran 2002 (Gambar 3.12), 1 spesimen *A. interioris* (36 mm) terkoleksi di Luar Teluk Tomini (Laut Sulawesi) (Gambar 3.10). Terkoleksinya leptocephali *A. celebesensis* dan *A. interioris* berukuran kecil menunjukkan bahwa Teluk Tomini bagian selatan adalah juga daerah pemijahan potensial dari kedua sidat ini, terutama untuk spesies *A. celebensis*.

Fakta ini menunjukkan besar kemungkinan bahwa ikan Sidat dewasa yang mendiami habitat perairan tawar di daratan besar Pulau Sulawesi dan Kalimantan bermigrasi ke laut Sulawesi dan Teluk Tomini untuk memijah. Hal ini membuktikan bahwa sidat tropis, *A. borneensis*, *A. celebesensis*, dan *A. interioris* bermigrasi untuk mijah dengan jarak pendek daripada ikan Sidat perairan 4 musim (*temperate*) (Aoyama et al., 2003). Adanya sebaran frekuensi panjang leptocephali *A. celebesensis* dengan dua puncak modus di Teluk Tomini (Gambar 3.11) menunjukkan pola pemijahan lokal berulang yang berbeda dari pemijahan tunggal dan besar seperti ikan Sidat di wilayah *temperate* (Tsukamoto et al., 2002).

Pada pelayaran September–Oktober 2002, leptodephali ikan Sidat tidak terkoleksi satu spesimen pun di Teluk Tomini. Hal ini kemungkinan disebabkan terhentinya migrasi sidat dewasa (*silver eel*) untuk memijah di Teluk Tomini selama beberapa bulan terkait dengan musim kemarau di sekitar Teluk Tomini, Sulawesi Tengah (Wouthuyzen et al., 2009). Pola curah hujan di Teluk Tomini tahun 2002 menunjukkan curah hujan rata-rata bulanan yang rendah daripada tahun 2001, terutama pada bulan September–Oktober masing-masing hanya 2,42 dan 1,41 mm.

Ikan Sidat dewasa yang bermigrasi ke hilir (*down migration*) dari Danau Poso melalui Sungai Poso yang berjarak jauh (323 km) untuk memijah biasanya tertangkap alat perangkap bambu (*weir*) di mulut Sungai Poso. Sugeha (2003) menunjukkan hasil tangkapan ikan Sidat *A. celebesensis* dari bulan Januari 2001 hingga Februari 2002 (Gambar 3.14). Gambar ini memperlihatkan bahwa hampir tidak ada tangkapan di bulan September–Oktober 2001. Hal ini tampaknya berkesesuaian dengan tidak terkoleksinya satu ekor pun leptocephali pada sampling pelayaran K/R BJ VII September–Oktober 2002. Aktivitas migrasi hilir ikan Sidat tersebut yang juga tidak terdeteksi di bulan September–Oktober 2001 berketepatan dengan rendahnya level permukaan air Danau Poso < 100 cm di bawah rata-rata (Sugeha et al., 2006). Hasil pemantauan curah hujan berdasarkan data Giovanni NASA menunjukkan pola curah hujan yang rendah pada bulan Agustus–Oktober baik tahun 2001 maupun 2002 (Gambar 3.15), dengan pola



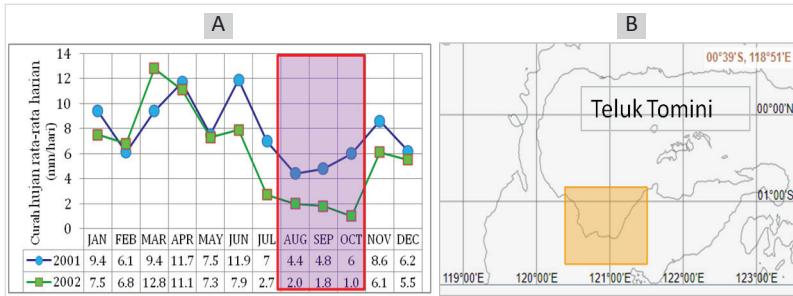
Keterangan: Sebaran jumlah ikan sidat dewasa yang tertangkap menggunakan perangkap bambu, di mulut Sungai Poso antara tahun 2001 dan 2002, namun tidak ada tangkapan pada bulan September–Oktober.

Sumber: Sugeha (2003)

Gambar 3.14 Tangkapan Ikan Sidat Dewasa *A. celebesensis* di Mulut Sungai Poso Tahun 2001–2002

sebaran musiman yang menunjukkan pula curah hujan terendah pada bulan Juni–Agustus/JJA (musim peralihan II, kemarau-hujan) seperti terlihat pada Gambar 3.16. Jadi, tampaknya pola migrasi hilir ikan Sidat khususnya *A. celebesensis* untuk memijah berkaitan dengan musim hujan. Musim hujan menyebabkan debit air Danau Poso menjadi tinggi sehingga level permukaannya juga meningkat. Hal ini diduga menstimulasi ikan Sidat dewasa yang matang gonad siap meninggalkan Danau Poso bermigrasi ke hilir untuk memijah di Teluk Tomini (Sugeha et al., 2006; Aoyama et al., 2018).

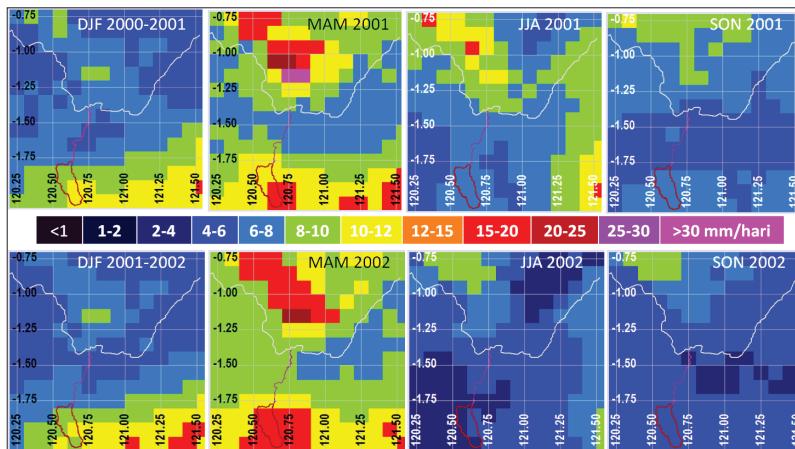
Berkebalikan dari leptocephali 3 jenis leptocephali ikan Sidat *A. borneensis*, *A. celebesensis*, dan *A. interioris*, leptocephali *A. marmorata* dan *A. bicolor pacifica* yang terkoleksi selama pelayaran 2000–2002 dan 2010 (Gambar 3.9 dan 3.10) di sekitar Pulau Sulawesi dan Selat Makassar semuanya berukuran besar (> 30 mm) (Aoyama et al., 2003; Kuroki et al., 2006a; Wouthuyzen et al., 2009). Leptocephali dari 2 jenis ikan Sidat ini tampak berasal dari hasil pemijahan lokal, melainkan datang dari lokasi pemijahan yang berasal dari Samudera Pasifik selatan



Keterangan: A. Kotak merah muda menunjukkan curah hujan rendah pada bulan Agustus–Oktober di sekitar danau dan mulut Sungai Poso, Teluk Tomini; B. (kotak oranye) yang berketepatan dengan rendahnya jumlah tangkapan ikan sidat dewasa *A. celebesensis* seperti pada Gambar 3.14 di atas.

Sumber Data: Giovanni GSFC NASA (2001, 2002)

Gambar 3.15 Pola Curah Hujan Rata-Rata (mm/hari) Tahun 2001–2002 di Sekitar Teluk Tomini

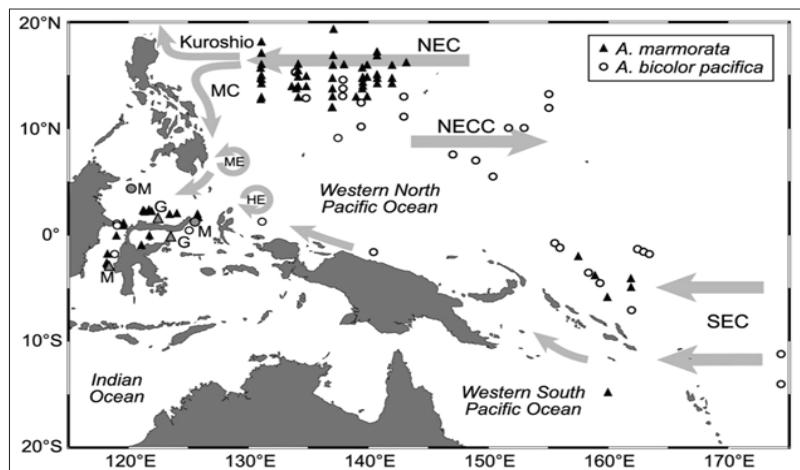


Keterangan: Pola curah hujan musiman (mm/hari) pada Desember–Februari/DJF, Maret–Mei/MAM yang menunjukkan curah hujan tinggi, serta curah hujan rendah bulan Jun–Agu/JJA dan September–November/SON

Sumber Data: Giovanni GSFC NASA (2001, 2002)

Gambar 3.16 (Atas) Curah Hujan Musiman di Sekitar Danau dan Mulut Sungai Poso, Teluk Tomini Tahun 2001 (panel atas), dan 2002 (panel bawah) (Lihat Gambar 3.15)

yang terangkut oleh sistem arus Khatulistiwa utara (*North Equatorial Current/NEC*) yang berbelok ke selatan menjadi arus Mindanao dan mengalir langsung menuju cekungan (basin) Laut Sulawesi beserta sistem pusaran (*eddies*) yang dibangkitkan oleh sistem arus tersebut, seperti *Eddies* Mindanau dan *Eddies* Halmahera (Kuroki et al., 2006b, Han et al., 2012) yang menyebabkan massa air memasuki cekungan Laut Sulawesi (Lukas et al., 1991). Massa air dari Pasifik Selatan juga dapat memasuki perairan dekat Teluk Tomini (Castruccio et al., 2013) hingga ke Selat Makassar yang kemudian terbawa oleh arus lintas Indonesia/Arlindo (Indonesian through flow/ITF) (Gambar 3.17). Penelitian genetik Minegeishi et al. (2008) mendukung pendapat bahwa leptocephali dan *glass eel* *A. marmorata* yang terkoleksi



Keterangan: Sistem Pola arus di perairan Pasifik Selatan, seperti arus khatulistiwa Utara (NEC), arus Mindano (MC), Putaran arus/Eddi Mindano (ME), Putaran arus Halmahera (HE) yang mentrasportasikan leptocephali, leptocephali yang telah bermetamorfosis (M), dan *glass eel* (G), *A. marmorata* dan *A. bicolor pacifica* dari tempat pemijahannya di Pasifik Selatan ke Laut Sulawesi, Selat makassar dan Teluk Tomini yang kemudian terkoleksi selama sampling.

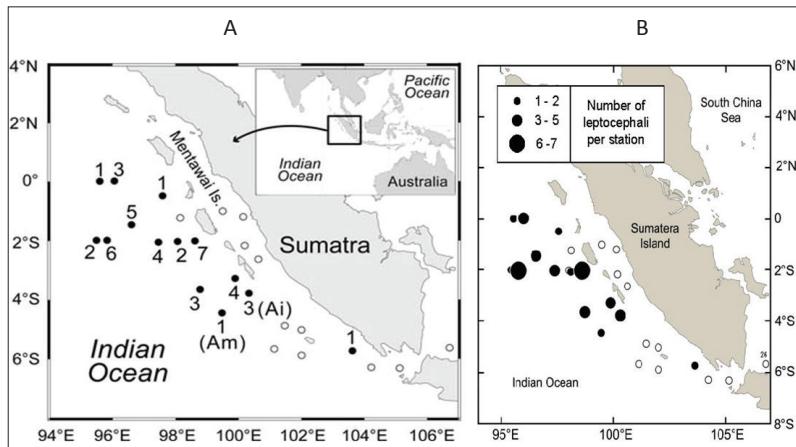
Sumber: Kuroki et al. (2006b)

Gambar 3.17 Transportasi leptocephali, metamorfosis leptocephali dan *glass eel* *A. marmorata* dan *A. bicolor pacifica* oleh Sistem arus dari Pasifik Selatan ke Laut Sulawesi, Selat Makassar dan Teluk Tomini.

dari perairan Indonesia bagian utara (Laut Sulawesi) tampaknya merupakan rekrutmen individu baru ikan Sidat yang berasal dari populasi Pasifik Utara dan/atau Pasifik Selatan, bukan dari hasil pemijahan lokal perairan Indonesia. Pendapat serupa ditampilkan juga dari hasil analisis Arai (2014).

D. Koleksi Leptocephali Ikan Sidat di Perairan Indonesia Bagian Barat

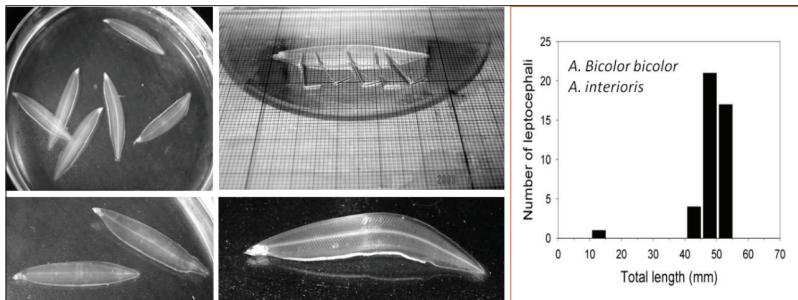
Riset pemijahan ikan Sidat tropis di perairan Indonesia bagian barat yang berada di bawah pengaruh Samudera Hindia diulangi kembali melalui pelayaran K/R Baruna Jaya VII pada 2 Juni 2003 (Gambar 3.18) setelah vakum selama 74 tahun sejak pelayaran *Carlsberg's Round the World Expedition* tahun 1929 (Gambar 3.1). Pelayaran ini mengoleksi 43 leptocephali ikan Sidat dari 26 stasiun yang terdiri dari 41 spesimen ikan Sidat sirip pendek (*short fin*, TL: 45,0–55,2 mm) dan 2 spesimen sirip panjang (*long fin*, TL: 12,3



Keterangan: A. Angka menunjukkan jumlah terkoleksinya leptocephali; B. lingkaran hitam kecil/ besar menandakan kelimpahan leptocephali. Ai: posisi terkoleksinya *A. interioris* dan Am: *A. marmorata*.

Sumber: Aoyama et al. (2007)

Gambar 3.18 Peta dan Stasiun Sampling Leptocephali di Sepanjang Pantai Barat Sumatra (Samudra Hindia)

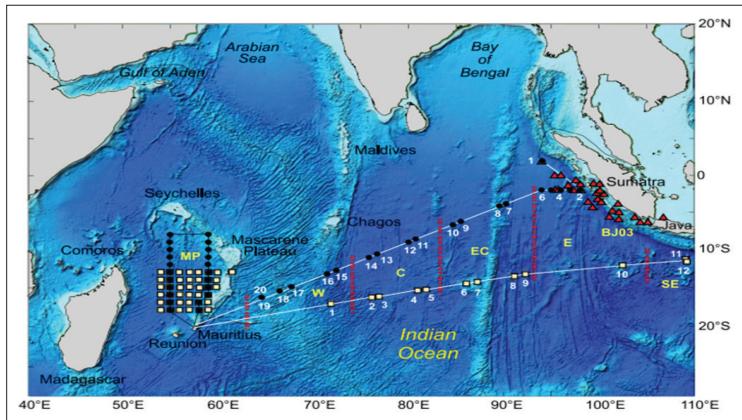


Sumber: Wouthuyzen (2020)

Gambar 3.19 (Kiri) Foto Leptocephali *A. bicolor bicolor* yang terkoleksi selama pelayaran R/V BJ VII tahun 2003 dan (Kanan) sebaran frekuensi panjangnya.

dan 46,8 mm). Ikan Sidat sirip pendek hanya ada 2 jenis, yaitu *A. bicolor bicolor* dan *A. bicolor pacifica*, tetapi karena *A. bicolor pacifica* menyebar di perairan timur Indonesia bagian utara (Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Halmahera, perairan utara Papua) maka bisa dipastikan bahwa leptocephali yang terkoleksi pada pelayaran ini adalah *A. bicolor bicolor*. Seluruh spesimen setelah diidentifikasi secara akurat melalui teknik genetika (DNA) di Lab. AORI, *the university of Tokyo* positif teridentifikasi sebagai *A. bicolor bicolor*, *A. interioris*, dan *A. marmorata* masing-masing sebanyak 41, 1, dan 1 spesimen. Kepadatan tertinggi (≥ 6 spesimen) terdapat di 2 lokasi sampling pada 2° LS, yakni di perairan lepas pantai dan dekat ujung selatan Pulau Siberut (Gambar 3.18B) (Aoyama et al., 2007). Pada Gambar 3.19 disajikan foto spesimen *A. bicolor bicolor* dan sebaran frekuensi panjang.

Sampling leptocephali dilakukan kembali pada pelayaran R/V Hakuho Maru 04-6 November 2006 dari Tokyo, Jepang ke Mauritius dekat benua Afrika melintasi Samudera Hindia. Pelayaran ini mengoleksi leptocephali di perairan Indonesia dimulai dari pantai barat Sumatra di sekitar Kepulauan Nias lalu ke selatan dekat Kepulauan Mentawai dan kemudian melintasi Samudera Hindia ke Mauritius. Total ada 6 lokasi sampling di perairan Indonesia (Gambar



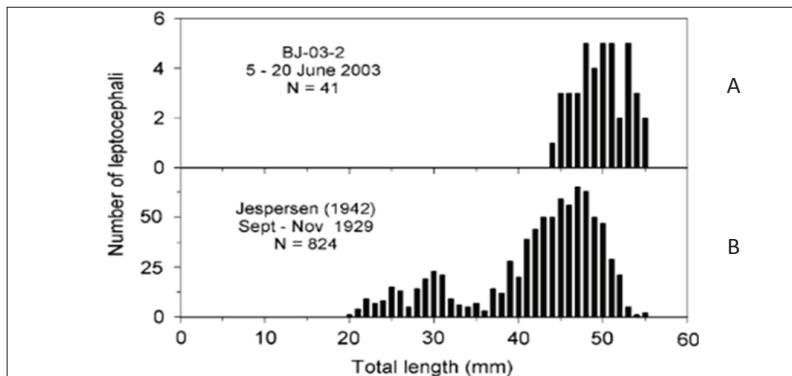
Keterangan: (▲) Sampling leptocephali ikan Sidat di perairan Sumatra Barat, Samudera Hindia pada pelayaran K/R Baruna Jaya 2003 (26 stasiun); (●) Pelayaran R/V Hakuho Maru 2006 (6 stasiun); dan (■) 2010 (2 stasiun di selatan Jawa).

Sumber: Miller et al. (2019)

Gambar 3.20 Tiga Pelayaran Sampling Leptocephali Ikan Sidat di Pantai Barat Sumatra dan Samudra Hindia

3.20) dengan hasil tangkapan hanya dua spesimen ikan Sidat *A. bicolor bicolor*. Pelayaran R/V Hakuho Maru 09-5 Februari 2010 kembali melintasi Samudera Hindia dari Mauritius ke Teluk Tomini melintasi perairan lepas pantai selatan Pulau Jawa di 2 stasiun, St. 11 dan 12 (Gambar 3.20), namun leptocephali ikan Sidat tidak terkoleksi.

Hasil koleksi leptocephali dari ketiga pelayaran di atas (Gambar 3.20) terdiri dari 43 spesimen *A. bicolor bicolor* dengan kisaran ukuran panjang total (TL): 44.1–55.5 mm, 1 spesimen *A. marmorata*, TL 46.8 mm dan 1 spesimen *A. interioris* TL 12.4 mm. Data ini tidak dapat menunjukkan secara tepat lokasi pemijahan Sidat *A. bicolor bicolor* dan *A. marmorata* karena leptocephali 2 jenis ikan Sidat tersebut berukuran besar, kecuali *A. interioris*. Pada Gambar 3.21 ditampilkan grafik perbandingan frekuensi panjang Leptocephali *A. bicolor bicolor* hasil koleksi dari 3 pelayaran antara tahun 2003–2010, terutama dari pelayaran K/R Baruna Jaya VII 2003



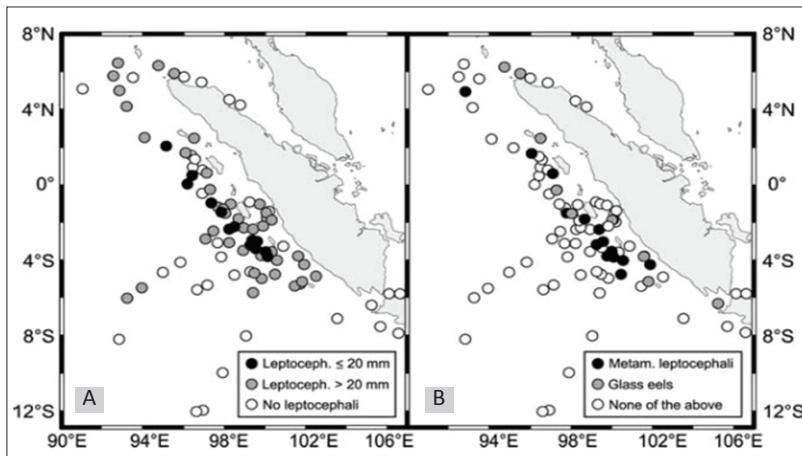
Keterangan: A. Grafik yang menunjukkan frekuensi panjang leptocephali ikan Sidat *A. bicolor bicolor* hasil sampling pelayaran K/R Baruna Jaya VII tahun 2003; B. Grafik hasil sampling ekspedisi *Carlsberg's Round the World Expedition* 1929 di perairan sebelah barat Pulau Sumatra/Samudera Hindia.

Sumber: Aoyama et al. (2007)

Gambar 3.21 Perbandingan Sebaran Frekuensi Panjang Leptocephali ikan Sidat *A. bicolor bicolor*

(grafik A) dan hasil pelayaran *Carlsberg's Round the World Expedition* September–November 1929 (grafik B) hasil analisis Jespersen (1942) yang menunjukkan ada 2 modus leptocephali berukuran kecil. Jika posisi ukuran panjang masing-masing individu *A. bicolor bicolor* diplot (Gambar 3.22) maka terlihat bahwa sebaran ukuran panjang leptocephali berukuran kecil (< 20 mm), dan yang berukuran besar (> 20 mm), serta metamorfosis leptocephali dan glass eel di lokasi mirip dengan pelayaran K/R Baruna Jaya VII 2003. Berdasarkan hasil plot tersebut Jespersen (1942) menyimpulkan bahwa lokasi pemijahan *A. bicolor bicolor* berada di atas palung Mentawai (Aoyama et al., 2007).

Jadi, jika seluruh (6) pelayaran, 3 pelayaran R/V Hakuho Maru dan 3 pelayaran K/R Baruna Jaya VII yang mengoleksi leptocephali ikan sidat di perairan Indonesia antara tahun 2000–2010, baik di perairan Indonesia bagian Timur yang di pengaruhi massa air Samudera Pasifik, maupun perairan barat Indonesia yang dipengaruhi



Keterangan: A. Lingkaran hitam, abu-abu, dan putih masing-masing menunjukkan posisi dari leptocephali yang tertangkap berukuran kecil (≤ 20 mm) dan besar (> 20 mm) serta yang tidak tertangkap; B. Leptocephali yang memasuki fase metamorfosis, *glass eel*, dan yang tidak tertangkap.

Sumber: Aoyama et al. (2007)

Gambar 3.22 Plot leptocephali *A. bicolor bicolor* yang terkoleksi selama *expedition around the world* 1929 hasil analisa Jespersen (1942) berdasarkan ukuran (A), dan fase pertumbuhannya (B).

massa air Samudera Hindia dirangkum, akan terkoleksi sejumlah 6 spesies leptocephali ikan Sidat dengan total jumlah individu sebanyak 164 spesimen (Tabel 3.1). Hasil survei leptocephali ikan Sidat ini mengindikasikan bahwa perairan Indonesia memiliki keanekaragaman jenis leptocephali ikan Sidat tertinggi dibandingkan dengan perairan manapun di dunia (Miller et al., 2021).

E. Lokasi Pemijahan, Umur, Waktu Menetas, dan Musim Pemijahan Ikan Sidat Tropis di Perairan Indonesia

Pada Tabel 3.2 ditampilkan lebih spesifik keanekaragaman jenis, jumlah spesimen, dan ukuran panjang berbagai leptocephali ikan Sidat hasil sampling dari berbagai pelayaran di perairan Indonesia bagian tengah/timur dan barat berdasarkan data pada Tabel 3.1. Berdasarkan

Tabel 3.1 Jumlah Spesimen Leptocephali Ikan Sidat tropis yang Terkoleksi dari Berbagai Pelayaran di Perairan Indonesia

Spesies Sidat	HM	BJ VII	BJ VII	BJ VII	HM	HM	Total
	2000	2001	2002	2003	2006	2010	
<i>A. borneensis</i>	2	1	2	-	-	11	16
<i>A. bicolor pacifica</i>	3	4	4	-	-	-	11
<i>A. celebesensis</i>	3	38	1	-	-	1	43
<i>A. interioris</i>	-	1	1	1	-	3	6
<i>A. marmorata</i>	2	9	20	1	-	13	45
<i>A. bicolor bicolor</i>	-	-	-	41	2	-	43
Total	10	53	28	43	2	28	164

Keterangan: HM 2000: Pelayaran Milenium R/V Hakuho Maru tahun 2000 (lihat rute pelayaran pada Gambar 3.7 kiri); BJ VII 2001, 2002, dan 2003: Pelayaran K/R Baruna Jaya VII tahun 2001, 2002, dan 2003 (lihat rute pelayaran pada Gambar 3.7 kanan); HM 2006 dan HM 2010: Pelayaran R/V Hakuho Maru tahun 2006 dan 2010 (lihat rute pelayaran pada Gambar 3.8).

Sumber: Hasil tabulasi berbagai data sampling yang diperoleh selama pelayaran kapal riset Hakuho Maru dan Baruna Jaya VII oleh Wouthuyzen (2022).

leptocephali berukuran kecil di Tabel 3.2 dapat diketahui bahwa ada 3 jenis sidat tropis yang memijah di perairan Indonesia bagian tengah/timur, yaitu *A. borneensis*, *A. celebesensis*, dan *A. interioris* dengan lokasi pemijahan potensial di Laut Sulawesi dan Teluk Tomini (Gambar 3.9 dan 3.13) yang berada di bawah pengaruh massa air Samudera Pasifik (Aoyama et al., 2003; Kuroki et al., 2006a; Wouthuyzen et al., 2009). Jenis Sidat tropis lainnya, *A. bicolor bicolor* memiliki lokasi pemijahan potensial di perairan Indonesia bagian barat, yakni di sekitar pulung Laut Mentawai, Sumatra Barat (Aoyama et al., 2007), yang massa airnya di bawah pengaruh Samudera Hindia. Meskipun ukuran leptocephali terkoleksi selama pelayaran K/R Baruna Jaya VII tahun 2003 berukuran besar (40,5–55,5 mm), namun menurut data Jesperson (1942) yang mengoleksi leptocephali berbagai ukuran di lokasi sama dengan pelayaran K/R Baruna Jaya VII 2003 (Gambar 3.22) dapat disimpulkan bahwa lokasi pemijahan adalah di Palung Mentawai.

Setelah lokasi pemijahan ikan Sidat diketahui, berikutnya perlu pula diketahui kapan/waktu ikan ini. Pemijahan ikan Sidat tropis dapat diketahui melalui pembacaan lingkaran harian pada otolith (Gambar 3.23), lalu menghitung mundur umur ikan Sidat, sehingga waktu pemijahan relatif dapat diduga dengan tepat. Pada Tabel 3.3 ditampilkan data berbagai jenis leptophali ikan Sidat yang ditentukan umurnya menggunakan otolith.

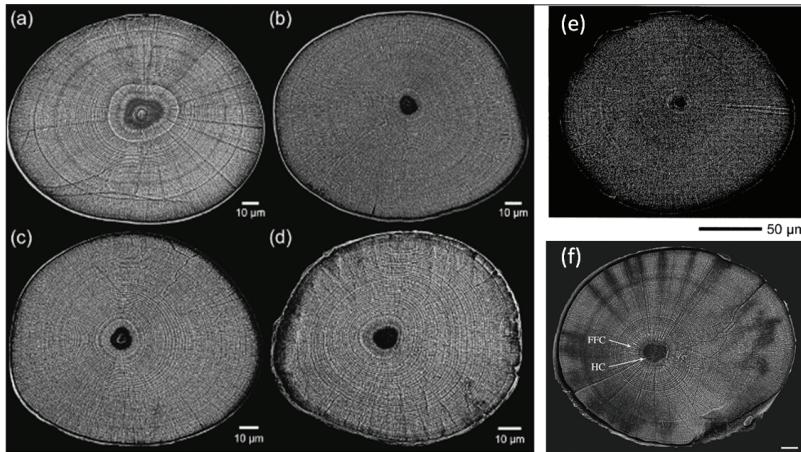
Tabel 3.2 Keanekaragaman jenis, jumlah spesimen, dan ukuran panjang berbagai leptocephalus ikan Sidat hasil sampling dari berbagai pelayaran di perairan Indonesia.

Spesies Ikan Sidat	N	Panjang Total (mm)	Nama Pelayaran	Tahun	Tanggal Sampling	Lokasi Sampling
<i>A. marmorata</i>	5	38,0–47,4	KH-00-1	2000	14 Jan–10Mar	Utara Papua
<i>A. celebesensis</i>	3	12,3–20,0				Laut Halmahera
<i>A. borneensis</i>	2	6,5–17,0				Laut Sulawesi
<i>A. marmorata</i>	9	34,0–50,7	BJ-01-1	2001	8–30 Mei	Selat Makassar
<i>A. bicolor pacifica</i>	4	42,6–49,2				Laut Sulawesi
<i>A. celebesensis</i>	38	13,0–47,8				Laut Maluku
<i>A. borneensis</i>	1	35,4				Teluk Tomini
<i>A. interioris</i>	1	48,9				Teluk Tomini
<i>A. marmorata</i>	19	33,1–48,6	BJ-02-4	2002	26 Sep–17Okt	Selat Makassar
<i>A. bicolor pacifica</i>	3	44,5–49,5				Laut Sulawesi
<i>A. celebesensis</i>	1	36,4				Laut Maluku
<i>A. borneensis</i>	2	27,2–48,3				Teluk Tomini
<i>A. interioris</i>	3	43,4–46,5				Teluk Tomini
<i>A. bicolor pacifica</i>	1	46,3	KH-02-4	2002	7 Nov–18 Des	Laut Sulawesi
<i>A. borneensis</i>	2	49,0–49,1				Laut Sulawesi
<i>A. marmorata</i>	1	46,8	BJ-03-1	2003	5–30 Jun	Barat Sumatra
<i>A. Interioris</i>	1	12,3				
<i>A. bicolor bicolor</i>	43	40,5–55,2				

Spesies Ikan Sidat	N	Panjang Total (mm)	Nama Pelayaran	Tahun	Tanggal Sampling	Lokasi Sampling
<i>A. bicolor bicolor</i>	1	49,8	KH-06-4	2006	Nov 2006	Barat Sumatra
<i>A. borneensis</i>	11	15,0–44,9	KH-10-1	2010	Feb. 2010	Laut Sulawesi
<i>A. celebesensis</i>	1	17,4				Teluk Tomini
<i>A. interioris</i>	3	9,6–28,2				Teluk Tomini
<i>A. marmorata</i>	13	51,2–54,8				Teluk Tomini

Sumber: Hasil tabulasi berbagai data sampling yang diperoleh selama pelayaran kapal riset Hakuho Maru dan Baruna Jaya VII oleh Wouthuyzen (2022).

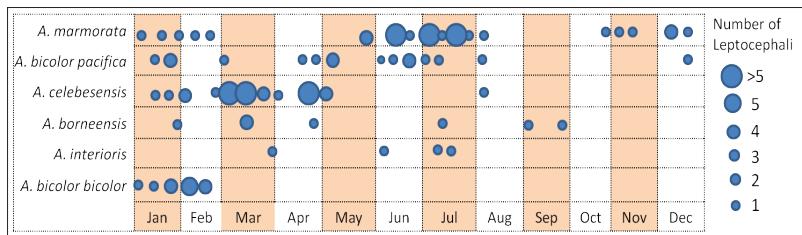
Perhitungan mundur (*back calculated*) umur berbagai leptocephali Sidat tropis dari analisa otolith (Gambar 3.23) yang digunakan untuk menentukan waktu menetas (*hatching time*) atau musim pemijahan dituangkan pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.24. Jadi, dari Tabel 3.2 dan Gambar 3.24 dapat diketahui bahwa *A. marmorata* memiliki rentang waktu penetasan telur atau musim pemijahan yang lebar selama 9 bulan dengan intensitas kuat atau puncak pemijahan pada JuniJuli (ada lebih 5 spesimen leptocephalus hasil pemijahan Juni–Juli), sedangkan Maret–April dan September tidak ada telur *A. marmorata* yang menetas atau tidak ada pemijahan. Ikan Sidat *A. bicolor pacifica* memiliki musim pememijahan sepanjang 8 bulan secara merata (2 leptocephali), namun mencapai puncak pemijahan pada Januari dan Mei–Juni (4 leptocephali), namun pada Februari dan September–November tidak ada pememijahan. Sidat *A. Celebesensis* memijah berturut-turut dari Januari hingga April dan Agustus dengan puncak pemijahan Maret–April (5 leptocephali) dan dengan lokasi pemijahan di perairan Laut Sulawesi dan Teluk Tomini (Aoyama et al., 2003; Kuroki, Aoyama, Miller, et al., 2006), namun tidak ada pemijahan pada Juni–Juli, dan September–Desember. Hal ini sesuai dengan laporan Wouthuyzen (2002); Wouthuyzen et al. (2009), serta Kajian Sugeha (2003) tentang ikan Sidat dewasa yang tidak tertangkap pada September–Oktober (lihat Gambar 3.24). Sidat *A. borneensis* memijah secara sporadik selama 5 bulan pada Januari, Maret–April,



Keterangan: Otolith (sagittae) berbagai ikan Sidat (a) *A. marmorata*, (b) *A. bicolor pacifica*, (c) *A. celebesensis*, (d) *A. borneensis*, (e) *A. interioris*, dan (f) *A. bicolor bicolor*

Sumber: Kuroki, Aoyama, Miller, et al. (2006); Kuroki, Aoyama, Wouthuyzen, et al. (2006); Kuroki et al. (2007)

Gambar 3.23 Gambar otolith dan lingkaran harian yang digunakan untuk menduga umur leptocephali.



Sumber: Hasil analisis dan plot perhitungan mundur pembacaan umur lingkaran harian otolith berbagai leptocephali ikan Sidat oleh Wouthuyzen untuk tulisan ini.

Gambar 3.24 Waktu menetas/musim pemijahan berbagai spesies ikan Sidat tropis di perairan Indonesia berdasarkan perhitungan mundur pembacaan lingkaran harian otolith leptocephali pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Kisaran panjang total, jumlah otolith, dan umur berbagai jenis dan fase pertumbuhan leptocephali ikan Sidat hasil koleksi berbagai pelayaran R/V Hakuho Maru dan R/K Baruna Jaya di perairan Indonesia.

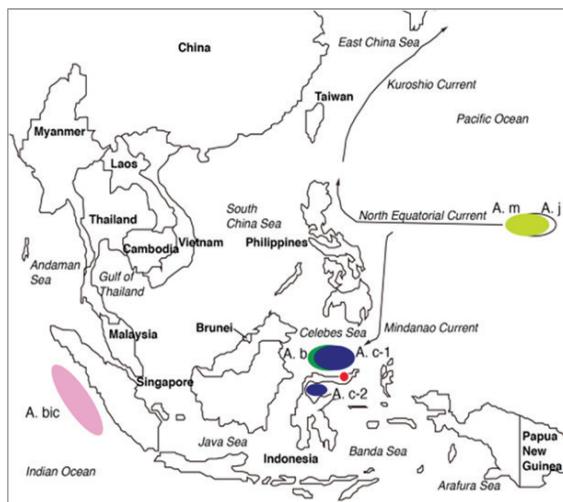
Spesies Ikan Sidat	Fase Pertumbuhan	Jumlah Spesimen	Panjang Total (mm)	Jumlah Otolith yang Dianalisa	Umur (Hari)
<i>A. bicolor pacifica</i>	• Leptocephali	121	8,0–50,7	42	22–137
	• Metamorfosis lepto	1	46,3	1	147
	• Glass eel oseanik	2	47,8 dan 48,6	2	150–160
<i>A. celebesensis</i>	• Leptocephali	43	24,0–54,1	39	40–128
	• Metamorfosis lepto	2	42,6 dan 46,3	2	106,122
<i>A. borneensis</i>	Leptocephali	42	12,3–47,8	40	17–110
<i>A. interioris</i>	• Leptocephali	7	8,5–59,0	6	20–105
	• Metamorfosis lepto	1	49,1	1	133
<i>A. bicolor bicolor</i>	Leptocephali	5	12,4–48,9	5	19–94
<i>A. bicolor bicolor</i>	Leptocephali	34	44,1–55,5	34	114–158

Sumber: Kuroki, Aoyama, Miller, et al. (2006); Kuroki, Aoyama, Wouthuyzen, et al. (2006); Kuroki et al. (2007)

Juli, dan September, namun tidak menunjukkan adanya puncak pemijahan. Sidat *A. interioris* memijah terbatas hanya 3 bulan pada Maret, Juni, dan Juli, sedangkan bulan lainnya tidak ada pemijahan. Hal yang menarik dari spesies ini adalah terdapat 2 lokasi pemijahan yang jauh berbeda, yakni di Teluk Tomini dan lepas pantai Sumatra Barat, dimana tidak diharapkan spesies ini ditemukan di sini, karena sebarannya lebih umum di perairan Indonesia bagian tengah/timur (pantai utara Papua, Laut Maluku, Laut Sulawesi, dan Teluk Tomini). Terakhir, Sidat *A. bicolor bicolor* memijah pada Januari–Februari, sedangkan pada bulan lainnya tidak ada pemijahan.

Dari 4 species (*A. marmorata*, *A. borneensis*, *A. celebesensis*, *A. interioris*) dan 3 sub-spesies (*A. bicolor bicolor*, *A. bicolor pacifica*, dan

A. nebulosa nebulosa) ikan Sidat tropis Indonesia fase leptocephali seluruhnya ditemukan di perairan Indonesia, kecuali *A. nebulosa nebulosa* sehingga waktu/lokasi pemijahannya tidak diketahui. *A. marmorata* dan *A. bicolor pacifica* sebagaimana diuraikan di atas tidak memijah di perairan Indonesia (Kuroki, Aoyama, Miller et al., 2006; Minegeishi et al., 2008; Arai, 2014). Oleh karena itu, hanya *A. celebesensis*, *A. borneensis*, *A. interioris*, dan *A. bicolor bicolor* yang benar-benar memijah di perairan Indonesia seperti yang dipetakan oleh Arai (2014) (Gambar 3.25), namun Arai (2014) tidak menunjukkan lokasi pemijahan *A. interioris* yang berdasarkan pembahasan di atas memijah di Teluk Tomini. Jadi hanya ada 3 lokasi potensial pemijahan ikan Sidat tropis, yaitu Laut Sulawesi dan Teluk Tomini untuk spesies *A. borneensis*, *A. celebesensis*, dan *A. interioris* dan di sebelah barat Pulau Sumatra (Samudra Hindia) untuk *A. bicolor bicolor*.



Keterangan: A.m: *A. marmorata*; A.j: *A. japonica*; A.b: *A. borneensis*; A.c: *A. celebesensis*; A.bic: *A bicolor bicolor*.

Sumber: Arai (2014)

Gambar 3.25 Peta Lokasi Pemijahan Potensial Ikan Sidat Tropis Indonesia

F. Pertumbuhan Dan Migrasi Leptocephali Kembali ke Perairan Tawar

Hasil analisa umur menggunakan otolith (Tabel 3.2 dan 3.3) (Kuroki, Aoyama, Miller et al., 2006) untuk 4 jenis leptocephali (*A. marmorata*, *A. bicolor pacifica*, *A. celebesensis*, dan *A. borneensis*) di perairan Indonesia bagian tengah/timur yang berada di bawah pengaruh massa air Samudra Pasifik menunjukkan ada hubungan linier erat antara ukuran panjang total (TL) dan umur leptocephali dengan koefisien korelasi (r^2) untuk 4 spesies di atas masing-masing, 0,82; 0,81; 0,96; dan 0,99. Pertumbuhan *A. marmorata* dan *A. bicolor pacifica* mencapai panjang asimptotik 100 mm, sedangkan *A. celebesensis* dan *A. borneensis* 80 mm. Dari Tabel 3.3 terlihat bahwa leptocephali Sidat untuk 4 spesies mencapai pertumbuhan maksimum rata-rata 50 mm, ekivalen dengan umur rata-rata 80 hari. Oleh karenanya, laju pertumbuhan rata-rata *A. marmorata*, *A. bicolor pacifica*, *A. celebesensis*, dan *A. borneensis* masing-masing adalah 0,44; 0,47; 0,56; dan 0,52 mm/hari. Untuk 4 spesimen Leptocephali *A. interioris* dari Laut Maluku dan Teluk Tomini dan 1 dari perairan barat Pulau Sumatra memiliki pertumbuhan rata-rata 0,48 mm/hari (Kuroki, Aoyama, Wouthuyzen et al., 2006). Spesimen dari 34 leptocephali *A. bicolor bicolor* di perairan Sumatra barat yang berada yang dipengaruhi massa air Samudera Hindia memiliki laju pertumbuhan rata-rata 0,38 mm/hari, jauh lebih rendah dari 5 spesies ikan Sidat yang hidup di perairan Indonesia tengah-timur.

Laju pertumbuhan leptocephali ikan Sidat secara langsung mempengaruhi durasi larva (leptocephali), karena ukuran berbagai spesies ikan ini saat mereka bermetamorfosis berukuran konstan sekitar 50–55 mm (Kuroki, Aoyama, Wouthuyzen et al., 2006). Hasil penelitian pertumbuhan ikan Sidat menunjukkan bahwa spesies dengan laju pertumbuhan tinggi, bermetamorfosis setelah menjalani masa fase leptocephalus yang lebih pendek. Hal ini berkaitan dengan pola migrasi leptocephali dari lokasi pemijahan kembali ke habitat perairan tawar yang relatif pendek pula, misalnya leptocephali *A. celebesensis* dengan laju pertumbuhan 0,56 mm/hari bermigrasi ke habitat

perairan tawar di daratan Palau Sulawesi dan Teluk Tomini dengan jarak pendek sekitar 80–300 km (Tabel 3.4), sedangkan leptocephali *A. borneensis* dengan laju pertumbuhan 0,52 mm/hari akan bermigrasi kembali ke perairan tawar di Tawau/Borneo atau Delta Mahakam dengan jarak migrasi agak lebih jauh berkisar 480–600 km (Tabel 3.4). Sebaliknya, leptocephali dengan laju pertumbuhan rendah memiliki pola migrasi dari lokasi pemijahan kembali ke habitat perairan tawar dengan jarak tempuh lebih jauh. Misalnya, leptocephali *A. marmorata*,

Tabel 3.4 Ukuran maximum dan laju pertumbuhan serta lokasi pemijahan dan perkiraan jarak migrasi leptocephali kembali ke habitat perairan tawar dari berbagai spesies ikan Sidat.

Spesies	Ukuran Maksimum (TL, mm)	Pertumbuhan (mm/day)	Dugaan lokasi pemijahan	Migrasi ke Habitat Perairan Tawar		Sumber
				Terdekat	Terjauh	
Sidat 4 musim						
Sidat Eropa <i>A. anguila</i>	75	0,38	Laut Sargasso	4000 km Azores, Cape Verde Islands	8000 km Norway, Medi-terranean	Aoyama et al. (2003); (2007)
Sidat Amerika <i>A. rostrata</i>	70	0,38	Laut Sargasso	900 km Greater Antilles	5500 km Ice land	Aoyama et al. (2003); (2007)
Sidat Jepang <i>A. japonica</i>	60	0,43	Perairan Mariana barat	2000 km Taiwan	3500 km Jepang utara	Aoyama et al. (2003); (2007)
Sidat tropis						
<i>A. marmorata</i>	50	0,44	Perairan Mariana barat	1700 km, Celebes Sea	2600 km, Selat Makassar	Kuroki, Aoyama, Miller et al. (2006)

Spesies	Ukuran Maksimum (TL, mm)	Pertumbuhan (mm/day)	Dugaan lokasi pemijahan	Migrasi ke Habitat Perairan Tawar		Sumber
				Terdekat	Terjauh	
<i>A. bicolor pacifica</i>	50	0,47	Sebelah barat Pasifik Selatan	1000 km, Celebes Sea	1700 km, Selat Makassar	Kuroki, Aoyama, Miller et al. (2006)
<i>A. borneensis</i>	50	0,52	Laut Sulawesi	480 km, Tawau/Borneo	650 km, Sungai Mahakam	Kuroki, Aoyama, Miller et al. (2006)
<i>A. celebeensis</i>	50	0,56	Teluk Tomini	80 km, Teluk Tomini	300 km di sekitar teluk Tomini	Kuroki, Aoyama, Miller et al. (2006)
<i>A. interioris</i>	50	0,48	Teluk Tomini	80 Km, Teluk Tomini	300 km di sekitar teluk Tomini	Kuroki, Aoyama, Wouthuyzen et al. (2006)
			Sumatra Barat	?	?	
<i>A. bicolor bicolor</i>	55	0,38	Kep. Mentawai	200 km, Sungai di barat Sumatra	1700 km Selatan Pulau Jawa	Aoyama et al. 2007; Kuroki et al. (2007)

dan *A. bicolor pacifica* dengan laju pertumbuhan 0,44, dan 0,47 mm/hari (Kuroki, Aoyama, Miller et al., 2006) akan bermigrasi dari lokasi pemijahannya masing-masing di perairan Mariana Barat dan Pasifik Selatan-Barat (Kuroki, Aoyama, Miller et al., 2006; Minegeishi et al., 2008) kembali ke habitat perairan tawar di pantai utara Pulau Sulawesi, Laut Maluku, Teluk Tomini, dan Selat Makassar dengan kisaran jarak sekitar 1000–2600 km. Leptocephali *A. bicolor bicolor* dengan laju pertumbuhan rata-rata rendah (0,38 mm/hari) memiliki pola migrasi dari lokasi pemijahan di atas palung Mentawai atau lebih ke laut lepas (Aoyama et al., 2007) dan kembali ke habitat perairan tawar, yaitu sungai-sungai di Selatan Pulau Jawa dengan jarak tempuh yang jauh sekitar 1.700 km, atau mungkin juga berjarak tempuh

pendek ke sungai-sungai di sisi barat pantai barat Pulau Sumatra yang berjarak hanya 200 km. Leptocephali Sidat *A. interioris* sedikit membingungkan, karena dengan laju pertumbuhan 0,48 mm/hari, jenis ini bermigrasi relatif pendek dari lokasi pemijahannya di Teluk Tomini ke habitat perairan tawar di daratan Sulawesi di sekitar teluk ini dengan jarak tempuh hanya berkisar 80–360 km. Kebingungan lain adalah terkoleksinya leptocephali *A. interioris* di perairan barat Sumatra, karena fase dewasa spesies ini tidak pernah ditemukan di sungai-sungai sepanjang pantai daratan Pulau Sumatra sisi barat atau Pulau Jawa bagian selatan.

G. Metamorfosis leptocephali ikan Sidat

Ikan Sidat pada fase leptocephali dengan bentuk tubuhnya gepeng/tipis seperti daun, dan transparan (Gambar 3.12), pada perjalanan panjang (10–160 hari, 80–8000 km; Tabel 3.3) dari lokasi pemijahan kembali ke habitat perairan tawar akan bermetamorfosis menjadi *glass eel/juvenile* dengan bentuk tubuh selindris, transparan, berbentuk tali (*cord-shaped*) mirip induknya dengan memakan waktu 2–3 minggu (Kuroki & Tsukamoto, 2012), dimana proses metamorfosis ini masih sangat jarang diketahui. Kuroki et al. (2010) melakukan percobaan yang memaparkan 44 leptocephali *A. japonica* hasil breeding di laboratorium dengan jumlah masing-masing 11 ekor pada 4 grup suhu yang berbeda, yaitu 15, 20, 25, dan 30°C. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pada suhu 25°C, 82% leptocephali bermetamorfosis menjadi *glass eel*. Walaupun suhu mempengaruhi metamorfosis, namun Kuroki and Tsukamoto (2012) mengemukakan pendapat lain bahwa kemungkinan metamorfosis leptocephali di alam dipicu indra penciumannya terhadap isyarat yang berasal dari daratan, disamping rasa lapar. Metamorfosis akan mengurangi panjang total *glass eel* beberapa milimeter. Metamorfosis tidak saja merubah ukuran dan bentuk, tetapi juga fungsi fisiologi dan karakteristik ekologinya secara drastis mengikuti tipe Sidat dewasa.

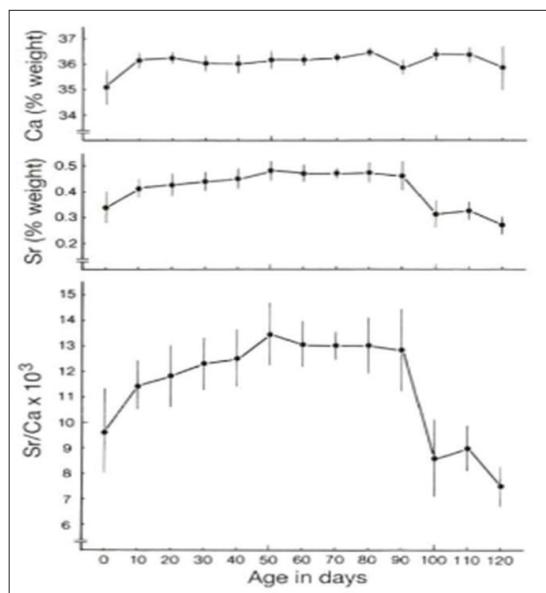
Fase metamorfosis leptocephali menjadi *glass eel* dapat ditandai dari otolith yang berfungsi sebagai alat pendengaran dan keseim-

bangan pada ikan (Lin et al., 2007). Ada 31 unsur kimia pada otolith dengan komposisi terbesar adalah Kalsium (Ca) karbonat, dan salah satu unsur dengan komposisi sangat kecil (*trace element*) lainnya, yakni Srontium (Sr), dimana Sr kira-kira dua kali lipat lebih tinggi di perairan laut daripada di perairan tawar (Lin et al., 2007). Oleh karena itu, kimia mikro (*microchemistry*) otolith ikan, seperti rasio Sr/Ca telah lama dan sering sekali dipakai sebagai indikator yang berkaitan dengan faktor lingkungan, seperti suhu dan salinitas (Otake et al., 1994; Arai et al., 1997; Lin et al., 2007; Yokouchi et al., 2011) atau rekonstruksi sejarah lingkungan migrasi ikan diadromous (Salmon) dan ikan katadromus (Sidat) antara perairan laut dan perairan tawar termasuk pola metamorfosis Ikan Sidat dari fase leptocephali menjadi *glass eel* (Otake et al., 1994; Arai et al., 1997; Arai et al., 1999a; Arai et al., 2001; Lin et al., 2007; Yokouchi et al., 2011).

Analisis metamorfosis menggunakan karakteristik otolith Kalsium (Ca), Srontium (Sr) dan ratio Sr/Ca ikan Sidat *A. japonica* pada fase leptocephalus, ketika metamorfosis menjadi *glass eel* dikaji oleh Otake et al. (1994) seperti terlihat pada Gambar 3.26. Gambar ini menunjukkan bahwa persentasi berat Ca relatif konstan (36,2%) dari titik pusat hingga tepi terluar otolith, sedangkan persen berat Sr rata-rata 0,34% pada titik pusat otolith dan meningkat ke arah luar otolith mencapai maksimum pada 0,48% pada umur 50–90 hari dan menurun drastis hingga 0,30% pada umur 90–100 hari. Ratio Sr/Ca mengikuti pola Sr dengan nilai rata-rata $9,7 \times 10^{-3}$ di sekitar titik pusat lingkar otolith lalu meningkat mencapai nilai maksimum $13,5 \times 10^{-3}$ pada umur 50–90 hari setelah menetas, dan kemudian menurun drastis hingga $7,5 \times 10^{-3}$ pada tepi terluar otolith saat umur mencapai 90–100 hari.

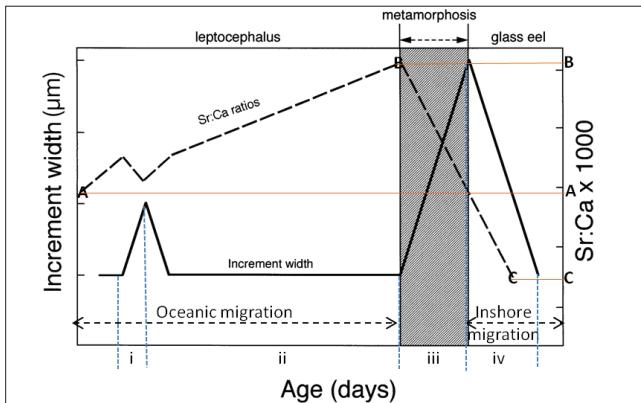
Gambar 2.27 menunjukkan konsep metamorfosis ikan Sidat dari fase leptocephali menjadi *glass eel* berdasarkan analisis kimia mikro dan struktur mikro peningkatan lebar (*increment width*) otolith (Otake et al., 1994; Arai et al., 1997; Arai et al., 1999a; Arai et al., 2001). Analisis konsep metamorfosis menggunakan otolith pertama kali diamati pada ikan Sidat Jepang, *A. japonica* (Otake et

al., 1994; Arai et al., 1997) lalu dilanjutkan ke berbagai jenis ikan Sidat lainnya (Arai et al., 1999a; Arai et al., 2001; Arai et al. 2003). Pada fase leptocephali yang bermigrasi jangka panjang di laut lepas (*oceanic migration*), rasio Sr/Ca ikan Sidat fase leptocephalus akan terus meningkat sejak telur ikan menetas. Rasio Sr/Ca mencapai puncaknya saat ikan akan bermetamorfosis (Garis AB). Pada saat leptocephali tepat bermetamorfosis, ratio Sr/Ca turun dengan sangat tajam (Garis BC). Sebaliknya, pertambahan lebar otolith sedikit meningkat yakni pada saat ikan menetas hingga mencapai umur sekitar 20–40 hari (fase i) pada leptocephali jenis *A. japonica*. Pertambahan lebar otolith menjadi konstan atau sedikit menurun (fase ii). Otolith lalu tumbuh lebih lebar dengan sangat cepat dari titik pusat lingkaran hingga ke titik luar lingkaran harian ke 90–150 (umur 90–150 hari, fase iii). Fase (iii) merupakan periode awal hingga berakhirnya metamorfosis



Sumber: Otake et al. (1994)

Gambar 3.26 6 Profil persen berat Ca, Sr, dan Ratio Sr/Ca dari titik pusat otolith hingga ke bagian terluar otolith.



Keterangan: Fase i, ii, iii, dan iv menandakan perubahan lebar otolith selama proses metamorfosis berlangsung, sedangkan A, B, dan C menandakan titik-titik perubahan ratio Sr/Ca.

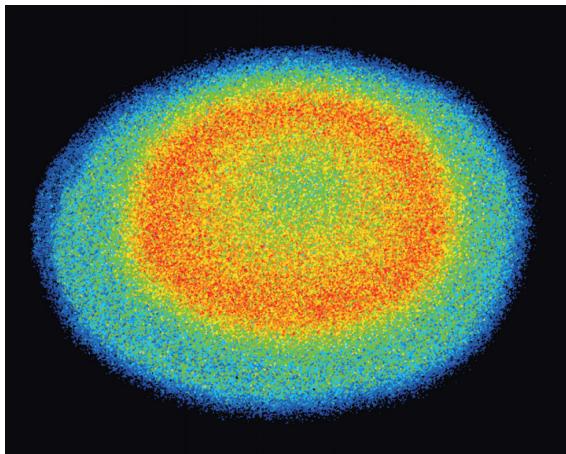
Sumber: Arai et al. (1997), dengan sedikit modifikasi

Gambar 3.27 Konseptual model yang menunjukkan perubahan lebar dan ratio Sr/Ca pada otolith leptocephali ikan Sidat (*Anguilla spp*) selama fase metamorfosis.

leptocephalus, dimana setelah itu pertambahan lebar otolith menurun secara drastis (fase iv) yang menandakan dimulainya fase *glass eel* (Gambar 3.26 dan 3.27).

Proses metamorfosis pada ikan Sidat lebih jelas lagi diperlihatkan pada Gambar 3.28. Gambar ini menunjukkan distribusi konsentrasi Srontium (Sr) pada otolith ikan Sidat fase *glass eel*. Warna merah-kuning menandakan konsentrasi Sr tinggi pada fase leptocephalus ketika berada di perairan laut (salinitas tinggi). Warna berubah menjadi hijau-biru muda pada saat leptocephalus bermetamorfosis di perairan estuari (salinitas rendah). Warna lalu berubah lagi menjadi biru gelap pada ujung luar lingkaran otolith yang menandakan konsentrasi Sr mendekati nilai nol (0) ketika *glass eel* memasuki perairan tawar (salinitas nol) (Kuroki & Tsukamoto, 2012).

Nilai rata-rata \pm standar deviasi dan kisaran umur leptocephali saat metamorfosis (UM), Durasi metemorfosis (DM) dan Umur



Keterangan: Perubahan warna menunjukkan perubahan konsentrasi Srontium pada fase leptocephalus (merah-kuning), fase metamorfosis (hijau-biru muda), dan fase *glass eel* (biru gelap).

Sumber: Gambar dikutip dari Kuroki & Tsukamoto (2012) atas ijin dari Dr. Mari Kuroki (AORI)

Gambar 3.28 Sebaran konsentrasi Sorontium *glass eel* pada otolith ikan sidat pada berbagai fase.

saat rekrutmen (UR) serta dugaan bulan pemijahan dari beberapa spesies ikan Sidat tropis, seperti *A. bicolor bicolor*, *A. bicolor pacifica*, *A. celebesensis*, dan *A. marmorata* di berbagai perairan dari hasil analisa otolith ditampilkan pada Tabel 3.5. Tabel ini memperlihatkan hanya 4 spesies leptocephali ikan Sidat yang otolitnya teranalisa secara perinci sehingga dapat diperoleh informasi mengenai berapa lama leptocephali bermigrasi dari lokasi pemijahannya di laut lepas ke perairan estuari. Hal lain yang dapat diketahui adalah durasi metamorfosis dan umur rekrutmen leptocephali menjadi glass eel yang siap memasuki fase kehidupan baru di perairan tawar (Gambar 3.29 dan 3.30). Migrasi leptocephali di perairan laut lepas (oceanic) cukup lama berkisar antara 141, 139, 97–128, dan 88–124 hari atau

sekitar 3–5 bulan masing-masing untuk *A. bicolor pacifica*, *A. bicolor bicolor*, *A. marmorata*, dan *A. celebesensis*, kecuali *A. bicolor bicolor* yang dikoleksi dari Pulau réunion di Samudra Hindia bagian Barat yang bermigrasi hanya 46 hari. Kemungkinan hal ini disebabkan pengaruh pola arus Ekuatorial selatan yang mengarah ke barat. Hal ini jauh berbeda dengan leptocephali *A. bicolor bicolor* yang terkoleksi di sisi timur Samudera Hindia, yaitu pada sisi barat Pulau Sumatra dan Selatan Jawa. Metamorfosis leptocephali ikan Sidat selain dari 4 spesies yang telah disebutkan di atas dan analisis otolitnya tidak seperinci seperti Tabel 3.5 adalah *A. borneensis* yang bermetamorfosis pada umur sekitar 133 hari (Kuroki, Aoyama, Miller et al., 2006; lihat pula Tabel 3.3). Untuk leptocephali *A. interioris* yang dikoleksi dari pelayaran K/R Baruna Jaya VII tahun 2002 diduga bermetamorfosis pada umur sekitar 88 ± 4.2 hari (Kuroki, Aoyama, Miller at al., 2006).

Tabel 3.5 Umur dan Durasi metamorfosis serta umur saat rekrutmen rata-rata \pm standar deviasi dan dugaan bulan pemijahan berbagai jenis leptocephali ikan Sidat dan dari berbagai lokasi.

Spesies/Lokasi	UM (hari)	DM (hari)	UR (hari)	Pemijahan	Sumber
<i>A. celebesensis</i>					
Sungai Poigar, Indonesia	$88 \pm 9,8$ (84–95)	$5 \pm 3,2$ (4–7)	$109 \pm 10,9$ (104–118)	Sepanjang Tahun	Arai et al. (2001)
Sungai Poso, Indonesia	$98 \pm 7,2$ (87–115)	$15 \pm 2,2$ (12–18)	$112 \pm 14,2$ (92–139)	Mar.	Arai et al. (2003)
Sungai Poigar, Indonesia	$90 \pm 13,6$ (74–115)	$17 \pm 2,9$ (12–25)	$122 \pm 7,2$ (112–133)	Jan–Mar	Arai et al. (2003)
Sungai Cagayan, Filipina	$124 \pm 12,0$ (104–147)	$17 \pm 3,2$ (12–24)	$22 \pm 7,2$ (112–134)	Mar–May	Arai et al. (2003)
<i>A. bicolor bicolor</i>					
Sungai Cimandiri, Indonesia	$139 \pm 15,9$ (119–171)	$18 \pm 4<2$ (13–27)	$177 \pm 6,4$ (148–202)	Nov–Jan	Arai, Otake, et al. (1999)
Sungai Cimandiri, Indonesia	$148 \pm 26,6$	28	178	Sepanjang tahun	Setiawan et al. (2001)

Spesies/Lokasi	UM (hari)	DM (hari)	UR (hari)	Pemijahan	Sumber
Pulau Réunion, Samudra Hindia Barat	46,2 ± 5,8 (39–57)	33,6 ± 7,5 (24–48)	70,8 ± 7,7 (68–9,6)	Sep–Jan	Robinet et al. (2003)
<i>A. bicolor pacifica</i>					
Sungai Poigar, Indonesia	141 ± 20,9 (129–121)	14 ± 6,6 (9–20)	173 ± 20,9 (158–200)	Apr–Sep	Arai et al. (2001)
<i>A. marmorata</i>					
Sungai Poigar, Indonesia	128 ± 15,2 (114–158)	9 ± 4,3 (4–12)	155 ± 14,8 (144–182)	Sepanjang tahun	Arai et al. (2001)
Sungai Dumoga, Indonesia	120 ± 15,6 (96–147)	17 ± 3,3 (13–24)	152 ± 15,2 (129–177)	Des–Jan	Arai, Otake, et al. (1999)
Sungai Cagayan, Filipina	120 ± 13,0 (105–140)	17 ± 4,3 (13–26)	154 ± 13,5 (131–178)	Apr–May	Arai, Otake, et al. (1999)
Pulau Réunion, Samudra Hindia barat	96,9 ± 26,4 (60–135)	23 ± 4,5 (14–29)	120,2 ± 24,7 (86–160)	Sep–Des	Robinet et al. (2003)

Keterangan: UM = umur leptocephali saat metamorphosis; DM) = Durasi Metemorfosis;
UR = umur saat rekrutmen (UR) serta dugaan bulan Pemijahan,

H. Tinjauan tentang Glass eel/elver

Sementara leptocephali menghabiskan waktunya di perairan yang relatif dangkal, setelah bermetamorfosis menjadi *glass eel* (Gambar 3.29), mereka berkumpul dengan jumlah yang terus bertambah pada area spesifik di estuari, karena tertarik akan perairan dengan salinitas rendah, sambil beraklimatisasi di lingkungan perairan tawar. *Glass eel* di estuari berubah sifatnya dari pelagis menjadi penghuni kehidupan bentik (*bottom dweller*) dan beristirahat setelah melakukan perjalanan panjangnya di laut. *Glass eel* bersembunyi di lumpur atau lubang di tepi sungai dan menjalani kehidupan nokturnal (aktif di malam hari). Hal ini menjadi alasan mengapa fungsi indera visual mereka menjadi berkurang, sementara indra kimia penting untuk mencari makan di malam hari dan garis lateral (*lateral line*) *glass eel* peka terhadap rheotaxis positif (stimulus eksternal terhadap arus

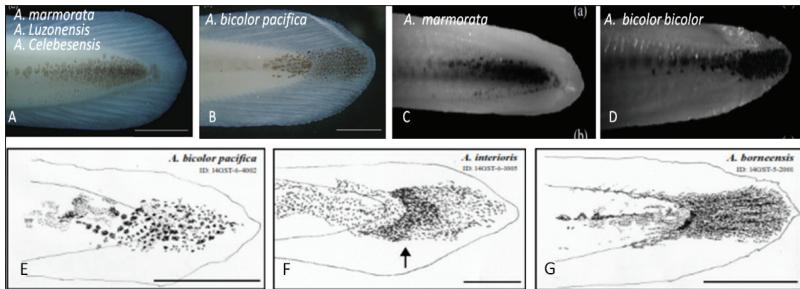


Sumber: Tatang (2013)

Gambar 3.29 Ikan Sidat pada fase *glass eel*

atau aliran sungai yang mengalir ke arah *glass eel* sehingga mereka dapat mempertahankan posisinya daripada tersapu arus ke hilir) terus berkembang. Setelah cukup beraklimatisasi di perairan tawar (mulut sungai), *glass eel* yang berkumpul dalam jumlah banyak memulai perjalannya berenang/migrasi ke sungai (*up-stream migration*) (Kuroki & Tsukamoto, 2012).

Fase perkembangan *glass eel* diklasifikasi pula sebagai juvenil. Hal ini dikarenakan *glass eel* menghabiskan masa stadium larvanya sebagai leptocephali, namun saat mencapai stadia *glass eel*, mereka memiliki bentuk dan struktur tubuh kurang-lebih sebagai *yellow eel*, hanya perbedaannya adalah bahwa pigmentasi (Gambar 3.31) pada *glass eel* belum berkembang. *Glass eel* akhirnya akan tumbuh menjadi *yellow eel*, tetapi dalam peralihan jangka pendek di antara kedua fase ini mereka dikenal sebagai elver. Elver berukuran sama atau sedikit lebih besar dari *glass eel*, namun mereka jauh lebih berkembang dalam hal pigmentasi (Gambar 3.30). Istilah *glass eel* dan elver merujuk pada juvenil yang bermetamorfosis dari fase leptocephali maka istilah ini terkadang membingungkan, sebab perbedaan di antaranya tidak



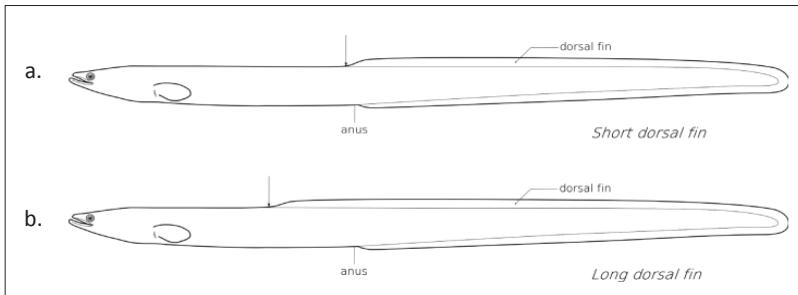
Keterangan: Pigmentasi fase elver ikan Sidat dengan kemungkinan speies: (A) *Anguilla marmorata* atau *A. Luzonensis* atau *A. celebesensis*; (B) *A. bicolor pacifica*; (C) *A. marmorata*; (D) *A. bicolor bicolor*; (E) *A. bicolor pacifica*; (F) *A. Interioris*; dan (G) *A. Borneensis*.

Sumber: (A–B) Leander et al. (2011); (C–G) Nieves & Nolial (2019)

Gambar 3.30 Pola pigmentasi ujung ekor beberapa spesies ikan Sidat tropis pada fase elver yang dapat digunakan sebagai kunci identifikasi.

jelas, bahkan banyak peneliti sering mencampuradukkan istilah ini. Sementara itu, berbeda dengan leptocephali yang pergerakannya pasif hanyut terbawa arus, *glass eel* dan elver harus aktif bergerak/berenang sendiri, meskipun kadang-kadang mereka memanfaatkan arus pasang surut di muara sungai. Jadi, secara garis besar, setelah bermetamorfosis dari fase leptocephali, *glass eel* bermigrasi ke estuari dan muara sungai, sedangkan elver bermigrasi lebih jauh untuk menemukan habitat mereka di hulu sungai lalu menetap di sana sambil berubah menjadi fase berikutnya, yakni ikan Sidat muda (*yellow eel*) dan dewasa (*silver eel*) (Kuroki & Tsukamoto 2012).

Gambar 3.30 Menunjukkan pola pigmentasi pada bagian ekor elver. Pola pigmentasi ini sering dijadikan acuan untuk mengidentifikasi berbagai spesies elver (Reveillac et al., 2009; Leander et al., 2011; Nieves & Nolial, 2019), namun masih sulit mengidentifikasi beberapa spesies elver seperti, *A. marmorata*, *A. luzonensis*, dan *A. celebesensis* yang menunjukkan adanya kemiripan pola dari ketiga spesies tersebut, sehingga pola pigmentasi saja tidak dapat berdiri sendiri dijadikan kunci identifikasi spesies elver (Leander et al., 2011).



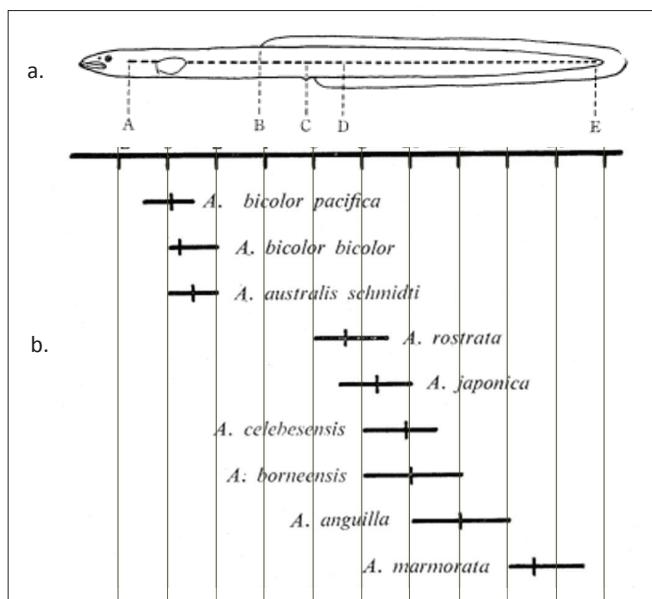
Keterangan: a. Jenis ikan Sidat bersirip dorsal pendek/SFE dengan kemungkinan spesies *A. bicolor bicolor* atau *A. bicolor pacifica*; b. Jenis ikan Sidat bersirip dorsal panjang/LFE dengan kemungkinan spesies, *A. borneensis*, atau *A. celebesensis*, atau *A. interioris*, atau *A. marmorata*

Sumber: Silfvergrip (2009)

Gambar 3.31 Salah satu kunci sederhana lainnya untuk mengidentifikasi jenis *glass eel/elver*

Secara sederhana, *glass eel/elver* dapat pula diidentifikasi menggunakan posisi sirip punggung (*dorsal fin*) terhadap posisi anus atau sirip anal (*anal fin*) seperti yang terlihat pada Gambar 3.31. Jika sirip punggungnya relatif pendek dan dekat sekali dengan posisi anus, maka *glass eel/elver* tersebut tergolong jenis ikan Sidat sirip punggung pendek (*short fin eel/SFE*), sebaliknya jika sirip punggungnya panjang dan terletak jauh dari posisi anus atau dengan jarak marjin anteriornya lebih dari 5% panjang total (TL) tergolong jenis ikan Sidat sirip punggung panjang (*longfin eel/LFE*). Di perairan Indonesia, SFE dapat dipastikan jenisnya hanya 2 subspecies, yaitu *A. bicolor pacifica* dan *A. bicolor bicolor*, sedangkan untuk LFE adalah spesies lainnya, seperti *A. borneensis*, *A. celebesensis*, *A. interioris*, dan *A. marmorata* (Silfvergrip, 2009), serta mungkin juga *A. nebulosa nebulosa*. Kunci identifikasi jenis *glass eel/elver* berikutnya untuk kelima spesies ikan Sidat sirip punggung panjang (LFE) adalah jumlah ruas tulang belakang (*vertebrae*). Namun, kelima spesies ini memiliki jumlah ruas tulang belakang yang tumpang tindih (*overlap*) berkisar antara 102 dan 110 ruas sehingga penggunaan kunci identifikasi berdasarkan jumlah ruas tulang belakang untuk kelima spesies ini juga sulit untuk dipakai sebagai cara diidentifikasi.

Tabeta et al (1976) lebih spesifik mengukur bagian-bagian dari ruas tulang belakang dari *glass eel/elver* ikan Sidat, seperti ruas tulang belakang predorsal (AB), Ano-dorsal (BC), Preanal (AC), Abdominal (AD), Caudal (DE), dan total ruas tulang belakang (AE) (Gambar 3.32). Hasil kajiannya terhadap pengukuran berbagai jenis elver ikan Sidat dari berbagai perairan dunia menghasilkan kunci identifikasi berdasarkan pengukuran jumlah ruas tulang belakang dari *Ano-dorsal vertebrae* (ADV) seperti terlihat pada Gambar 3.32.



Keterangan: Ruas tulang punggung glass eel/elver ikan Sidat. AB: Predorsal, BC: Ano-dorsal, AC: Preanal, AD: Abdominal, DE: Caudal, dan AE: total ruas tulang belakang (b);

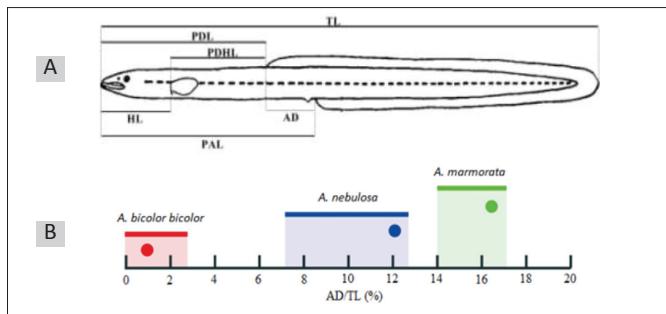
Sumber: Tabeta et al. (1976) dengan sedikit modifikasi.

Gambar 3.32 Pengukuran ruas tulang punggung *glass eel/elver* ikan Sidat dari berbagai perairan dunia (a) yang digunakan sebagai kunci identifikasi (b)

Berdasarkan hasil pengukuran ADV maka beberapa spesies elver ikan Sidat tropis perairan Indonesia dapat dibedakan dengan jelas, seperti *A. bicolor pacifica* (ADV: -1-1), *A. bicolor bicolor* (ADV: 1-2), *A. celebesensis* (ADV: 8-11), *A. borneensis* (ADV: 8-12), dan *A. marmorata* (ADV:14-17) (Tabeta et al, 1976).

Kajian Tabeta et al. (1976) sering digunakan sebagai kunci identifikasi oleh peneliti ikan sidat. Sugeha, Arai, et al. (2001) memakai kunci ini untuk mengidentifikasi 10.032 ekor *glass eel* dari Sungai Poigar dengan hasil, 177 ekor *A. bicolor pacifica* (ADV: -2-3), 7736 ekor *A. celebesensis* (ADV: 6-12), dan 2119 ekor *A. marmorata* (ADV: 14-18) (Tabel 3.6). Serdiati et al. (2013) juga mengidentifikasi *glass eel/elver* dari Sungai Poso berdasarkan kunci identifikasi ADV, dengan hasil: ADV *glass eel/elver A. bicolor pacifica* \leq 4, *A. marmorata* \geq 14, dan *Anguilla* spp. 6-12 yang kemungkinan adalah *A. celebesensis*, seperti yang ditemukan oleh Sugeha, Watanabe, et al. (2001), Ndobe et al. (2012), dan Kusuma et al. (2018). (Tabel 3.6). Jadi, hasil identifikasi *glass eel/elver* berdasarkan ADV dapat membedakan secara jelas 5 spesies yaitu *A. bicolor pacifica* (ADV: -1-1), *A. bicolor bicolor* (ADV: 1-2), *A. marmorata* (ADV \geq 14), namun *A. borneensis*, *A. Celebesensis*, dan *A. interioris* memiliki ADV saling overlap (ADV: 8-12). Oleh karena itu, ketiga spesies tersebut kerap kali dikelompokkan sebagai *Anguilla* spp (Tabel 3.6). ADV *A. bicolor bicolor* dan *A. bicolor pacifica* juga sedikit tumpang tindih, namun bisa dibedakan atas sebarannya, *A. bicolor bicolor* tersebar di sepanjang pantai barat Sumatra dan selatan Jawa (berada di bawah pengaruh Samudera Hindia), sedangkan *A. bicolor pacifica* tersebar di wilayah Indonesia bagian tengah-timur (berada di bawah pengaruh Samudera Pasifik).

Pengukuran bagian tubuh *glass eel/elver* lainnya yang sering juga dijadikan kunci identifikasi jenis adalah pengukuran morfometrik panjang dari bagian tubuh *glass eel/elver* seperti terlihat pada Gambar 3.33. Karakteristik paling sering diukur data morfometriknya adalah ratio AD terhadap PT (ADL/%TL atau AD/PTx100%), Rasio PDL



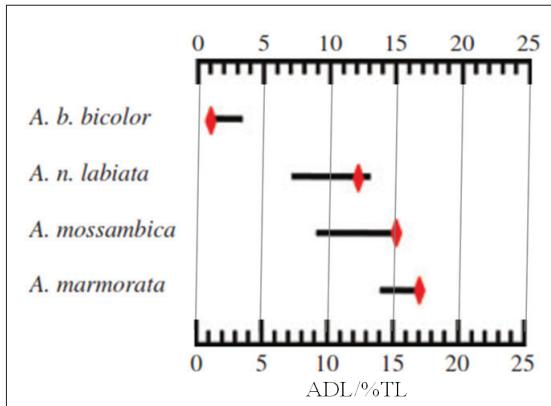
Keterangan: A. Morfometrik ukuran bagian-bagian tubuh *glass eel/elver*.

TL: Panjang total, PDL: Panjang pre dorsal, PDHL: Panjang pre-dorsal kepala, HL: Panjang kepala, AD atau ADL: Panjang Anodorsal dan PAL: Panjang pre-anal; B. Hasil identifikasi 3 spesies *glass eel/elver* berdasarkan perbandingan antara karakter ADL terhadap TL.

Sumber: Hakim et al. (2015)

Gambar 3.33 Ukuran morfometrik *glass eel/elver* (A), dan kunci identifikasi 3 spesies *glass eel/elver* menggunakan data Ratio ADL%/TL (B).

terhadap TL (PDL/%TL) dan rasio PAL terhadap PT (PAL/%TL). Dari seluruh karakter morfometrik, tampaknya ADL/%TL merupakan karakter yang dapat memberikan hasil identifikasi terbaik daripada karakter PDL/%TL atau PAL/%TL (Sugeha & Geneisa, 2015). Oleh karenanya ADL/%TL paling sering digunakan sebagai kunci identifikasi. Dari karakter ADL/%TL, Hakim et al. (2015) dapat mengidentifikasi 3 spesies *glass eel/elver* ikan Sidat tropis Indonesia dengan sebarannya di perairan barat Pulau Sumatra dan Selatan Jawa, yakni *A. bicolor bicolor* (ADL/%TL: $1,72 \pm 1,05$), *A. nebulosa nebulosa* (ADL/%TL: $6,60 \pm 1,79$), dan *A. marmorata* (ADL/%TL: $15,07 \pm 1,04$) (lihat Tabel 3.6). Lebih lanjut, karakter ADL/%TL juga dapat mengidentifikasi 4 spesies *glass eel/elver*, yaitu *A. bicolor bicolor*, *A. nebulosa labiata*, *A. mossambica* dan *A. marmorata* di perairan selatan-barat Samudera Hindia (Mauritus, Mayotte, dan Madagaskar; Gambar 3.34) menggunakan 4.099 spesimen *glass eel*/



Sumber: Reveillac et al. (2009)

Gambar 3.34 Kunci identifikasi 4 spesies *glass eel/elver* di perairan barat daya Samudera Hindia berdasarkan nilai ratio ADL/%TL.

elver. Hasil pengukuran ADL/%TL dari 4.099 spesimen tersebut lalu dianalisa menggunakan PCR (DNA), dimana hasilnya menunjukkan bahwa 4036 (98,5%) spesimen memiliki kecocokan antara identifikasi ADL/%TL dan analisa PCR (Reveillac et al., 2009).

Walaupun berbagai kunci identifikasi telah berhasil mengidentifikasi berbagai jenis *glass eel/elver* ikan sidat tropis Indonesia, namun ada beberapa spesies memiliki karakter tumpang tindih sehingga kunci identifikasi dari ukuran morfometrik belum dapat dengan pasti memisahkan seluruh spesies *glass eel/elver* (Fahmi, 2015), terutama untuk 3 spesies, *A. borneensis*, *A. celebesensis*, dan *A. interioris*. Oleh sebab itu, analisa molukuler genetika (DNA) direkomendasikan untuk identifikasi *glass eel/elver* (Fahmi et al., 2013; Fahmi, 2015; Kusuma et al., 2018). Analisa genetika (DNA) sebenarnya sudah lama dilakukan (lihat Arai et al., 2001; Sugeha, Watanabe, et al., 2001 pada Tabel 3.6; Aoyama et al. 2001; 2003, Ishikawa et al. (2004); Minegishi et al. 2005). Berbeda dengan identifikasi berbasiskan karakter morfologi, seperti pigmentasi di bagian ekor, ADV, dan ADL/%TL, analisa genetika (DNA) bisa mengidentifikasi seluruh fase kehidupan ikan Sidat mulai dari telur, leptocephali, *glass eel*/

elver, dan fase dewasa/*yellow/silver eel*, bahkan produk-produk yang sudah tidak berkepala, dibekukan, diasap, dimasak, atau dikalengkan (Silfvergrip 2009).

Cara sampling ikan Sidat yang sangat berbeda pada fase leptocephali, dimana harus menggunakan fasilitas kapal riset, alat sampling dan alat pendukung lain yang canggih (Jaring IKMT, CTD, ADCP, *net sounder*, dll), karena lokasi sampling berada di laut lepas, namun sampling *glass eel/elver* dapat dilakukan dengan alat sangat sederhana, seperti seser (*hand scoop net*), dan lokasi sampling tidak jauh dari tepi pantai/muara sungai. Hal ini menyebabkan koleksi *glass eel/elver* lebih mudah. Tabel 3.6 menampilkan hasil kajian *glass eel/elver* ikan Sidat di berbagai estuari/muara sungai Indonesia bagian tengah-timur dan barat yang mencakup waktu sampling, spesies dan ukurannya, serta metode identifikasi.

Tabel 3.6 Kajian *glass eel/elver* tropis dari berbagai perairan estuari Indonesia mencakup tujuan, waktu sampling, spesies dan ukurannya, serta sumber dan metode identifikasi.

No.	Tujuan Kajian	Waktu Sampling	Spesies, Panjang Rata-rata dan Kisarannya (mm)	N	Sumber & Metode Identifikasi
• Sampling <i>glass eel</i> di Wilayah Indonesia Bagian Tengah dan Timur					
1.	Migrasi ke pantai (Sungai Domuga, Sulut)	1996: Juni	<i>A. Marmorata</i> 50,9 (47,9–54,8)	20	Arai, Limbong, et al. (1999). Morfologi eksternal dan Pigmentasi.
2.	Migrasi ke pantai (S. Poigar, Sulut)	1996: Jun–Jul	<i>A. bicolor pacifica</i> 48,9 (45,7–51,2)	25	Arai, Otake, et al. (1999). Pigmentasi.

No.	Tujuan Kajian	Waktu Sampling	Spesies, Panjang Rata-rata dan Kisarannya (mm)	N	Sumber & Metode Identifikasi
3.	Diversitas, Migrasi ke pantai (S. Poigar, Sulut)	1997: Jan–Feb, Apr–Okt Mar–Des. Jan–Nov	<i>A. bicolor pacifica</i> 49,2 (43,0–4,0) <i>A. celebesensis</i> 49,1 (40,0–55,8)	177	Sugeha, Arai, et al. (2001). Pigmentasi dan ADV
			<i>A. marmorata</i> 51,1 (42,0–57,0)	3.984	
		1998: Jan–Feb, Sep, Des Mar–Des. Feb–Apr, Jun–Des	<i>A. bicolor pacifica</i> 50,2 (47,0–53,5) <i>A. celebesensis</i> 49,2 (43,0–54,0)	18 844	
			<i>A. marmorata</i> 51,6 (43,3–55,0)	200	
		1999: Jan–Feb, Jun–Jul Jan–Apr, Jun–Des Jan–Apr, Jun–Des	<i>A. bicolor pacifica</i> 48,1 (44,3–53,0) <i>A. celebesensis</i> 48,5 (40,0–55,0) <i>A. marmorata</i> 50,0 (41,5–55,8)	12 2.844 613	

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Tujuan Kajian	Waktu Sampling	Spesies, Panjang Rata-rata dan Kisarannya (mm)	N	Sumber & Metode Identifikasi
4.	Migrasi ke pantai (S. Poigar, Sulut)	1997: Jan–Des Jan–Des Jan–Des	<i>A. bicolor pacifica</i> <i>A. celebesensis</i> <i>A. marmorata</i>	575 6.113 5.236	Bataragoa & Onibaba (2001)
		1998: Jan–Feb, Sep, Mar–Des, Feb–Des	<i>A. bicolor pacifica</i> <i>A. celebesensis</i> <i>A. marmorata</i>	23 846 260	
		1999: Jan–Feb, Jun–Jul	<i>A. bicolor pacifica</i>	32	
		Jan–Apr, Jun–Des	<i>A. celebesensis</i>	7.570	
		Jan–Mei, Jun–Des	<i>A. marmorata</i>	1.663	
		2000; Mei–Jul, Nov–Des,	<i>A. bicolor pacifica</i>	49	
		Jan–Des	<i>A. celebesensis</i>	7.231	
		Jan–Des	<i>A. marmorata</i>	6.023	
5.	Mekanisme rekrutmen (S. Poigar, Sulut)	1997: Jan–Des	<i>A. bicolor pacifica</i> (48,9) <i>A. celebesensis</i> (47,4) <i>A. marmorata</i> (50,4)	15 189 68	Arai et al. (2001). mtDNA

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Tujuan Kajian	Waktu Sampling	Spesies, Panjang Rata-rata dan Kisarannya (mm)	N	Sumber & Metode Identifikasi
6.	Migrasi ke pantai (S. Poso, Sulteng)	1999 Jul – 2000 Des	<i>A. bicolor pacifica</i> 51,5 <i>A. borneensis</i> (9,5) <i>A. celebesensis</i> 49,8 (44,5–56,5) <i>A. interioris</i> 49,5 (44,5–55,0) <i>A. marmorata</i> 51,5 (46,0–57,0)	1 1 282 711 140	Sugeha, Watanabe, et al. (2001). PCR
7.	Diskriminasi dan distribusi di estuari:				Sugeha & Suhartati (2008). Pigmentasi dan ADV.
	Palu (Sulteng)	2004, 2005, 2006	<i>A. bicolor pacifica</i> 49,2 (45,0–52,0) 49,1 (45,0–53,0)	37 67	
	Dumoga (Sulut)	2004	49,9 (46,0–54,5)	46	
	Poigar (Sulut)	2004 & 2005	50,4 (46,0–52,5) 48,1 (46,0–50,0)	4 5	
	Bone Bolango (Malut)	2004	49,5 (46,0–55,0)	4	
	Akelamo (Malut)	2006			
	Pami (Papua)				
8.	Migrasi ke pantai (S. Dumoga, Sulut)	2004: Ags 2005: Jun–Sept 2006: Mei–Okt	<i>A. bicolor pacifica</i> <i>A. Marmorata</i> <i>Anguilla spp.</i> (kemungkinan <i>A. celebensis</i> atau <i>A. Interioris</i>).	56.967	Sugeha et al. (2008). ADV dan Analisa DNA

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Tujuan Kajian	Waktu Sampling	Spesies, Panjang Rata-rata dan Kisarannya (mm)	N	Sumber & Metode Identifikasi
9.	Mekanisme rekrutmen (S. Poso, Sulteng)	2008 Mei – 2009 Apr.	<i>A. bicolor pacifica</i> 50,0 <i>A. celebesensis</i> 50,3 (45,0–56,0)	1 809	Sugeha (2010). ADL/%TL, pigmentasi dan ADV
			<i>A. interioris</i> 51,0 (48,0–54,0)	5	
			<i>A. marmorata</i> 51,2 (50,2–57,8)	711	
			<i>Anguilla sp.</i> 47,0 (42,5–51,8)	203	
10.	Diversitas, Migrasi ke pantai S. Palu (Sulteng)	Jan–Apr. 2009, Mei–Nov. 2010, Apr–Sep. 2011,	<i>A. bicolor pacifica</i> <i>A. marmorata</i> <i>Anguilla sp.</i> <i>A. bicolor pacifica</i> <i>A. marmorata</i> <i>Anguilla sp.</i> <i>A. bicolor pacifica</i> <i>A. marmorata</i> <i>Anguilla sp.</i>	600 569 27 328 1.142 81 419 990 433	Ndobe (2010). ADV Ndobe et al. (2012). ADV Serdiadi et al (2013). Pigmentasi dan ADV
11.	Diversitas, Migrasi ke pantai (S. Dumoga, Sulut)	2018: Apr–Mei	<i>A. bicolor pacifica</i> 58,9 (48,0–68,0) <i>A. marmorata</i> 49,3 (44,5–54,1) <i>Anguilla sp.</i> 73,1 (50,7–96,0)	1.106 854 252 291	Kusuma et al. (2018). ADV
12.	Diversitas dan kelimpahan (S. Poigar, Sulut)	2018: Apr–Jul Apr (sampel) Mei (sampel) Jun (sampel) Jul (sampel)	<i>Anguilla spp.</i> 44,5 (41,7–48,7) 48,7 (40,5–52,8) 51,1 (44,5–54,4), 50,1 (43,5–55,0)	3.551 50 100 100 100	Lumi et al. (2019). Pigmentasi pada ujung ekor.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Tujuan Kajian	Waktu Sampling	Spesies, Panjang Rata-rata dan Kisarannya (mm)	N	Sumber & Metode Identifikasi
13.	Diversitas (S. Konaweha, Sultra)	2021: Agst–Okt	<i>A. bicolor pacifica</i> <i>A. marmorata</i>	31 32	Pangerang et al. (2021). ADV and ADL/%TL
• Sampling Glass Eel di Wilayah Indonesia Bagian Barat					
14.	Kehidupan awal (S. Cimandiri, Jabar)	1996: Mei	<i>A. bicolor bicolor</i> 49,4(45,5–52,3)	15	Arai, Limbong, et al. (1999). Morfologi eksternal dan Pigmentasi.
15.	Migrasi ke Pantai (S. Cimandiri)	1998 Sep – 1999 Sep	<i>A. bicolor bicolor</i> 52,7 (47,0–58,5)	373	Setiawan et al. (2001). Pigmentasi
16.	Kehidupan awal (S. Cimandiri, Jabar)	1993: Des 1994: Jan, Jun–Jul	<i>A. bicolor bicolor</i> 52.9 ± 2.1 <i>A. bicolor bicolor</i> 55.7±1.1	105 3.391	Budimawan & Le-comte-Finiger, (2007). ADL/%TL
17.	Diskriminasi dan distribusi di estuari: Krueng, Aceh	2006	<i>A. bicolor bicolor</i> 51,0	1	Sugeha & Suharti (2008). ADV dan Analisa DNA
	Bengkulu	2005	52,1 (49,5–54,0)	11	
	Cibaliung, Banten	2005	50,0 (50,0–57,0)	100	
	Citandui, Jateng	2004	49,0 (48,0–49,0)	3	
		2004	51,8 (50,0–54,0)	4	
	Pacitan, Jatim				
18.	Kelimpahan (S. Cimandiri, Jabar)	2009: Mar–Nov. Puncak Mei, Okt, Nov.	<i>A. bicolor bicolor</i>	15.586	Haryono et al. (2009). Metode tidak dijelaskan
19.	Komposisi Jenis (S. Progo, DIY)	2007 Jan – 2009 Des, Puncak: Nov–Mei	<i>A. bicolor bicolor</i> <i>B. nebulosa nebulosa</i> <i>A. marmorata</i>	714 50 346	Budiharjo (2010). Metode tidak dijelaskan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

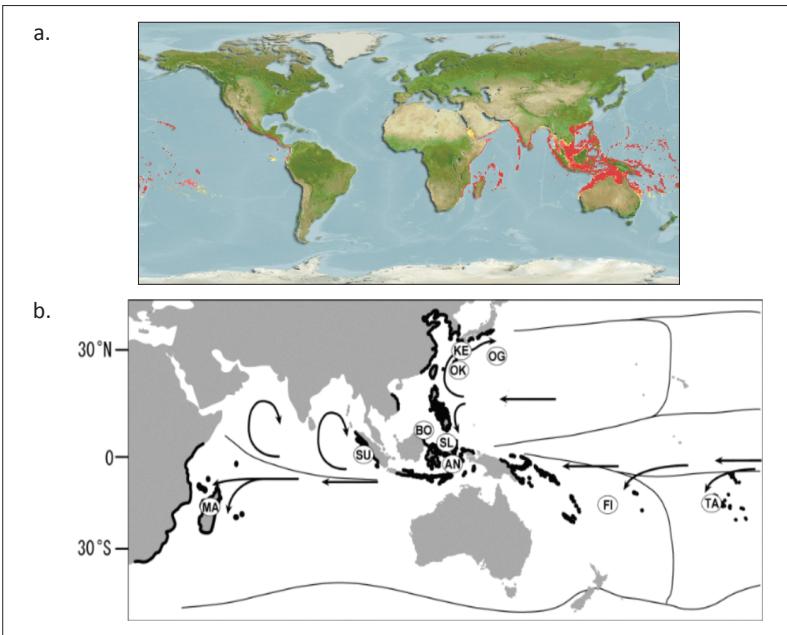
No.	Tujuan Kajian	Waktu Sampling	Spesies, Panjang Rata-rata dan Kisarannya (mm)	N	Sumber & Metode Identifikasi
20.	Komposisi spesies (S. Cimandiri, Jabar)	2014: Agst, Des	<i>A. bicolor bicolor</i> 51,7 (4,8–55,8) <i>A. nebulosa nebulosa</i> 50,4 (47,2–52,2) <i>1. marmorata</i>	76 7 23	Hakim et al. (2015). ADL/%TL
21.	Karakteristik morfologi (S. Cibaliung, Banten)	2005: Mei–Okt	<i>A. bicolor bicolor</i> 53,0 (47,0–57,0)	116	Sugeha & Genisa (2015). Pigmentasi dan ADL/%TL
22.	Migrasi ke pantai (S Lembeso, Aceh).	2015: Mar–Jun	<i>Anguilla spp.</i> (40,0–60,0)	129	Muchlisin et al. (2016). metode tidak dijelaskan
23.	Komposisi spesies (S. Kendurang, Bengkulu, S. Seraya, Purwokerto and Kebumen, Jateng)	2017: Mar–2018: Feb	<i>A. bicolor</i> <i>A. interioris</i> <i>A. marmorata</i> <i>A. nebulosa</i> <i>nebulosa/A. bengalensis.</i>	213 15 26 24	Wibowo et al. (2021). Analisis DNA barcode
24.	Rekrutmen dan kelimpahan S. Cimandiri, S. Cikaso, dan S. Cibuni	2020: Nov–2021: Apr	<i>Anguilla spp.</i> (90,5% A. b. b.; 4,5% A. m; 5% A. n. n) <i>Angguilla spp.</i> (44,0–60,0) <i>Angguilla spp.</i> (42,0–67,0) <i>Angguilla spp.</i> (44,0–69,0)	240 1.164 1.435	Triyanto et al. (2021). ADL/%TL

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 3.6 menunjukkan pola sebaran dan kelimpahan *glass eel*/elver yang berbeda di antara estuari di wilayah Indonesia. Sebaran *glass eel*/elver di estuari bagian tengah-timur Indonesia (Sungai Dumoga, Poigar, Poso, Palu) didominasi oleh *A. celebesensis*, dan *A. marmorata* dengan kelimpahan tinggi, sedangkan *A. bicolor pacifica*, *A. borneensis*, dan *A. interioris* kelimpahannya rendah. Sebaliknya, di barat Indonesia, *A. bicolor bicolor* adalah spesies sangat dominan dan tersebar luas sepanjang pantai barat Sumatra dan selatan Jawa (Sungai Cimandiri) dengan kelimpahan tinggi, sedangkan *A. marmorata*, *A. nebulosa nebulosa* (hanya di selatan Jawa), dan *A. interioris* kelimpahannya rendah. Hal menarik adalah seluruh spesies *glass eel*/elver di Indonesia bagian tengah-timur teridentifikasi menggunakan karakter ADV, sedangkan di wilayah barat, ADL/%TL cenderung menjadi kunci identifikasi yang kerap dipakai selain pigmentasi pada ekor (Tabel 3.6).

Tabel 3.6 juga menunjukkan bahwa *glass eel*/elver *A. marmorata* bisa dijumpai di seluruh perairan Indonesia bagian tengah-timur dan barat daripada jenis lainnya. *A. marorata* juga memiliki sebaran luas di Samudra Pasifik dan Hindia (Gambar 3.35a) dengan berbagai pola arus (Ishikawa et al., 2004) sehingga *A. marmorata* disebut sebagai jenis kosmopolitan. *Glass eel A. marmorata* yang terkoleksi di perairan Indonesia bagian tengah-timur berasal dari pememijahan induknya di wilayah arus khatulistiwa utara (NEC, Gambar 3.35b) lalu disebarluaskan oleh berbagai sistem arus masuk ke perairan Indonesia bagian tengah-timur. Hal ini diperkuat dari hasil sampling leptocephali (Miller et al., 2002) selama 3 tahun yang menemukan leptocephali *A. marmorata* berukuran kecil (< 20 mm) di wilayah ini dan ditunjang pula hasil penelitian Ishikawa et al. (2004); Kuroki, Aoyama, Miller, et al. (2006); Minegeishi et al. (2008); dan Arai (2014).

Sebaliknya, *glass eel*/elver *A. marmorata* yang terkoleksi di perairan Indonesia bagian barat bukan berasal dari yang memijah di NEC. Hasil kajian genetika (mtDNA) dilakukan Ishikawa et al. (2004) terhadap 162 spesimen ikan Sidat *A. marmorata* yang dikoleksi menggunakan berbagai alat dari 10 lokasi: Pulau Ogasawara (18 spesimen), Okinawa



Keterangan: A. Sebaran global *A. marmorata*; B. sebaran di samudera Pasifik dan Hindia berdasarkan analisa mtDNA yang menunjukkan 5 populasi geografis: (i) Pasifik utara, (KE: Kuchinoerabu, OG: Ogasawara, Ok: Okinawa, Jepang; BO: Borneo/ Kalimantan, SL: Sulawesi; AN: Ambon, Indonesia); (ii) SU: Sumatra; (iii) MA: Madagaskar; (iv) FI: Fiji; dan (v) TA: Tahiti. Garis menunjukkan batas sebaran *A. marmorata*, sedangkan arah panah menunjukkan pola arus hangat laut utama.

Sumber: A. FishBase (2003); B. Ishikawa et al. (2004).

Gambar 3.35 A. Sebaran global *A. Marmorata*; B. Lima populasinya di Samudra Pasifik dan Hindia.

(14), dan Kuchinoerabu (16) di Jepang; Pulau Sulawesi (19), Ambon (4), Sumatra (11), dan Kalimantan (6) di Indonesia; Pulau Vitibele, Fiji (24), Tahiti (25) dan Madagaskar (25); Gambar 3.35b mengungkapkan bahwa *A. marmorata* memiliki 5 populasi geografis, yaitu populasi Pasifik Utara, Madagaskar, Sumatra, Fiji, dan Tahiti. Lebih lanjut, hasil analisa sampel di 6 lokasi wilayah Pasifik utara dan Indonesia bagian utara menunjukkan sudah tidak terdeteksi lagi sub populasi dari *A.*

marmorata (Ishikawa et al., 2004). Populasi *A. marmorata* di perairan Madagaskar menunjukkan bahwa keberadaan daerah pemijahan ikan Sidat ini terletak antara lintang 13°S dan 19°S dan ke arah barat pada bujur 60.5°BT, meskipun batas-batas ini bervariasi pada skala waktu antar tahun yang tampaknya dipengaruhi oleh *front salinitas* (Pous et al., 2010), sedangkan pemijahan *A. marmorata* untuk populasi Sumatra hingga kini masih belum diketahui dengan jelas.

Belakangan ini, akibat pemanfaatan sangat tinggi terhadap sumber daya ikan Sidat karena memiliki nilai komersial penting, khususnya dari wilayah empat musim (*temperate*), seperti ikan Sidat Jepang (*A. japonica*), ikan Sidat Amerika (*A. rostrata*) dan ikan Sidat Eropa (*A. anguilla*) telah mengalami penurunan stok yang sangat tajam (Silfvergrip, 2009). Hal ini menyebabkan *A. japonica* dan *A. rostrata* terklasifikasi sebagai spesies yang terancam (*endangered*), sedangkan *A. anguilla* lebih serius lagi telah terklasifikasi sebagai terancam kritis (*critically endangered*) berdasarkan daftar merah (*red list*) IUCN (Jacobi & Gollock, 2014a; Jacobi, Casselman, et al. 2014; Jacobi & Gollock, 2014b). *A. anguilla* bahkan telah terdaftar dalam CITES Appendix II, sehingga perdagangan internasional terhadap spesies ini sudah sangat dibatasi sekali secara ketat sejak tahun 2009 (CITES, 2015).

Untuk mengimbangi kekurangan pasokan ikan Sidat beriklim *temperate* tersebut, maka ikan Sidat tropis yang diwakili oleh ikan Sidat sirip pendek (SFE) dari sub spesies *A. bicolor bicolor* menjadi perhatian pasar ikan Sidat Asia Timur dalam tahun-tahun terakhir (Jacoby, Harrison, et al. 2014). Oleh sebab itu, usaha budi daya ikan sidat skala besar yang banyak di antaranya didanai oleh investor asing, telah didirikan di Pulau Jawa sejak akhir 2000-an dan mulai membudidayakan ikan Sidat tropis (Fahmi, 2015). Usaha budidaya ikan Sidat hingga kini tergantung dari benih yang ditangkap dari alam liar berupa *glass eel/elver* atau *yellow eel* (Crook & Nakamura, 2013). Hal ini meningkatkan minat terhadap *glass eel* ikan Sidat tropis yang berapa tahun lalu belum mendapat perhatian untuk dieksplorasi, namun belakangan ini kemungkinan besar eksplorasinya untuk

perdagangan internasional akan terus meningkat (Aoyama et al., 2014). *Glass eel* tropis selain di ekspor ke luar negeri (Jepang), banyak pula yang ditangkap dan dikumpulkan dari berbagai lokasi di Indonesia (Tabel 3.6) lalu dikirim ke lokasi budi daya Sidat di Pulau Jawa sehingga pemanfaatannya berlebih. Sebaliknya, data statistik tangkapan *glass eel* di Indonesia yang terbatas bisa menyebabkan penurunan stok sumber daya perikanan Sidat (Honda et al., 2016).

Pemanfaatan *glass eel* ikan Sidat dari berbagai perairan di Indonesia terfokus pada jenis *A bicolor bicolor* yang berasal dari pantai selatan Pulau Jawa, khususnya Sungai Cimandiri, Teluk Pelabuhan Ratu, Sukabumi selatan. Demikian pula dengan usaha budi daya ikan Sidat, di mana hampir seluruh usaha tersebut berada di Jawa Barat dengan bibit (*glass eel/elver*) selain berasal dari sekitar Teluk Pelabuhan Ratu ada pula yang didatangkan dari propinsi lain, seperti Bengkulu. Pemanfaatan *glass eel/elver* ikan Sidat tampaknya telah terlihat memasuki usaha komersial sejak tahun 2014 seperti terlihat pada Tabel 3.7 (Honda et al., 2016). Pada Tabel ini terlihat bahwa benih ikan Sidat dibagi atas 3 kelas, yakni *glass eel* stadia 1 (belum memiliki pigmen), *glass eel* stadia 2 (pigmentasi sudah terlihat) dan stadi elver (panjang total ≥ 50 mm). Hasil tangkapan tahun 2014 untuk *glass eel* stadia -1, -2, dan elver masing-masing 959, 994, dan 11.754 kg. Berat rata-rata *glass eel* pada stadia -1, -2 adalah sekitar 0,2 gram dan elver 0,5 gram (Honda et al., 2016), jadi total tangkapan sebesar 11.754 kg ekivalen dengan jumlah total individu sebanyak 29.365.300 ekor *glass eel* dan elver.

Hasil kajian Rahmi et al. (2021) terhadap tangkapan *glass eel/elver* di muara Sungai Cimadiri menunjukkan hasil tangkapan *glass eel* yang cenderung menurun dari tahun 2017, 2018, dan 2019 dengan total tangkapan masing-masing sebesar 946, 710, dan 512 kg yang jika dikonversikan ke jumlah individu berdasarkan Honda et al. (2016) adalah masing-masing 8.830.513, 6.528.560, dan 2.730.733 individu *glass eel/elver*. Tren turunnya tangkapan *glass eel/elver* berdasarkan hasil wawancara terhadap persepsi nelayan setempat menunjukkan bahwa perubahan cuaca (60%) merupakan penyebab

Tabel 3.7 Data statistik hasil tangkapan (kg) dan nilai transaksinya (Rp) untuk *glass eel* stadia 1, stadia 2, dan stadia elver di Kabupaten Sukabumi tahun 2014.

Bulan	<i>Glass eel</i> stadia 1*)		<i>Glass eel</i> stadia 2*)		Stadia Elver		TOTAL	
	Catch (Kg)	Transaksi (x 1.000)	Catch (Kg)	Transaksi (x 1.000)	Catch (Kg)	Transaksi (x 1.000)	Catch (Kg)	Transaksi (x 1.000)
Januari	37,8	94.500	67,5	101.250	1876,5	750.000	1981,8	945.750
Februari	26,7	66.750	87,6	131.400	1346,3	538.520	1460,6	736.670
Maret	45,7	114.250	95,6	143.400	1024,7	409.880	1166,0	667.530
April	27,7	69.250	56,8	85.200	1056,7	422.680	1141,2	577.130
Mei	18,5	46.250	16,7	25.050	756,4	302.560	791,6	373.860
Juni	21,7	54.25	25,9	38.850	472,5	189.000	520,1	282.10
Juli	68,7	171.750	67,5	101.250	843,6	337.440	979,8	610.440
Agustus	78,3	195.750	65,8	98.700	756,4	182.920	900,5	477.370
September	70,6	176.500	73,6	110.400	472,5	120.560	616,7	407.460
Oktober	112,6	171.750	87,6	101.250	573,8	337.440	774,0	610.440
November	214,7	195.750	198,4	98.700	367,3	182.920	780,4	477.370
Desember	235,7	176.500	150,8	110.400	254,7	110.500	641,2	397.400
Total	958,7	1.533.250	993,8	1.145.850	9.801,4	3.884.420	11.753,9	6.563.520

Sumber: Honda et al. (2016)

turunnya sumber daya *glass eel/elver* disusul penangkapan berlebih (23%) dan aktivitas lain yang mengganggu lingkungan sungai (17%). Tabel 3.8 menampilkan data tangkapan bulanan individu *glass eel/elver* di Kabupaten Sukabumi yang tertangkap dari beberapa sungai pada tahun 2019. Jumlah total tangkapan *glass eel/elver* adalah sebesar 7.731.058 ekor (Wahyu et al. 2021). Data Tabel 3.8 juga menunjukkan adanya gejala penurunan tajam stok individu *glass eel/elver* Ikan sidat *A. bicolor bicolor* di Kabupaten Sukabumi antara tahun 2014 dan 2019 dari 29.365.300 menjadi 6.563.520 individu atau turun 4,5 kali dari tahun 2014. Kecenderungan menurunnya sumber daya *glass eel/elver*, sama seperti kajian Rahmi et al. (2021).

Triyanto et al. (2021) mengestimasi kelimpahan *glass eel/elver* di 3 muara sungai utama di Kabupaten Sukabumi menggunakan data tangkapan bulan November 2020–April 2021. Hasil estimasi

Tabel 3.8 Data hasil tangkapan bulanan individu *glass eel/elver* di beberapa sungai di Kabupaten Sukabumi pada tahun 2019.

Bulan	Lokasi (Nama Sungai)						Total
	Cikaso	Cibumi	Cimandiri	Cibareno	Palangpang	Cikarang	
Januari	126.000	107.800	0	0	0	0	233.800
Februari	68.700	60.200	26.600	0	0	0	155.500
Maret	56.000	64.120	54.558	0	0	0	174.678
April	0	27.650	314.300	0	0	0	341.950
Mei	0	13.300	1.455.300	0	0	0	1.468.600
Juni	24.500	9.200	2.569.000	0	0	0	2.602.700
Juli	11.690	14.350	0	0	0	0	26.040
Agustus	51.730	11.200	223.500	0	17.050	0	303.480
September	31.652	8.000	3.200	5.000	13.750	0	61.602
Oktober	115.400	38.070	385.400	2.900	20.900	0	562.670
November	284.200	104.200	474.410	7.200	20.055	0	890.065
Desember	364.840	198.650	306.208	14.425	13.790	12.050	909.973
Total	1.134.712	656.740	5.812.476	29.525	85.545	12.050	7.731.058

Sumber: Wahyu et al. (2021); Data berasal dari Dinas Kelautan dan Perikanan Kab. Sukabumi (2019).

menunjukkan bahwa total kelimpahan *glass eel/elver* di 3 muara sungai tersebut adalah 21.917.141 ind./tahun atau 2.924 kg/tahun dengan perincian 13.556.650 ind./tahun atau 1.812 kg/tahun dari Muara Sungai Cimandiri; 2.583.438 Ind./tahun atau 326.24 kg/tahun dari muara Sungai Cikaso, dan 5.777.053 ind./tahun atau 785.57 kg/tahun dari muara Sungai Cibumi. Estimasi kelimpahan *glass eel/elver* ini juga cenderung lebih rendah dari tahun 2014 (Tabel 3.7), khususnya jika dilihat dari biomass *glass eel/elver*. Kelimpahan yang diestimasi Triyanto et al. (2021) adalah kelimpahan seluruh jenis *glass eel/elver* ikan sidat, yang terdiri dari *A. bicolor bicolor*, *A. marmorata*, dan *A. nebulosa nebulosa* sehingga kelimpahan dari *A. bicolor bicolor* menjadi lebih rendah, walaupun jenis ini mendominasi 90,5% kelimpahan *glass eel* (4,5% *A. marmorata* dan 5% *A. nebulosa nebulosa*).

Hasil kajian Triyanto et al. (2020a) lainnya tentang dinamika populasi *glass eel/elver* menunjukkan bahwa nilai Mortalitas Total (Z) *glass eel/elver* adalah 3,94/thn yang terdiri dari Mortalitas alami (M) 0,89/thn dan Mortalitas penangkapan (F) 3,05/thn. Nilai-nilai mortalitas ini menunjukkan bahwa mortalitas *glass eel/elver* di Sungai Cimandiri lebih didominasi oleh mortalitas penangkapan daripada mortalitas alami ($F > M$). Lebih lanjut, kecepatan eksloitasi (*exploitation rate*) $E = F/Z = 0,77/\text{tahun}$. Ini berarti eksloitasi *glass eel/elver* telah melebihi eksloitasi yang optimum. Eksloitasi optimum tercapai jika nilai $E=0,5$ atau $F=M$. Berdasarkan nilai-nilai ini, bisa dipastikan bahwa jika penangkapan terhadap *glas eel/elver* terus berlanjut maka stok ikan Sidat secara umum di sungai Cimandiri akan terancam. Eksloitasi berlebih $E = 0,66$ terhadap *A. marmorata* juga ditunjukkan di Sungai Lasolo dan Lalindu, Sulawesi Tenggara (Panggerang et al., 2018), dan $E= 0,73$ untuk *A. marmorata* di Sungai Malunda, Sulawesi Barat (Amir et al., 2009).

Kajian Triyanto et al. (2020b) tentang pendugaan stok *glass eel/elver* dan potensi *Maximum Sustainable Yield* (MSY) menggunakan data tangkapan dan upaya tangkapan tahun 2014 hingga 2018 menunjukkan potensi *glass eel* sebesar 4.575 kg, dengan MSY 991,2 kg/tahun dan upaya penangkapan (f_{MSY}) 1.050 trip/tahun. Tangkapan total yang dibolehkan (*Total Allowable Catch/TAC*) sebesar 80% dari MSY adalah 793 kg/tahun. Berdasarkan kajian ini, sudah terlihat jelas bahwa tangkapan *glass eel/elver* tahun 2014 (Tabel 3.7) sudah jauh melampaui MSY dan sebesar 11,9 kali dan TAC sebesar 14,8 kali.

Jadi, berdasarkan analisa hasil tangkapan *glass eel/elver* terutama di berbagai sungai di sepanjang pantai selatan Pulau Jawa barat, tepatnya di wilayah Kabupaten Sukabumi menunjukkan kecenderungan menurunnya *glass eel/elver* dari jenis *A. bicolor bicolor* yang 90,5% dominan di wilayah tersebut (Honda et al., 2016; Rahmi, 2021; Triyanto et al., 2021; Wahyu et al., 2021). Hal ini diperkuat dari hasil studi dinamika populasi yang menunjukkan bahwa turunnya hasil tangkapan *glass eel/elver* disebabkan penangkapan yang cenderungan berlebih (mortalitas tangkapan (F) > mortalitas alami (M), Eksloitasi

rate (E) > 0.5) (Triyanto et al., 2020a), dan juga telah melebihi MSY serta TAC (Triyanto et al. 2020b). Oleh karena itu, pengelolaan berkelanjutan terhadap sumber daya *glass eel/elver* di muara sungai sepanjang pantai selatan Jawa barat harus diperhatikan dengan serius oleh seluruh pemangku kepentingan.

Ada banyak pendapat ilmiah dari pakar ikan Sidat yang menyarankan penting dan perlunya pengelolaan sumber daya *glass eel/elver*. Pendapat-pendapat tersebut antara lain.

- 1) Perikanan *glass eel/elver* harus segera dikelola dengan baik. Statistik perikanan adalah salah satu aspek dasar yang paling penting untuk mempertimbangkan status sumber daya *glass eel/elver* saat ini dan melihat kecenderungan tingkat pemanfaatannya ke depan. Adanya data statistik yang baik memungkinkan hasil tangkapan per satuan upaya (CPUE) dan hasil tangkap yang diperbolehkan (TAC) dapat dihitung dan dipantau. Hal ini akan menunjukkan ke dunia bahwa Indonesia memiliki prinsip dan sikap bertanggung jawab mengelola sumber daya *glass eel/elver* secara berkelanjutan dengan serius, karena Indonesia menarik perhatian dunia dalam pemanfaatan sumber daya ikan Sidat pada umumnya, dan *glass eel/elver* pada khususnya. Jika kita dapat menunjukkan pengelolaan berkelanjutan maka kita dapat menjadi contoh bagi negara lain, namun sebaliknya, jika pemanfaatan ikan Sidat tropis dianggap tidak sesuai dari perspektif pemanfaatannya secara berkelanjutan maka spesies sidat tropis Indonesia mungkin saja bisa terdaftar dalam CITES Appendix II atau lebih tinggi, seperti kasus Sidat Eropa, *A. anguilla*. Hal ini menyebabkan Indonesia atau negara lainnya di Asia tenggara akan kehilangan kesempatan untuk meperdagangkan ikan Sidat tropis secara internasional karena akan dibatasi dengan sangat ketat (Honda et al., 2016).
- 2) Pengelolaan sumber daya *glass eel/elver* di Sungai Cimandiri melalui konsep refugia perikanan (*fisheries refugia*) (Hakim et al. 2019a). Refugia perikanan merupakan wilayah pesisir/laut yang digunakan khusus sebagai wilayah pengelolaan berkelanjutan

- yang mempertahankan suatu wilayah tertentu agar kondisinya selalu baik, dan/atau memproteksi suatu spesies atau sumber daya perikanan penting yang pada siklus kehidupan awal mereka memiliki fase kritis (UNEP, 2005), seperti fase kristis ikan Sidat pada fase *glass eel/elver*. Selanjutnya, menurut Hakim et al. (2019b), daerah aliran sungai (DAS) Cimandiri memiliki panjang 69,5 km yang terdiri dari sungai permanen dan periodik. Dari panjang tersebut, *glass eels* terdistibusi hanya pada 5 km dari muara sungai ke arah darat dengan kondisi habitat dan perairan yang masih baik sehingga bisa diperuntukkan sebagai refugia perikanan. Lokasi suatu refugia ditetapkan berdasarkan prinsip: (1) Keberlanjutan jangka panjang sumber daya *glass eel* yang memiliki masa kritis di fase tersebut; (2) Kesepakatan seluruh pemangku kepentingan tentang tujuan pendirian refugia, yakni untuk menjaga stok *glass eel/elver* dari tangkapan berlebih; dan (3) Kesepakatan dan kemauan bersama untuk mendirikan lokasi refugia.
- 3) Perlunya kesepakatan bersama pada area refugia. Hakim et al. (2019a) menyarankan pula agar seluruh pemangku kepentingan menyepakati bersama peraturan, seperti: (1) Melarang penangkapan menggunakan setrum (*electric fishing*) dan racun (*poison fishing*); (2) Melarang menangkap *glass eel/elver* pada bulan Januari hingga Maret, November–Desember; (3) Melarang menangkap ikan Sidat dewasa dengan ukuran > 49 cm; (4) Membuat regulasi kebijakan antar Kota/Kabupaten (Sukabumi, Cianjur, Bogor) untuk pengelolaan terpadu di DAS Cimandiri terkait sumber daya ikan Sidat. Pelarangan pada point 2 tampaknya sulit dipatuhi nelayan lokal, karena bulan-bulan tersebut merupakan musim puncak migrasi *glass eel* dari laut masuk ke sungai Cimandiri (lihat Tabel 3.7 dan 3.8). Namun, disarankan untuk menangkap *glass eel* 50% dari potensi yang ada di Sungai Cimandiri, yaitu sekitar 1.000 kg/tahun (Hakim et al., 2019a). Kelimpahan *glass eel* untuk Sungai Cimandiri menurut perhitungan Triyanto et al. (2021) adalah 1.812 kg/tahun, jadi 50% dari kelimpahan tersebut

adalah 906 kg/thn. Perhitungan MSY glass eel di sungai ini adalah 991,2 kg/tahun dan upaya penangkapan (f_{MSY}) 1.050 trip/ tahun serta TAC 80% sebesar 793 kg/tahun (Triyanto et al., 2020b). Berdasarkan data ini tampaknya pemanfaatan *glass eel* sekitar 900–1.000 kg/tahun adalah angka yang rasional agar sumber daya *glass eel* dapat terkelola secara berkelanjutan. Penetapan sistem kuota tangkapan untuk setiap nelayan yang mengeksplorasi *glass eel* di Sungai Cimandiri hingga mencapai level aman (900–1.000 kg/tahun) perlu dikaji dan diterapkan. Oleh karena itu, seluruh pemangku kepentingan yang terkait *glass eel* di Sungai Cimandiri harus memperhatikan dan menerapkan hasil-hasil kajian penelitian ilmiah agar sumber daya *glass eel* dapat dieksplorasi sebanyak-banyaknya tetapi tetap lestari.

- 4) Perlunya konservasi ikan Sidat di seluruh perairan Indonesia. Upaya konservasi telah dilakukan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan melalui penerbitan Peraturan Menteri KKP Nomor 18 Tahun 2009 yang melarang ekspor ikan Sidat (*Anguilla spp*) dari Negara Republik Indonesia (NRI) ke luar NRI dengan ukuran panjang hingga 35 cm dan berat di bawah 100 g dan/atau berdiameter 2,5 cm (Kementerian Kelautan dan Perikanan RI, 2009), tetapi peraturan KKP tersebut belum mengatur pemanfaatan *glass eel* secara terperinci. Permintaan dan harga ikan Sidat yang tinggi menyebabkan sejumlah besar *glass eel* akan diperdagangkan tanpa pengaturan dan pencatatan yang tepat. Oleh sebab itu, langkah-langkah harus ditegakkan untuk mencegah perdagangan ilegal dan penyelundupan *glass eel* dengan berfokus pada orang-orang yang berperan sebagai eksportir (Muthmainnah et al., 2020).
- 5) Beberapa saran lain yang disampaikan untuk pengelolaan *glass eel* yang baik.
 - a) Perlu mendata jumlah pembudidaya dan kapasitas usahanya agar kebutuhan total *glass eel*/tahun/pembudidaya dapat diperkirakan sehingga tidak terjadi pemborosan *glass eel* akibat penanganan, pangemasan, dan transport *glass eel*

ke pembudidaya sampai ke tahap awal pemeliharaan yang tidak baik sehingga 50% *glass eel* mati sia-sia (Haryono & Wahyudewantoro, 2016).

- b) Perlu memelihara/menjaga kondisi habitat ruaya ikan Sidat di setiap sungai, karena ruaya merupakan proses penting dalam siklus hidup ikan ini mulai dari fase *glass eel*, *elver*, *yellow*, dan *silver eel* yang memerlukan adaptasi terhadap kondisi perairan tawar sehingga keberlanjutan setiap fase ikan Sidat dapat terjamin. Pemeliharaan habitat ruaya dapat dilakukan dengan cara menjaga agar tidak terjadi pengendapan dan penutupan muara sungai (misal, Sungai Cikaso yang mulut sungainya sering berpindah-pindah dan tertutup) (Triyanto et al., 2020a). Salah satu cara adalah menjaga kondisi daerah aliran sungai (DAS) dari penebangan atau penggundulan hutan sehingga tingkat erosi dapat ditekan (Poulsen & Valbo-Jorgensen, 2000; Haryono & Wahyudewantoro, 2016).
- c) Perlu adanya kesepahaman dan perhatian secara lintas sektoral pada saat menyusun rencana pembangunan waduk dan/atau pembangkit listrik, di mana pembangunannya harus selalu memperhatikan dan memfasilitasi proses ruaya ikan Sidat agar terus dapat berlangsung. Di beberapa tempat telah terjadi pembangunan waduk yang tidak dilengkapi *fishway* (jalur ikan) sehingga terjadi fragmentasi habitat yang menghambat proses ruayanya ikan Sidat, seperti kasus pembangunan tenaga listrik di Sungai Poso yang menghambat *glass eel* untuk migrasi ke hulu. Sementara itu, pemasangan perangkap bambu untuk menangkap/menghalangi ikan Sidat dewasa yang akan bermigrasi ke laut (Teluk Tomini) untuk memijah juga terhalang. Hal yang sama juga terjadi akibat pembangunan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang tepat berada di tepian muara Sungai Cimandiri (Haryono & Wahyudewantoro, 2016).

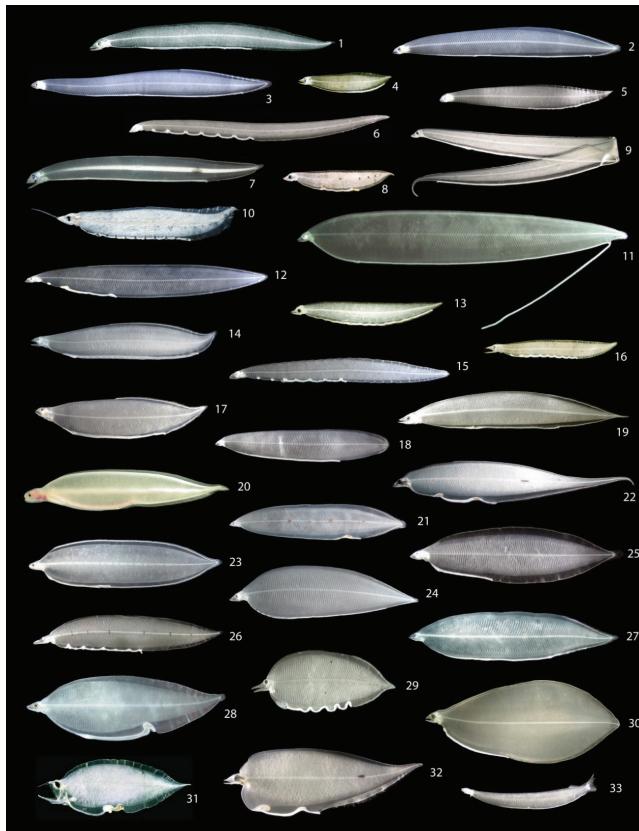
Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB 4

IKAN-IKAN LAIN YANG MEMILIKI FASE LEPTOCEPHALUS DI PERAIRAN INDONESIA

A. Sebaran leptocephali Belut laut

Seluruh larva ikan yang tergolong ordo Anguilliformes termasuk ikan Sidat (*freshwater eel* famili Anguilidae) dan Belut laut (*marine eels*) seperti, famili Chlopsidae, Congridae, Cyematidae, Derichthyidae, Monognathidae, Moringuidae, Muraenidae, Muraenesocidae, Nemichthyidae, Nettastomatidae, Ophichthidae, Saccopharingidae, dan Serrivomeridae dan 3 ordo lainnya, Albuliformes, Elopiformes/ Notacanthiformes, dan Saccopharyngiformes memiliki berbagai ragam bentuk leptocephali (Miller & Tsukamoto, 2004; Kuroki & Tsukamoto, 2012) seperti terlihat pada Gambar 4.1. Ikan sidat dan belut laut dari 4 ordo tersebut juga mendiami berbagai habitat dengan sebaran yang luas mulai dari perairan tawar dan estuari dan paparan benua (*continental shelf*) dangkal, lereng benua (*continental slope*), serta *meso-* dan *bathi-pelagic* di laut lepas dan dalam seperti terlihat pada Gambar 4.2 (Miller & Tsukamoto, 2004). Famili-famili yang hidup di berbagai habitat seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 ditampilkan pada Tabel 4.1. Tabel ini menunjukkan bahwa Belut laut yang tinggal di paparan benua dangkal memiliki ordo dan famili dengan keanekaragaman jenis tinggi disusul Belut laut yang tinggal di habitat meso- dan bathy-pelagik pada perairan laut lepas.



Keterangan: Leptocephali Belut laut dengan berbagai bentuk dan ukuran. 1. *Gorgosia* (*garden eel*), 2. *Ganthophis nystromi nystromi* (besar), 3. *Conger*, 4. *Ganthophis nystromi nystromi* (kecil), 5. *Bathycongris*, 6. *Ophichthinae*, 7. *Synaphobrachinae*, 8. *Saurencelys*, 9. *Nemichthys*, 10. *Ilyophinae* dengan filamen pada lubang hidung, 11. *Ariosoma* dengan perpajangan usus, 12. *Neenchelys*, 13. *Ariosoma*, 14. *Nessorhamphus danae*, 15. *Myrophinae*, 16. *Ophicthinae*, 17. *Derrichthys serpentinus*, 18. *Muraenidae*, 19. *Serrivomeridae* (metamorfosis), 20. *Derrichthys serpentinus* (metamorfosis), 21. *Moringua*, 22. *Nettencelys*, 23. *Robbinsia catherinae* (metamorfosis), 24. *Gnathophis*, 25. *Chlopsidae*, 26. *Ilyophinae*, 27. *Gnathophis*, 28. Tidak terklasifikasi tipe 1, 29. *Cyema atrum*, 30. *Thallassenchelys*, 31. *Eurypharinx pelecamoides*, 32. *Nettasoma*, 33. *Elopidae*

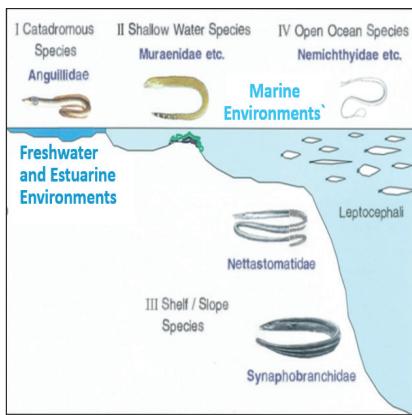
Sumber: Kuroki & Tsukamoto (2012). Pengutipan gambar atas izin Dr. Michael J. Miller

Gambar 4.1 Berbagai jenis, bentuk, dan ukuran leptocephali Belut laut ordo Anguilliformes dan jenis ikan ordo Elopiformes.

Tabel 4.1 Ordo dan Famili Ikan Sidat dan belut laut yang memiliki larva berbentuk leptocephali mendiami berbagai habitat perairan laut berdasarkan Gambar 4.1.

No.	Habitat	Ordo dan Famili
I.	Perairan Tawar dan Estuari (Spesies Katadromus)	Anguilliformes: Anguillidae (ikan Sidat)
II.	Paparan Benua Dangkal (Spesies Perairan dangkal)	<ul style="list-style-type: none"> Anguilliformes: Ophichthidae, Moringuidae, Myrocongridae, Congridae, Coccocongridae, Muraenidae, Chlopsidae. Abuliformes: Abulidae, Elopiformes: Elophidae, Megalopidae,
III.	Paparan dan Lereng Benua (Spesies Landas dan Lereng Benua, perairan dalam)	<ul style="list-style-type: none"> Anguilliformes: Synaphobranchidae, Nettastomatidae, Abuliformes: Legogenyidae, Notacanthidae
IV.	Perairan Laut Lepas (Oseanik) (Meso- dan Bathypelagic)	<ul style="list-style-type: none"> Anguilliformes: Dericthyidae, Nemichthyidae, Serrivomeridae, Saccopharyngiformes: Cyematidae, Saccopharyngidae, Monognathidae, Eurypharyngidae

Sumber: Miller & Tsukamoto (2004)



Sumber: Miller & Tsukamoto (2004)

Gambar 4.2 Berbagai tipe habitat leptocephali ikan Sidat dan Belut laut, di perairan pesisir dangkal, landas dan lereng benua serta meso- dan bathypelagic di laut lepas dan dalam.

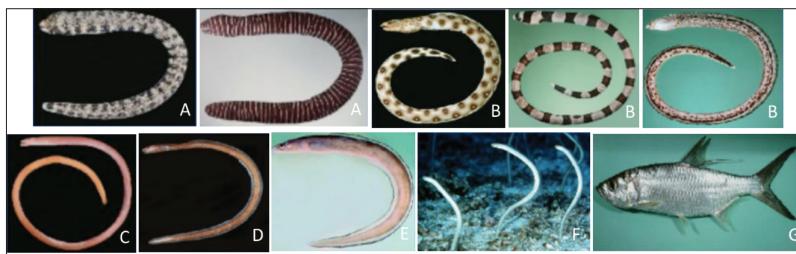
Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tidak seperti ikan Sidat yang memiliki habitat terbatas di perairan tawar dan estuari, Belut laut telah terdiversifikasi hidup di perairan dangkal pada landas kontinen hingga jauh ke arah laut lepas dan dalam pada lereng benua dan di zona meso- dan bathy-pelagic hingga kedalaman 5.000 m (Böhlke, 1989) (Gambar 4.2). Berbagai jenis Belut laut tersebut pada fase leptocephali hidup tercampur pada kedalaman beberapa ratus meter di laut lepas, dan pada malam hari tersebar di permukaan hingga kedalaman 100 m (Miller, 2015), sedangkan pada siang hari bergerak ke lapisan lebih dalam 300 m mengikuti pola migrasi diurnal (Miller & Tsukamoto, 2020; Tsukamoto & Miller, 2020). Kehidupan Belut laut sangat jarang diketahui, karena mereka suka bersembunyi dan bersifat nokturnal. Disamping itu, mereka sama sekali tidak mirip baik pada fase leptocephali, fase metamorfosis, dan fase dewasa. Mereka juga sulit dikoleksi siang hari karena mampu menghindari jaring plankton (Miller & Tsukamoto, 2004). Oleh sebab itu, Leptocephali Belut laut dan ikan Sidat lebih mudah dikoleksi menggunakan jaring IKMT berukuran besar pada malam hari (Miller et al., 2021).

Leptocephali baik ikan sidat dan Belut laut memasuki fase dewasa menetap pada habitat yang sangat berbeda dan bervariasi (Gambar 4.2). Famili Congeridae, Muraenidae dan Ophichthidae dan sebagian famili Chlopsidae serta Moringuidae menghuni beragam habitat dangkal di paparan benua atau bagian atas lereng benua di sekitar pulau-pulau. Jenis-jenis Belut laut ini ada yang hidup berasosiasi dengan terumbu karang, padang lamun, dan berbagai tipe substrat lainnya di wilayah tropis, sub tropis, tetapi ada juga famili Congridae, Ophichthidae Muraenidae, Muraenesocidae yang hidup di wilayah pesisir selatan beriklim sedang (*coastal area southern temperate region*) (Miller & Tsukamoto, 2004). Famili Nettastomatidae dan Synaphorbranchidae dapat dijumpai pada perairan yang relatif dalam pada lereng benua atau lebih dalam lagi, sedangkan pada zona mesopelagic dihuni oleh berbagai Belut laut famili Derichthyidae, Nemichthyidae dan Serrivomeridae. Belut laut lainnya ordo Saccopharyngiformes hidup di zona meso-, bathy-pelagic memiliki kehidupan benar-benar pelagic. Ikan-ikan Ordo Elopiformes dan

Albuliformes hidup di wilayah pesisir. Mereka lebih bebas bergerak dan berenang di kolom air perairan tropis. Leptocephali ikan-ikan ini berbeda dari Belut laut dengan ciri memiliki ekor cagak seperti fase dewasa. Ordo Notacanthiformes yang kini tergolong dalam ordo Albuliformes hidup berasosiasi dengan habitat bentik perairan dalam (Tabel 4.1) (Miller & Tsukamoto, 2004).

Gambar 4.3 yang diadopsi dari Miller et al. (2021) menunjukkan contoh beragam Belut laut fase dewasa yang hidup di perairan dangkal Indonesia yang memiliki fase larva leptocephali. Gambar 4.3A adalah famili Muraenidae yang hidup pada ekosistem terumbu karang atau perairan di sekitarnya. Gambar 4.3B, 4.3C, 4.3D, dan 4.3E. masing-masing adalah famili Ophichthidae, Moringuidae, Chlopsidae, dan Congridae yang hidup pada lubang-lubang di dasar perairan dangkal. Gambar 4.3F adalah *garden eel* (*Gorgosia* sp) dari



Keterangan: Contoh sebagian kecil bentuk, ukuran dan warna Belut laut dewasa yang umum dijumpai di perairan Indonesia dengan sebaran pada perairan dangkal:
(A) Famili Muraenidae yang hidup di terumbu karang dengan bentuk leptocephalus seperti pada Gambar 4.1 no.18; (B) Famili Opichthidae dengan bentuk leptocephalus seperti Gambar 4.1 no.6; (C) Famili Moringuidae, dengan bentuk leptocephalus seperti Gambar 4.1 no.21; (D) Famili Chlopsidae dengan bentuk leptocephalus seperti Gambar 4.1 no.25; (E) Famili Congridae memiliki banyak spesies dengan bentuk spesies kemungkinan Gambar 4.1. no.5; (F) *Garden eel* salah satu famili Congridae dari sub famili Heterocongrinae dengan bentuk leptocephalus seperti Gambar 38 no.1; dan (G) Famili Megalopidae yang memiliki bentuk leptocephalus khas dengan ekor cagak mirip dengan fase ikan dewasa seperti pada Gambar 4.1 no. 33

Sumber: Miller et al. (2021) dengan sedikit modifikasi.

Gambar 4.3 Belut Dewasa yang Memiliki Habitat di Perairan Dangkal Indonesia

subfamily Heterocongrinae, famili Congridae (Miller et al., 2011) yang juga hidup pada lubang-lubang di dasar perairan yang sebagian besar tubuhnya keluar dari lubang untuk menangkap mangsanya berupa zooplankton dan Gambar 4.3G adalah ikan tarpon (megalops; famili Megalopidae) yang juga memiliki larva dalam bentuk leptocephalus.

B. Kelimpahan leptocephali Belut Laut

Keanekaragaman jenis leptocephali ikan Sidat dan kelimpahannya di perairan Indonesia tercatat hanya ada 6 spesies dan sub-spesies yakni *Anguilla borneensis*, *A. bicolor bicolor*, *A. bicolor pacifica*, *A. celebesensis*, *A. interioris*, dan *A. marmorata* (lihat Tabel 3.1). Koleksi ini diperoleh selama pelayaran Kapal Riset K/R Baruna Jaya VII dan R/V Hakuho Maru tahun 2000–2010 dari total 19 spesies dan subspesies perairan tropis dan subtropis dunia (Tsukamoto et al., 2020). Leptocephali satu sub-spesies, yaitu *A. nebulosa nebulosa* tidak pernah tertangkap selama pelayaran tersebut, namun tercatat pada Tabel 3.6 sebagai fase *glass eel* yang ditemukan di perairan barat Sumatra dan selatan Jawa.

Berbeda dengan ikan Sidat, keanekaragam jenis Belut laut yang *valid* di seluruh perairan dunia berkisar 1.071 jenis (Eschmeyer & Fong, 2016). Leptocephali Belut laut memiliki jumlah keanekaragaman spesies dan kelimpahan jauh lebih tinggi daripada ikan Sidat. Sebagai ilustrasi leptocephali Belut laut (Gambar 4.4) terkoleksi selama pelayaran K/R Baruna Jaya VII tahun 2001 di perairan Sulawesi ada 136 spesies dan kelimpahan 2.575 spesimen (Tabel 4.2) (Wouthuyzen et al., 2005), sedangkan leptocephali ikan Sidat hanya 5 spesies dengan kelimpahan 53 spesimen. Pada Tabel 4.3 disajikan perbandingan antara jumlah spesies dan spesimen Leptocephali ikan Sidat dan Belut laut yang terkoleksi tahun 2000–2010. Tabel ini menunjukkan bahwa keanekaragaman jenis Belut laut sangat tinggi (>100 spesies) juga kelimpahannya (>2.000 individu). Rasio rata-rata perbandingan jumlah jenis dan kelimpahan leptocephali ikan Sidat terhadap Belut laut pada pelayaran K/R Baruna Jaya VII tahun 2001 masing-masing adalah 1:27 dan 1:49, sedangkan untuk seluruh perairan Indonesia berkisar antara 1:25–1:72 dan 1:49–1:83.



Keterangan: Hasil sampling leptocephali Belut laut yang mendiami habitat perairan pesisir dangkal (Panel kiri), landas benua dan lereng benua (Panel tengah) serta meso- dan bathi-pelagik di laut lepas dan dalam (Panel kanan).

Sumber: Miller & Tsukamoto (2004)

Gambar 4.4 Koleksi Sebagian Kecil Leptocepli Belut Laut pada Pelayaran K/R Baruna Jaya VII Tahun 2001

Tabel 4.2 Contoh keanekaragaman dan kelimpahan leptocephali ikan Sidat dan belut laut yang terkoleksi selama pelayaran K/R BJ VII tahun 2001 dari berbagai perairan Indonesia.

	Java Sea	Makassar Strait	Celebes Sea	Molucca Sea	Tomini Bay	Banda Sea	Flores Sea	Total	Size range (mm)
Anguillidae									
<i>Anguilla</i> spp. (5)	1	7	4	2	39			53	13–51
Chlopsidae									
<i>Chlopsis</i> spp. (3)	2	9	2		37	4	2	56	9–55
<i>Kaupichthys</i> spp. (3)	3	20	6	1	45	13	11	99	20–73
<i>Robinsia</i> sp.			1			1	2		4
<i>Chlopsidae</i> spp. (8)	1	20	5	3	68	6	2	105	17–68
<i>Thallassenchelys</i> sp.*								1	53
Congridae									
<i>Ariosoma</i> spp. (9)	145	298	83	29	77	32	55	719	15–387
<i>Conger</i> spp. (4)	6	36	9		45	3	9	108	14–87
<i>Gnathopis</i> spp. (4)	2	6	5	3	11	3	9	39	19–85
<i>Gorgasia</i> spp. (5)	2	11	8	8	6		1	36	11–53
<i>Heteroconger</i> spp. (3)	2	5	3		5		2	17	10–69
<i>Uroconger</i> sp.	29	52	3		15		1	100	10–143
<i>Congrinae</i> spp. (4)	7	4	8	24	63	7	7	120	10–131
<i>Congridae</i> (4)				1		2		5	25–131

Buku ini tidak diperjualbelikan.

	Java Sea	Makassar Strait	Celebes Sea	Molucca Sea	Tomini Bay	Banda Sea	Flores Sea	Total	Size range (mm)
Derichthyidae									
<i>Derichthys</i> sp.		6	2		1			9	20–37
<i>Nessorhamphus</i> sp.						2	1	3	42–48
Moringuidae									
<i>Moringua</i> spp. (3)	3	6	3	1	47	2		62	11–55
Muranidae									
Uropteryginae spp. (>3)	1	8		2	8	2	1	22	27–56
Muraenidae spp. (>12)	39	73	27	39	70	23	22	293	8–75
Nemichthyidae									
<i>Avocettina</i> sp.		19			7	2	2	30	16–166
<i>Nemichthys</i> spp. (2)		37	18	13	60	41	20	189	13–250
Nettastomatidae									
<i>Nettastoma</i> sp.			1					1	88
<i>Nettenchelys</i> sp.	1	2	1		5		2	11	14–94
<i>Saurenhelys</i> spp. (2)	10	2			1			13	18–94
Nettastomatidae					1			1	37
Ophichthidae									
<i>Neenchelys</i> spp. (4)	88	39	15	7	20	3	7	179	16–80
Ophichthinae spp. (27)	2	3	6		9		3	23	12–134
Myrophinae spp. (9)	10	33	9	2	17	3	8	82	15–89
Serrivomeridae									
<i>Serrivomeridae</i> spp. (2)		10	6		144	2	1	163	10–54
Synaphobranchidae									
<i>Ilyophinae</i> spp. (8)	2	1			13	2	1	19	17–76
<i>Synaphobranchinae</i> spp. (3)	3	1	3		4	2		13	21–74
Total number of specimens	359	710	227	134	821	155	169	2,575	
Total number of taxa	35	48	39	19	62	33	37	136	
Number of IKMT tows	4	8	8	4	18	2	2	46	

Sumber: Wouthuizen et al. (2005)

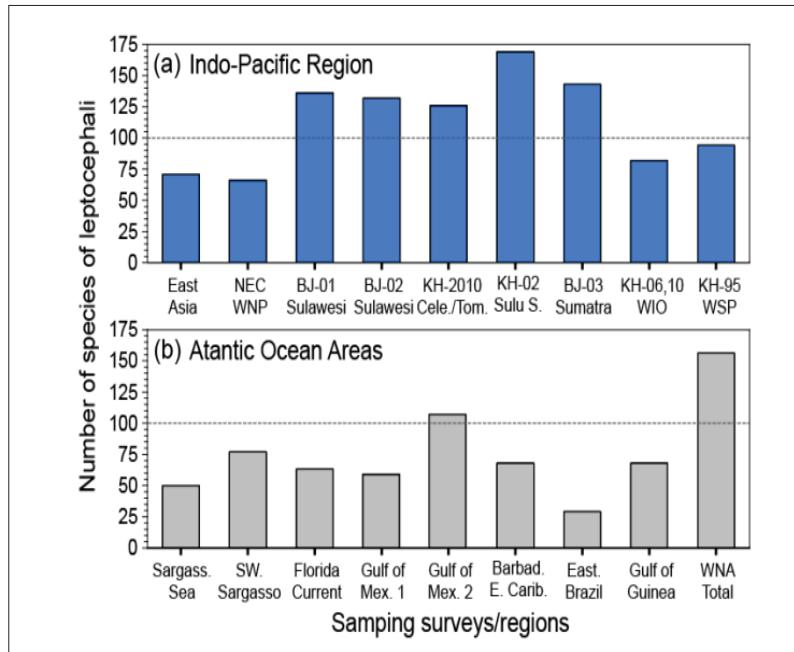
Tabel 4.3 Keanekaragaman (spesies) dan kelimpahan leptocephali ikan Sidat dan belut laut serta rasinya dari berbagai pelayaran ilmiah (HK: R/V Hakuho Maru; BJ VII: K/R Baruna Jaya VII).

Pelayaran	Lokasi Perairan	Leptocephali Ikan Sidat		Leptocephali Ikan Laut		Rasio leptocephali ikan Sidat terhadap Belut laut	
		Spesies	Kelimpahan	Spesies	Kelimpahan	Spesies	Kelimpahan
HK-2000	Utara papua, Sulawesi	4	10	-	-	-	-
BJ VII-2001	Sulawesi	5	53	136	2575	1 : 27	1 : 49
BJ VII-2002	Sulawesi	5	28	132	2317	1 : 26	1 : 83
BJ VII-2003	Barat Sumatra	2	41	143	2811	1 : 72	1 : 69
HK-2006	Barat Sumatra	2	2	-	-	-	-
HK-2010	Teluk Tomini	5	26	126	2067	1 : 25	1 : 79

Sumber: Wouthuyzen et al. (2005); Miller et al. (2016); Miller et al. (2021)

Dari sekian banyak sampel terkoleksi menggunakan jaring IKMT selama pelayaran riset di perairan Indonesia (Gambar 3.7, 3.8, dan Tabel 4.2), Teluk Tomini yang terletak di wilayah segitiga koral (*coral triangle region*) memiliki keunikan dari sisi keanekaragaman dan kelimpahan ikan Sidat dan Belut laut serta fauna laut lainnya. Teluk Tomini merupakan teluk semi tertutup dengan luas 59.500 km², kedalaman 1.500 m di tengah teluk dan 3.000 m di mulut teluk sehingga ditetapkan sebagai *ecoregion* khusus yang beda dari perairan sekelilingnya (Green & Mous, 2008; Veron et al., 2009). Di tengah Teluk ini terletak kepulauan Togian dengan 3 pulau berdekatan dan relatif berukuran besar, serta 60 pulau-pulau kecil yang tersebar di sekitar 90 km pada teluk ini (Wallace, 1999). Sedikitnya ada 314 spesies fauna korall (Fenner, 2002); 556 spesies moluska (Wells, 2002), 596 spesies ikan karang pada *fringing reef, patch reef, atoll*, dan *barrier reef*, serta sedikitnya ada 3 spesies ikan endemik di Teluk ini (Allen, 2002). Jadi, tidak heran kalau teluk ini membuat perairan Indonesia

bagian Timur dikenal sebagai “*the center of mega biodiversity of marine life*” (von Rintelen et al., 2017) termasuk ikan Sidat dan belut laut (Tabel 4.2), seperti juga dinyatakan Miller et al. (2021) bahwa wilayah segitiga karang merupakan perairan dengan keanekaragaman jenis ikan Sidat dan Belut laut tertinggi di dunia berdasarkan hasil koleksi leptocephali dari berbagai perairan (Gambar 4.5).



Keterangan: A. Jumlah leptocephali ikan Sidat dan Belut laut terkoleksi selama pelayaran di berbagai perairan Indo-pasifik: Asia Timur, NEC, Pelayaran K/R Baruna Jaya VII 2001 dan 2002 keliling Pulau Sulawesi, Pelayaran R/V Hakuho Maru 2010 di Laut Sulawesi (Cele) dan Teluk Tomini (Tom), Pelayaran K/R Baruna Jaya VII 2003 dan K/R Hakuho Maru 2006 di barat Sumatra, dan R/V Hakuho Maru 1995 di Pasifik Barat (WSP); B. Koleksi leptocephali di berbagai perairan di Samudra Atlantik.

Sumber: Miller et al. (2021)

Gambar 4.5 Perbandingan kelimpahan leptocephali terkoleksi di wilayah Indo-Pasifik (A) dan Samudra Atlantik (B).

BAB 5

IMPLIKASI PENGELOLAAN IKAN SIDAT TROPIS DI INDONESIA

A. Status Ikan Sidat di Perairan Empat Musim (Temperate) dan Tropis

Eksloitasi berlebih dan kombinasi ancaman lainnya terhadap ikan Sidat telah berlangsung beberapa dekade menyebabkan ikan ini di perairan 4 musim, seperti ikan Sidat Eropa *A. anguilla* telah tercantum dalam Lampiran II Konvensi Perdagangan Internasional untuk Spesies Fauna dan Flora Liar yang Terancam Punah (CITES) tahun 2009, sedangkan ikan Sidat Amerika, *A. rostrata* dan ikan Sidat Jepang *A. japonica* keduanya kini telah terdaftar sebagai “Terancam Punah” dalam Daftar Merah Spesies Terancam Punah IUCN (Arai 2014). Berdasarkan pertimbangan ancaman kepunahan dari 3 jenis Sidat di atas tersebut, Gollock et al. (2019) menyatakan bahwa sekretariat CITES dalam beberapa keputusannya akan mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut.

- 1) Akan mengontrak konsultan independen (*Zoological Society of London*) untuk melakukan studi terhadap berbagai spesies ikan Sidat, *Anguilla* spp. yang tidak terdaftar pada CITES, termasuk ikan Sidat tropis.

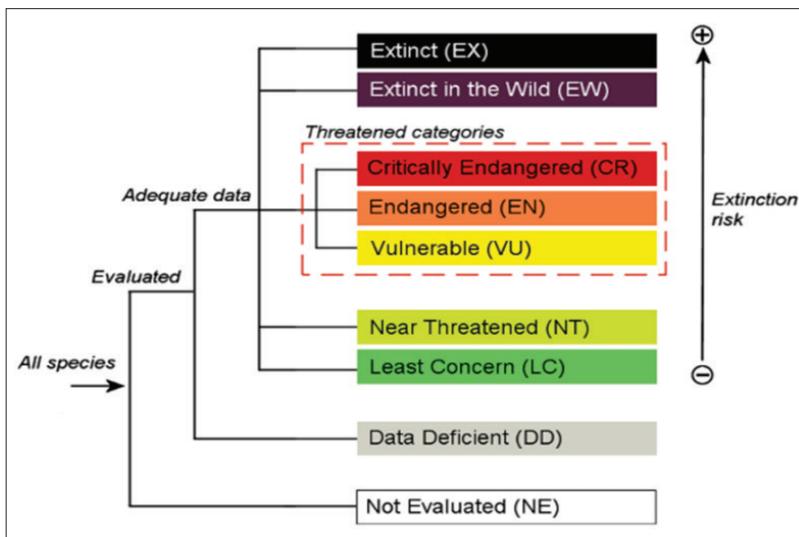
- 2) Mendokumentasikan tingkat perdagangan dan kemungkinan perubahan dalam pola perdagangan setelah ikan Sidat Eropa ditetapkan dalam daftar CITES Appendix II tahun 2009.
- 3) Menyusun data dan informasi yang tersedia tentang aspek biologi, status populasi, penggunaan dan perdagangan setiap spesies ikan Sidat, serta mengidentifikasi kesenjangan data dan informasi tersebut berdasarkan data terbaru yang tersedia, serta mempertimbangkan antara lain penilaian Daftar Merah IUCN oleh kelompok spesialis ikan Sidat Anguillid.

Oleh karena itu, adalah suatu kebutuhan mendesak untuk mengadaptasi langkah-langkah pengelolaan dan konservasi ikan Sidat yang terukur, terkoordinasi dan baku secara regional dan/atau global untuk memastikan pemanfaatan berkelanjutan spesies *Anguilla* hingga ke masa depan.

Sesuai dengan protokol Daftar Merah IUCN, Jacoby et al. (2015) membuat klasifikasi tingkat ancaman kepunahan relatif ikan Sidat, yang ditentukan berdasarkan skala kategori, dimulai dari tingkat keprihatinan rendah (*least concern*, LC) dan hampir terancam (*near threatened*, NT), serta terancam dengan 3 tingkat keparahan yang meningkat, yakni rentan punah (*vulnerable*, VU), terancam punah (*threatened extinct*, EN) dan sangat terancam punah (*critically endangered*, CR). Dua kategori tingkatan yang lebih tinggi lagi, yaitu punah di alam liar (*extinct in the wild*, EW), dan punah di dunia (*extinct*, EX) (Gambar 5.1). Klasifikasi ini ditentukan oleh serangkaian kriteria yang bertujuan mendeteksi risiko mahluk hidup dan berbagai riwayat kehidupan. Pada kasus ikan Sidat, hal ini akan terkait dengan pengurangan ukuran populasi atau kisaran geografis. Status Daftar Merah dari berbagai spesies ikan Sidat berdasarkan Gambar 5.1 yang dinilai oleh Sub Kelompok pakar Anguillid IUCN tahun 2013 diringkas dalam Tabel 5.1 dan dipetakan pada Gambar 5.2. Berdasarkan Tabel 5.1 dapat diketahui bahwa status tingkat kepunahan ikan Sidat tropis Indonesia berada pada tingkat paling rendah (*data deficient*, DD) untuk jenis ikan Sidat *A. interioris*, satu jenis lainnya masuk dalam kelas Tingkat Keprihatinan Rendah (NT) untuk *A. marmorata*,

3 jenis lainnya masuk dalam kelas Hampir Terancam (NT) adalah *A. celebesensis*, *A. bicolor pacifica*, dan *A. bicolor bicolor*, serta 1 jenis masuk dalam kelas Rentan Punah (VU) untuk *A. borneensis*.

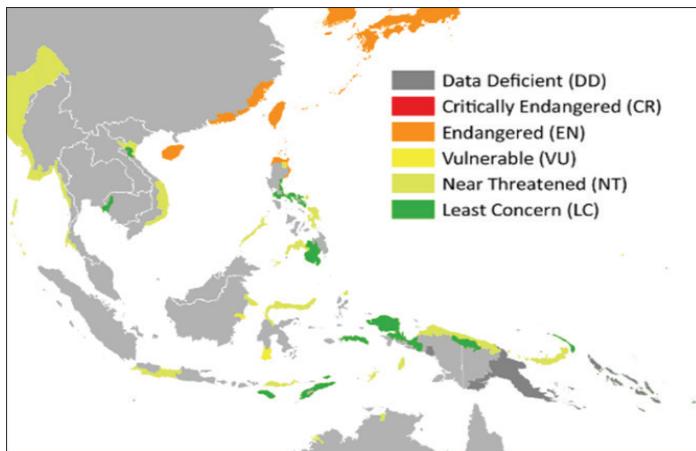
Peta sebaran status kepunahan ikan Sidat tropis Indonesia berdasarkan Daftar Merah IUCN (Gambar 5.2) menunjukkan bahwa sebagian besar lokasi pantai/estuari Indonesia terklasifikasi sebagai wilayah yang data dan informasinya masih kurang (DD), sedangkan barat Papua, Maluku, NTT berstatus keprihatinan rendah (LC) yang mungkin habitat dari *A. Marmorata*. Status hampir terancam (NT) berada di sepanjang pantai selatan Jawa yang didominasi Sidat *A. bicolor bicolor*, termasuk di utara Papua dan Sulawesi, Teluk Tomini, dan Selat Makassar yang merupakan habitat dari banyak spesies ikan Sidat, seperti *A. marmorata*, *A. bicolor pacifica*, *A. celebesensis*, *A.*



Keterangan: Tingkat kepunahan ikan Sidat dari tertinggi hingga terendah. X: Punah di dunia; EW: Punah di alam liar; CR: Sangat terancam punah, EN: Terancam punah; VU: Rentan punah; NT: Hampir terancam punah; LC: Tingkat keprihatinan rendah; DD: Data tidak tersedia; NE: Tidak dievaluasi.

Sumber: Jacoby et al. (2015)

Gambar 5.1 Klasifikasi Tingkat Kepunahan Ikan Sidat Berdasarkan Daftar Merah IUCN



Sumber: Jacoby et al. (2015)

Gambar 5.2 Peta Status Tingkat Kepunahan Ikan Sidat Tropis Indonesia Berdasarkan Daftar Merah IUCN

Tabel 5.1 Status tingkat kepunahan berbagai jenis ikan Sidat yang dinilai oleh sub kelompok pakar Sidat IUCN tahun 2013.

Spesies	English Common name	Generation length	IUCN Red list Status
Sidat 4 musim			
<i>A. anguila</i>	European eel	15 yrs	CITES appendix 2
<i>A. rostrata</i>	American eel	12 yrs	EN
<i>A. japonica</i>	Japanese eel	10 yrs	EN
Sidat Tropis			
<i>A. marmorata</i>	Giant mottled eel	15 yrs	LC
<i>A. bicolor pacifica</i>	Indonesian shortfin eel	6 yrs	NT
<i>A. celebesensis</i>	Celebes longfin eel	8 yrs	NT
<i>A. borneensis</i>	Indonesian longfin eel	6 yrs	VU
<i>A. interioris</i>	Highlands longfin eel	8 yrs	DD
<i>A. bicolor bicolor</i>	Indonesian shortfin eel	6 yrs	NT

Sumber: Jacoby et al. (2015)

borneensis, dan *A. interioris*. Pantai dengan Status Rentan Punah (VU) berada di timur Kalimantan, seperti Delta Mahakam, estuari Berau yang merupakan habitat *A. bornensis* (Tabel 5.1). Ikan Sidat jenis ini perlu mendapat perhatian khusus, karena acaman kumulatif berupa sebarannya yang terbatas di sekitar Kalimantan dan Sulawesi, pemanfaatan lokal yang efektif dan rusaknya sungai akibat penggundulan hutan sehingga populasinya terus menurun (Jacoby et al. 2015),

Jadi, walaupun status tingkat kepunahan ikan Sidat tropis Indonesia berdasarkan Daftar Merah IUCN tampaknya masih tergolong rendah, seperti status keprihatinan rendah untuk *A. Interioris* (DD), *A. marmorata* (LC) dan hampir terancam (NT) untuk *A. celebesensis* dan *A. bicolor pacifica*, namun *A. borneensis* telah memasuki status rentan punah (VU) (Tabel 5.1; Gambar 5.2). Status VU untuk *A. borneensis* kemungkinan besar disebabkan sangat langkanya data dan informasi terkait status stok dan pemanfaatannya. Oleh sebab itu, kajian khusus terhadap spesies ini, seperti aspek bio-ekologi, dinamika populasi, kondisi lingkungan, dan lainnya harus segera dilakukan, dipantau, dianalisis, dan dievaluasi sehingga pengelolaan berkelanjutan bisa dilakukan berdasarkan data terkoleksi.

A. celebensis yang positif diketahui lokasi pemijahannya, yakni di Teluk Tomini perlu pula mendapat perhatian khusus, karena pengeksploitasiannya ikan ini menggunakan perangkap bубу di mulut Sungai Poso ketika ikan ini akan bermigrasi untuk memijah (*down-stream migration*), dan pembangunan pembangkit tenaga listrik yang menghalangi *glass eel/elver* untuk bermigrasi ke hulu (*up-stream migration*). Kondisi yang tidak mendukung kelestarian spesies ini, seiring waktu akan menurunkan drastis populasi *A. Celebesensis*. Migrasi ikan ini juga diketahui sangat peka terhadap parameter meteorologi/ curah hujan (lihat Gambar 3.15 dan 3.16 dan pembahasannya). Bagi *A. bicolor pacifica*, tampaknya tidak perlu mendapatkan perhatian khusus karena ikan ini memijah jauh di luar perairan Indonesia, yakni pada sistem arus khatulistiwa utara (NEC) (Gambar 3.25).

A. bicolor bicolor merupakan spesies yang perlu sekali mendapat perhatian khusus, karena pemanfaatannya, terutama pada fase *glass eel/elver* sangat tinggi, di mana banyak perusahaan pembesaran ikan Sidat baik dari manca negara yang mulai mengincar spesies ini sebagai alternatif pengganti menurunnya stok *glass eel/elver* jenis komersial dari Ikan Sidat Jepang (*A. japonica*), maupun perusahaan pembesaran ikan Sidat dalam negeri. Mengenai pengelolaan *glass eel/elver* dari spesies ini telah dibahas cukup mendalam pada Sub Bab H (Tinjauan tentang *glass eel/elver*). Sementara itu, pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.2, tidak tercantum kondisi status spesies ikan Sidat *A. nebulosa nebulosa* yang tersebar di sebelah barat Sumatra dan selatan Jawa (Samudera Hindia) sehingga data dan informasi tentang barbagai aspek dari ikan ini perlu mulai dikumpulkan sama seperti jenis *A. borneensis*. Oleh karena itu, tanpa memiliki basis data yang lengkap terhadap seluruh spesies ikan Sidat tropis yang ada di perairan Indonesia maka kemungkinan bahwa beberapa spesies ikan sidat tiba-tiba masuk ke dalam daftar merah IUCN sebelum kita menguasai berbagai aspek misalnya dari *A. borneensis* dan *A nebulosa nebulosa*.

B. Pentingnya pengelolaan ikan Sidat tropis

Ikan Sidat (*freshwater eel*) adalah hewan eksotik karena keunikan riwayat hidupnya yang bersifat katadromus, dan sekaligus dimanfaatkan sebagai sumber pangan. Walaupun ada banyak sekali penelitian ilmiah dilakukan terhadap ikan Sidat, tetapi masih ada banyak pula aspek bio-ekologi penting yang masih tetap menjadi misteri. Misalnya, pemijahan ikan Sidat masih sangat langka sekali diamati orang di alam, karena lokasi pemijahannya berada di laut lepas (Decker, 2003; Arai, 2014). Di sisi lain, ikan Sidat merupakan ikan yang memiliki nilai ekonomis tinggi karena dikonsumsi hampir di seluruh negara di dunia (Kuroki & Tsukamoto, 2012). Permintaan ikan Sidat yang tinggi dan terus meningkat telah menyebabkan sumber daya ikan ini mengalami exploitasi berlebih. Hal ini membuat stok ikan ini menurun drastis dan berada di luar batas biologis yang aman sehingga dapat terancam punah, seperti ikan Sidat Eropa (*A. Anguilla*), Amerika (*A.*

rostrata), dan Jepang (*A. japonica*), termasuk pula penurunan stok juvenil ikan sidat (*glass eel/elver*) hingga 80–90% untuk sidat Eropa dan Jepang (Decker, 2003; Monticini, 2014; Arai, 2014),

Upaya budi daya ikan Sidat untuk mengurangi tekanan eksplorasi berlebih hingga kini masih belum berhasil, juvenil berupa *glass eel/elver* yang dibutuhkan dalam usaha budi daya sepenuhnya masih tergantung dari alam sehingga industri ikan Sidat komersial sekarang mulai mengintip ikan Sidat tropis sebagai pengganti usaha (Arai, 2014). Namun, belakangan ini ada laporan yang menyatakan bahwa kecenderungan hasil tangkapan ikan Sidat tropis juga menurun setengahnya daripada 20 tahun lalu, sedangkan banyak aspek terkait dengan bio-ekologi ikan Sidat tropis guna menuju pengelolaan berkelanjutan belum dikuasai (Decker, 2003; Arai, 2014), Oleh karena itu, tinjauan dari sudut pandang pengelolaan terhadap ikan Sidat sangat penting, dan perlu mendapat perhatian serius.

Selain masalah eksplorasi berlebih, semua spesies ikan Sidat menghadapi berbagai ancaman antara lain.

- 1) Turunnya kualitas perairan tawar, estuari, dan habitat pantai akibat pencemaran, penyakit dan virus sehingga keanekaragaman biota pendukung dari habitat ikan ini hilang.
- 2) Pekerjaan *engineering* berupa pendirian bendungan, penghalang, dan pemasangan mesin turbin.
- 3) Pemasangan perangkap ikan Sidat (*weir*) di mulut sungai.
- 4) Perubahan iklim/cuaca global, seperti fenomena El Niño yang dapat berdampak terhadap perubahan pola arus, suhu laut, produktifitas laut. Ancaman tersebut berdampak terhadap migrasi leptocephali dan rekrutmen *glass eel* di estuari yang selanjutnya akan berimplikasi terhadap populasi ikan sidat, (Miller et al., 2009; Kuroki & Tsukamoto, 2012; Arai, 2014; Jacoby et al., 2015; Nijman & Siriwat, 2020; Miller et al., 2021).

Sebagai contoh, leptocephali ikan Sidat dan belut laut memakan debris (detritus) dari hancuran fito-, zooplankton, dan bakteria yang disebut *marine snow* sebagai sumber makanan utama (Alldredge

& Silver, 1988; Miller et al., 2013; Miller et al., 2020; Tsukamoto & Miller, 2020). Pemanasan global akan menyebabkan naiknya suhu laut yang dapat menurunkan produksi primer/kelimpahan fito- dan zooplankton dimana hal ini akan menurunkan kelimpahan *marine snow* sehingga kelangsungan hidup leptocephali ikan Sidat dan belut laut berkurang dan kelimpahannya yang tinggi, seperti di perairan Indonesia menurun dan selanjutnya akan berdampak terhadap populasi ikan Sidat dewasa (Alldredge & Silver, 1988; Miller & Tsukamoto, 2017; Miller et al., 2021).

Berbeda dengan ikan Sidat yang hidup di perairan 4 musim, dimana pengelolaan dan konservasinya sudah diterapkan untuk menangani berbagai masalah seperti disebutkan di atas, namun tidak demikian halnya dengan ikan Sidat tropis, di perairan Indonesia. Pengelolaan dan perlindungan terhadap ikan Sidat tropis di perairan Indonesia dapat dikatakan masih kurang atau bahkan belum ada. Sebagai contoh, salah satu lokasi potensial pemijahan ikan Sidat, *A. celebesensis* di perairan Indonesia adalah Teluk Tomini. Namun, karena belum ada aturan untuk mengelola dan mengonservasi ikan Sidat, maka seiring dengan meningkatnya populasi penduduk di wilayah ini akan terjadi pemanfaatan yang berlebih (*overexploited*), apalagi ikan Sidat dewasa (*silver eel*) memiliki harga jual yang tinggi (Limbong et al., 2012). Tanpa adanya pengelolaan yang baik terhadap ikan ini, di Teluk Tomini maka kemungkinan besar populasi ikan Sidat *A. celebesensis* akan menurun dengan cepat setelah beberapa tahun mendapat tekanan penangkapan. Indikator penurunan hasil tangkapan ikan Sidat *A. celebesensis* dan *A. marmorata* sudah mulai terlihat dari kecenderungan menurunnya ukuran panjang total Sidat yang ditangkap nelayan antara tahun 2001 dan 2009 (Limbong et al., 2012).

Contoh kasus lainnya di Teluk Tomini adalah sistem perangkap ikan Sidat (sero tancap, *weir*) yang dipasang di sepanjang mulut Sungai Poso yang mengalir dari Danau Poso ke Teluk Tomini. Alat ini sangat efektif menangkap ikan Sidat dewasa yang sedang bermigrasi

untuk memijah (*down-stream migration*) ke Teluk ini (Sugeha, 2003; Limbong et al., 2012). Sebaliknya, *glass eel* ikan Sidat *A. celebesensis* yang akan berubah menjadi elver (*yellow eel*) dan siap bermigrasi ke hulu (*up-stream migration*) terhalang oleh adanya pembangunan dam pembangkit tenaga listrik sehingga penambahan populasi baru ikan Sidat ke Danau Poso tidak terjadi. Hal ini juga diperburuk lagi dengan menurunnya kualitas (degradasi) habitat estuari dan sungai akibat pencemaran baik di Teluk Tomini maupun Danau Poso (Limbong et al., 2012).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB 6

EPILOG: DARI KEINGINTAHUAN HINGGA PENGELOLAAN

Ada kalimat menarik yang kami kutip dari buku berjudul “*EELS ON THE MOVE: Mysterious Creatures Over Million of Years*” yang menyatakan “**Ketika sesuatu adalah misteri maka itu akan menstimulus keingintahuan kita, itulah hakikat ilmu**” (Kuroki & Tsukamoto, 2012). Mengacu kalimat ini, maka ikan Sidat tidak bisa dipungkiri masuk dalam kategori ini, khususnya misteri dimanakah ikan ini memijah? Buku ini ditulis berdasarkan keingintahuan kami tentang jenis apa dan dimana saja lokasi ikan Sidat tropis memijah di perairan Indonesia, melalui riset tentang kehidupan awal (fase leptocephali) dan fase metamorfosis menjadi *glass eel/elver*. Data dan informasi diperoleh dari data primer hasil riset pelayaran K/R Baruna Jaya VII dan R/V Hakuho Maru dan data skunder (studi kepustakaan) yang kemudian kami analisis. Fase kehidupan lanjut juvenil/*yellow eel* dan fase dewasa *silver eel* ikan Sidat tidak kami liput pada buku ini.

Riset tentang kehidupan awal (*the early life history*) ikan Sidat yang sekaligus bertujuan mengetahui lokasi pemijahan ikan ini dimulai dari keingintahuan Dr. Johannes Schmidt (1877–1933) seorang ahli biologi laut bangsa Denmark yang menemukan lokasi pemijahan ikan Sidat Eropa, *Anguilla anguilla* dan Sidat Amerika, *A. rostrata* di lokasi yang relatif sama, yakni di Laut Sargasso, Samudra Atlantik

Buku ini tidak diperjualbelikan.

setelah leptocephali ikan tersebut terkoleksi di sekitar Pulau Faeroe tahun 1904. Keingintahuan yang sangat kuat menyebabkan lokasi pemijahan ikan Sidat tropis, *A. bicolor bicolor* di Samudera Hindia dapat diketahui, yakni di sebelah barat Pulau Sumatra tepatnya di palung Mentawai setelah Ia memimpin ekspedisi keliling dunia, *The Danish Round the World Expedition* tahun 1928–1930 (Gambar 3.1).

Penemuan lokasi pemijahan *A. anguilla* dan *A. rostrata* memicu keingintahuan Prof. Katsumi Tsukamoto (*Atmosphere Ocean Research Institute* (AORI), *The University of Tokyo*) menemukan lokasi pemijahan ikan Sidat Jepang, *A. japonica* di Samudra Pasifik. Prof. Tsukamoto memulai riset panjang menggunakan R/V Hakuho Maru tahun 1973. Hasil riset berupa analisa sampel dari ribuan kali penarikan jaring IKMT selama 32 tahun (Gambar 3.2) membawa banyak penemuan.

- 1) Pertama kali diketahuinya lokasi pemijahan *A. japonica* secara tepat (*pinpointed area*) di sebelah barat dari rangkaian punggung gunung bawah laut, Pathfinder-Arakane-Suruga yang disebut *Mariana Ridge* tepatnya di selatan gunung bawah laut Suruga.
- 2) Pertama kali di dunia telur ikan sidat ini dapat dilihat orang (Gambar 3.3).
- 3) Terbuktinya dua hipotesa Prof. Tsukamoto, yakni: ikan Sidat memijah di sekitar gunung bawah laut, dan pada fase bulan baru (*Seamounth and New moon hypothesis*).

Keingintahuan tentang ikan Sidat tropis menarik perhatian kami memulai riset di perairan Indonesia memakai K/R Baruna Jaya (BJ) VII milik Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) - LIPI berturut-turut tahun 2001–2003. Hasil koleksi selama pelayaran ini ditambah R/V Hakuho Maru tahun 2000, 2006, dan 2010 menghasilkan banyak temuan.

- 1) Pertama kali di Indonesia diketahuinya keaneka-ragaman jenis (biodiversitas) dari 6 spesies/sub spesies ikan Sidat, yaitu *A. bicolor bicolor*, *A. bicolor pacifica*, *A. borneensis*, *A. celebesensis*, *A. interioris*, dan *A. marmorata*, serta sebarannya (Tabel 3.1; 3.2),

termasuk Belut laut yang biodiversitasnya jauh lebih tinggi (Tabel 4.1; 4.2). *A. nebulosa nebulosa* merupakan ikan Sidat perairan Indonesia, namun tidak pernah terkoleksi selama pelayaran ilmiah. Hasil kajian ini mengungkapkan bahwa biodiversitas dan kelimpahan ikan Sidat (Gambar 3.12; 3.19) dan belut laut Indonesia (Gambar 4.1; 4.3) tertinggi di dunia.

- 2) Diketahuinya lokasi pemijahan ikan Sidat tropis Indonesia meskipun tidak seakurat (*pinpoint*) ikan Sidat Jepang, yakni di Laut Sulawesi dan Teluk Tomoni (Gambar 3.9, 3.13 dan Tabel 3.2) yang dipengaruhi massa air Samudra Pasifik untuk spesies *A. borneensis*, *A. celebesensis*, dan *A. interioris* berdasarkan leptocephali berukuran kecil (<20 mm), dan pembacaan umur harian dari otolith. Walaupun *A. marmorata* dan *A. bicolor pacifica* telah diketahui memijah pada sistem arus khatulistiwa utara (NEC; Gambar 3.17 dan 3.25), namun terkoleksinya ukuran kecil leptocephali (8 mm) *A. marmorata* di Laut Sulawesi, mengindikasikan bahwa spesies ini mungkin juga memijah di laut Sulawesi. Spesies *A. bicolor bicolor* terkoleksi banyak dan berukuran besar (41 spesimen, panjang > 40 mm) saat sampling di perairan barat Sumatra yang dipengaruhi Samudra Hindia tahun 2003. Data ini tidak bisa menentukan lokasi tepat pemijahannya. Namun, banyak koleksi leptocephali dari hasil pelayaran Dr. Schmidt 1928–1930 berukuran kecil (20–30 mm; Gambar 3.21), sehingga lokasi pemijahan bisa diduga, yaitu di Palung laut Mentawai (Aoyama et al., 2007).
- 3) Perhitungan mundur (*back calculation*) dari otolith menunjukkan bahwa leptocephali berukuran kecil 8–17 mm berumur 17–22 hari (Tabel 3.3), sehingga musim pemijahan *A. borneensis* diduga terbatas, tetapi panjang sekitar Jan, Mar–Apr, Jul dan Sep. Pemijahan *A. bicolor bicolor* terbatas dengan puncak pada Jan–Feb. *A. celebesensis* memijah intensif di bulan Jan–Mei dengan puncak Mar–Apr. Pemijahan *A. interioris*, juga terbatas pada Mar dan Jun–Jul. *A. marmorata* memijah sepanjang tahun, Jan–Feb, Mei–Ags, dan Okt–Des dengan puncaknya pada Jun–Jul (Gambar 3.24, Tabel 3.5).

Titik berat pembahasan buku ini tidak terbatas hanya pada kehidupan awal ikan Sidat (fase leptocephali), melainkan juga dibahas cukup mendalam tentang metamorfosis dari fase leptocephali menjadi *glass eel* yang disusul dengan pigmentasi di batang ekor menjadi fase *elver* yang siap memulai rute migrasi ke hulu sungai. Tinjauan fase *glass eel/elver* di buku ini mencakup kunci identifikasi spesies ikan Sidat berdasarkan pigmentasi batang ekor (Gambar 3.30), karakter ukuruan morfomerik jumlah ruas tulang belakang dan panjang tubuh (Gambar 3.32; 3.33; dan 3.34). Walaupun karakter-karakter itu masih sulit/ tidak dapat mengidentifikasi beberapa spesies secara tepat daripada analisa genetika (Aoyama et al., 1999; Fahmi, 2015b). Namun, identifikasi memakai ukuran morfometrik berhasil mengkaji biodiversitas dan distribusi spesies *glass eel/elver*, studi kehidupan awal, migrasi ke pantai, pola rekrutmen, dan kelimpahan, serta pemetaan potensi (Tabel 3.6).

Pemanfaatan *glass eel/elver* mulai meningkat tajam, khususnya *A. bicolor bicolor* yang berasal dari pantai selatan Pulau Jawa barat (sungai-sungai di Teluk Pelabuhan dan Sukabumi selatan). Usaha budi daya ikan Sidat di seluruh dunia hingga kini masih sangat tergantung pada benih berupa *glass eel/elver* yang dieksplorasi dari alam, sedangkan ketersediaan stoknya cenderung menurun, terutama *glass eel/elver* dari negara empat musim (*A. Anguilla*, *A. rostrata*, dan *A. japonica*). Oleh karenanya, *glass eel/elver* perairan tropis *A. bicolor bicolor* mulai diliirk untuk pemenuhan usaha budi daya baik dalam negeri dan manca negara yang permintaan terus meningkat, demikian pula pengeksplorasiannya.

Eksplorasi berlebih berdampak menurunnya stok *glass eel/elver* yang gejalanya mulai terasa tahun 2014 (Tabel 3.7) yang ditunjukkan dari hasil analisis para periset di pantai selatan Jawa Barat. Laju eksplorasi *glass eel/elver A. bicolor bicolor* ($E=0,77$) telah melebihi nilai E optimal ($E=0,5$). Tangkapan lestari (MSY=991,2 kg/tahun) dan yang diperbolehkan (TAC=793 kg/tahun) masing-masing telah 11,9 dan 14,8 kali terlampaui. Penurunan stok *glass eel* juga dipicu perubahan iklim dan aktivitas yang mengganggu kesehatan sungai.

Pengelolaan lestari di sepanjang pantai selatan Jawa barat harus segera dilakukan oleh seluruh pemangku kepentingan. Berbagai saran dan rekomendasi pencegahan turunnya stok *glass eel/elver* telah diusulkan oleh para peneliti, seperti yang dirinci di bagian akhir Sub-Bab H.

Selain leptocephali ikan Sidat, juga dibahas jenis ikan lain yang kehidupan awalnya memiliki larva berbentuk leptocephali, yaitu belut laut yang ternyata biodiversitas dan juga kelimpahannya jauh lebih tinggi dari ikan Sidat dengan perbandingan/rasio masing-masing dari berbagai lokasi sampling adalah 1:25–72 dan 1:49–83 (Tabel 4.3). Hasil riset dari sampling leptocephali di berbagai perairan dunia mengungkapkan bahwa biodiversitas dan kelimpahan ikan Sidat dan belut laut tropis Indonesia tertinggi di dunia (Gambar 4.5).

Sebagai penutup buku ini, kami sekilas membahas implikasi pengelolaan ikan Sidat yang karena memiliki nilai ekonomis penting, membuat permintaannya terus meningkat sehingga terjadi eksplorasi berlebih. Salah satu jenis adalah ikan Sidat Eropa (*A. Anguilla*) yang telah ditetapkan (masuk) dalam daftar CITES Appendix II tahun 2009 sebagai spesies terancam punah berkategori *endangered/EN* (Gambar 5.1), sedangkan Sidat Amerika, *A. rostrata* dan Jepang *A. Japonica* kini telah terdaftar berkategori EN pada Daftar Merah IUCN. Penurunan stok ketiga spesies tersebut tidak hanya pada fase dewasa, tetapi juga pada fase *glass eel/elver* hingga mencapai 80–90%.

Ikan Sidat tropis Indonesia, walaupun statusnya pemanfaatannya berkategori rendah (*Data Deficient/DD*), namun *A. borneensis* telah memasuki status rentan punah (VU) karena kelangkaan data dan informasi terkait status stok dan pemanfaatannya. *A. bicolor bicolor* dan *A. celebesensis* sudah berkategori *near threatened (NT)* (Tabel 5.1; Gambar 5.2), khususnya *A. bicolor bicolor* yang fase *glass eel/elver* telah dieksplorasi besar-besaran, termasuk juga fase dewasa dari *A. celebesensis* serta fase *glass eel* yang mulai dieksplorasi. Oleh karena itu, seluruh *stake holder* harus bekerja sama untuk melengkapi basis data dan informasi yang lengkap terhadap seluruh spesies ikan Sidat tropis perairan Indonesia sebelum tiba-tiba masuk dalam daftar merah IUCN, sementara berbagai aspek dari spesies-spesies tersebut belum diketahui.

Jadi, terwujudnya buku ini, disamping berawal dari keingintahuan tentang aspek kehidupan awal ikan sidat tropis Indonesia juga berkat kerja sama riset yang sangat intens dengan Prof. Tsukamoto dan tim labnya dari AORI melalui Program *Japan Society for the Promotion of Science* (JSPS). Melihat keingintahuan kami, Prof. Tsukamoto mengundang kami sambil melatih cara sampling leptocephali pada pelayaran *Milenial Cruise R/V Hakuho Maru* tahun 2000, pelayaran 2006 dan 2010. Prof. Tsukamoto melengkapi K/R BJ VII dengan 2 set jaring IKMT berikut perlengkapan sampling leptocephali pada pelayaran K/R Baruna Jaya VII tahun 2001. Prof. Tsukamoto juga mendukung kami berpatisipasi di berbagai seminar/simposium/workshop internasional terkait ikan sidat. Sedikitnya ada 25 karya tulis ilmiah (KTI) yang ditulis bersama dan diterbitkan di berbagai jurnal ilmiah bereputasi tinggi antara tahun 2000–2023. Seluruh kolaborasi riset tersebut tertuang dalam daftar lampiran. Oleh karena itu, buku ini kami dedikasikan khusus untuk Prof Katsumi Tsukamoto yang dengan kerendahan hati telah mengajar kami membuka sedikit tabir misteri tentang kehidupan awal ikan Sidat tropis perairan Indonesia.

Walaupun buku ini telah berhasil mengungkapkan sedikit misteri kehidupan awal ikan Sidat, namun sebenarnya buku ini hanyalah sebagian kecil dari bidang riset iktioplankton yang data dan informasi tentang larva ikan sangat terbatas, sehingga belum bisa memperkuat pengelolaan lestari sumber daya ikan (SDI) Indonesia. Agar riset iktioplankton berkembang di Indonesia, maka pusat sistem basis data larva ikan yang baik harus segera dibangun serta didukung fasilitas penyimpanan koleksi iktioplankton yang bagus sehingga bisa dijadikan sebagai sumber rujukan iktioplankton nasional maupun internasional, seperti adanya bank DNA berbagai jenis ikan. Riset iktioplankton harus didukung oleh fasilitas kapal riset dan peralatan laboratorium yang dapat mengidentifikasi telur dan larva ikan secara modern dan canggih (analisa DNA), disamping kolaborasi riset antar para periset iktioplankton tanah air dan periset iktioplankton internasional (Syahailatua, 2023; Syahailatua et al., 2023).

DAFTAR LAMPIRAN 1

Daftar lampiran ini merupakan hasil kolaborasi riset yang panjang selama hampir 23 tahun (2000–2023) antara periset P2O-LIPI dan AORI, The University of Tokyo, yang mencakup berbagai aktivitas pelayaran ilmiah (*research cruise*) tentang ikan Sidat dan Belut laut; Pertukaran periset, Seminar/Simposium/Pertemuan Ilmiah; dan Publikasi/Paper/Karya Tulis Ilmiah (KTI).

Pelayaran Ilmiah (Scientific Cruises):

- [1] 2000: Millenium cruise R/V Hakuho Maru Brisbane/Australia-Cebu/Philippines; (Indonesian Scientiest: 1 person).
- [2] 2001: Pelayaran K/R BJ VII mengelilingi Pulau Sulawesi (Jakarta-Laut Jawa, Laut Flores, Selat Makasar, Laut Sulawesi, Teluk Tomini, Laut Maluku, Laut Banda, Jakarta; Peneliti Jepang 5 orang, peneliti Filipina 1 orang).
- [3] 2002: Pelayaran K/R BJ VII mengelilingi Pulau Sulawesi (Jakarta-Laut Jawa, Laut Flores, Selat Makasar, Laut Sulawesi, Teluk Tomini, Laut Sulawesi, Selat Makassar, Jakarta; Peneliti Jepang 5 orang).

- [4] 2003: Pelayaran K/R BJ VII di sekitar pantai barat Pulau Sumatra (Jakarta-Perairan sekitar Padang/Sumatra barat dan Kepulauan Mentawai-Jakarta; Peneliti Jepang 4 orang).
- [5] 2006: Marine Biodiversity; Joint cruise for studying the biology of eel at leptocephali phase from Tokyo-West Sumatra waters-Mauritius using Hakuho Maru (Indonesian Scientist 2 persons).
- [6] 2010: Joint Hakuho Maru Research Cruise (KH-2010-leg 7); studying the biology of eel at leptocephali phase in the Tomini Bay Indonesia. (Indonesian Scientist 9 persons).

Pertemuan Ilmiah (*Exchange Scientist/Simposium/Seminar/Workshop*):

- [1] 2000 Data analysis of Hakuho Maru Millenium Cruise, Ocean Research Institute (ORI), The University of Tokyo.
- [2] 2000 The 11th JSPS Joint Seminar on Marine Science. Yoyogi, Tokyo, Japan, November 20–22.
- [3] 2001 The International Symposium Advance in Eel Biology. Yayoi Auditorium, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, September 28–30.
- [4] 2001 Planning Workshop of Biodiversity Group, ORI, The University of Tokyo, Japan, 28 October–2 November.
- [5] 2002 JSPS meeting on Biodiversity, Langkawi Island, Malaysia, 2–3 September.
- [6] 2002 Cooperative Research between LIPI and JSPS, ORI, The University of Tokyo, Japan, 23 September–22 December.
- [7] 2003 LIPI-JSPS Expose, LIPI Headquarters Office, Jakarta Indonesia, July 17.
- [8] 2003 The twelfth North Pacific Marine Science Organization (PICES) Annual Meeting (Session 8: Management of eel resources). The Conference Hall of the Mayfield Hotel, Seoul, Korea, October 10–18, 2003.
- [9] 2007 LIPI-JSPS Joint Seminar on Coastal Marine Science, Jogjakarta, Indonesia, 3–5 August.

- [10] 2008 Research on tropical Anguillid Eels in the Indonesian Waters, ORI, The University of Tokyo, Japan, March.
- [11] 2008 World Eel Satellite Symposium, Miyazaki Prefecture, Japan. October 19.
- [12] 2008 5th World Fisheries Congres, Yokohama Convention Center, Japan, Oct 21–25.
- [13] 2009 World Ocean Conference, Manado, Indonesia, May 11–15.
- [14] 2010 Research on the Early life History of the tropical Anguillid Eels, International coastal research center, Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Japan, Jan.
- [15] 2015 International Symposium on the Tropical Eel Genus *Anguilla*: Its Science, Conservation and Management for Sustainable Use". University of Syiah Kuala, Banda Aceh, Nangroe Aceh Darussalam, Indonesia. Dec 10–12.
- [16] 2017 The 2nd International Symposium on the Tropical Eel Genus *Anguilla*: Its Science, Conservation, and Management for Sustainable Use (ISTEGA-2), Golden Boutique Hotel, Jakarta, Nov. 21–23.
- [17] 2019 The 3rd International Symposium on the Tropical Eel Genus *Anguilla* (3rd ISTEKA 2019), Sam Ratulangi University (Unsrat), Manado, Indonesia, Aug. 1–3.

Publikasi Ilmiah (*Scientific Publications*)

- [1] Wouthuyzen, S., Limbong, D., Kawakami, Y., Aoyama, J., Inagaki, T., Oya, M., Shinoda, A., Inoue, J., Kawai, M., Matsubara, H., Mujiono, S., Miller, J. M., Sumadhiharga, O. K., Berhimpon, S., & Tsukamoto, K. (2000). Spesies Assemblages of Leptocephalus in the Pacific, Celebes Sea, and Sulu Sea. *Proceedings of the 11th JSPS Joint Seminar on Marine Science*. Yoyogi, Tokyo, Japan, November 20–22. pp. 151–157.
- [2] Wouthuyzen, S., Aoyama, J., Miller, M. J., Minagawa, G., Suhartati, R. S., Sugeha, H.Y., Inagaki, T., Sumadhiharga, O. K., & Tsukamoto, K. (2001). Biodiversity and distribution of Anguilliform leptocephali in the central Indonesian Seas: A research cruise of R/V BJ VII. *Proceedings of the International Symposium Advance in Eel Biology*. Yayoi Auditorium, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 28–30 September 2001. pp. 110–112.

- [3] Miller, M. J., Wouthuyzen S., Minagawa, G., & Tsukamoto, K. (2002). Distribution and species richness of leptocephali in the Indonesian Seas. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 34, 55–69.
- [4] Aoyama, J., Wouthuyzen, S., Miller, M. J., Inagaki, T., & Tsukamoto, K. (2003). Short-distance spawning migration of tropical freshwater eel. *Biol. Bull.*, 204, 104–108.
- [5] Wouthuyzen S., Miller, M. J., Minagawa, G., Aoyama, J., Fukamachi, T., Kuroki, M., Sutomo, Suharti, S. R., Azanza, R., & Tsukamoto, K. (2003). An evaluation of the effectiveness of oblique and step-tows for collecting leptocephali. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 35:1–10.
- [6] Minagawa, G., Miller, M. J., Aoyama, J., Wouthuyzen, S., & Tsukamoto, K. (2004). Contrasting assemblages of leptocephali in the western Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 271, 245–259.
- [7] Kuroki, M., Aoyama, J., Miller, M. J., Arai, T., Sugeha, H. Y., Minagawa, G., Wouthuyzen, S., & Tsukamoto, K. (2004). Correspondence between otolith microstructural changes and early life history events in *Anguilla marmorata* leptocephali and glass eel. *Coastal Marine Science*, 29, 154–161.
- [8] Wouthuyzen, S., Miller, M. J., Aoyama, J., Minagawa, H., Sugeha, Y., Suharti, S. R., Inagaki, T., & Tsukamoto, K. (2005). Biodiversity of anguilliform leptocephali in the central Indonesian Seas. *Bulletin of Marine Science*, 77(2), 209–223.
- [9] Kuroki, M., Aoyama, J., Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Arai, T., & Tsukamoto, K. (2006). Contrasting patterns of growth and migration of tropical anguillid leptocephali in the western Pacific and Indonesian Seas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 73, 233–246.
- [10] Kuroki, M., Aoyama, J., Wouthuyzen, S., Sumadhiharga, O. K., Miller, M. J., Minagawa, G., & Tsukamoto, K. (2006). Age and growth of *Anguilla interioris* leptocephali collected in Indonesian Seas. *Coastal Marine Sciences*, 30, 464–468.
- [11] Sugeha, H. Y., Aoyama J., & Tsukamoto, K. (2006). Downstream migration of tropical anguillid silver eel from Lake Poso, central Sulawesi Island, Indonesia. *Limnotec*, XIII, 18–25.

- [12] Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Minagawa, G., Aoyama, J., & Tsukamoto, K. (2006). Distribution and ecology of leptocephali of the congrid eel, *Ariosoma scheelei*, around Sulawesi Island, Indonesia. *Marine Biology*, 148, 1101–1111. DOI 10.1007/s00227-005-0144-9
- [13] Aoyama, J., Wouthuyzen, S., Miller, M. J., Minegishi, Y., Kuroki, M., Suharti, S. R., Kawakami, T., Sumardiharga, O. K., & Tsukamoto, K. (2007). Distribution of leptocephali of the freshwater eels, genus *Anguilla*, in the waters off west Sumatra in the Indian Ocean. *Environ Biol Fish*, 80, 445–452. <https://doi.org/10.1007/s10641-006-9143-z>
- [14] Sugeha, H. Y., Suharti, S. R., Wouthuyzen, S., & Sumardiharga, O. K. (2008). Biodiversity, distribution, and Abundance of the tropical anguillids eels in the Indonesian waters. *Mar. Res. Indonesia*, 33(2), 129–137.
- [15] Sugeha, H. Y., Bataroga, N. E., & Wouthuyzen, S. (2008). Inshore migration of the tropical Anguillid glass eels recruited in the estuary of Dumoga River (north Sulawesi, Indonesia). *Prosiding Seminar Nasional Ikan*, Bogor, 3 Juni 2008, 225–237,
- [16] Wouthuyzen, S., Aoyama, J., Sugeha, H. Y., Miller, M. J., Kuroki, M., Minegishi, Y., Suharti S. R., & Tsukamoto, K. (2009). Seasonality spawning by tropical anguillid eels around Sulawesi Island, Indonesia. *Natur Wissenschaften*, 96(1), 153–158.
- [17] Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Ma, T., Aoyama, J., Suharti, S. R., Minegishi, Y., & Tsukamoto, K. (2011). Distribution, Diversity, and Abundance of Garden Eel Larvae off West Sumatra, Indonesia. *Zoological Studies*, 50(2), 177–191.
- [18] Miller, M. J., Otake, T., Aoyama, J., Wouthuyzen, S., Suharti, S. R., Sugeha, H. Y., & Tsukamoto, K. (2011). Observations of gut contents of Leptocephali in the North Equatorial Current and Tomini Bay, Indonesia, *Coastal Marine Science*, 35(1), 277–288.
- [19] Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Ma, T., Aoyama, J., Suharti, R. S., Minegishi, Y., & Tsukamoto, K. (2013). Distribution, Diversity, and Abundance of Garden Eel Larvae off West Sumatra, Indonesia, *Zoological Studies*, 50(2), 177–191.

- [20] Miller, M. J., Yamaguchi, M., Wouthuyzen, S., Aoyama, J., Suharti, S., Ma, T., Yoshinaga, T., Minegishi, Y., Kawakami, T., & Tsukamoto, K. (2013). *Ariosoma*- type Leptocephali (Congridae: Bathymyrinae) in the Mentawai Islands region off western Sumatra, Indonesia. *Zoological Studies*, 52, 26. <http://www.zoologicalstudies.com/content/52/1/26>
- [21] Tawa, A., Aoyama, J., Yoshimura, T., Wouthuyzen, S., & Mochioka, N. (2014). Leptocephalus larvae of two moray eels (Anguilliformes; Muraenidae), *Gymnothorax sagmacephalus* and *Gymnothorax albimarginatus*, identified from morphometric and genetic evidence. *Ichthyol Res*, 61, 32–41. DOI 10.1007/s10228-013-0369-4.
- [22] Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Sugeha, H. Y., Kuroki, M., Tawa, A., Watanabe, S., Syahailatua, A., Suharti, S., Tantu, F. Y., Otake, T., Tsukamoto, K., & Aoyama, J. (2016). High biodiversity of leptocephali in Tomini Bay Indonesia in the center of the Coral Triangle. *Regional study in marine Science*, 8(1), 99–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2016.09.006>
- [23] Aoyama, J., Wouthuyzen, S., Miller, M. J. Sugeha, H. Y., Kuroki, M., Watanabe, S., Syahailatua, A., Tantu, F. Y., Hagihara, S., Triyanto, Otake, T., & Tsukamoto, K. (2018). Reproductive Ecology and Biodiversity of Freshwater Eels around Sulawesi Island Indonesia. *Zoological Studies*, 57, 30 (2018). doi:10.6620/ZS.2018.57-30.
- [24] Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Feunteun, E., Aoyama J., Watanabe, S., Syahailatua, A., Kuroki, M. Robinet, T., Hagihara, S. Otake, T., & Tsukamoto K. (2019). Contrasting biodiversity of eel larvae across the central Indian Ocean subtropical gyre. *Deep Sea Research II*, 161, 20–131.
- [25] Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Aoyama, J., Sugeha, H. Y., Watanabe, S., Kuroki, M., Syahailatua, A., Suharti, R. S., Hagihara, S., Tantu, F. Y., Triyanto, Otake, T., & Tsukamoto, K. (2021). Will the High Biodiversity of Eels in the Coral Triangle be Affected by Climate Change? *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 789 (2021) 012011. doi:10.1088/1755-1315/789/1/012011.
- [26] Manabe, R., Higuchi, T., Watanabe, S., Tantu, F. Y., Sugeha, H. Y., Kaneko, H., Miller, M. J., Hagihara, Yoshinaga, T., Syahailatua, A., Wouthuyzen, S., Triyanto, Masengi, K. W. A., Sato, K., Aoyama, J., & Tsukamoto, K. (2023). Migration Behavior of *Anguilla celebesensis* Silver Eels within their Tomini Bay Spawning Area. *Zoological Studies*, 62, 46. doi:10.6620/ZS.2023.62-46.

DAFTAR LAMPIRAN 2

Daftar lampiran 2 merupakan foto-foto kegiatan kolaborasi riset antara periset P2O-LIPI dan AORI, The University of Tokyo, yang mencakup berbagai aktivitas yang terkait dengan pelayaran dan pertemuan ilmiah.

Tahun 2001:



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Prof. Tsukamoto dan penulis (Gambar kiri atas); Penulis mengikuti presentasi poster pada *International Symposium Advances in eel Biology* di Yayoi Auditorium, The University of Tokyo, 28–30 September 2001 atas undangan Prof. Tsukamoto (Gambar kanan atas); Prof. Tsukamoto, Dr. Jun Aoyama dan penulis ketika menentukan rute pelayaran K/R BJ VII mengelilingi Pulau Sulawesi tahun 2001 (Gambar kiri bawah); Kunjungan Prof. Tsukamoto dan Dr. Aoyama ke Prof. Ono Kurnaen Sumadhiharga sebagai Kepala Kantor P2O-LIPI untuk bertemu dan meminta ijin mengikuti pelayaran K/R BJ VII tahun 2001 (Gambar kanan bawah).

Tahun 2001–2003:



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Aktivitas kegiatan sampling leptocephali menggunakan jairng IKMT yang dihibahkan oleh prof. Tsukamoto ke P2O-LIPI pada pelayaran keliling Pulau Sulawesi tahun 2001 dan 2002, serta pelayaran di perairan sebelah barat Pulau Sumatra (sekitar perairan Padang dan Kepulauan Mentawai) tahun 2003 menggunakan K/R Baruna Jaya VII.

Tahun 2006:



Penulis (Augy Syahailatua dan Sam Wouthuyzen) ketika mengikuti Pelayaran R/V Hakuho Maru dari Tokyo-Perairan Aceh-Kepulauan Mentawai-menyeberang Samudra Hindia ke Mauritius tahun 2006. Gambar menunjukkan diskusi antara Dr. Aoyama sebagai *Chief Scientist* dan Nahkoda R/V Hakuho Maru serta penulis dalam menentukan cruise track di perairan Indonesia (Gambar atas), Pertemuan seluruh peneliti di ruang pertemuan kapal R/V Hakuho Maru sebelum sampling dan aktivitas sampling leptocephali menggunakan jaring IKMT (Gambar bawah).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tahun 2010:



Beberapa peneliti Indonesia (P2O-LIPI, Jakarta; Pusat Penelitian Limnologi/P2L-LIPI, Bogor; Pusat Penelitian Laut dalam (P2LD)-LIPI, Ambon; Universitas Tadulako, Palu) diundang mengikuti Pelayaran R/V Hakuho Maru untuk *sampling* leptocephali ke Teluk Tomini dan Laut Sulawesi. Gambar menunjukkan *sorting* leptocephali yang terkoleksi dari jaring IKMT (Gambar atas). Guntingan koran lokal Bitung (Sulawesi utara) yang mengapresiasi kegiatan penelitian R/V Hakuho Maru terhadap leptocephali ikan Sidat (Sogili) di perairan Sulawesi Utara agar tidak punah (Gambar bawah).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR SINGKATAN

- AB : Ruas tulang punggung *pre-dorsal* pada ikan sidat.
- AC : Ruas tulang punggung *pre-anal* pada ikan sidat.
- AD : Ruas tulang punggung abdominal.
- ADCP : *Acoustic doppler current profiler*, merupakan sebuah alat hidro-akustik pengukur kecepatan arus dari berbagai kedalaman.
- ADL/%TL : Rasio panjang *ano-dorsal* terhadap panjang total ikan sidat.
- ADV : *Ano-dorsal vertebrae*, ruas tulang belakang dorsal.
- AE : Ruas tulang punggung total pada ikan sidat.
- AORI : Atmospheric and Ocean Research Institute. Suatu lembaga penelitian atmosfir dan laut di bawah Universitas Tokyo, Jepang.
- BJ VII : Baruna Jaya VII. Nama kapal penelitian milik P2O-LIPI.
- BRIN : Badan Riset dan Inovasi Nasional

CITES	: Convention on International Trade in Endangered Species, konvensi perdagangan internasional bagi spesies satwa dan tumbuhan liar terancam punah.
CR	: <i>Critically endangered</i> , stok ikan sidat sangat terancam punah.
CTD	: <i>Conductivity temperature and depth</i> , alat baku yang biasa digunakan dalam survei oseanografi untuk mengukur parameter laut, seperti suhu, salinitas, densitas dan tekanan air laut, konsentrasi klorofil-a, turbiditas, oksigen terlarut, unsur hara (fosfat dan nitrat) di suatu perairan laut.
DAS	: Daerah aliran sungai.
DD	: <i>Data deficient</i> . Data pemanfaatan berada pada tingkat paling rendah.
DNA	: <i>Deoxyribo nucleic acid</i> . Salah satu jenis asam nukleat yang memiliki kemampuan pewarisan sifat.
DO	: <i>Dissolved oxygen</i> . Oksigen terlarut.
DM	: Durasi metamorfosis dari leptocephali ikan sidat.
E	: <i>Exploitation rate</i> , kecepatan eksplorasi E=F/Z.
EN	: <i>Threatened extinct</i> , kondisi sto ikan sidat terancam punah.
EW	: <i>Extinct in the wild</i> , punah di alam liar.
EX	: <i>Extinct</i> , punah suatu spesies di dunia.
F	: <i>Fishing mortality</i> , mortalitas akibat penangkapan.
GIOVANNI NASA	: Salah satu Web NASA (National Aeronautics and Space Administration) yang menyediakan berbagai data, seperti data atmosferik, oseanografi, hidrologi, klimatologi, serta peta-peta dan statistik untuk berbagai parameter tersebut yang diperoleh dari berbagai citra satelit dan dapat diunduh secara gratis.

GPS	: <i>Global positioning system</i> , adalah sistem untuk menentukan letak/posisi/ koordinat di permukaan bumi dengan bantuan penyelarasan (synchronization) sinyal satelit.
HL	: <i>Head length</i> , panjang kepala pada ikan Sidat.
HM	: Hakuho maru, kapal riset milik JAMSTEC.
IKMT	: <i>Isaacs-kidd midwater trawl net</i> , jaring yang digunakan (dalam tulisan ini) untuk mengkoleksi larva ikan sidat, larva belut laut (leptocephali) dan larva organisme lainnya yang tergolong sebagai zooplankton.
IUCN	: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Sebuah organisasi internasional yang didedikasikan untuk konservasi sumber daya alam.
JSPS	: Japan Society for the Promotion of Science
KKP	: Kementerian Kelautan dan Perikanan Indonesia
LC	: <i>Least concern</i> , tingkat keprihatinan rendah terhadap pemanfaatan ikan sidat.
LDF	: <i>Long dorsal fin</i> . Ikan sidat dorsal panjang.
LFE	: <i>Long fin eel</i> . Ikan sidat sirip Panjang.
M	: <i>Natural mortality</i> . Mortalitas alami.
MSY	: <i>Maximum sustainable yield</i> . Tangkapan maksimum lestari.
NEC	: <i>North equatorian current</i> . Arus khatulistiwa utara.
NT	: <i>Near threatened</i> . Kondisi stok ikan sidat hampir terancam.
P2LD-LIPI	: Pusat Penelitian Laut Dalam, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
P2L-LIPI	: Pusat Penelitian Limnologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

P2O-LIPI	: Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
PAL	: <i>Pre-anal length.</i> Panjang bagian tubuh ikan dari ujung mulut hingga bagian depan sirip anal.
PAL/%TL	: <i>Ratio pre-anal length</i> terhadap total length pada ikan sidat.
PDHL	: <i>Pre-dorsal head length.</i> Panjang antara pre-dorsal dan panjang kepala.
PDL	: <i>Pre-dorsal length.</i> Panjang bagian tubuh ikan dari ujung mulut hingga bagian depan sirip dorsal.
PDL/%TL	: <i>Ratio pre-dorsal length</i> terhadap total length pada ikan sidat.
PLTU	: Pembangkit Listrik Tenaga Uap
RNA, 16S RNA	: <i>Ribonucleic acid, ribosomal 16S</i> (atau <i>rRNA 16S</i>), adalah komponen dari 30S subunit kecil ribosom prokariotik. Gen yang mengkode 16S rRNA disebut sebagai 16S rDNA dan digunakan dalam merekonstruksi filogeni.
R/V	: <i>Research Vessel.</i> Kapal penelitian yang dipakai selama pelayaran ilmiah untuk menyampling leptocephali ikan sidat/belut laut.
SDI	: Sumber daya ikan.
SDF	: <i>Short dorsal fin.</i> Ikan sidat dorsal pendek.
SFE	: <i>Short fin eel.</i> Ikan sidat sirip pendek.
Sr/Ca	: <i>Ratio Soronsium terhadap Calsium.</i>
TAC	: <i>Total allowable catch.</i> Total tangkapan yang diperbolehkan.
TL	: <i>Total length.</i> Panjang ikan dari ujung mulut hingga unjung ekor.
UM	: Umur leptocephali ikan sidat pada saat metamorfosis.

UNEP	: United Nations Environment Programme. Program Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa.
UR	: Umur leptocephali ikan sidat pada saat rekrutmen.
VU	: Vulnerable, kondisi stok ikan sidat rentan punah.
WWF	: <i>World Wildlife Fund</i> . Organisasi konservasi alam.
Z	: <i>Total mortality</i> . Mortalitas total, $Z = F + M$.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

GLOSARIUM

- Adaptasi : Mekanisme yang dilakukan oleh suatu organisme untuk mengatasi tekanan lingkungan sekitarnya dengan tujuan untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya.
- Aklimatisasi : Penyesuaian (diri) tumbuhan/hewan terhadap lingkungan, kondisi, suasana baru, atau iklim baru yang berlainan dari iklim tempat asal sebagai akibat perpindahan dari suatu tempat ke tempat lain.
- AN : Populasi ikan sidat *A. marmorata* Ambon.
- Anadromus : Ikan pada fase dewasa hidup di perairan laut, bermigrasi ke hulu sungai untuk memijah, setelah memijah ikan dewasa tersebut mati, sedangkan juvenilnya bermigrasi lagi ke laut (berkebalikan dari sifat ikan yang katadromus).
- Ancestral species* : Spesies yang merupakan asal-muasal atau nenek moyang. Misal, *Anguilla borneensis* yang diduga merupakan nenek moyang ikan sidat di dunia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

- Anguillidae : Anguillidae adalah salah satu famili ikan bersirip yang mewakili seluruh ikan sidat perairan tawar.
- Angulliformes : Ordo level pada taksonomi ikan yang berbentuk, seperti ikan sidat (Famili Anguillidae) dan belut laut lainnya (Famili Ophichthidae, Moringuidae, Myrocongridae, Congeridae, Colocongeridae, Muraenidae, Cholopidae, Synaphobranchidae, Nettastomatidae, Dericthyidae, Nemichthyidae, Serrivomeridae).
- Anguilla anguilla* : Nama jenis ikan sidat Eropa, hidup di perairan 4 musim Samudera Atlantik.
- Anguilla rostrata* : Nama jenis ikan sidat Amerika, hidup di perairan 4 musim Samudera Atlantik.
- Anguilla japonica* : Nama jenis ikan sidat Jepang, hidup di perairan Samudra pasifik, serta perairan Jepang dan sekitarnya.
- Anguilla celebesensis* : Nama jenis ikan sidat tropis hidup diperairan Indonesia (laut Sulawesi dan sekitarnya).
- Anguilla bicolor pacifica* : Nama jenis ikan sidat tropis yang hidup diperairan Indonesia (laut Sulawesi dan sekitarnya).
- Anguilla bicolor bicolor* : Nama jenis ikan sidat tropis yang hidup diperairan Indonesia (Samudra Hindia, barat Sumatra, dan selatan Pulau Jawa).
- Anguilla borneensis* : Nama jenis ikan sidat tropis, endemik di perairan Kalimantan Timur dan sekitarnya. merupakan spesies yang paling dasar pada pohon filogenik atau dengan kata lain disebut sebagai asal-muasal/nenek moyang ikan sidat dunia.
- Anguilla interioris* : Nama jenis ikan sidat tropis yang hidup tersebar luas di perairan Indonesia (Papua, Laut Sulawesi, dan barat Sumatra).

<i>Anguilla marmorata</i>	: Nama jenis ikan sidat, hidup cosmopolitan dan tersebar luas baik di perairan tropis dan 4 musim, termasuk di perairan Indonesia.
<i>Anguilla nebulosa nebulosa</i>	: Nama jenis ikan sidat, hidup terbatas sebarannya di Samudra Hindia dan selatan Pulau Jawa.
Aristoteles	: Seorang pemikir Yunani kuno, yang juga bertanya di manakah ikan sidat memijah?, karena beliau tidak pernah menemukan ikan sidat dewasa yang membawa telur (matang gonad).
<i>Back calculation</i>	: Perhitungan mundur umur ikan sidat berdasarkan pembacaan lingkaran harian pada otolith sehingga lokasi pemijahan dapat diduga.
Belut Laut (<i>marine eels</i>)	: Seluruh ikan yang tergolong Ordo Anguilliformes kecuali ikan Sidat. Termasuk pula Ordo Saccopharyngiformes: (Cyematidae, Saccopharyngidae, Monognathidae, Eurypharyngidae). Seluruh larva pada kedua ordo tersebut memiliki larva berbentuk leptocephali.
BO	: Populasi ikan Sidat <i>A. marmorata</i> kalimantan Borneo.
Borneo	: Nama lain dari Pulau Kalimantan.
Celebes	: Nama lain dari Pulau Sulawesi.
<i>Continental shelf</i>	: Landas benua, bagian dari benua yang terendam di bawah laut dengan kedalaman yang relatif dangkal (< 200 meter).
Data Primer	: Data yang diperoleh langsung dari hasil pengukuran/observasi di lapangan.
Data Sekunder	: Data yang diperoleh secara tidak langsung dari objeknya, tetapi melalui sumber lain, baik lisan maupun tulis.

- Elver* : Fase lebih lanjut dari *glass eel* yang ditandai dengan adanya pigmentasi pada batang ekor.
- Endemik : Keadaan suatu spesies yang ditemukan hanya di satu lokasi geografis tertentu, seperti pulau, negara bagian, negara, atau zona tertentu lainnya; organisme yang asli di suatu tempat tidak endemik jika mereka juga ditemukan di tempat lain.
- Estuari : Badan air setengah tertutup di wilayah pesisir, dengan satu sungai atau lebih yang mengalir masuk ke dalamnya, serta terhubung bebas dengan laut terbuka. Kebanyakan muara sungai ke laut membentuk estuary.
- FI : Populasi ikan sidat *A. marmorata* Fiji.
- Filogenik : Sejarah evolusi kelompok suatu organisme, seperti spesies.
- Glass eel* : Salah satu fase dalam kehidupan ikan sidat yang bermetamorfosis setelah fase leptocephali dan mulai memiliki kemampuan berenang untuk melakukan migrasi ke perairan tawar.
- Ikan : Hewan bertulang belakang yang hidup di air, bernafas dengan insang, umumnya bersisik, bergerak dan menjaga keseimbangan tubuhnya menggunakan sirip.
- Ikan Sidat : Jenis ikan yang secara sistematik terkласifikasi sebagai berikut; Genus: *Anguilla*; Famili: *Anguillidae*; Ordo: *Anguilliformes*; Kelas: *Actinopterygii*; Filum: *Chordata*.
- Insang : Alat pernapasan pada ikan.
- Katadromus : Ikan yang pada fase dewasa hidup di perairan tawar, bermigrasi untuk memijah jauh ke perairan laut lepas untuk memijah dan juvenilnya (*glass eel*) kembali lagi ke perairan tawar.

KE	: Populasi ikan sidat <i>A. marmorata</i> pasifik utara (Kuchinoerabu).
Kehidupan awal ikan	: (<i>early life history</i>) Salah satu fase kehidupan ikan yang bermula dari telur, prelarva, dan larva.
Laut Sargasso	: Wilayah di Samudra Atlantik yang merupakan lokasi pemijahan dari ikan sidat Eropa (<i>A. Anguilla</i>) dan Amerika (<i>A. rostrata</i>).
Leptocephalus	: Larva, salah satu fase awal kehidupan ikan sidat. Leptocephalus berarti “kepala kecil dan ramping/langsing”, karena memiliki bentuk kepala yang kecil dan langsing dibandingkan dengan tubuh yang memanjang dan gepeng, berbentuk seperti daun, transparan dengan bahan semacam gelatin pada lapisan tipis jaringan ototnya.
Limnologi	: Ilmu yang mempelajari perairan tawar (danau dan perairan tawar lainnya).
MA	: Populasi ikan sidat <i>A. marmorata</i> Madagaskar.
<i>Mariana ridge</i>	: Punggung bukit bawah laut, di tengah Samudra Pasifik dengan sederatan gunung bawah laut dari utara ke selatan, yaitu Pathfinder, Arakane, dan Suruga.
Migrasi	: Perpindahan hewan secara musiman, seperti mamalia, burung, atau ikan, yang bergerak untuk mencari dan/atau meninggalkan daerah perkembangbiakan (pemijahan) suatu hewan.
Nokturnal	: Hewan yang aktif di malam hari.
OG	: Populasi ikan sidat <i>A. marmorata</i> Pasifik utara (Ogasawara).
OK	: Populasi ikan sidat <i>A. marmorata</i> Pasifik utara (Okinawa).

- Otolith : Disebut sebagai batu telinga (*ear stone*) merupakan struktur kalsium karbonat yang berada di bagian dari telinga bagian dalam ikan sehingga memungkinkan ikan dapat mendengar, merasakan getaran di dalam air dan berfungsi sebagai instrumen keseimbangan. Pada otolith terdapat lingkaran harian atau tahunan yang dapat digunakan untuk menduga umur ikan.
- Pelayaran ilmiah : Pelayaran yang umumnya panjang dari kapal riset untuk mengeksplorasi sesuatu di lautan/samudera.
- Pemijahan : Proses pengembangbiakan, yaitu proses pelepasan telur dan sperma untuk pembuahan.
- Perairan Tawar : Wilayah permukaan bumi yang tertutup oleh air tawar.
- Perairan Laut : Wilayah permukaan bumi yang tertutup oleh air asin.
- Reproduksi : Proses biologis di mana organisme individu baru atau keturunan dihasilkan dari induk atau orang tua mereka.
- Reptil : Kelas dari kelompok hewan bertulang belakang (vertebrata) tetrapoda yang tergolong dari kelas taksonomi Reptilia, seperti buaya, ular, kadal, dan kura-kura.
- Salinitas : Kadar garam di suatu perairan.
- Seser (*hand scoop net*) : Alat untuk menangkap/mengoleksi glass *eel/elver*.
- Silver eel* : Fase ikan sidat dewasa yang tumbuh hingga mencapai ukuran yang cukup ditandai dengan mata yang tumbuh membesar dan tubuhnya berubah warna menjadi coklat tua dengan kilau metalik. Kondisi ini merupakan metamorfosis kedua pada siklus kehidupan sidat, di mana mereka siap untuk melakukan perjalanan panjang menyeberang laut untuk melakukan pemijahan.

Sirip	: Alat gerak pada ikan.
Sisik	: Lapisan kulit yang keras berkeping-keping pada ikan, ular, kaki ayam, dan sebagainya.
SL	: Populasi ikan sidat A. marmorata Sulawesi.
SU	: Populasi ikan sidat A. marmorata Sumatra.
Suhu	: Derajat atau ukuran panas suatu benda, di mana dalam hal ini adalah perairan/laut.
TA	: Populasi ikan sidat A. marmorata Tahiti.
Teleostei	: Merupakan infrakelas terbesar di kelas Actinopterygii yang 96% keanggotaannya terdiri atas semua spesies ikan yang masih ada di dunia.
<i>Tethys hypotheses</i>	: Hipotesa tentang Samudra pada era Mesozoikum (era kedua hingga terakhir dalam sejarah geologi bumi, yang berlangsung dari sekitar 252 hingga 66 juta tahun yang lalu, yang terdiri atas periode Trias, Jurassic, dan Kretaceous) yang terletak antara benua Gondwana dan Laurasia.
Tropis	: Suatu daerah di permukaan bumi yang secara geografis berada di sekitar khatulistiwa, yaitu yang terletak di antara garis lintang 23.5 derajat LS dan 23.5 derajat
<i>Yellow eel</i>	: Fase <i>elver</i> ikan sidat yang setelah migrasi ke hulu dan mulai hidup menetap berubah menjadi <i>yellow eel</i> , di mana tubuhnya berubah warna menjadi kekuning-kuningan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alldredge, A. L., & Silver, M. W. (1988). Characteristics, dynamics and significance of marine snow. *Progr. Oceanogr.* 20, 41–82.
- Allen, G. R., (2002). Reef Fishes of the Togean and Banggai Islands, Sulawesi, Indonesia. In *RAP (Rapid Assessment Program) Bulletin of Biological Assessment 20* (Allen, G.R. and McKenna, S.A editors).
- Amir, F., Mallawa, A., Budimawan, & Tresnati, J., (2009). Dinamika populasi sidat tropis, *Anguilla marmorata*, di perairan Malunda, Sulawesi Barat. *Torani*, 19(2), 116–121.
- Aoyama, J., & Tsukamoto, K. (1997). Evolution of the freshwater eels. *Naturwissenschaften*, 84, 17–21.
- Aoyama, J., Mochioka, N., Otake, T., Ishikawa, S., Kawakami, Y., Catle, P. H. J., Nishida, M., & Tsukamoto, K. (1999). Distribution and dispersal of anguillid leptocephali in the western Pacific revealed by molecular analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 188, 193–200.
- Aoyama, J., Nishida, M., & Tsukamoto, K. (2001). Molecular phylogeny and evolution of the freshwater eels, genus *Anguilla*. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 20, 450–459.
- Aoyama, J., Wouthuyzen, S., Miller, M. J., Inagaki, T., & Tsukamoto, K. (2003). Short-distance spawning migration of tropical freshwater eels. *Biol. Bull.*, 204, 104–108.

- Aoyama, J., Wouthuyzen, S., Miller, M. J., Minegishi, Y., Kuroki, M., Suharti, S. R., Kawakami, T., Sumardiharga, O. K., & Tsukamoto, K. (2007). Distribution of leptocephali of the freshwater eels, genus *Anguilla*, in the waters off west Sumatra in the Indian Ocean, *Environ. Biol. Fish.*, 80, 445–452. DOI 10.1007/s10641-006-9143-z.
- Aoyama, J. (2009). Life history and evolution of migration in catadromous eels genus *Anguilla*. *Aqua-BioSci, Monogr., (ABSM)*, 2(1), 1–42. doi:10.5047/absm. 2009.00201.0001
- Aoyama, J., Yoshinaga, T., Shinoda, A., Shirotori, F., Yambot, A. V., & Sugeha H. Y. (2014). Seasonal changes in species composition of glass eels of the genus *Anguilla* (Teleostei: Anguillidae) recruiting to the Cagayan River, Luzon Island, the Philippines. *Pacific Science*, vol. 69, no. 2.
- Aoyama, J., Wouthuyzen, S., Miller, M. J., Sugeha, H., Kuroki, M., Watanabe, S., Syahailatua, A., Tantu, F. Y., Hagihara, S., Triyanto, Otake, T., & Tsukamoto, K. (2018). Reproductive ecology and biodiversity of freshwater eels around Sulawesi Island Indonesia. *Zoological Studies*, 57, 30 (11p). doi:10.6620/ZS.2018.57–30.
- Arai, T., Otake, T., & Tsukamoto, K. (1997). Drastic changes in otolith microstructure and microchemistry accompanying the onset of metamorphosis in the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 161, 17–22.
- Arai, T., Limbong, D., Otake, T., & Tsukamoto, K. (1999). Metamorphosis and inshore migration of tropical eels *Anguilla* spp, in the Indo-Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 182, 283–293.
- Arai, T., Otake, T., Limbong, D., & Tsukamoto, K. (1999). Early life history and recruitment of the tropical eel *Anguilla bicolor pacifica*, as revealed by otolith microstructure and microchemistry. *Marine Biology*, 133, 319–326.
- Arai, T., Limbong, D., Otake, T., & Tsukamoto, K. (2001). Recruitment mechanisms of tropical eels *Anguilla* spp, and implications for the evolution of oceanic migration in the genus *Anguilla*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 216, 253–264.
- Arai, T., Miller, M. J., & Tsukamoto, K. (2003). Larval duration of the tropical eel *Anguilla celebesensis* from Indonesian and Philippine coasts, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 251, 255–261.

- Arai, T. (2014a). Evidence of local short-distance spawning migration of tropical freshwater eels, and implications for the evolution of freshwater eel migration. *Ecology and Evolution*, 4(19), 3812–3819. doi: 10.1002/ece3.1245.
- Arai, T. (2014b). Do we protect freshwater eels or do we drive them to extinction? *SpringerPlus*, 3, 534, <http://www.springerplus.com/content/3/1/534>
- Arai, T., & Kadir, S. R. A. (2017). Opportunistic spawning of tropical anguillid eels *Anguilla bicolor bicolor* and *A. bengalensis bengalensis*. *Scientific Reports*, 7, 41649. DOI: 10.1038/srep41649
- Arai, T., & Chino, N. (2019). Variations in the migratory history of the tropical catadromous eels *Anguilla bicolor bicolor* and *A. bicolor pacifica* in Southeast Asian waters. *J. Fish Biol.*, 1–7. <https://doi.org/10.1111/jfb.13952>
- Bai B-C, Katya, K., & Kim D-J. (2012). Japanese eel aquaculture in Korea. *Global Aquaculture Advocate*. Diakses pada 12 September 2023 dari <https://www.globalseafood.org/advocate/japanese-eel-aquaculture-in-korea/>
- Bataroga, N. E., & Onibaba, C. (2001). Inter-annual variation of the inshore migration of tropical glass eels at the mouth of Poigar River, Sulawesi Island, Indonesia. *Proc Int Sympos Advances in eel biology*, The University of Tokyo, Japan, Sept 28–30, 2001, 128–130.
- Böhlke, E. B. (Ed.). (1989). *Fishes of the Western North Atlantic. Leptocephali*. Part 9, 2, 657–1055. Sears Foundation for Marine Research.
- Budiharjo, A. (2010). Komposisi jenis larva sidat (*Anguilla* spp.) yang bermigrasi ke Muara Sungai Progo, Yogyakarta. *Berk. Penel. Hayati*, 15, 121–126.
- Budimawan, B., & Lecomte-Finiger, R. (2007). Early life history of the tropical eels *Anguilla bicolor bicolor* from Cimandiri estuary, West Java (Indonesia), as revealed by otolith microstructures. *Vie et Milieu/Life & Environment, Observatoire Océanologique - Laboratoire Arago*, 229–234
- Castruccio, F. S., Curchitser, E. N., & Kleypas, J. A. (2013). A model for quantifying oceanic transport and mesoscale variability in the Coral Triangle of the Indonesian/ Philippines Archipelago. *J. Geophys. Res. Oceans*, 118, 6123–614.

- CITES. (2015). Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Appendices I, II and III (online), Geneva, Switzerland. <https://www.cites.org/eng/app/appendices.php>.
- Crook, V., & Nakamura, M. (2013). Glass eels: Assessing supply chain and market impacts of a CITES listing on *Anguilla* species. *TRAFFIC Bulletin*, 25(1), 24–30.
- Dekker, W. (2003). Québec Declaration of Concern: the worldwide decline of eel resources necessitates immediate action. *Fisheries*, 28, 28–30.
- Dinas Kelautan dan Perikanan. (2019). Rekap data sidat Kabupaten Sukabumi 2018. Dinas Kelautan dan Perikanan Palabuhanratu Sukabumi.
- Ege, V. (1939). A revision of the genus *Anguilla* Shaw. *Dana Rep.*, 16, 8256.
- Eschmeyer, W. N., & Fong, J. D. (2016). Species by family/subfamily in the catalog of fishes. California Academy of Sciences, Institute for Biodiversity Science and Sustainability. Diakses pada tanggal 19 Feb 2021, <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp>.
- ExportHub. (2022). Ikan sidat, sumber nutrisi yang potensi ekspornya kuat. Diakses pada tanggal 30 Oktober 2023, dari <https://exporthub.id/en/ikan-sidat-sumber-nutrisi-yang-potensi-ekspornya-kuat/>
- Fahmi, M. R., Solihin, D. D., Soewardi, K., Pouyaud, L., Shao, Z., & Berrebi, P. (2013). A novel semi-multiplex PCR assay for identification of tropical eels of genus *Anguilla* in Indonesian waters. *Fish Sci.*, 79, 185–191. DOI 10.1007/s12562-012-0587-0.
- Fahmi, M. R. (2015a). Short communication: Conservation of genetic tropical eel in Indonesian waters based on population genetic study. *Prosiding Seminar Nasional Masy. Biodiv. Indonesia*, 1(1), 38–43.
- Fahmi, M. R. (2015b). Konservasi Genetik Ikan Sidat Tropis (*Anguilla* spp) di Perairan Indonesia. *J. Lit. Perikan. Ind.*, 21(1), 45–54.
- FAO. (2015). Fishery and aquaculture statistics (global aquaculture production 1950–2013) (fishstatj). In *FAO Fisheries and Aquaculture Department (online)*. (Updated March 2015). <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/FishStatJ/en>

- FAO. (2005–2023). Cultured aquatic species information programme. *anguilla japonica*. cultured aquatic species information programme. Text by Xie, J. In *FAO Fisheries and Aquaculture Division (online)*. Rome. Diakses pada 12 September 2023.
- Fenner, D. (2002). Reef corals of the Togean and Banggai Islands, Sulawesi, Indonesia. In RAP (Rapid Assessment Program). *Bulletin of Biological Assessment* 20 (Allen, G.R. and McKenna, S.A editors),
- Fishbase. (2023, May 27). *Anguilla marmorata* Quoy & Gaimard, 1824, Giant mottled eel. <https://fishbase.se/summary/Anguilla-marmorata.html>
- Giovanni NASA. (2001, 2002). Retrieved from https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=TmAvMp&starttime=&endtime=&data=GPM_3IMERGDF_07_precipitation&dataKeyword=Precipitation
- Gollock, M., & Walker, A. (2018). Research, management and conservation of anguillid eels: A global perspective. *Fish Manag Ecol*, 26, 1–5. DOI: 10.1111/fme.12332
- Gollock, M., Shiraishi, H., Carrizo, S., Crook, V., & Levy, E. (2019). *Status of non-CITES listed anguillid eels (Ac30, Doc, 18,1 anaex2)*. Delivered by the Zoological Society of London.
- Green, A. L., & Mous, P. J. (2008). *Delineating the Coral Triangle, its ecoregions, and functional seascapes*. Version, 5, 44. TNC Coral Triangle Program Report No.1/08.
- Hakim, A. A., Kamal, M. M., Butet, N. A., & Affandi, R. (2015). Komposisi spesies ikan sidat (*Anguilla* spp.) di delapan sungai yang bermuara ke Teluk Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(2), 573–585.
- Hakim, A. A., Kamal, M. M., Butet, N. A., & Affandi, R. (2019a). Determination of fisheries refugia area for freshwater eels (*Anguilla* spp.) in Palabuhanratu bay, West Java, Indonesia. *Earth and Environmental Science*. doi:10.1088/1755-1315/404/1/012014
- Hakim, A. A., Kamal, M. M., Butet, N. A., & Affandi, R. (2019b). Analisis orde sungai dan distribusi stadia sebagai dasar penentuan daerah perlindungan ikan sidat (*Anguilla* spp.) di DAS Cimandiri, Jawa Barat. *Jurnal Pengelolaan Perikanan Tropis*, 3(1), 1–9.

- Han Y-S, Yambot, A. V., Zhang, H., & Hung C-L. (2012). Sympatric spawning but allopatric distribution of *Anguilla japonica* and *Anguilla marmorata*: Temperature and oceanic current-dependent sieving. *PLoS ONE*, 7(6), e37484. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037484>
- Haryono, Subagja, J., & Wahyudewantoro, G. (2009). Kelimpahan dan habitat benih ikan sidat di muara Sungai Cimandiri, Pelabuhan Ratu Sukabumi. *Prosiding Seminar Nasional Ikan*, VI, 251–259.
- Haryono, & Wahyudewantoro, G. (2016). Pemetaan habitat ruaya benih ikan sidat (*Anguilla bicolor*) dan potensinya di pantai selatan Jawa. *Omni-Akuatika*, 12(3), 47–58.
- Honda, S., Muthmainnah, D., Suryati, N. K., Oktaviani, D., Siriraksophon, S., Amornpiyakrit, T., & Prisantoso, B. I. (2016). Current status and problems of the catch statistics on Anguillid eel fishery in Indonesia. *Mar. Res. Indonesia*, 41(1), 1–13.
- Indrawati, A., Anggoro, S., & Suradi, W. S. (2016). Pemetaan potensi ikan sidat (*Anguilla bicolor bicolor*) pada perairan sungai di Kabupaten Purworejo. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Ke-V Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan* (669–679).
- Ishikawa, S., Tsukamoto, K., & Nishida, M. (2004). Genetic evidence for multiple geographic populations of the giant mottled eel *Anguilla marmorata* in the Pacific and Indian oceans. *Ichthyol Res.*, 51, 343–353. DOI 10.1007/s10228-004-0241-7.
- Jacoby, D. & Gollock, M. (2014a). *Anguilla japonica*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T166184A1117791. Diakses pada 25 Januari 2018 dari <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T166184A1117791.en>. Jacoby, D. & Gollock, M. (2014b). *Anguilla anguilla*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T60344A45833138. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T60344A45833138.en>.
- Jacoby, D. M. P., Casselman, J., DeLucia, M., Hammerson, G. A., & Gollock, M. (2014). *Anguilla rostrata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T191108A72965914. Diakses pada 25 Januari 2018 dari <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-3.RLTS.T191108A72965914.en>.

- Jacoby, D., Harrison, I. J., & Gollock, M. (2014). *Anguilla bicolor*, The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T166894A67015710. Diakses pada 25 Januari 2018 dari <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T166894A67015710.en>
- Jespersen, P. (1942). Indo-Pacific leptocephali of the Genus Anguilla: Systematic and biological studies. *Dana Report*, No. 22. Carlsberg Foundation, Copenhagen.
- Jacoby, D. M. P., Casselman, J. M., Crook, V., DeLucia, M-B., Ahn, H., Kaifug, K., Kurwie, T., Sasal, P., Silfvergrip, A. M. C., Smithk, K. G., Uchida, K., Walker, A. M., & Gollock, M. J. (2015). Synergistic patterns of threat and the challenges facing global anguillid eel conservation. *Global Ecology and Conservation*, 4, 321–333. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2015.07.009>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan RI. (2009). Peraturan menteri kelautan dan perikanan Republik Indonesia nomor Per.18/Men/2009 tentang larangan pengeluaran benih sidat (*Anguilla* spp.) dari wilayah Negara Republik Indonesia ke Luar Wilayah Negara Republik Indonesia.
- Kuroki, M., Aoyama, J., Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Arai, T., & Tsukamoto, K. (2006). Contrasting patterns of growth and migration of tropical anguillid leptocephali in the eastern Pacific and Indonesian Seas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 309, 233–246.
- Kuroki, M., Aoyama, J., Wouthuyzen, S., Sumadhiharga, O. K., Sumadhiharga, Miller, M. J., Minagawa, G., & Tsukamoto, K. (2006). Age and growth of *Anguilla interioris* leptocephali collected in Indonesian waters. *Coastal Marine Science*, 30(2), 464–468.
- Kuroki, M., Aoyama, J., Wouthuyzen, S., Sumadhiharga, O. K., Miller, M. J., & Tsukamoto, K. (2007). Age and growth of *Anguilla bicolor* bicolor leptocephali in the eastern Indian Ocean. *Journal of Fish Biology*, 70, 538–550. doi:10.1111/j.1095-8649.2007.01324.x.
- Kuroki, M., Fukuda, N., Yamada, Y., Okamura, A., & Tsukamoto, K. (2010). Morphological changes and otolith growth during metamorphosis of Japanese eel leptocephali in captivity. *Coastal Marine Science*, 34(1), 31–38.
- Kuroki, M., & Tsukamoto, K. (2012). *Eels on the move: Mysterious creatures over millions of years*. Tokai University Press.

- Kuroki, M., Miller, M. J., Aoyama, J., Watanabe, S., Yoshinaga, T., & Tsukamoto, K. (2012). Offshore spawning for the newly discovered Anguillid species, *Anguilla luzonensis* (Teleostei: Anguillidae) in the western North Pacific. *Pacific Science*, 66(4), 497–507. <https://doi.org/10.2984/66.4.7>
- Kusuma, N. P. D., Yuli, H. E., & Bakar, S. A. (2018). Type composition of eel seed (*Anguila* spp) in Dumoga Creek, Bolaang Mongondow. *RJOAS*, 8(80), 353–360. DOI <https://doi.org/10.18551/rjoas.2018-08.48>
- Leander, N. J., Shen, K-N., Chen, R-T., & Tzeng, W-N. (2012). Species composition and seasonal occurrence of recruiting glass eels (*Anguilla* spp,) in the Hsiukuluan River, Eastern Taiwan. *Zoological Studies*, 51(1), 59–71.
- Limbong, D., Melumpi, M. H., Mberato, Y., & Dosi, F. (2012). Biostatistik sidat perak Danau Poso. *Jurnal Riset Unkrit*, 1(1), 1–9.
- Lin, S-H., Chang, C-W., Iizuka, Y., & Tzeng, W-N. (2007). Salinities, not diets, affect strontium/calcium ratios in otoliths of *Anguilla japonica*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 341, 254–263. doi:10.1016/j.jembe.2006.10.025.
- Lukas, G., Firing, E., Hacker, P., Richardson, P. L., Collins, C. A., Fine, R., & Gammon, R. (1991). Observations of the mindanao current during the western equatorial pacific ocean circulation study. *J. Geophys. Res*, 96(C4), 7089–7104.
- Lumi, K. R., Watung, V. N. R., & Bataragoa, N. E. (2019). Ukuran dan kelimpahan glass eel *Anguilla* spp di muaran Sungai Poigar. *Jurnal Ilmiah Platax*, 7(1), 212–219.
- Miller, M. J., Mochioka, N., Otake, T., & Tsukamoto, K. (2002). Evidence of a spawning area of *Anguilla marmorata* in the western North Pacific. *Marine Biology*, 140: 809–814. DOI 10.1007/s00227-001-0754-9
- Miller, M. J., Otake, T., Minagawa, G., Inagaki, T. & Tsukamoto, K. (2002). Distribution of leptocephali in the Kuroshio Current and East China Sea. *Mar Ecol Prog Ser*. 235, 279–288.
- Miller, M. J., & Tsukamoto, K. (2004). *An introduction to leptocephali, biology and identification*. Ocean Research Institute, The University of Tokyo.

- Miller, M. J., & Tsukamoto, K. (2006). Studies on eels and leptocephali in Southeast Asia: A new research Frontier. *Coastal Marine Science*, 30(1), 283–292.
- Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Minagawa, G., Aoyama J., & Tsukamoto, K. (2006). Distribution and ecology of leptocephali of the congrid eel, Ariosoma Scheelei, around Sulawesi Island, Indonesia. *Marine Biology*, 148, 1101–1111. DOI 10.1007/s00227-005-0144-9.
- Miller, M. J. (2009). Ecology of Anguilliform Leptocephali: Remarkable Transparent Fish Larvae of the Ocean Surface Layer. *Aqua-Bio Science Monographs*, 2(4).
- Miller, M. J., Kimura, S., Friedland, K. D., Knights, B., Kim, H., Jellyman, D. J., & Tsukamoto, K. (2009). Review of ocean-atmospheric factors in the Atlantic and Pacific Oceans influencing spawning and recruitment of Anguillid eels. *Am. Fish. Soc. Symp.* 69, 231–249.
- Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Ma, T., Aoyama, J., Suharti, S. R., Minegishi, Y., & Tsukamoto, K. (2011). Distribution, diversity, and abundance of garden eel larvae off West Sumatra, Indonesia. *Zoological Studies*, 50(2), 177–191.
- Miller M. J., Chikaraishi, Y., Ogawa N. O., Yamada, Y., Tsukamoto, K., & Ohkouchi, N. (2013). A low trophic position of Japanese eel larvae indicates feeding on marine snow. *Biol Lett*, 9, 20120826. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2012.0826>
- Miller M. J., Wouthuyzen S., Sugeha H. Y., Kuroki M., Tawa, A., Watanabe S., Syahailatua A., Suharti S., Tantu F. Y., Otake T., Tsukamoto K., & Aoyama J. (2016). High biodiversity of leptocephali in Tomini Bay Indonesia in the center of the coral triangle. *Regional Studies in Marine Science*, 8(2016), 99–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2016.09.006>
- Miller, M. J., & Tsukamoto, K. (2017). The ecology of oceanic dispersal and survival of anguillid leptocephali. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 74, 958–971. dx.doi.org/10.1139/cjfas-2016-0281
- Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Feunteun, E., Aoyama, J., Watanabe, S., Syahailatua, A., Kuroki, M., Robineth, T., Hagiharaa, S., Otake, T., & Tsukamoto, K. (2019). Contrasting biodiversity of eel larvae across the central Indian Ocean subtropical gyre. *Deep-Sea Research Part II*, 161 (2019), 120–131, <https://doi.org/10.1016/j.dsro.2018.02.012>

- Miller, M. J., Hanel, R., Feunteum, E., & Tsukamoto, K. (2020). The food source of Sargasso Sea leptocephali. *Mar. Biol.*, 167, 57. <https://doi.org/10.1007/s00227-020-3662-6>
- Miller, M. J., Wouthuyzen, S., Aoyama, J., Sugeha, H. Y., Watanabe, S., Kuroki, M., Syahailatua, A., Suharti, S., Hagihara, S., Tantu, F. Y., Trianto, Otake, T., & Tsukamoto, K. (2021). Will the high biodiversity of eels in the coral triangle be affected by climate change? *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 789. doi:10.1088/1755-1315/789/1/012011.
- Minagawa, G., Miller, M. J., Wouthuyzen, S., & Tsukamoto, K. (2004). Contrasting assemblages of leptocephali in the western Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 271, 245–259.
- Minegishi Y., Aoyama J., & Tsukamoto K. (2008). Multiple population structure of the giant mottled eel *Anguilla marmorata*. *Mol. Ecol.* 7, 3109–3122.
- Minegishi Y., Aoyama J., Inoue J. G., Miya, M., Nishida, M., & Tsukamoto K. (2005). Molecular phylogeny and evolution of the freshwater eel genus *Anguilla* based on the whole mitochondrial genome sequence. *Mol. Phylogen. Evol.*, 17, 3109–3122.
- Minegishi, Y., Aoyama, J., Inoue, J. G., Azanza, R. V., & Tsukamoto, K. (2009). Inter-specific and subspecific genetic divergences of freshwater eels, genus *Anguilla* including a recently described species, *A. luzonensis*, based on whole mitochondrial genome sequences. *Coastal Marine Science*, 33, 1–14.
- Monticini, P. (2014). Eel (*Anguilla* spp.): Production and trade according to Washington Convention Legislation. *GLOBEFISH Research Programme*, 114, 78.
- Muchlisin, Z. A., Maulidin, M., Muhammadar, A. A., & Putra. F. (2016). Inshore migration of tropical glass eels (*Anguilla* spp.) in Lambeso River, Aceh Jaya District, Aceh Province, Indonesia. *Aceh Journal of Animal Science*, 1(2), 58–61 DOI: 10.13170/ajas.1.2.5304.
- Muthmainnah, D., Suryati, N. K., Pamungkas, Y. P., & Mulyani, Y. S. (2020). Western region of Indonesia: The nucleus of anguillid eel fisheries and trade. *Fish People*, 18(2), 37–42.

- Ndobe, S. (2010). Strutur ukuran glass eel ikan Sidat (*Anguilla marmorata*) di muara Sungai Poso, Kota Palu, Sulawesi Tengah. *Media Litbang Sulteng III*, 2, 144–150.
- Ndobe, S., Serdiata, N., Moore, A., & Wahyudi, D. (2012). Identifikasi jenis glass eel ikan Sidat (*Anguilla sp.*) yang beruaya anadromous di Sungai Palu. *Prosiding seminar Nasional XXI*, PBI (44–50).
- Nieves, P. M., & Nolial, J. S. C. (2019). Post-harvest handling practices for glass eel along rivers and tributaries in Lagonoy Gulf, Philippines. *AACL Bioflux*, 12(5). <http://www.bioflux.com.ro/aacl>
- Nijman, V., & Siriwat, P. (2020). Chapter 3: Distribution and conservation status of tropical eels. in Book: *Eels Biology, Monitoring, Management, Culture and Exploitation*. https://www.researchgate.net/publication/339876109_Distribution_and_conservation_status_of_tropical_eels
- Otake, T., Ishii, T., Nakahara, M., & Nakamura, R. (1994). Drastic changes in otolith Strontium/Calcium ratios in leptocephali and glass eel, of Japanese eel, *Anguilla japonica*, *Mar Ecol Prog Ser*, 112, 189–193.
- Pangerang, U. K., La Sara, Rianse, U., & Nur, A. I. (2018). Population dynamics of the eel (*Anguilla marmorata*) in Southeast Sulawesi waters, Indonesia. *AACL Bioflux*, 11, Issue 2. <http://www.bioflux.com.ro/aacl>
- Pangerang, U. K., Lawelle, S. A., Fekri, L., Idris, M., & Marthen, J. I. (2021). Diversity of eel (glass eel) based on morphometric measurements in the Konaweha River, Southeast Sulawesi. *Advances in Biological Sciences Research*, 20, 495–501.
- Monticini, P. (2014). Eel (*Anguilla Spp.*): Production and trade according to Washington convention legislation. *GLOBEFISH Research Programme*, Vol. 114, Rome, FAO 2014.
- Poulsen, A. F., & Valbo-Jorgensen, J. (2000). Fish migration and spawning habits in the Mekong mainstream: A survey using local knowledge. *AMFC Technical Report*. Vientiane: Mekong River Commission.
- Pous, S., Feunteun, E., & Ellien, C. (2010). Investigation of tropical eel spawning area in the South-Western Indian Ocean: Influence of the oceanic circulation. *Progress in Oceanography*, 86(3–4), 396–41. <http://www.Sciedirect.com/science/article/pii/S0079661110000947>

- Rahmi, I., Kamal, M. M., & Setiawan, Y. (2021). Fishermen perception of the sustainable utilization of freshwater glass eel (*Anguilla* spp.) on river estuaries in Sukabumi Regency. *OP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 744(2021), 012061. IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/744/1/012061
- Rainboth, W. J. (1996). *Fishes of the cambodian mekong*. Food & Agriculture Org. <https://www.fishbase.se/photos/PicturesSummary.php?resultPage=6&ID=1275&what=species>
- Reveillac, E., Gagnaire, P. A., Lecomte-Finiger, R., Berrebi, P., Robinet, T., Valade, P., & Feunteun, E. (2009). Development of a key using morphological characters to distinguish south-western Indian Ocean anguillid glass eels. *Journal of Fish Biology*, 74, 2171–2177. doi:10.1111/j.1095-8649.2009.02284.x
- von Rintelen, K., Arida, E., & Häuser C. (2017). A review of biodiversity-related issues and challenges in megadiverse Indonesia and other Southeast Asian countries. *Research Ideas and Outcomes* 3: e20860. <https://doi.org/10.3897/rio.3.e20860>
- Robinet, T., Lecomte-Finiger, R., Escoubeyrou, K., & Feunteun, E. (2003). Tropical eels *Anguilla* spp. recruiting to Réunion Island in the Indian Ocean: taxonomy, patterns of recruitment and early life histories. *Mar Ecol Prog Ser*. 259, 263–272.
- Sceaphierde, C. (2020). Unagi vs anago – All you need to know about Japan’s gourmet eel dishes. *Japantoday*. Diakses pada 12 September 2023 dari <https://japantoday.com/category/features/food/unagi-vs-anago-%E2%80%93-all-you-need-to-know-about-Japan%E2%80%99s-gourmet-eel-dishes#:~:text=First%20off%2C%20what's%20in%20a,spread%20across%20the%20Northwest%20Pacific>
- Serdiati, N., Ndobe, S., Moore, A., & Wahyudi, D. (2013). Spesies composition of glass eels (*Anguilla* spp.) recruiting to the Palu River, Central Sulawesi. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 13(2), 109–123.
- Setiawan, I. E., Mochioka, N., Amrullah, H., & Nakazono, A. (2001). Inshore migration and spawning season of the tropical eels recruiting to the Cimandiri River Estuary, Java Island, Indian Ocean. *Proceeding Int Sympos Advances in eel biology*, The University of Tokyo, Japan, Sept 28–30, 2001.

- Shinoda, A., Yoshinaga, T., Aoyama J., Tsuchida, G., Nakazato, S., Ishikawa, M., Matsugamoto, Y., Watanabe, S., Azanza, R. V., & Tsukamoto, K. (2015). Early life history of the Luzon mottled eel *Anguilla luzonensis* recruited to the Cagayan River, Luzon Island, the Philippines. *Coastal marine science*, 38(1), 21–26.
- Shirotori, F., Ishikawa, T., Tanaka, C., Aoyama, J., Shinoda, A., Yambot, A. V., & Yoshinaga, T. (2016). Species composition of anguillid glass eels recruited at southern Mindanao Island, the Philippines. *Fish Sci*, 82, 915–922. DOI 10.1007/s12562-016-1030-8
- Silfvergrip, A. M. C. (2009). CITES Identification Guide to the Freshwater eels (Anguillidae) with Focus on the European eel *Anguilla anguilla*, The Swedish Environmental Protection Agency.
- Sugeha, H. Y., Arai, T., Miller, M. J., Limbong, D., & Tsukamoto, K. (2001). Inshore migration of the tropical eels *Anguilla* spp, recruiting to the Poigar River estuary on north Sulawesi Island. *Mar Ecol Prog Ser*, 221, 233–243.
- Sugeha, H. Y., Watanabe, S., Arai, T., & Aoyama, J. (2001). Inshore migration glass eels (*Anguilla* spp) to the Poso River, Central Sulawesi, Indonesia. *Proceeding Int Sypos Advances in eel biology*, The University of Tokyo, Japan, Sept 28–30 (122–124).
- Sugeha, H. Y. (2003). *Life history of tropical eel Anguilla marmorata in the Indonesian waters* [Doctoral dissertation]. University of Tokyo.
- Sugeha, H. Y., Aoyama, J., & Tsukamoto, K. (2006). Downstream migration of tropical anguillid silver eel from Lake Poso, central Sulawesi Island, Indonesia. *Limnotec XIII*, 18–25.
- Sugeha, H. Y., Suharti, S. R., Wouthuyzen, S., & Sumadhiharga, O. K. (2008). Biodiversity, distribution and abundance of the tropical Anguillids eel in the Indonesian Waters. *Mar. Res. Indonesia*, 33(2), 129–137.
- Sugeha, H. Y., & Suharti, S. R. (2008). Discrimination and distribution of two tropical short-finned eels (*Anguilla bicolor bicolor* and *Anguilla bicolor pacifica*) in the Indonesian Waters. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory, Special Publication Series* 2009, 9, 1–14.

- Sugeha, H. Y., Bataroga, N. E., & Wouthuyzen, S. (2008). Inshore migration of the tropical Anguillid glass eels recruited in the estuary of Dumoga River (North Sulawesi, Indonesia). *Prosiding Seminar Nasional Ikan, Bogor*, 3 Juni 2008.
- Sugeha, H. Y. (2010). Recruitment and mechanism of the tropical glass eels genus *Anguilla* in the Poso Estuary, Central Sulawesi Island, Indonesia. *Jurnal Perikanan (J. Fish. Sci.) XII*, 2, 86–100.
- Sugeha, H. Y., & Genisa, M. U. (2015). External and internal morphological characteristics of glass eels *Anguilla bicolor bicolor* from the Cibaliung River estuary, Banten Indonesia. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 41(1), 37–48.
- Syahailatua, A. (2023). *Manfaat riset iktioplankton dalam mendukung pengelolaan Sumber daya ikan di Indonesia*. Penerbit BRIN.
- Syahailatua, A., Sugeha, H. Y., Taufik, M., Simanjuntak, C. P. H., Wouthuyzen, S., Miller, M. J., & Aoyama, J. (2023). A Century of Ichthyoplankton Research in Indonesian waters: lessons from the past, challenges for the future. *Rev Fish Biol Fisheries* <https://doi.org/10.1007/s11160-023-09802-6>
- Tabeta, O., Tanimoto, T., Takai, T., Matsui, I., & Imamura, T. (1976). Seasonal occurrence of anguillid elvers in Cagayan River, Luzon Island, the Philippines. *Bull Jpn Soc Sci. Fish*, 42, 421–426.
- Tatang, S. (2013, November 23) Penyediaan benih ikan sidat. <https://suksesmina.wordpress.com/2013/11/23/benih-dan-pakan-ikan-sidat/>
- Triyanto, Affandi, R., Kamal, M. M., & Haryani G. S. (2020a). Population dynamic and exploitation rate of glass eels (*Anguilla* spp.) in Cimandiri River estuary, West Java, Indonesia. *AACL Bioflux*, 13(2), 529–538. <http://www.bioflux.com.ro/aacl>.
- Triyanto, Affandi, R., Kamal, M. M., & Haryani, G. S. (2020b). Stock assessment and potency of sustainable yield of glass eel (*Anguilla* spp.) in Cimandiri River Estuary, West Java. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 535(2020), 012049. doi:10.1088/1755-1315/535/1/012049.
- Triyanto, Haryani, G. S., Kamal, M. M., Ridwansyah, I., Ali, F., Rahmadya, A., Anwar, M., & Nafisyah, E. (2021). Recruitment and abundance estimation of glass eel genus *Anguilla* in three large estuaries on the coast of Sukabumi West Java. *E3S Web of Conferences*, 322, 01037. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132201037>

- Tsukamoto, K., & Aoyama, J. (1998). Evolution of freshwater eels of genus *Anguilla*: A probable scenario, *Environmental Biology of Fishes*, 52, 139–148.
- Tsukamoto, K. (1999). The eel: Mistery of the great migration. *Keynote speech in the International Ocean Symposium (IOS)*, July 28 1999.
- Tsukamoto, K., Aoyama, J., & Miller, M. J. (2002). Migration, speciation, and the evolution of diadromy in anguillid eels. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59, 1989–1998. DOI:10.1139/ F02-165
- Tsukamoto, K., Chow, S., Otake, T., Kurogi, H., Mochioka, N., Miller, M. J., Aoyama, J., Kimura, S., Watanabe, S., Yoshinaga, T., Shinoda, A., Kuroki, M., Oya, M., Watanabe, T., Hata, K., Ijiri, S., Kazeto, Y., Nomura, K., & Tanaka, H. (2011). Oceanic spawning ecology of freshwater eels in the western North Pacific. *Nature Communications*, 2, 179. DOI: 10.1038/ncomms1174.
- Tsukamoto, K., Kuroki, M., & Watanabe, S. (2020). Common names for all spesies and subspecies of the genus *Anguilla*. *Environ. Biol. Fish*, 103, 985–991. <https://doi.org/10.1007/s10641-020-00988-3>
- Tsukamoto, K., & Miller, J. M. (2020). The mysterious feeding ecology of leptocephali: a unique strategy of consuming marine snow materials. *Fisheries Sci.*, 87, 11–29. <https://doi.org/10.1007/s12562-020-01477-3>
- UNEP (2005). Reversing environmental degradation trends in the South China Sea and Gulf of Thailand. *Report of the Fifth Meeting of the Regional Working Group on Fisheries* (Nairobi: United Nation Environment Programme) UNEP/GEF/SCS/RWG-F.5/3.
- Veron, J. E. N., Devantier, L. M., Turak, E., Green, A. L., Kininmonth, S., Stafford-Smith, M., & Peterson, N. (2009). Delineating the coral triangle. *Galaxea. J. Coral Reef Stud.*, 11, 91–100.
- Wahyu, R. I., Kamal, M. M., Hermawati, S., Fachri, F. R., Iqbal, M., & Afifah, N. (2021). Catch composition and bycatch from glass eel fisheries in Cimandiri River at Sukabumi, West Java. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 744, 012094. doi:10.1088/1755-1315/744/1/012094
- Wallace, C. C. (1999). The Togian Islands: coral reefs with a unique coral fauna and hypothesized Tethys Sea signature. *Coral Reefs* 18, 162.

- Watanabe, S. (2003). Taxonomy of the freshwater eels, genus *Anguilla* Schrank, 1798. In Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K. (Eds.), *Eel Biology*, 318.
- Watanabe, S., Aoyama, J., & Tsukamoto, K. (2009). A new species of freshwater eel *Anguilla Luzonensis* (Teleostei: Anguillidae) from Luzon Island of the Philippines. *Fisheries Science*, 75, 387–392. <https://doi.org/10.1007/s12562-009-0087-z>
- Wells, F. E. (2002). Molluscs of the Gulf of Tomini, Sulawesi, Indonesia. In RAP (Rapid Assessment Program) *Bulletin of Biological Assessment* 20 (Allen, G. R. & McKenna, S. A editors), 38–43.
- Wibowo, A., Hubert, N., Dahruddin, H., Steinke, D., Suhaimi, R. A., Samuel, Atminarso, D., Anggraeni, D. P., Trismawanti, I., Baumgartner, L. J., & Ning, N. (2021). Assessing temporal patterns and species composition of glass eel (*Anguilla* spp.) cohorts in Sumatra and Java using DNA barcodes. *Diversity*, 13, 19. <https://doi.org/10.3390/d13050193>
- Wouthuyzen, S. (2002). *Penelitian biodiversitas ikan sidat fase leptocephali di perairan Kalimantan Timur dan Selat Makassar* [Laporan akhir tidak diterbitkan]. P2O-LIPI.
- Wouthuyzen, S., Miller, M. J., Aoyama, J., Minagawa, G., Sugeha, H. Y., Suharti, S. R., Inagaki, T., & Tsukamoto, K. (2005). Biodiversity of anguilliform leptocephali in the central Indonesian seas. *Bulletin of Marine Science*, 77(2), 209–223.
- Wouthuyzen, S., Aoyama, J., Sugeha, H. Y., Miller, M. J., Kuroki, M., Minegishi, Y., Suharti, S. R., & Tsukamoto, K. (2009). Seasonality of spawning by tropical anguillid eels around Sulawesi Island, Indonesia. *Naturwissenschaften*, 96, 153–158. DOI 10.1007/s00114-008-0457-x.
- Wouthuyzen, S. (2020). *Lokasi potensial pemijahan ikan sidat tropis Indonesia*. [Laporan tidak diterbitkan]. Laporan diajukan ke WWF-Indonesia.
- Yokouchi, K., Fukuda, N., Shirai, K., Aoyama, J., Daverat, F., & Tsukamoto, K. (2011). Time lag of the response on the otolith strontium/calcium ratios of the Japanese eel, *Anguilla japonica* to changes in strontium/calcium ratios of ambient water. *Environ Biol Fish*, 92, 469–478. DOI 10.1007/s10641-011-9864-5

TENTANG PENULIS



Sam Wouthuyzen

Penulis lahir di Makassar (Sulawesi Selatan), 12 Mei 1956. Menamatkan pendidikan dasar tahun 1968, pendidikan menengah pertama tahun 1972, dan pendidikan menengah atas tahun 1975 semuanya di Bandung. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Pertanian Bogor, dan memperoleh gelar Sarjana Perikanan tahun 1980. Gelar

Magister of Science di bidang perikanan diterima dari Fisheries Faculty, Nagasaki University (Japan) tahun 1987 dan Doctor of Philosophy di bidang *marine science* dari Graduate School of Marine Science and Engineering, Nagasaki University tahun 1991. Bidang yang ditekuni sepulang dari sekolah adalah *remote sensing* (penginderaan jauh) kelautan dengan spesialisasi pada bidang *ocean color*, *fisheries oceanography*, dan *coastal zone management*.

Karir sebagai peneliti dimulai dari CPNS tahun 1980 pada Lembaga Oseanologi Nasional (LON)-LIPI yang ditempatkan di Pusat Penilitian dan Pengembangan Oseanografi (BPSDL, P3O-LIPI),

Ambon. Pada 1999–2001 penulis pernah menjabat sebagai kepala BPSDL P3O-LIPI. Penulis mengungsi ke Jakarta karena terjadi bencana nasional kerusuhan di Ambon setelah 20 tahun bekerja di Ambon, kemudian berafiliasi dengan UPT Loka Pengembangan Kompetensi Sumber daya Manusia Oseanografi (LPKSDMO) Pulau Pari, P2O-LIPI dari tahun 2003–2018. Pada 2018 penulis dipindahkan ke Pusat Penelitian Oseanografi (P2O)-LIPI, yang kemudian berubah namanya menjadi Pusat Riset Oseanografi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRO-BRIN). Lebih dari 40 kegiatan riset, pelatihan, pertemuan ilmiah, pelayaran riset ilmiah nasional dan nasional, baik sebagai *chief scientist* dan sebagai pertisipan yang pernah diikuti penulis.

Disamping sebagai peneliti, Penulis juga mengajar di Fakultas Perikanan, Universitas Pattimura, Ambon (1980–1984, 1993–1998), dan di Pascasarjana Fakultas MIPA UI (2010 hingga kini). Tidak kurang dari 17 mahasiswa S-1, 9 mahasiswa S-2, serta 7 mahasiswa S-3 dari berbagai perguruan tinggi Negeri (Unpati, Unhas, IPB, ITB, UNJ, UI) yang skripsi, thesis, dan disertasi dibimbing oleh penulis. Penulis juga pernah menjadi ketua redaksi maupun redaksi anggota serta mitra bestari (*reviewer*) dari berbagai jurnal nasional dan internasional.

Selama meniti karir sebagai peneliti, tidak kurang dari 100 karya tulis ilmiah (KTI) nasional dan internasional dalam bentuk, jurnal, prosiding, panduan yang telah dibuat, baik sebagai tulisan sendiri maupun dengan penulis lain. Keanggotaan organisasi profesi yang pernah maupun yang masih tercatat, antara lain sebagai Anggota Ikatan sarjana Oseanologi (ISOI), Anggota Perhimpunan Biologi (PHI), Anggota Ikatan Sarjana Perikanan Indonesia (ISPEKANI), Anggota Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN), dan Anggota Himpunan Ahli Pengelolaan Pesisir Indonesia (HAPPI), serta Himpunan Peneliti Indonesia (HPI).

Penulis menerima beberapa tanda penghargaan berupa Satyalancana Karya Satya X Tahun (2000), dan Satyalancana Karya Satya XXX Tahun (tahun 2011) dari Presiden RI. (*e-mail*: swouthuyzen@yahoo.com; samw001@brin.go.id)



Achmad Mustofa

Penulis lahir di Semarang (Jawa Tengah), 12 Juni 1986. Menamatkan Pendidikan dasar pada 1998, Pendidikan menengah pertama tahun 2001, dan pendidikan menengah atas tahun 2004 semuanya di kota Salatiga, Jawa Tengah. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di Universitas Diponegoro Semarang, dan memperoleh gelar

Sarjana Kelautan pada 2009. Selama kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan keorganisasian dan peningkatan kapasitas diantaranya *Short Course* di Heron Island, Australia tentang *Tropical Marine Invertebrates* yang merupakan kerjasama antara Queensland University dengan Universitas Diponegoro pada 2007. Penulis juga menjadi salah satu perwakilan universitas untuk mengikuti Arung Sejarah Bahari yang diselenggarakan oleh Pemerintah Indonesia bekerja sama dengan universitas- universitas di Indonesia. Penulis juga tergabung secara aktif di organisasi kemahasiswaan *Marine Diving Club* (MSC) dan memegang lisensi selam A3 POSSI pada 2007.

Karir sebagai pekerja konservasi diawali pada saat masih menempuh Pendidikan di Universitas Diponegoro di Lembaga Konservasi lokal di Semarang yaitu Yayasan Taka pada tahun 2008–2010 dimana pada saat itu penulis menjabat sebagai direktur utama Yayasan Taka. Yayasan Taka dibawah kepemimpinannya berhasil melaksanakan studi pemasangan rumpon perikanan di Alor, Nusa Tenggara Timur dan kajian *baseline* pendaratan ikan hiu di Indonesia hasil kerja sama dengan Yayasan WWF Indonesia. Penulis melanjutkan jenjang karir di Yayasan WWF Indonesia sejak akhir 2010 hingga saat ini. Penulis mengawali karir di Yayasan WWF Indonesia sebagai *Marine Campaigner Assistant* dengan tugas utama, yaitu melakukan sosialisasi, edukasi, dan peningkatan kepedulian masyarakat tentang kelestarian sumber daya alam perikanan dan kelautan dengan target di kota, yaitu Manado, Jakarta, Makassar, Denpasar, dan Medan. Tahun

berikutnya penulis tergabung dalam tim perikanan tangkap divisi Perikanan dan Kelautan dengan target utama adalah implementasi *Ecosystem Approach to Fisheries Management* (EAFM) dan *Fisheries Improvement Program* (FIP). Penulis terlibat aktif dengan perusahaan-perusahaan perikanan yang tergabung pada inisiasi WWF, yaitu *Seafood Savers* untuk melaksanakan edukasi kepada perusahaan dan nelayan, serta membangun *framework FIP* bagi rantai suplainya.

Selama bekerja di Yayasan WWF Indonesia, penulis terlibat dalam penyusunan buku panduan perikanan skala kecil atau biasa disebut *Better Management Practices* (BMP) termasuk salah satunya tentang komoditas ikan sidat di Indonesia. Penulis bersama peneliti IPB Universitas menyusun karya tulis dalam bentuk jurnal dan laporan, diantaranya tentang *Analysis of Employment of Indonesian Citizens in the Distant Water Fleet Tuna Fisheries of The WCPO* yang disubmit kepada RFMO, yaitu Western and Central Pacific Commission pada tahun 2021. Selain itu bersama dengan International Institute for Sustainable Development (IISD) penulis melaksanakan kajian dan menulis laporan terkait dengan dampak subsidi perikanan terhadap pengelolaan perikanan di Indonesia. (*e-mail*: amustofa@wwf.id; achmustofa@gmail.com)



Augy Syahailatua

Penulis lahir di Ambon, 9 Agustus 1962. Menamatkan Pendidikan dasar pada 1973 di Ambon, pendidikan menengah pertama di Ambon pada 1976, dan pendidikan menengah atas di Jakarta pada 1980. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Pertanian Bogor, dan memperoleh gelar Sarjana Perikanan tahun 1985. Gelar *Magister of Science* dan *Doctor of Philosophy* bidang oseanografi biologi diperoleh dari University of New South Wales (Australia) pada tahun 1993 dan 2005.

Penulis telah mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: *Introduction to SPSS-x program* di Sydney (1990), *Experimental Design for Marine Research* di Ambon (1996), *Introduction to Primer 7.0 for data analysis* di Coff Harbour, Australia (2015), dan *Sustainable Fisheries Policy Professional Short Course* di University of Rhode Island, USA (2021).

Dr. Syahailatua mulai berkarier sebagai peneliti oseanografi biologi di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) sejak 1986. Pernah menjabat sebagai Kepala Bidang Sumberdaya Laut di Pusat Penelitian Oseanografi- LIPI (2006–2009), Kepala UPT Balai Konservasi Biota Laut LIPI Ambon (2009–2014), Kepala Pusat Penelitian Laut Dalam-LIPI (2014–2019), dan Kepala Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI (2019–2021). Saat ini, sebagai Peneliti Ahli Utama bidang oseanografi biologi di Pusat Riset Oseanografi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Penulis telah menghasilkan sebanyak 76 karya tulis ilmiah (KTI) baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sejumlah 30 KTI ditulis dalam bahasa Inggris. Selain itu, lebih dari 35 artikel ilmiah populer yang telah dihasilkan dan diterbitkan di media cetak nasional dan lokal.

Penulis juga ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, diantaranya sebagai pembimbing skripsi (S-1) pada Universitas Pattimura, Universitas Hasanuddin, Universitas Padjadjaran, Institut Pertanian Bogor, dan Institut Teknologi Bandung; pembimbing tesis (S-2) pada Universitas Pattimura; dan pembimbing disertasi (S-3) pada Institut Pertanian Bogor; serta penguji disertasi (S-3) pada Institut Pertanian Bogor dan Universitas Hasanuddin.

Selain itu, penulis aktif dalam organisasi profesi ilmiah, antara lain sebagai Pengurus Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (ISOI, 2004–2008) dan sebagai anggota ISOI (1987–sekarang), *Australian Society for Fish Biology* (1990–2007), *Australian Marine Science Association* (1991–2011), Ikatan Sarjana Perikanan Indonesia (1986–sekarang), Masyarakat Ikan Indonesia (2002–sekarang), dan Himpunan Peneliti Indonesia (2013–sekarang).

Penulis menerima beberapa tanda penghargaan, baik tingkat nasional maupun internasional, antara lain: CSIRO-LIPI Award (2004), the Endeavour Australia (2007), Satyalancana Karya Satya XX Tahun (2013), Peserta Diklat Pimpinan Tingkat II terbaik ke-2 (2016), dan Satyalancana Karya Satya XXX Tahun (tahun 2017). (*e-mail*: augy001@brin.go.id)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

INDEKS

- A. anguilla*, 5, 6, 12, 20, 77, 82, 97, 108
A. australis australis, 5, 10, 11
A. australis schmidtii, 5, 10
A. bicolor bicolor, 5, 10, 12, 16, 33, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 58, 59, 60, 62, 63, 65, 66, 67, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 92, 100, 101, 102, 108, 109, 110, 111
A. bicolor pacifica, 5, 30, 31, 33, 34, 37, 39, 41, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 58, 59, 60, 62, 63, 65, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 92, 99, 100, 101, 108, 109
A. borneensis, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 59, 63, 65, 67, 71, 75, 100, 101, 102, 108, 109, 111
A. celebesensis, 5, 6, 10, 12, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 58, 59, 62, 63, 65, 67, 69, 70, 71, 72, 75, 92, 100, 101, 104, 105, 108, 109, 111
A. dieffenbachia, 10
A. interioris, 5, 10, 12, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 40, 41, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 59, 63, 65, 67, 71, 72, 74, 75, 92, 98, 100, 101, 108, 109
A. Luzonensis, 8
A. marmorata, 5, 10, 11, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 39, 40, 41, 42, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 62, 63, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 92, 98, 100, 101, 104, 108, 109, 129, 132, 133, 134, 135, 136

Buku ini tidak diperjualbelikan.

- A. megastoma*, 5, 10, 12
A. mossambica, 5, 10, 67
A. nebulosa labiatea, 10
A. nebulosa nebulosa, 5, 10, 11, 12, 50, 63, 66, 74, 75, 80, 81, 92, 102, 109
A. reinhardtii, 5, 10
A. rostrata, 5, 6, 10, 12, 19, 20, 52, 77, 97, 100, 103, 107, 108, 110, 134
Abulidae, 89
Abuliformes, 89
Actinopterygii, 5, 133, 136
adaptasi, 85, 129
ADCP, 68, 123
Albuliformes, 14, 87, 91
anadromus, 1, 129
Ancestral species, 6, 8, 130
Anguila japonica, 130
Anguilla, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 19, 20, 22, 29, 57, 62, 65, 71, 72, 74, 77, 82, 84, 92, 97, 98, 103, 107, 108, 110, 111, 115, 116, 117, 118, 130, 131, 133, 134, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154
Anguilla anguilla, 107, 130, 144, 151
Anguilla rostrata, 130, 144
Anguillidae, 1, 5, 6, 7, 89, 130, 133, 140, 146, 151, 154
Anguilliformes, 5, 118, 133
A. obscura, 5, 10
AORI, xx, xxix, 20, 27, 28, 41, 58, 108, 112, 113, 119, 123
Arakane, 22, 23, 108, 134
Aristoteles, 2, 131
arus, 13, 20, 21, 23, 39, 59, 61, 62, 75, 76, 102, 103, 109, 123, 125
arus khatulistiwa utara, 21, 39, 75, 102, 109, 125
arus laut/samudera, 13
arus lintas Indonesia/Arlindo (*Indonesian through flow/ITF*), 39
asal-muasal, 6, 8, 130, 131
aspek reproduksi, 2
Baruna Jaya (BJ) VII, 24, 25, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 36, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 59, 92, 93, 94, 95, 107, 108, 112, 113, 114, 115, 120, 121, 123
belut laut (*marine eels*), 3, 6, 7, 8, 13, 26, 27, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 104, 108, 109, 111, 113, 125, 126, 130, 131
Bengkulu, 73, 74, 78
bermetamorfosis, 1, 13, 15, 33, 39, 51, 52, 54, 56, 58, 59, 60, 62, 133
bermigrasi, 1, 13, 14, 15, 36, 37, 52, 53, 54, 56, 59, 62, 85, 99, 105, 129, 130, 133, 141
Bermuda, 19
bertelur, 14, 15
biodiversitas, 108, 109, 110, 111, 154
biologi laut, 19, 107
Bogor, 83, 117, 122, 152, 155, 158, 159
Borneo, 6, 53, 76, 132
BRIN, 124, 152, 156, 159

- Brisbane (Australia), 27, 30, 113
 buku ilmiah populer, 2
 Cebu (Filipina), 27, 30, 113
Cholopidae, 13, 130
 Cianjur, 83
 CITES, 77, 82, 97, 98, 100, 111, 124, 142, 143, 151
Colocongeridae, 130
Congeridae, 90, 130
 continental shelf, 13, 87, 132
 CTD, 24, 25, 26, 27, 68, 124
 curah hujan, 36, 37, 38, 99
Cyematidae, 13, 87, 89, 132
 daerah aliran sungai (DAS), 83, 85
 Daftar Merah IUCN, 98, 99, 100, 101, 102, 111
 daftar merah Lampiran II, xxix
 Danau, 2, 14, 36, 37, 38, 104, 105, 134, 146
 Danau Poso, 36, 37, 104, 105, 146
 Data Deficient (DD), 98, 111, 124
 Delta Mahakam, 53, 101
Derichthyidae, 89, 130
 DNA, 7, 9, 11, 12, 23, 41, 67, 68, 71, 73, 74, 112, 124, 154
 DO, 24, 26, 124
Eddies Halmahera, 39
Eddies Mindanau, 39
 ekspedisi pelayaran, 19, 20
 eksplorasi, xxi, xxii, xxviii, 3, 15, 81, 82, 97, 103, 110, 111, 124
Elophidae, 89
Elopiformes, 14, 87, 88, 89, 91
 empat musim, 5, 29, 77, 97, 110
 endemik, 5, 6, 8, 11, 96, 131, 132
 estuari, 2, 13, 15, 58, 59, 60, 62, 68, 71, 73, 75, 87, 89, 90, 101, 103, 105, 132
Eurypharyngidae, 89, 132
 famili, 5, 6, 7, 13, 15, 27, 87, 89, 90, 91, 92, 130, 133
 fase bulan baru, 22, 23, 24, 108
 fase kehidupan, 27, 59, 68, 107, 133
 fase larva, 13, 24, 91
 fase leptocephalus, 2, 3, 52, 55, 56, 57, 58
 fase preleptocephali, 13
 fauna, xix, 95, 96, 97, 142, 153
 fenomena El Niño, 103
fertilized egg, 23
 Filipina, 5, 8, 20, 27, 59, 60, 113
 filogenetik molekuler, 6
 Filum, 5, 133
Flora Liar, 97
 flow meter, 24, 26
Freshwater eel, 1
 frekuensi panjang, 36, 41, 43
 genus, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 29, 115, 117, 133, 139, 140, 142, 145, 148, 152, 153, 154
 Giovanni NASA, 36, 124, 143
glass eel/elver, 1, 13, 14, 15, 16, 31, 32, 33, 39, 40, 43, 49, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 73, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 92, 99, 102, 103, 105, 107, 110, 111, 116, 132, 133, 136, 146, 149, 150, 152, 153, 154

- GPS, 24, 125
- gunung bawah laut, 21, 22, 23, 24, 35, 108, 134
- habitat, 1, 13, 14, 15, 16, 20, 24, 36, 52, 53, 54, 62, 83, 85, 87, 89, 90, 91, 93, 101, 103, 105, 144
- Hakuho Maru, xxix, xxxv, xxxvi, 20, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 41, 42, 44, 45, 47, 49, 92, 94, 95, 107, 108, 112, 113, 114, 121, 122, 125
- Hampir terancam (Near Threatened, NT), 98, 99, 101, 111, 125
- hilir, 14, 36, 37, 61
- History of animal, 2
- hulu sungai, xxviii, 1, 13, 14, 62, 110, 129
- ikan, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 142, 143, 144, 149, 152, 154, 157, 158, 160
- ikan salmon, 1
- ikan sidat, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19,
- 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 142, 143, 144, 149, 152, 154, 158
- ikan sidat sirip panjang (*long-fin eel*), 125
- ikan sidat sirip pendek (*short-fin eel*), 40, 41, 63, 77, 126
- IKMT, 24, 25, 26, 27, 35, 68, 90, 95, 108, 112, 121, 122, 125
- iktiologi, 150
- indikator, 55, 104
- Indonesia, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 11, 15, 16, 20, 21, 25, 27, 28, 29, 30, 34, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 59, 60, 63, 65, 66, 67, 68, 73, 75, 76, 77, 78, 82, 84, 91, 92, 93, 95, 96, 98, 100, 101, 102, 104, 107, 108, 109, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 121, 122, 125, 126, 130, 131, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 156, 157, 158, 159, 160
- Indonesia bagian barat, 3, 40, 45, 73, 75
- Indonesia bagian tengah dan timur, 3, 30, 68

- insang, 1, 133
 Issacs kidd Midwater Trawl, 24
 IUCN, 77, 97, 98, 99, 100, 101, 102,
 111, 125, 144, 145
 Johannes Schmidt, 19, 107
 JSPS, 112, 114, 115, 125
 Kalsium (Ca), 55, 135
 kapal riset, 19, 24, 25, 27, 45, 47, 68,
 92, 112, 125, 135
 kataadromus, xxvii, 1, 14, 24, 55, 89,
 102, 130, 133
 keanekaragaman, 3, 5, 34, 45, 46,
 87, 92, 93, 94, 95, 96, 103
 kecepatan eksplorasi (E), 81, 124
 kehidupan awal (*early life history*),
 2, 24, 27, 73, 83, 107, 110, 112,
 115, 116, 133, 140, 141, 151
 kehidupan bentik (*bottom dweller*),
 60
 kelas, 5, 31, 33, 34, 78, 98, 101, 133,
 135, 136
 kelimpahan, 24, 26, 40, 72, 73, 74,
 75, 80, 81, 83, 84, 92, 93, 94, 95,
 104, 109, 110, 111, 144, 146
 kemampuan beradaptasi, 1
 Kementerian Kelautan dan
 Perikanan (KKP), 16, 84, 125,
 145
 Kepulauan Mariana, 21
 Kepulauan Mentawai, 41, 114, 121
 Kepulauan Nias, 41
 ketersediaan, 110
 kimia mikro (*micro chemistry*), 55,
 56
 koefisien korelasi (r^2), 51
 koleksi leptocephali, 3, 24, 29, 40,
 42, 95, 96, 109
 konsentrasi klorofil, 24, 124
 konservasi, 3, 84, 98, 125, 127, 142,
 157, 159
 kunci identifikasi, 62, 63, 64, 65, 66,
 67, 75, 110
 laju pertumbuhan, 51, 52, 53, 54
 landas benua, 13
 landas benua (*continental shelf*),
 13, 93
 larva, 1, 2, 3, 13, 14, 15, 23, 24, 25,
 26, 51, 87, 89, 91, 92, 111, 112,
 125, 132, 133, 134, 141
 laut, 1, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14,
 15, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26,
 27, 28, 31, 32, 34, 35, 36, 39, 40,
 41, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 53, 54,
 55, 56, 58, 59, 60, 68, 76, 83, 85,
 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95,
 96, 102, 103, 104, 107, 108, 109,
 111, 113, 122, 123, 124, 125, 126,
 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135,
 136, 159
 Laut Flores, 28, 113
 Laut Jawa, 28, 31, 113
 laut lepas, 1, 24, 54, 56, 59, 68, 87,
 89, 90, 93, 102, 133
 Laut Maluku, 28, 31, 34, 41, 46, 50,
 51, 54, 113
 Laut Sargasso, 7, 19, 20, 107, 134
 laut Sulawesi, 28, 109
 Laut Sulawesi, xxxv, xxxvi, 28, 31,
 32, 34, 35, 36, 39, 40, 41, 45, 46,
 47, 50, 51, 53, 95, 109, 113, 122,
 130, 131

- Laut Tethys kuno, 6, 7, 10
lebar otolith (*otolith width*), 57
Legogenyidae, 89
leptocephalus, 2, 3, 13, 15, 24, 28, 46, 47, 52, 55, 56, 57, 58, 91, 92, 115, 118, 134
lereng benua (continental slope), 87, 89, 90, 93
lokasi pemijahan, 2, 3, 13, 14, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 39, 42, 43, 45, 50, 46, 47, 49, 51, 52, 53, 54, 107, 108, 109, 131, 134
lokasi potensial, 2, 15, 51, 104, 154
Mariana Ridge, 21, 22, 23, 108, 134
massa air, 3, 39, 44, 45, 51, 109
matang gonad, 2, 37, 131
Maximum Sustainable Yield (MSY), 81, 125
Mediteranian, 19
Megalopidae, 89, 91, 92
memijah, 1, 2, 3, 7, 13, 14, 15, 19, 22, 23, 24, 29, 36, 37, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 55, 56, 57, 75, 85, 99, 105, 107, 108, 109, 129, 131, 133
meso- dan bathi-pelagik, 89, 90, 93
metamorfosis, 15, 39, 43, 49, 44, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 88, 90, 107, 110, 124, 127, 136
migrasi, 3, 25, 29, 36, 37, 51, 52, 53, 54, 59, 55, 61, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 83, 85, 90, 99, 103, 110, 133, 134, 137
migrasi ke hilir (*down-stream migration*), 14, 36, 37
migrasi ke sungai (*up-stream migration*), 61
Millenium cruise, 113, 114
misteri, 2, 15, 102, 107, 112
mitochondrial 16S ribosomal RNA, 27
mitochondrial 16S ribosomal rRNA, 7, 8
molekuler, 6, 7
Monognathidae, 13, 87, 89, 132
Moringuidae, 13, 87, 89, 90, 91, 130
mortalitas alami (M), 81, 82, 125
mortalitas penangkapan (F), 81
Muraenesocidae, 13, 87, 90
Muraenidae, 13, 87, 88, 89, 90, 91, 118, 130
musim pemijahan, 3, 47, 48, 109
Musim Pemijahan, 45
Myrocongridae, 89, 130
NEC, 39, 75, 95, 102, 109, 125
Nemichthyidae, 13, 87, 89, 90, 130
nenek moyang (*ancestral*), 6, 8, 10, 130, 131
net sounder, 68
Nettastomatidae, 89, 90, 130
Nettastomatide, 13, 87
New moon hypothesis, 22, 24, 108
nilai ekonomis, 16, 102, 111
Nocanthiformes, 14
nokturnal, 60, 90, 134
Notacanthidae, 89
oblique tow, 25
oksigen terlarut, 24, 124
Ophichthidae, 14, 87, 90, 91
Opichthidae, 89, 91, 130
ordo, 5, 13, 14, 87, 88, 89, 90, 91, 130, 131, 132, 133

- ORI, 20, 114, 115
 oseanik, 49, 89
 otoli, 48, 55, 56, 57, 58, 109, 131
- P2O-LIPI, xxxv, xxxvi, xxxvii, 28,
 113, 119, 120, 121, 122, 123, 126,
 154, 156
- Palung Mentawai, 43, 46, 54, 108
 panjang ano-dorsal (AD atau ADL),
 66, 123
- Panjang kepala (*head length*, HL),
 66, 125, 126
- panjang pre-anal (PAL), 26, 66
- Panjang pre-dorsal (PDL), 26, 66
- Panjang pre-dorsal kepala (PDHL),
 66
- panjang total (TL), 26, 31, 34, 42,
 49, 51, 55, 63, 66, 78, 104, 123
- paperan benua (continental shelf),
 87, 89, 90
- Papua, 28, 41, 46, 50, 71, 94, 101,
 131
- Pasifik Barat, 6, 95
- Pathfinder, 22, 23, 108, 134
- perlayaran ilmiah (*Scientific Cruises*), 19, 25, 94, 109, 113,
 126, 135
- perlayaran Mauritius–Teluk Tomini–Tokyo, 28, 29
- Pelayaran Milenium, 28, 30, 45
- perlayaran Tokyo–Padang–Mauritius, 28
- pemijahan, 1, 2, 3, 13, 14, 15, 19,
 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 31,
 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 45,
 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54,
 58, 59, 60, 77, 102, 104, 107, 108,
- 109, 131, 134, 135, 136, 154
 penelitian, 6, 8, 12, 20, 23, 39, 52,
 75, 84, 102, 108, 122, 123, 126,
 144, 154, 156, 159
- pengelolaan, 3, 82, 83, 84, 98, 101,
 102, 103, 104, 111, 112, 144, 152,
 156, 158
- perairan, 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 11, 13,
 15, 20, 21, 24, 25, 27, 28, 29, 30,
 31, 34, 36, 39, 40, 41, 42, 43, 44,
 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53,
 54, 55, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65,
 66, 67, 68, 75, 77, 78, 83, 84, 85,
 87, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96,
 97, 102, 103, 104, 107, 108, 109,
 110, 111, 112, 114, 121, 122, 124,
 129, 130, 131, 133, 134, 135, 136,
 139, 142, 144, 154
- perairan estuari, 2, 13, 58, 59, 68
- perairan Indonesia, 3, 5, 6, 9, 10, 11,
 15, 20, 21, 28, 29, 30, 34, 40, 41,
 42, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 63,
 65, 75, 84, 91, 92, 93, 95, 96, 102,
 104, 107, 108, 109, 111, 112, 121,
 131, 142
- perairan payau, 13, 15
- perairan tawar, xxvii, xxviii, 1, 3, 13,
 15, 36, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 59,
 60, 61, 85, 87, 89, 90, 103, 130,
 133, 134, 135
- perairan umum, 2
- perangkap ikan Sidat (sero tancap, weir), 103, 104
- Perhitungan mundur (*back calculation*), 47, 48, 109, 131
- pertumbuhan, 3, 13, 17, 49, 51, 52,

- 53, 54
- Perubahan iklim/cuaca global, 103
- perubahan iklim global, 3
- pH, 24, 26
- pohon filogenetik, 6, 7, 8, 9, 11, 12
- Populasi *A. marmorata*, 77
- Populasi ikan sidat *A. marmorata*
Ambon (AN), 76, 129
- Populasi ikan sidat *A. marmorata*
Fiji (FI), 76, 133
- Populasi ikan sidat *A. marmorata*
kalimantan/Borneo (BO), 76,
132
- Populasi ikan sidat *A. marmorata*
Madagaskar (MA), 76, 134
- Populasi ikan sidat *A. marmorata*
Pasifik Utara (KE, OG, OK), 76,
133, 134, 135
- Populasi ikan sidat *A. marmorata*
Sulawesi (SL), 136
- Populasi ikan sidat *A. marmorata*
Sumatra (SU), 76, 136
- Populasi ikan sidat *A. marmorata*
Tahiti (TA), 76, 136
- Poul Jespersen, 20
- pre-anal length (PAL), 64, 126
- pre-dorsal length (PDL), 126
- pre-larva*, 133
- preleptocephali, 13, 23
- Pulau Kalimantan, 6, 132
- Pulau Luzon, 5, 8, 20, 21
- Pulau Sulawesi, 6, 31, 36, 37, 54, 76,
95, 113, 120, 121, 132
- punah di alam liar (*extinct in the
wild*, EW), 98, 99, 124
- punah di dunia (*extinct*, EX), 98
- racun (*poison fishing*), 17, 18, 83
- rasio Sr/Ca, 55, 56, 57
- ratio ADL/%TL, 66, 67, 68, 72, 73,
74, 75, 123
- refugia perikanan (*fisheries refugia*),
82, 83
- rentan punah (vulnerable, VU), 98,
101, 111, 127
- reptil, 1, 135
- ruas tulang belakang (vertebrae),
63, 64, 65, 110, 123
- ruas tulang belakang abdominal
(AD), 64
- ruas tulang belakang anodorsal
(BC), 64, 65, 123
- ruas tulang belakang caudal (DE),
64
- ruas tulang belakang pre-anal (AC),
64
- ruas tulang belakang pre-dorsal
(AB), 64
- ruas tulang belakang total (AE), 64,
123
- R/V Hakuho Maru, 20, 24, 27, 28,
29, 30, 31, 34, 41, 42, 44, 45, 49,
92, 94, 95, 107, 108, 112, 113,
121, 122
- Saccopharyngidae, 89, 132
- Saccopharyngiformes, 87, 89, 90,
132
- salinitas, 1, 24, 26, 55, 58, 60, 77,
124, 135
- sampling, 3, 21, 22, 23, 24, 25, 26,
27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36,
39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 68,

- 73, 75, 93, 109, 111, 112, 121, 122
 Samudera Atlantik, 6, 10, 19, 29,
 130
 Samudera Hindia, 3, 11, 28, 29, 40,
 41, 42, 43, 44, 46, 51, 59, 65, 67,
 102, 108
 Samudera Pasifik, 3, 20, 29, 39, 44,
 45, 65, 76
 sangat terancam punah (*critically
endangered*, CR), 98, 99, 124
 Schmidt, 19, 20, 28, 107, 109
 Seamounth hypothesis, 108
 sebaran leptocephali, 19, 21, 87
 Sejarah Hewan, 2
 Selat Makassar, 28, 31, 34, 37, 39,
 46, 52, 54, 101, 113, 154
 Serrivomeridae, 6, 7, 14, 87, 88, 89,
 90, 130
 seser (hand scoop net), 68, 136
 setrum (electric fishing), 83
 Sidat Amerika, 6, 19, 29, 52, 77, 97,
 107, 111, 130
 sidat dewasa (silver eel), 1, 2, 13, 14,
 15, 16, 36, 37, 38, 49, 55, 62, 68,
 83, 85, 104, 105, 107, 116, 131,
 136, 139, 142, 151, 154
 Sidat Eropa, xxviii, 6, 20, 29, 52, 77,
 82, 97, 98, 103, 107, 111, 130, 134
 Sidat Jepang, 13, 15, 20, 21, 22, 23,
 29, 52, 56, 77, 97, 102, 108, 109,
 130
 Sidat muda (yellow eel), 62
 sidat tropis, 2, 3, 6, 9, 10, 11, 15, 27,
 28, 29, 30, 31, 33, 34, 36, 40, 45,
 47, 48, 50, 51, 52, 58, 62, 65, 66,
 67, 77, 78, 82, 97, 98, 100, 101,
 102, 103, 104, 107, 108, 109, 111,
 112, 130, 131
 sirip, 1, 40, 41, 63, 77, 125, 126, 133,
 136
 sirip anal (anal fin), 63, 126
 sirip punggung (dorsal fin), 63
 sisik, 1, 136
 sistem pusaran (eddies), 39
 SL, 76, 136
 spawning area, 20, 118, 146, 150
 spesies, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 16,
 26, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 44, 45,
 46, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 58, 59,
 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 74, 75,
 77, 82, 83, 89, 91, 92, 94, 96, 97,
 98, 99, 100, 101, 102, 103, 108,
 109, 110, 111, 115, 116, 124, 130,
 131, 132, 133, 136, 140, 142, 143,
 144, 145, 146, 148, 150, 151, 153,
 154
 spesies baru, 5
 spesimen, 3, 20, 21, 30, 31, 34, 35,
 36, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 49,
 51, 67, 75, 76, 92, 109
 Srontium (Sr), 55, 57, 58
 step tow, 25
 studi kepustakaan, 3, 107
 sub-spesies, 5, 6, 9, 11, 12, 50, 63,
 92, 153
 suhu, 1, 24, 26, 54, 55, 103, 104,
 124, 136
 Sukabumi, 78, 79, 80, 81, 83, 110,
 142, 143, 144, 150, 152, 153
 Sulawesi Barat, 81, 139
 Sulawesi Tenggara, 81
 sungai, 1, 2, 13, 14, 16, 36, 37, 38,

- 53, 54, 59, 60, 61, 62, 65, 68, 75, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 99, 101, 103, 104, 105, 110, 124, 129, 132, 133, 143, 141, 144, 146, 149
 Sungai Cimandiri, 60, 75, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 144
 Sungai Dumoga, 60, 75
 Sungai Palu, 149
 Sungai Poigar, 59, 60, 65, 146
 Sungai Poso, 36, 37, 38, 59, 65, 85, 99, 104, 149
 Suruga, 22, 23, 108, 134
 Synaphobranchidae, 89, 130
 taksonomi, 5, 20, 130, 135
 taksonomi ikan Sidat, 20
 Tangkapan total yang dibolehkan (*Total Allowable Catch/TAC*), 81
 Tawau, 53
 Teleostei, 1, 136, 140, 146, 154
 Teluk Pelabuhan Ratu, 78, 143
 Teluk Tomini, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 85, 94, 95, 99, 101, 104, 105, 113, 122
 telur, 2, 13, 15, 23, 24, 47, 56, 68, 108, 112, 131, 133, 135
 telur ikan, 15, 23, 56, 108
temperate, 5, 29, 36, 77, 90, 97
 terancam, 77, 81, 97, 98, 99, 101, 103, 111, 124, 125
 terancam punah (*threatened extinct*, EN), 97, 98, 99, 103, 111, 124
 Terusan Suez, 6
 The University of Tokyo, xx, xxix, 20, 27, 41, 108, 113, 114, 115, 119, 120, 141, 147, 150, 151
 tingkat kematangan gonad, 14
 tingkat keprihatinan rendah (*least concern*, LC), 45, 98, 99, 125
 Total length, 126, 127
trace element, 55
 tropis, 2, 3, 6, 9, 10, 11, 15, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 36, 40, 45, 47, 48, 50, 51, 52, 58, 62, 65, 66, 67, 68, 77, 78, 82, 90, 91, 92, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 130, 131, 137, 139, 142, 143, 144, 154
 turbiditas, 24, 124
 umur, 3, 17, 23, 31, 45, 47, 48, 49, 51, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 109, 127, 131, 135
 Vilhelm Ege, 20
 waktu menetas, 3, 45, 47, 48
 WWF Indonesia, 2, 127, 154, 157, 158
yellow eel, 13, 14, 15, 61, 62, 77, 105, 107, 137
 zaman Cretaceous-Eocene, 6
 zooplankton, 25, 26, 27, 92, 104, 125



Keterangan: Dr. Jun Aoyama memegang seekor ikan sidat (*Anguila marmorata*) dewasa yang ditemukan di wilayah Indonesia, Teluk Tomini

Sumber: Miller & Tsukamoto (2004)
(Penggunaan foto atas izin dari Dr. Michael J. Miller)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Ikan Sidat hidup pada habitat perairan tawar (*freshwater eel*) yang bersifat katadromus, yaitu ikan Sidat dewasa hidup di perairan tawar (sungai, danau, dan perairan umum lainnya) bermigrasi jauh ke perairan laut lepas (oseanik) yang dalam untuk memijah. Pembahasan yang disajikan mengenai ikan Sidat tropis yang terdapat di perairan Indonesia dengan penekanan khusus yang mendalam pada kehidupan awal ikan ini, yakni pada fase larva atau leptocephalus. Pembahasan dimulai dari keanekaragaman ikan Sidat, ikan Sidat tropis Indonesia. Ada empat fase kehidupan ikan Sidat, yaitu fase leptocephalus (larva), *glass eel/elver*, *yellow eel*, dan *silver eel*.

Buku *Kehidupan Awal Ikan Sidat Tropis Indonesia* hadir untuk mengenalkan, menginformasikan, dan memberikan wawasan kepada masyarakat mengenai kehidupan ikan Sidat di perairan Indonesia. Buku ini dapat menjadi bahan bacaan menarik untuk memperluas ilmu pengetahuan kita dan dapat menjadi bahan rujukan pembaca umum maupun pembaca khusus yang berkecimpung di bidang biologi laut, khususnya *ichthiology*.

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.1114



ISBN 978-602-6303-36-3



9 78602 6303363

Bukurni tidak diperjualbelikan.